

SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus: *Einführung in die "Grüne Chemie"*

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de



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

Hintergrundinformationen

Traditionell arbeitet die chemische Industrie an der **Optimierung chemischer Prozesse**. Die Begrenztheit von Ressourcen und die Grenzen des Wachstums anerkennend, z. B. dass viele Rohstoffe der chemischen Industrie auf der nicht erneuerbaren Ressource Erdöl basieren oder giftige Abfälle die Lebensgrundlagen zukünftiger Generationen zerstören, werden traditionelle Ansätze der Chemie und der chemischen Industrie zunehmend erweitert, z. B. durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe oder die Herstellung von Biokunststoffen. Dies trägt den Konzepten von **Nachhaltigkeit** bzw. nachhaltiger Entwicklung Rechnung. Es fokussiert u. a. auf die Erhaltung der Langzeit-Produktivität der Umwelt, sodass auch nachfolgende Generationen auf diesem Planeten leben können. Das Konzept der Nachhaltigkeit hat versucht, eine Balance aus der ökologischen, ökonomischen als auch sozialen Dimensionen von Nachhaltigkeit zu finden. Für die Umsetzung von Nachhaltigkeit in der Chemie gibt es verschiedene Konzepte. Eines der bekanntesten Beispiele ist das Konzept der **Grünen Chemie** (engl. Green Chemistry), einem Forschungszweig, der sich speziell der Erschließung umweltverträglicher, Abfall vermeidender, Material und Energie sparer und sicherer industrieller Prozesse und Produkte widmet. Maßgeblich für die Etablierung der Grünen Chemie waren 1998 die **12 Prinzipien** nach Anastas und Warner. Heute werden unter Grüner Chemie auch weitergehende Ansätze zusammengefasst, die über die rein technische Sicht der 12 Prinzipien hinausgehen. Parallel zu dem insbesondere in den USA etablierten Begriff der Green Chemistry hat sich in Europa und ausgehend von der Industrie auch der Begriff **Nachhaltige Chemie** (engl. Sustainable Chemistry) etabliert. Die Unterschiede und Übergänge sind fließend, sodass man heute im internationalen Rahmen zunehmend von Green and Sustainable Chemistry (GSC) spricht.

Curriculare Einbindung der Unterrichtsreihe

Die Kernlehrpläne einzelner Bundesländer für Chemie der SII geben als eines der Ziele des Chemieunterrichts die Bildung für nachhaltige Entwicklung an. Technikfolgen, wirtschaftliche Aspekte und Stoffkreisläufe sollen im Sinne der Nachhaltigkeit sowie der Klimabeeinflussung beurteilt werden. Ziel ist es, dass sich SchülerInnen¹ vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen für nachhaltige Entwicklung engagieren und gegebenenfalls negative Einstellungen zur Chemie kritisch reflektieren. Die genannten Leitlinien führen die Empfehlungen der KMK für einen zeitgemäßen Chemieunterricht der SI fort, wonach die Schüler die Einsicht gewinnen sollen, dass die Erkenntnisse der Chemie den technischen Fortschritt maßgeblich beeinflussen und mitbestimmen können. Auch die ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung betonen, dass die StudentInnen die Bedeutung des Prinzips der Nachhaltigkeit für das Fach Chemie darstellen und begründen sollen.

Zwar existieren bereits einige konkrete Unterrichtseinheiten zum Themengebiet Nachhaltige Chemie, so z. B. zur Problematik der Biotreibstoffe, Biokunststoffe oder Waschmittel, aber diese werden nur vereinzelt als Möglichkeit einer curricularen Umsetzung beschrieben. Evidenzbasiert entwickelte Curricula, die die Grüne bzw. Nachhaltige Chemie systematisch und durchgängig in den Chemieunterricht an Schulen integrieren, existieren dagegen bisher in Deutschland und im europäischen Ausland nur in Ansätzen. Die hier vorgestellte Unterrichtseinheit soll diese Lücke schließen, indem sie als Bestandteil eines Unterrichtskonzepts dient, das die Grüne Chemie als eine Leitlinie des Curriculums der SII definiert.

