

# NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

## » Die Natur als chemische Fabrik «

Lehrmaterialien für den  
naturwissenschaftlichen Unterricht der  
Sekundarstufe I

**Lehrerheft**

### NACHWACHSENDE ROHSTOFFE überall in unserer Welt

Folie 2



Mit Overheadfolien  
zur Visualisierung  
der Basisinformationen  
im Unterricht

Mit detaillierten  
Versuchsbeschreibungen  
für einen experimentellen  
Unterricht

Mit Schülerarbeitsbögen  
zur Wiederholung und  
Vertiefung des  
gemeinsam erarbeiteten  
Unterrichtsstoffes

Prof. Dr. Hans Joachim Bader/Dr. Sabine Nick/Prof. Dr. Insa Melle

# NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

## »Die Natur als chemische Fabrik«

Lehrmaterialien für den  
naturwissenschaftlichen Unterricht der  
Sekundarstufe I  
Lehrerheft



## DIE AUTOREN

PROF. DR. HANS JOACHIM BADER

Prof. Dr. Hans Joachim Bader, geb. 1946, Studium der Chemie, Promotion in organischer Chemie, Habilitation in Didaktik der Chemie. Von 1986 bis 1991 Professor für Didaktik der Chemie an der Universität Erlangen/Nürnberg, seit 1991 an der Universität Frankfurt.

PROF. DR. INSA MELLE

Prof. Dr. Insa Melle, geb. 1966, Studium der Chemie und Mathematik für das Lehramt an Gymnasien, 1. und 2. Staatsexamen, Promotion und Habilitation in Didaktik der Chemie. Von 1995 bis 1998 Wissenschaftliche Assistentin am Institut für Didaktik der Chemie der Universität Frankfurt/M., dann Professorin für Didaktik der Chemie an der Universität Jena, seit 1999 Lehrstuhlinhaberin an der Universität Dortmund.

DR. SABINE NICK

Dr. Sabine Nick, geb. 1963, Studium der Chemie an der Universität Frankfurt, Promotion in anorganischer Chemie. Seit 1999 Wissenschaftliche Assistentin am Institut für Anorganische Chemie der Universität Kiel und am Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) an der Universität Kiel. Ihre Hauptarbeitsgebiete sind die Entwicklung von computergestützten Lehr- und Lernmedien (ChemNet) und ihr Einsatz in der Hochschul- und Schulausbildung.

# INHALTSVERZEICHNIS

## 1. KAPITEL

Einführung .....	5
------------------	---

## 2. KAPITEL

Nachwachsende Rohstoffe als Unterrichtsinhalt .....	6
Die aktuelle Relevanz Nachwachsender Rohstoffe .....	6
Zur Auswahl der Inhalte .....	6
Einige Anmerkungen zur Unterrichtsmethodik .....	7
Über welche Vorkenntnisse sollten die Schülerinnen und Schüler verfügen? .....	7

## 3. KAPITEL

### Die Folien und Kopiervorlagen

Folie 1	Was sind Nachwachsende Rohstoffe? .....	8
Folie 2	Nachwachsende Rohstoffe – Überall in unserer Welt .....	10
Folie 3	Vom Nachwachsenden Rohstoff zum Produkt .....	12
Folie 4	Nachwachsende Rohstoffe und fossile Rohstoffe im Vergleich .....	13
Folie 5	Öle und Fette – Woraus und wie werden sie isoliert? .....	16
Folie 6	Was sind Öle und Fette? .....	18
Folie 7	Beispiel Raps: Waschmittel aus Pflanzenöl .....	21
Folie 8	Beispiel Raps: Wenig Chemie – Große Wirkung .....	25
Folie 9	Kunststoffe aus Pflanzen: Es geht auch ohne Erdöl .....	27
Folie 10	Cellulose, Stärke und Rübenzucker – Woher und wofür? .....	29
Folie 11	Holz: Wertvoller Baustoff, Rohstoff und Energielieferant .....	32
Folie 12	Wie wird Papier gemacht? .....	33
Folie 13	Die Renaissance der Pflanzenfasern .....	36
Folie 14	Flachs und Hanf – Verarbeitung und Produkte .....	37
Folie 15	Medizin aus der Natur: Möglichkeiten .....	38
Folie 16	Medizin aus der Natur: Grenzen .....	38
Folie 17	Energie aus Pflanzen .....	40

## ANHANG

Literaturhinweise .....	43
-------------------------	----

Nachwachsende Rohstoffe haben in den letzten Jahren eine immer größere Bedeutung erlangt. Entsprechend findet man nicht nur in der Fachliteratur, sondern auch in den Massenmedien nahezu jede Woche Informationen über neue Fortschritte auf diesem Gebiet. Gleichzeitig tauchen erklärungsbedürftige Begriffe wie „Biodiesel“ oder „Rapsölmethylester“ auf.