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im weiteren Verlauf nur noch „Schüler“ verwendet.

Hinweise zur Methodik und Didaktik

Einbindung der Grünen Chemie in den Chemieunterricht der SII

Im Hinblick auf die Bedeutung der Grünen Chemie für eine nachhaltige Chemie liegt es nahe, die 12 Prinzipien als Ausgangspunkt für eine schulische Umsetzung zu nutzen. Ein zentraler Aspekt bei der Entwicklung der Unterrichtseinheit zur Grünen Chemie war die Anbindung an schüler- und alltagsnahe Beispiele. In der nachfolgend vorgestellten Unterrichtsreihe ist es gelungen, alle 12 Prinzipien vollständig an einem chemisch-technischen Prozess der organischen Chemie (Gewinnung von Milchsäure hin zur Synthese von Polymilchsäure, kurz PLA) zu verdeutlichen und zu verankern:

- **Abfallvermeidung:** PLA kann wieder zu Milchsäure recycelt und in ein geschlossenes Kreislaufsystem integriert werden.
- **Atomökonomie:** Das Prinzip der Atomökonomie kann z. B. anhand der Hydrolyse von PLA in Milchsäure oder der Fermentation von Milchsäure zu PLA verdeutlicht werden.
- **Ungefährlichere Synthesen:** Die biotechnologische Synthese von Milchsäure kann der chemischen Synthese gegenübergestellt werden.
- **Entwicklung sicherer Chemikalien:** Milchsäure ist eine natürlich vorkommende, ungefährliche und biologisch abbaubare Chemikalie.
- **Sichere Lösemittel:** Die Hydrolyse von PLA zu Milchsäure kann in Ethanol; die Synthese von PLA lösemittelfrei (Verfahren nach Cargill Dow) erfolgen; Ethyllactat kann als green safer solvent und superkritisches CO₂ als Anwendung in der Synthese von Ethyllactat vorgestellt werden.
- **Effiziente Energienutzung:** Die Anwendung der Sonochemie (Ultraschall-Technik) bei der Synthese von Milchsäure und einigen Derivaten, der sogenannte Cellulac-Prozess, vermindert den Energieumsatz bei der Synthese von Milchsäure im Vergleich zur Fermentation von Dextrose (Cargill).
- **Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen:** Milchsäure lässt sich fermentativ aus Zucker gewinnen.
- **Minimierung von Derivaten:** Die Synthese von Ethyllactat oder PLA erzeugt keine unnötigen Derivate, der Cellulac-Prozess vermeidet sogar die Produktion von Wasser.
- **Katalyse:** Die biokatalytische Gewinnung von Milchsäure, PLA und Milchsäureestern ist möglich.
- **Biologische Abbaubarkeit:** Milchsäure und PLA lassen sich vollständig biologisch abbauen.
- **Echtzeitanalysen zur Reduktion von Schadstoffemissionen:** Bei der Synthese von PLA belegen Ökobilanzen, dass bei der Produktion die Menge an CO₂ reduziert wird.
- **Von Natur aus sicherere Chemie zur Unfallvermeidung:** PLA wird unter milden biokatalytischen Bedingungen synthetisiert, die erwiesenermaßen selten zu Unfällen führen.

Voraussetzungen der Lerngruppe

Eines der zentralen Inhaltsfelder in aktuellen Kernlehrplänen der Chemie für die gymnasiale Sekundarstufe II ist das Inhaltsfeld „Organische Kohlenstoffverbindungen und deren Synthese“. In diesem Zusammenhang werden häufig auch die Stoffklassen der Carbonsäuren und Alkohole sowie die Bildung von Makromolekülen (Polyester als Ergebnis einer Polykondensation) im Rahmen des Basiskonzeptes „Struktur und Funktion“ benannt.