Trotz der raschen Entwicklung und der zukünftigen Bedeutung Nachwachsender Rohstoffe wurden bisher nur im geringen Maße Unterrichtsmaterialien zu diesem Themenbereich erstellt. Insbesondere die Sekundarstufe I wurde vernachlässigt. Die vorliegenden Medien helfen diesem Mangel ab und ermöglichen die Erarbeitung grundlegender Kenntnisse über Nachwachsende Rohstoffe.

Die Unterrichtsmaterialien bestehen aus

- 17 Overheadfolien,
- 17 Kopiervorlagen,
- einem Lehrerheft mit Basisinformationen und Hinweisen für die Unterrichtsgestaltung,
- einem Schülerheft zur Ergänzung und Nachbereitung des Unterrichts (Klassensatz),
- einem Videofilm.

Ziel ist es, eine allgemeine Übersicht über Nachwachsende Rohstoffe zu geben, wobei an ausgewählten Beispielen der Weg vom pflanzlichen oder tierischen Rohstoff bis zum Endprodukt aufgezeigt wird. Das Unterrichtspaket ist für den naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I, besonders für den Chemieunterricht, konzipiert. Gleichzeitig kann es aber auch als Grundlage für eine Unterrichtseinheit in der Sekundarstufe II dienen.

Ein Blick auf die Overheadfolien zeigt, dass diese in zwei Gruppen zerfallen: Die größere Gruppe von Folien kann ohne chemisches Detailwissen im Unterricht eingesetzt werden. Da hier die verschiedenen Gesichtspunkte der Thematik allgemein behandelt werden, können diese Folien nicht nur im naturwissenschaftlichen Unterricht, sondern auch in anderen Fächern wie Geographie oder Sozialkunde zum Einsatz kommen. Auf den übrigen Folien sind die chemischen Sachverhalte formelmäßig dargestellt. Diese Folien wird man ausschließlich im Fach Chemie einsetzen. Grundkenntnisse der organischen Chemie sind zum Verständnis erforderlich und müssen im Unterricht vorab erarbeitet werden.

Unverzichtbar im naturwissenschaftlichen Unterricht sind Experimente. Deshalb wurden in das Lehrerheft und in die Kopiervorlagen ausgearbeitete Vorschläge für relevante Schulversuche aufgenommen. Während die im Lehrerheft beschriebenen Experimente vorrangig Demonstrationsversuche sind, finden sich in den Kopiervorlagen Schülerversuche.

Im vorliegenden Begleitheft für Lehrerinnen und Lehrer werden zunächst einige Hinweise zur Erschließung des Themas Nachwachsende Rohstoffe im Unterricht gegeben. Wissenswertes über Nachwachsende Rohstoffe wird sodann in Form eines Begleittextes zu den einzelnen Folien aufgeführt. Dort sind auch Hinweise zum Einsatz der Kopiervorlagen sowie zur Durchführung der Versuche gegeben.

Inhaltlich ergänzen sich Lehrer- und Schülerheft an mehreren Stellen: Einige Sachverhalte sind im Schülerheft ausführlicher als im Lehrerheft dargestellt. Zur Vorbereitung des Unterrichtes sollten daher stets beide Broschüren dienen.

Im Sinne des exemplarischen Prinzips werden aus dem weiten Themenkomplex der Nachwachsenden Rohstoffe schwerpunktmäßig die heimischen Rohstoffe behandelt. Aber auch hier war eine Konzentration auf wenige, aber wichtige Beispiele notwendig. Die Materialien dienen als Einstieg, wobei Schülerinnen und Schüler genauso wie Lehrerinnen und Lehrer motiviert werden sollen, sich weiter mit diesem zukunftssträchtigen Thema zu beschäftigen.

# NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

## als Unterrichtsinhalt

### Die aktuelle Relevanz Nachwachsender Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe sind im vergangenen Jahrzehnt in den Mittelpunkt des Interesses von Chemie, Landwirtschaft, Politik und Verbrauchern gerückt. Durch die steigende Bedeutung ist auch die Schule gefordert, sich mit diesem Thema zu beschäftigen. Dabei sollte man den neuen Themenkomplex nicht als modischen Ballast des Unterrichts sehen, sondern die Chancen nützen, die sich durch die neuen Inhalte erschließen.

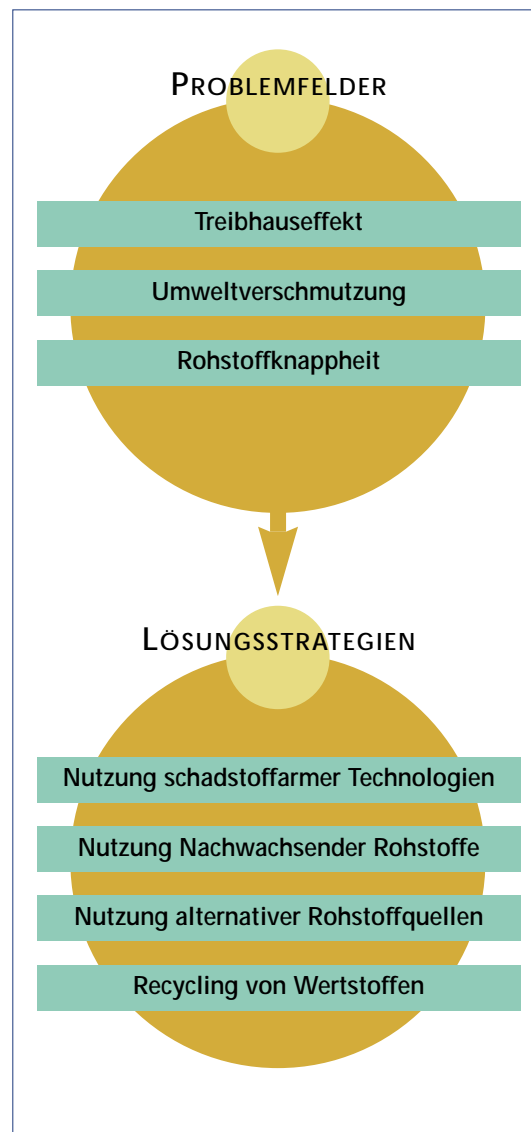
In vielen Fällen können Inhalte ausgewählt werden, die einen engen Bezug zur Lebens- und Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler haben. Anhand ausgewählter Beispiele wird der Weg von pflanzlichen Rohstoffen bis zum Produkt erarbeitet, das eine konkrete Anwendung hat. Pflanzliche Rohstoffe wie Sonnenblumenöl, Holz, Zucker oder Maisstärke sind den Schülerinnen und Schülern vertraut, und auch Produkte wie Tenside, Papier, Lacke oder Kunststoffe begegnen ihnen im täglichen Leben.

In der didaktischen Literatur wird die Notwendigkeit, solche Alltags- und Lebensweltbezüge auch im naturwissenschaftlichen Unterricht deutlich zu machen, immer wieder betont. In der Schulpraxis geht dieser Anspruch allerdings oftmals verloren: Häufig dient ein Aufhänger aus der Lebenswelt lediglich zum Einstieg in eine neue Thematik, es folgt ein Unterricht, der von den Problemen der Gegenwart völlig losgelöst ist. Schülerinnen und Schüler durchschauen dieses System bald, fühlen sich betrogen und reagieren mit Desinteresse.

Das Thema Nachwachsende Rohstoffe ist eng verknüpft mit grundlegenden Problemen unserer Zeit und zeigt Ansätze zu deren Lösung auf. Die nebenstehende Abbildung verdeutlicht dies.

Im oberen Feld sind mit Energie- und Rohstoffversorgung sowie der Umweltverschmutzung wesentliche Probleme dargestellt, im unteren Feld die dazugehörigen Lösungsstrategien. Alle Felder hängen mehr oder weniger voneinander ab und lassen sich nur schwer voneinander abgrenzen, wie folgendes Beispiel verdeutlicht: Furfural ist ein Lösemittel, das bei der Aufarbeitung von Erdöl eingesetzt wird. Es kann durch Einwirkung von Säure auf Zuckerrohrrückstände oder Maisabfälle gewonnen werden. Diese stellen somit einen nachwachsenden Rohstoff dar, der durch Nutzung von Sonnen-

energie – also einer erneuerbaren Energiequelle – erzeugt wurde. Gleichzeitig werden hier Abfallprodukte einer weiteren Verwendung zugeführt, was als Recycling angesehen werden kann.



Umweltprobleme und Lösungsstrategien

### Zur Auswahl der Inhalte

Anbau, Verarbeitung und Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen haben sich in den letzten Jahren sprunghaft entwickelt. Neben Industriepflanzen, Rohstoffen und Produkten, die sich auf dem Markt etabliert haben, gibt es eine Vielzahl neuer Ansätze. Die Zukunft wird zeigen, welche Konzepte sich als tragfähig erweisen. Man muss mit Schwerpunktverschiebungen, eventuell mit regelrechten Umbrüchen rechnen.

Hieraus resultiert die Gefahr, dass Unterrichtsmaterialien – wie die vorliegenden – rasch veralten. Um dies so weit wie möglich zu vermeiden, wurde auf statistische Angaben, etwa zu den Anbauflächen bestimmter Nutzpflanzen, bewusst verzichtet. Ferner wurden vor allem solche Verfahren und Produkte als Beispiele genannt, deren zukünftige Bedeutung außer Frage steht. An einigen Stellen werden jedoch auch prinzipielle Möglichkeiten aufgezeigt, die erst in einigen Jahren eine größere Bedeutung erlangen können.