In dieser Unterrichtsreihe wird im Sinne eines Spiralcurriculums die in der Sekundarstufe I eingeführte Thematik der Organischen Chemie wieder aufgegriffen und auf einem deutlich höheren Abstraktions- und Komplexitätsniveau ausdifferenziert. Während in der Sekundarstufe I normalerweise nur einfache Kohlenwasserstoffe und ggf. noch Alkohole im Mittelpunkt des Interesses stehen, werden hier vornehmlich die Carbonsäuren und Ester thematisiert. Beginnend mit einfachen Struktur-Funktionszusammenhängen endet die Reihe im Sinne einer stetig voranschreitenden Lernprogression mit komplexeren Molekülen (Polyester).

Mit dem Ziel, den Schülern die naturwissenschaftlichen Methoden der Erkenntnisgewinnung näherzubringen und damit ihre Kompetenz im Bereich Erkenntnisgewinnung zu fördern, werden in dieser Unterrichtsreihe viele Schülerversuche durchgeführt. Weiterhin sollen in der Reihe verstärkt Kompetenzen im Bereich Kommunikation und Bewertung gefördert werden. Deshalb wird in kooperativen Arbeitsphasen verstärkt die Verbalisierung dieser Grundlagen eingeübt. Die gesamte Unterrichtsreihe ist schüler- und lernprozessorientiert angelegt und bietet den Schülern die Gelegenheit, sich aktiv und eigenständig mit den neuen Unterrichtsinhalten auseinanderzusetzen.

Zentrale Leitgedanken und Intention der Unterrichtsreihe

Da die grundsätzliche Bedeutung von Kunststoffen in dieser Unterrichtsreihe nicht explizit thematisiert wird, soll an dieser Stelle kurz begründet werden, warum der Kontext „Biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW) am Beispiel von PLA“ aus didaktischer Sicht und im Hinblick auf das Thema Grüne Chemie sinnvoll erscheint:

- Die Thematisierung eines in der Natur vorkommenden Stoffes wie der Milchsäure trägt dazu bei, die Motivation der Schüler zu erhöhen. Dies hat eine umfangreiche Umfrage zum Abschluss der Unterrichtsreihe ergeben.
- Der Aspekt der Umweltfreundlichkeit von Produkten aus PLA wird von der Werbung aufgegriffen und kann als Ausgangspunkt für eine kritische Reflexion dieses Aspektes dienen.
- Ausgehend von der Milchsäure lässt sich der charakteristische Reaktionstyp der Polykondensation (hier die Polyesterbildung) selbstständig von den Schülern herleiten. Milchsäure eignet sich dafür in hervorragender Weise, da sie eine bifunktionelle Verbindung mit einer Hydroxyl- und Carboxylgruppe ist, sodass sie sich zu einem linearen Polyester polymerisieren lässt.
- Der Biokunststoff PLA erlangt Relevanz vor dem Hintergrund der zunehmenden Bedeutung nachwachsender Rohstoffe. Die Forderung, Möglichkeiten einer nachhaltigen Entwicklung im Unterricht mit den Schülern zu diskutieren, erfährt hier eine aktuelle und praxisbezogene Realisierung. Mit dem Wissen, dass petrochemische Quellen in Zukunft versiegen werden, soll bei den Schülern das Verantwortungsbewusstsein für Alternativen gefördert werden. Somit leistet die Unterrichtsreihe einen Beitrag zur Umwelterziehung und Erziehung zur Nachhaltigkeit.
- Am Beispiel von PLA lässt sich nicht nur die Problematik der Entsorgung von Kunststoffabfällen thematisieren, sondern es wird auch ein aktuelles Forschungsprojekt vorgestellt, mit dem ein Ausweg aus der unvollständigen Abfallerfassung geschaffen werden soll. Die Thematik der BAW leistet somit nicht nur einen Beitrag zur Umwelterziehung, indem innovative Lösungsansätze vermittelt werden, die zur Umweltentlastung beitragen können, sondern besitzt Zukunftsrelevanz.
- Eine Bewertung der unterschiedlichen Innovationen auf dem Gebiet der Biokunststoffe kann jedoch nur über eine Reflexion der naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen erfolgen. Am Beispiel des angeblich umweltfreundlicheren Joghurtbechers aus PLA der Firma Danone lässt sich z. B. zeigen, dass das Postulat der Umweltfreundlichkeit eines spezifischen Produktes nicht per se durch den Einsatz eines nachwachsenden Rohstoffes gegeben sein muss. Eine kritische Reflexion gelingt nur durch Ökobilanzen und Lebenszyklusanalysen, die in dieser Unterrichtsreihe anhand von konkreten Daten Anwendung finden.