Wie bereits erwähnt, werden schwerpunktmäßig pflanzliche, heimische Rohstoffe betrachtet. Obwohl auch tierische Rohstoffe, wie Fette, industriell genutzt werden, wird diese Thematik nur am Rande behandelt. Dies liegt darin begründet, dass der experimentelle Zugang – nicht zuletzt aus hygienischen Gründen – in der Schule stark eingeschränkt ist.

Für den Chemie- und Biologieunterricht sind viele Inhalte, die aus dem Blickwinkel des Themas Nachwachsende Rohstoffe gesehen werden können, nicht neu. Öle, Fette und Seifen sind schon immer Bestandteil der Lehrpläne für den Chemieunterricht. Bei vorliegenden Lehrmaterialien bleibt die Erarbeitung der Themen aber nicht beim Altbewährten stehen, sondern erfährt eine Erweiterung: Eine neue Sichtweise steht im Vordergrund.

Ist eine Vertiefung einzelner Gebiete gewünscht, so findet man Vorschläge hierzu in der angegebenen Literatur. Besonders für den Bereich der Sekundarstufe II sind in den letzten Jahren schulrelevante Veröffentlichungen mit einer Vielzahl ausgearbeiteter Experimente erschienen.

#### Einige Anmerkungen zur Unterrichtsmethodik

Das Thema Nachwachsende Rohstoffe eignet sich hervorragend auch für den fächerübergreifenden Unterricht. Biologische, chemische, erdkundliche und ökonomische Aspekte sind gleichermaßen von Bedeutung. Auch die Behandlung des Themas im Rahmen eines Projekt- oder projektorientierten Unterrichts bietet sich an. Bei längerfristiger Planung kann der gesamte Weg von der Pflanze bis zu einem gebrauchsfähigen Produkt nachvollzogen werden. So wäre es möglich, im Schulgarten Sonnenblumen anzubauen, aus den Kernen das Öl zu isolieren und es zu verschiedenen Produkten weiterzuverarbeiten.

Gleichzeitig können bei einem eingeschränkten Zeitrahmen auch nur Segmente dieses Weges nachvollzogen werden. Aus der Folge

- Anbau von Sonnenblumen und Ernte,
- Gewinnung von Sonnenblumenöl,
- Herstellung von Seife aus Sonnenblumenöl,
- Eigenschaften von Seife

lassen sich ggf. nur die beiden letzten Schritte praktisch erarbeiten. Es ist aber empfehlenswert, zumindest an einem Beispiel die letzten drei Schritte nachzuvollziehen.

Bei der Behandlung der Petrochemie können die wesentlichen Schritte auf dem Weg vom Rohstoff bis zu einem gebrauchsfähigen Produkt in der Regel nur theoretisch erarbeitet werden. Hier bietet der Themenbereich Nachwachsende Rohstoffe also deutliche Vorteile.

#### Über welche Vorkenntnisse sollten die Schülerinnen und Schüler verfügen?

Für eine allgemeine Erarbeitung des Themas in der Sekundarstufe I sind keine besonderen Vorkenntnisse notwendig, da der chemische Aufbau der Inhaltsstoffe Nachwachsender Rohstoffe zunächst vernachlässigt werden kann. Ebenso können die weiteren Umsetzungen bis zu den Produkten stark vereinfacht betrachtet werden. Diese Vorgehensweise bietet sich im Bereich der Hauptschule und eventuell auch dann an, wenn organisch-chemische Inhalte noch nicht Thema des Unterrichts waren. Ohne spezielle chemische Kenntnisse lassen sich beispielsweise die Gewinnungsmethoden von pflanzlichen Ölen und Fetten, die Verwendung etwa als Hydrauliköl, die Gewinnung und Verwendung von Stärke, die Verwendung von Holzprodukten sowie die Verarbeitung von Faserstoffen verstehen.

In Zusammenhang mit den Ölen und Fetten werden hier nur sehr einfache grundlegende Reaktionen betrachtet. Reaktionsmechanismen wurden nicht berücksichtigt, da sie prinzipiell den Rahmen des Unterrichts in der Sekundarstufe I sprengen. Für eine tiefer gehende Behandlung sollte das organisch-chemische Vorwissen der Schülerinnen und Schüler die Stoffklassen Alkohole, Carbonsäuren und Ester einschließen.

Ebenso wurde die Chemie der Kohlenhydrate wegen ihrer Komplexität und der dazu erforderlichen umfangreichen Vorkenntnisse weitgehend ausgeklammert.

**WAS SIND**  
Nachwachsende Rohstoffe? Folie 1

Nachwachsende Rohstoffe sind land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die einer Verwendung im Nichtnahrungsbereich zugeführt werden. Sie können stofflich oder energetisch genutzt werden.

Industriepflanzen sind ein- oder mehrjährige Pflanzen, die zur gezielten Erzeugung von Rohstoffen für die Industrie außerhalb der Nahrungskette dienen.

Werden Pflanzen als Energieträger für die Wärme- und Stromgewinnung eingesetzt, spricht man von Energiepflanzen.



Diese erste Folie dient der Klärung der zentralen Begriffe „Nachwachsende Rohstoffe“, „Industriepflanze“ und „Energiepflanze“.

Ergänzend sind einige historische Aspekte genannt, die sich in gekürzter Form auch im Schülerheft wieder finden.

Die Definition des Begriffs „Nachwachsende Rohstoffe“ ist nicht ohne Probleme: Oftmals werden alle Quellen für organische Rohstoffe, die nicht fossilen Ursprungs sind, darunter verstanden. Nach dieser Definition gehören z. B. auch Klärschlamm zu den Nachwachsenden Rohstoffen.

Es wurden deshalb zusätzlich die Begriffe der „Industriepflanze“ und „Energiepflanze“ eingeführt:

Eine Industriepflanze ist eine ein- oder mehrjährige Kulturpflanze, die zur gezielten Erzeugung von Rohstoffen für die Industrie außerhalb des Nahrungs- und Futtermittelsektors angebaut wird.

Werden Pflanzen für eine energetische Nutzung kultiviert, spricht man von Energiepflanzen. Danach sind Nachwachsende Rohstoffe in erster Linie Produkte des Industrie- und Energiepflanzenanbaus.

Diese Definition ist jedoch sehr eng gefasst, da durchaus Pflanzen angebaut werden, die gleichzeitig als Nahrungsmittel- oder Futterpflanzen *und* als Rohstofflieferanten für die chemische Industrie oder zur Energiegewinnung dienen. Man denke an die Kokospalme, deren Nüsse zum direkten Verzehr und zur Gewinnung von Öl sowohl für den menschlichen Genuss als auch als Chemierohstoff geerntet werden. Ein anderes Beispiel kann das bei der Getreideproduktion anfallende Stroh sein: Stroh kann zum einen als Einstreu für Tiere verwendet werden, lässt sich aber zum anderen auch energetisch verwerten. Ferner wird durch die Eingrenzung vernachlässigt, dass auch tierische Produkte – wie

etwa Fette – eine sich wieder erneuernde Rohstoffbasis darstellen.

Aus diesem Grund wird hier eine weiter gefasste Definition Nachwachsender Rohstoffe verwendet: Unter Nachwachsenden Rohstoffen versteht man land- oder forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die einer Verwendung im Nichtnahrungsbereich zugeführt werden. Sie können stofflich und energetisch genutzt werden.

Erwähnt sei an dieser Stelle auch, dass der Begriff „Nachwachsende Rohstoffe“ oft fälschlicherweise ausschließlich mit der Gewinnung von Motortreibstoffen aus pflanzlichen Rohstoffen („Biodiesel“) gleichgesetzt wird, obgleich die Herstellung von Treibstoffen nur einen Teilbereich der möglichen industriellen und energetischen Nutzung pflanzlicher Materialien ausmacht.

### Historisches

Pflanzliche und tierische Produkte dienten über Jahrtausende nicht nur als Werkstoffe, Baustoffe und zu Bekleidungszwecken, sie waren auch der einzige Zugang zu organischen Substanzen.

Hier einige Beispiele:

- Baumharze und Holzteer wurden zum Imprägnieren von Hölzern, zum Abdichten von Schiffen, Fässern und anderen Behältern genutzt. Noch in den 60er Jahren dieses Jahrhunderts imprägnierte man die hölzernen Laufflächen von Langlaufskiern mit Holzteer.
- Pflanzenfasern wie Flachs, Hanf, Jute oder Sisal waren Grundstoffe für die Erzeugung von Seilen und Tauen. Bis etwa 1950 wurden die meisten Schiffe mit aus Hanf hergestellten Tauen und aus Hanf gewebten Segeln bestückt.
- Bis weit in das 19. Jahrhundert boten Pflanzenfarbstoffe die einzige Möglichkeit zum Färben von Textilien. Bekannt sind Indigo, der in Europa aus Färberwaid gewonnen wurde, und das aus der Krappwurzel gewonnene Alizarin. Während Indigo den bekannten blauen Farbton ergibt, erhält man mit Alizarin rote Farbtöne. Bereits im 13. und 14. Jahrhundert gab es in Kleinasien eine ausgereifte Technologie zum Färben mit Alizarin, die sogenannte Türkischrot-Färberei.



- Auch Fette, Seifen und Öle werden seit Jahrhunderten, ja seit Jahrtausenden verwendet. Bereits die Ägypter verwendeten zur Herabsetzung der Reibung ihrer Wagenachsen einen Schmierstoff, der modernen Rezepturen entfernt ähnelt. Sie mischten Olivenöl mit gebranntem Kalk. Dabei entstand eine Mischung aus unverseiftem Olivenöl, Glycerin und den Kalkseifen der entsprechenden Fettsäuren. Moderne Schmierfette bestehen aus einer Mischung von Metallsalzen einer Fettsäure und Paraffinöl.
- Im frühen Mittelalter setzte sich in den Haushalten das Seifensieden durch. Seifensieder und Kerzenmacher wurden eigenständige Berufe. Ende des 18. Jahrhunderts begann die industrielle Herstellung von Seife; trotzdem war es noch lange üblich, Seife im eigenen Haushalt herzustellen.