Durchführung

Die Unterrichtsreihe ist modular aufgebaut, d. h., die einzelnen Doppelstunden können unabhängig voneinander oder kontinuierlich aufeinander folgend unterrichtet werden. Dabei muss die Doppelstunde 1 als Einführung in die Grüne Chemie notwendigerweise durchgeführt werden. Die folgenden Doppelstunden können dann wahlweise unterrichtet werden. Der gesamte Zeitbedarf für alle Module umfasst 10–12 Stunden. Nach den Erfahrungen aus dem Unterricht ergibt sich somit eine Zeitspanne von insgesamt maximal 4 Wochen. Viele typische Inhalte aus den Kernlehrplänen werden durch die Reihe abgedeckt, lediglich der Blickwinkel durch den Fokus auf die Grüne Chemie verschiebt sich. Ziel der Unterrichtsreihe ist die Einführung des Konzepts der Grünen Chemie. Sie deckt Aspekte der Organischen Chemie als auch der Kunststoffchemie nicht nur unter einem fachsystematischen Blickwinkel ab, sondern insbesondere einer nachhaltigen Synthesechemie. Die genannten Themenschwerpunkte der Reihe orientierten sich daher an den 12 Prinzipien der Grünen Chemie.

Mögliche Weiterführung der Einheit

Das Thema Bioabbaubare Kunststoffe leitet unmittelbar zum Inhaltsfeld Gleichgewichtsreaktionen und Massenwirkungsgesetz über, indem der Abbau der Polymilchsäure als Gleichgewichtsreaktion beschrieben wird. Die Fokussierung auf das Thema Biokunststoffe bietet ferner den Vorteil, das Inhaltsfeld „Stoffkreisläufe“ sinnvoll in die Gesamtkonzeption des Unterrichtsgangs der Einführungsphase zu integrieren. Es ergibt sich ein roter Faden über die gesamte Einführungsphase, der beginnend beim Thema Zucker am Anfang der Unterrichtsreihe im Kontext der Biokunststoffe und deren Recycling endet.

Literatur

- ▶ **P. Anastas, J. C. Warner:** *Grundlagenwerk zur Grünen Chemie – Green Chemistry: Theory and practice*, Oxford University Press, New York 1998.
- ▶ **M. Burmeister et al.:** *Ein WebQuest zur Grünen Chemie im Chemieunterricht. Chem. Kon.* 2011, 18, 123–128.
- ▶ **A. Lühken, H. J. Bader:** *Fachartikel über die Bedeutung von Nachhaltigkeit im Chemieunterricht. In GDCh (Hrsg.), Green Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim, 2003, 77–98.*
- ▶ **W. Klöpffer, B. Grah:** *Grundlagenwerk zur Erstellung von Ökobilanzen. Ökobilanz, Wiley-VCH, Weinheim, 2009.*
- ▶ **M. Linkwitz, I. Eilks:** *Kurzdarstellung der Unterrichtsreihe zur Grünen Chemie. Unterr. Chem.* 2019, 172, 19–23.
- ▶ **G. Wagner:** *Fachartikel über biologisch abbaubare Kunststoffe im Chemieunterricht. Unterr. Chem., 1999, 50, 24–28.*
- ▶ **C. Zowada et al.:** *Nachhaltigkeit bewerten im Chemieunterricht. Chem. kon. (2020), advance article. Fachartikel über Nachhaltigkeitsbewertungen im Kontext der Chemie.*
- ▶ **C. Zowada et al.:** *Fachartikel über aktuelle Nachhaltigkeitskonzepte im Kontext der Chemie. Unterr. Chem. 2019, 172, 2–9.*