Erst im 19. Jahrhundert lernten die Chemiker, gezielt Kohle – bzw. den bei der Verkokung von Kohle anfallenden Teer – zu nutzen. Inhaltsstoffe des Teers waren die Rohstoffe für die aufblühenden Farbenfabriken. Auch die ersten Kunststoffe, die

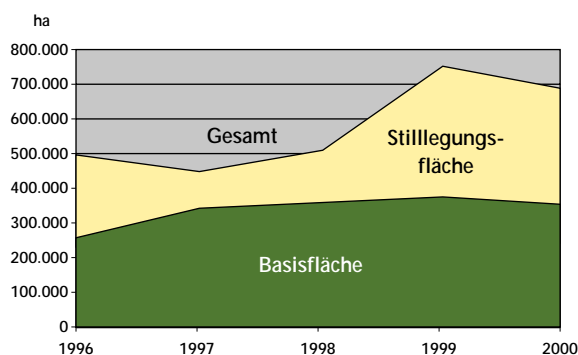
Bakelite, basierten auf Teerinhaltstoffen. Bis zum Zweiten Weltkrieg, in einigen Staaten noch lange danach, war dann Acetylen, das ebenfalls auf der Basis von Kohle hergestellt wurde, die Schlüsselsubstanz für die Erzeugung vieler organischer Chemikalien.

Treibstoffe für Verbrennungsmotoren wurden seit jeher überwiegend auf Basis von Erdöl hergestellt. Die in Deutschland vor und im Zweiten Weltkrieg großtechnisch angewendeten Verfahren zur Gewinnung von Treibstoffen aus Kohle erwiesen sich aber als nicht ökonomisch. Allerdings konnte so die mangelnde Verfügbarkeit von Erdöl ausgeglichen werden.

Nach dem Zweiten Weltkrieg avancierten Erdöl und Erdgas zu den meistgenutzten Ausgangsstoffen für organische Chemikalien. Nachwachsende Rohstoffe, die schon in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den Hintergrund gedrängt worden waren, verloren noch mehr an Bedeutung. Dies zeigt auch die landwirtschaftliche Statistik: Von den 40 Nutzpflanzen, deren Anbau nach dem Zweiten Weltkrieg eingestellt wurde, waren 30 Industriepflanzen.

## Nachwachsende Rohstoffe: Anbauflächen in Deutschland (in ha)

Rohstoff	2000		1999		1998	
	Basisfläche	Still.-fläche	Basisfläche	Still.-fläche	Basisfläche	Still.-fläche
Stärke	125.000		125.000		125.000	
Zucker	7.000		7.000		7.000	
Rapsöl	75.000	332.978	10.000	359.742	81.000	143.270
Sonnenblumenöl	20.000	5.279	21.000	7.048	21.000	3.120
Leinöl	107.000	1.096	199.000	1.041	110.000	443
Faserpflanzen	4.000	78	4.000	38	4.000	24
Heilstoffe	4.000	606	4.000	899	4.000	933
Sonstiges		1.354		684		318
Summe	342.000	341.391	370.000	369.452	352.000	148.108
Anbau insgesamt	683.391		739.452		500.108	





Genauere Informationen zu Fasern sind in den Begleittexten der Folien 13 und 14 enthalten.

Nachwachsende Rohstoffe finden in sehr vielen Bereichen Verwendung. Anwendungen, auf die in den anderen Folien noch näher eingegangen wird, sind hier nur knapp dargestellt.

### Waschmittel (Tenside, Seifen)

Schmutz- und fettlösende Substanzen lassen sich aus Pflanzenölen oder tierischen Fetten gewinnen. Im einfachsten Fall werden diese Rohstoffe mit Natronlauge zur Reaktion gebracht, wobei Seifen entstehen.

### Pharmazeutika

Zahlreiche Pflanzen enthalten medizinisch wirksame Stoffe. Die Synthese solcher Verbindungen lässt sich oft nur in vielen Reaktionsschritten bewerkstelligen, so dass ihre Gewinnung aus Pflanzen auch heute noch sinnvoll ist.

### Kautschuk

Durch Anritzen der Rinde von Gummibäumen erhält man eine Milch, die Kautschuk enthält. Der daraus gewonnene Rohkautschuk – eine feste, leicht klebrige Masse – kann durch Vulkanisation (Vernetzung der Polymerketten mit z. B. Schwefel) zu Gummi verarbeitet werden. Gummi gehört zu den am längsten bekannten polymeren Werkstoffen. Obwohl es inzwischen viele synthetische Elastomere gibt, wird Gummi auf der Basis von Naturkautschuk wegen seiner speziellen Eigenschaften auch heute noch viel verwendet.

### Kunststoffe

Nicht nur petrochemische Rohstoffe, sondern auch Pflanzenöle, verschiedene Zucker, Stärke und Cellulose können zur Herstellung von Kunststoffen dienen. Seit langem bekannt sind Acetylcellulose (Kunstseide) und Regeneratcellulose (Kunstseide, Rayon). Neue Entwicklungen gehen in Richtung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Aber auch für

„klassische“ Polymere aus der Gruppe der Polyurethane und Polyester sollen zukünftig pflanzliche Rohstoffe verwendet werden.

### Fasern

Schon immer wurden Pflanzen zur Gewinnung von Fasern angebaut. Insbesondere der Flachsanbau hat bei uns eine lange Tradition. In den letzten 50 Jahren wurden pflanzliche Fasern von synthetischen Fasern weitgehend verdrängt, da diese oft billiger, belastbarer und nicht verrottbar sind. In der Textilbranche hat sich allerdings wieder ein Trend zu Naturfasern entwickelt. Neue Verarbeitungs- und Veredelungstechniken machen den Einsatz von Pflanzenfasern aber auch in anderen Bereichen interessant, z. B. bei der Herstellung von Innenverkleidungen für Kraftfahrzeuge.

### Seide

Die Raupe des Maulbeerspinners, einer Schmetterlingsart, erzeugt beim Verpuppen glänzende Fasern, die Seide. Jeder Kokon ist aus ca. 3.000 bis 4.000 m Faden gewickelt, aus denen sich 700 bis 1.000 m regelmäßiger Faden gewinnen lassen. Chemisch besteht Seide aus Proteinen. Nach dem Verspinnen wird Seide hauptsächlich zu Textilien verarbeitet. Naturseide hat nach wie vor eine große Bedeutung in der Bekleidungsindustrie. Als Pulver findet Seide bei der Herstellung von Kosmetika (Hautcreme, Lippenstifte, Puder) Verwendung.

### Wolle

Wolle gehört mit Abstand zu den wichtigsten tierischen Textilfasern. Als Wolle werden die Haare oder Unterhaare verschiedener Tierarten bezeichnet: Schaf (Merino), Lama (Alpaka), Kamel, Kaninchen (Angora) und Ziege (Mohair, Kaschmir). Chemisch handelt es sich bei Wolle um eine Eiweißfaser. Sie besteht zum Großteil aus Keratinen (Skleroproteine). Heutzutage rangiert Wolle mengenmäßig weit hinter der Baumwolle und den synthetischen Fasern und wird vorrangig zu Textilien, Watte oder Filz verarbeitet. Bevor Baumwolle und synthetische Fasern durch die Entwicklung geeigneter Verarbeitungsmaschinen in großen Mengen genutzt werden konnten, war tierische Wolle die für den Menschen wichtigste spinnbare Faser.

### Baumwolle

Baumwolle wird aus den Samenhaaren des Baumwollstrauches gewonnen. Die etwa walnussgroßen Früchte (Baumwollkapseln) enthalten ein Büschel

Weitere Informationen sind im Begleittext zu Folie 9 zu finden.

feiner, weißlich gefärbter und bis zu 5 cm langer Samenhaare. Die reifen Kapseln platzen auf, so dass die Samenhaare manuell, mit Rechen oder Spezialmaschinen abgepflückt werden können. Die faserartigen Samenhaare werden zu Fäden versponnen. Durch die Behandlung mit kalter Natronlauge (Mercerisation) kann der Baumwolle mehr Festigkeit und ein dauernder Glanz verliehen werden. Chemisch besteht Baumwolle zu 90 % aus Cellulose. Baumwolle wird, oft in Verbindung mit anderen Fasern (Mischgewebe), zu Textilien und zu Watte verarbeitet.

### Papier

Hauptbestandteil des Papiers ist die aus Holz und anderen lignocellulosehaltigen Materialien, wie z. B. Stroh, Miscanthus oder Hanf, durch verschiedene Aufschlussverfahren gewinnbare Cellulose (Zellstoff). Abhängig von Papierart und -qualität werden bei der Herstellung andere Rohstoffe wie Altpapier und Hilfsmittel wie Leim, Wasser, Füllstoffe und Stärke zugesetzt. Sehr billige Papiere bestehen größtenteils aus Holzschliff, staubförmig zermahlene Holzteilchen.