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt LEK = Lernerfolgskontrolle Sv = Schülerversuch

1./2. Stunde

Thema:	Einführung in die Thematik Grüne Chemie
M 1 (Ab)	UHU stic ReNATURE – Der erste Klebestiftbehälter, der nachwächst?
M 2 (Ab)	Wie entstand die Idee von einer Grünen Chemie?
M 3 (Ab)	Die 12 Prinzipien der Grünen Chemie

3./4. Stunde



Thema:	Nachwachsende Rohstoffe
M 4 (Ab)	Von der Zuckerrübe zum Joghurtbecher
M 5 (Ab)	Was sind eigentlich nachwachsende Rohstoffe?

5./6. Stunde

Thema:	Gewinnung von Milchsäure und deren Verwendung
M 6 (Ab)	Milchsäure – Vorkommen und Verwendung
M 7 (Ab)	Biotechnologische Gewinnung von Milchsäure – Bakterien bei der Arbeit
M 8 (Sv)	Einfache Nachweise von Zuckern (Glukose und Laktose) und Milchsäure





Sv 1A: Fehling-Test: Nachweis von Trauben- und Milchzucker

Dauer: Vorbereitung: 10 min Durchführung: 10 min

Chemikalien:	<input type="checkbox"/> Zuckerhaltige Lebensmittel	<input type="checkbox"/> Fehling'sche Lösungen II  
	<input type="checkbox"/> Fehling'sche Lösungen I 	
Geräte:	<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe	<input type="checkbox"/> Pipetten
	<input type="checkbox"/> Reagenzgläser	<input type="checkbox"/> Gasbrenner
	<input type="checkbox"/> Reagenzglasklammer/Muffen	<input type="checkbox"/> Streichhölzer/Gasanzünder
	<input type="checkbox"/> Messzylinder	<input type="checkbox"/> Reagenzglasständer

Sv 1B: Nachweis der Milchsäure mit Resorcin

Dauer: Vorbereitung: 10 min Durchführung: 10 min

Chemikalien:	<input type="checkbox"/> Zuckerhaltige Lebensmittel	<input type="checkbox"/> Resorcin  
	<input type="checkbox"/> Eisen(III)-chlorid-Lösung  	
Geräte:	<input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe	<input type="checkbox"/> Pipetten
	<input type="checkbox"/> Reagenzgläser	<input type="checkbox"/> Spatel
	<input type="checkbox"/> Reagenzglasständer	<input type="checkbox"/> Reagenzglasklammer/Muffen



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.




Sv 1C: Nachweis der Milchsäure mit Guajakol**Dauer:** Vorbereitung: 10 min Durchführung: 10 min

- Chemikalien:**
- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Zuckerhaltige Lebensmittel | <input type="checkbox"/> Aqua dest. |
| <input type="checkbox"/> Natronlauge  | <input type="checkbox"/> Ethanol   |
| <input type="checkbox"/> Guajakol  | <input type="checkbox"/> konz. Schwefelsäure  |
- Geräte:**
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Schutzbrille/Kittel/Handschuhe | <input type="checkbox"/> Spatel |
| <input type="checkbox"/> Reagenzglas | <input type="checkbox"/> Pipetten |
| <input type="checkbox"/> Reagenzglasständer | <input type="checkbox"/> Waage |
| <input type="checkbox"/> Reagenzglasklammer/Muffen | <input type="checkbox"/> Erlenmeyerkolben |
| <input type="checkbox"/> Messzylinder | |



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.



7./8. Stunde**Thema:** Bedeutung innovativer Technologien in der grünen Synthesechemie (Enzymatik)**M 9 (Sv)** Enzymatische Synthese eines Frucht- und Emollientesters**Sv 2: Synthese eines Fruchtesters****Dauer:** Vorbereitung: 20 min Durchführung: 30 min

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



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.

Sv 3: Synthese eines Emollientesters**Dauer:** Vorbereitung: 20 min Durchführung: 30 min

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



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.



M 10 (Ab) Ökobilanz und Lebenszyklusanalyse – wie bewertet man die Umweltverträglichkeit eines Produktes?**M 11 (Ab)** Die industrielle (Grüne-Chemie-)Synthese eines Emollientesters und seine Ökobilanz**9./10. Stunde****Thema:** Synthese und Verwendung von PLA**M 12a (Sv)** Polymerisierung von Milchsäure zu PLA



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.

Sv 4: Säurekatalytische Synthese von Polymilchsäure

Dauer: Vorbereitung: 5 min Durchführung: 15 min





- Chemikalien:** Milchsäure  konz. Schwefelsäure 
- Geräte:** Schutzbrille/Kittel/Handschuhe Gasbrenner
 Reagenzgläser Siedesteinchen
 Reagenzglasstopfen Reagenzglaslammer
 skalierte Pasteurpipetten 10 ml Streichhölzer / Gasanzünder



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.

Sv 5: Ringöffnungspolymerisation von Polymilchsäure

Dauer: Vorbereitung: 5 min Durchführung: 15 min

- Chemikalien:** Lactid  Zinn(II)-chlorid   
- Geräte:** Schutzbrille/Kittel/Handschuhe Gasbrenner
 Reagenzgläser Siedesteinchen
 Reagenzglasstopfen Reagenzglaslammer
 Streichhölzer / Gasanzünder skalierte Pasteurpipetten 10 ml


M 12b (Sv) Grüne Synthesen von Polyestern mit Lipase und Mikrowelle



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.

Sv 6: Polyester auf der Basis von Zitronensäure

Dauer: Vorbereitung: 5 min Durchführung: 10 min


- Chemikalien:** Sorbit Zitronensäure 
- Geräte:** Schutzbrille/Kittel/Handschuhe Gasbrenner
 Reagenzgläser Spatel
 Waage Reagenzglasstopfen
 Reagenzglaslammer Streichhölzer / Gasanzünder



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.

Sv 7: Enzymatische Synthese eines Polyesters mittels Lipase

Dauer: Vorbereitung: 20 min Durchführung: 30 min


- Chemikalien:** Adipinsäure  Octandiol
 Lipase (Novozym 435)
- Geräte:** Schutzbrille/Kittel/Handschuhe Standzylinder
 Muffen/Klammern Glasschale
 Thermometer Waage
 Magnetrührer mit Heizplatte Stativ
 Magnetrührkerne digitales pH-Meter




Die GBUs finden Sie auf der CD 74.

Sv 8: Enzymatische Ringöffnungspolymerisation von Caprolacton mit Lipase

Dauer: Vorbereitung: 5 min Durchführung: 5 min

- Chemikalien:** ϵ -Caprolacton  Lipase (Novozym 435)
- Geräte:** Schutzbrille/Kittel/Handschuhe Waage
 Becherglas Pipette
 Trockenschrank Spatel

Sv 9: Synthese eines Polyesters in der Mikrowelle**Dauer:** Vorbereitung: 15 min Durchführung: 10 min

- Chemikalien:**
- Glycerin
 - Zitronensäure 
- Geräte:**
- Schutzbrille/Kittel/Handschuhe
 - Waage
 - Becherglas
 - Zeitschaltuhr
 - Mikrowelle
 - Spatel
 - Uhrglas



Die GBUs finden Sie auf der CD 74.

- M 13(Tx)** Danone-Verbrauchertäuschung
- M 14a(Ab)** Lebenszyklusanalysen von Kunststoffen im Vergleich
- M 14b(Ab)** Wie bewerte ich Nachhaltigkeit – Spinnennetzdiagramme
- M 15(LEK)** Klausur zur Grünen Chemie

Minimalplan

Die Unterrichtsreihe ist modular aufgebaut, d.h. die einzelnen Doppelstunden können unabhängig voneinander oder kontinuierlich aufeinander folgend unterrichtet werden. Dabei muss die Doppelstunde 1 als Einführung in die Grüne Chemie notwendigerweise durchgeführt werden. Die folgenden Doppelstunden können dann wahlweise unterrichtet werden.

SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus: *Einführung in die "Grüne Chemie"*

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