### Brennstoffe

Die Endlichkeit fossiler Brennstoffe macht es notwendig, andere Energiequellen zu erschließen. Neben umweltfreundlichen Technologien, z. B. der Solar- und Windenergie, und umstrittenen Verfahren wie der Kernenergie ist auch die Energiegewinnung aus Pflanzen durchaus diskutabel. Dabei wird – anders als bei fossilen Rohstoffen – kein zusätzliches Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Für die energetische Nutzung kommen sowohl Abfälle der Getreideproduktion (Stroh, Spreu) als auch schnell wachsende Baumarten wie Pappeln oder Weiden und allgemein Durchforstungsholz in Betracht. Ein vollständiger Ersatz fossiler Brennstoffe ist wegen der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Anbauflächen nicht möglich. Es ist jedoch sinnvoll, stillgelegte Agrarflächen zum Anbau von Energiepflanzen zu nutzen, um so die begrenzten Ressourcen an fossilen Energieträgern zu schonen.

### Treibstoffe

Treibstoffe für Verbrennungsmotoren unterliegen der gleichen Problematik wie Brennstoffe: Die natürlichen Vorkommen an fossilen Energieträgern sind begrenzt, es muss nach Alternativen gesucht werden. Zwei Möglichkeiten bieten sich an: Treibstoffe aus Pflanzenölen wie „Biodiesel“ und das durch Gärung gewonnene Ethanol. Eine vollständige Substitution von Treib-

stoffen fossilen Ursprungs durch Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ist jedoch nicht möglich. Ferner muss auch der Energieaufwand etwa zur Produktion von Treibstoffen auf der Basis von Pflanzenölen berücksichtigt werden.

### Hydrauliköle

Öle aus nachwachsenden Rohstoffen besitzen gegenüber Ölen fossilen Ursprungs einen großen Vorteil: Sie sind biologisch abbaubar. Gerade bei land- und forstwirtschaftlichen Maschinen und Gerätschaften sowie Schiffen und Baumaschinen ist die Umweltverträglichkeit das entscheidende Argument. Ein Liter Öl auf Erdölbasis verseucht eine Million Liter Grundwasser und macht es als Trinkwasser ungenießbar.

### Lösemittel

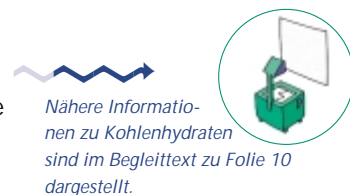
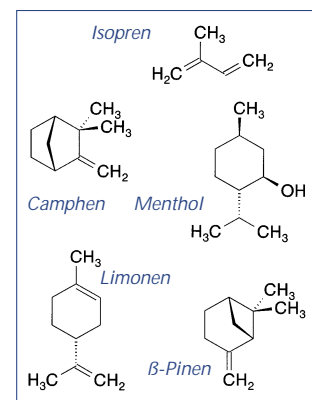
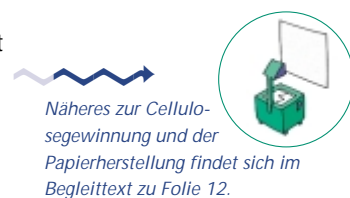
Viele Pflanzen enthalten Terpene, die als Duft- und Aromastoffe, aber auch als Lösemittel Verwendung finden. Am bekanntesten ist das aus harzreichem Kiefernholz durch Wasserdampfdestillation gewinnbare Terpentinöl, das eine Mischung verschiedener Terpene darstellt. Formal leiten sich die Terpene vom Kohlenwasserstoff Isopren ( $\text{H}_2\text{C}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) ab. Beispiele sind *Camphen*, *Menthol*, *Limonen* und *Pinen*. Terpene können Fluorchlorkohlenwasserstoffe (Frigene) und andere halogenierte Lösemittel ersetzen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass auch aus Pflanzen gewonnene Terpene gesundheitsschädlich sein können.

### Lackharze, Ölfarben

Einige Baumharze lassen sich für die Herstellung von Lacken verwenden. Aus den Samen des Flachs (Leinsamen) wird Leinöl gewonnen. Leinöl zählt zu den trocknenden Ölen und dient zur Herstellung von Ölfarben, Firnissen, Öllacken, Linoleum und Druckfarben.

### Kohlenhydrate

Kohlenhydrate wie Stärke, Rübenzucker und Cellulose sind wichtige Industrierohstoffe. Stärke dient u. a. zur Herstellung von Kleister und Leimen und ist wichtiger Zusatzstoff der Papierindustrie. Ferner dient sie als Substrat bei Fermentationsprozessen. Saccharose wird in der Kunststoff- und Tensidchemie eingesetzt und in großen Mengen für biotechnologische Fermentationsprozesse benötigt. Cellulose ist Hauptrohstoff für die Papierherstellung und findet auch bei der Erzeugung von Watte und Textilfasern (Viskose, Rayon etc.) Verwendung.





Näheres zur Papierherstellung siehe Folie 12.

Ergänzend lässt sich Kopiervorlage A einsetzen. Der erste Teil wiederholt den Lernstoff der Folien 1 und 2. Der zweite Teil regt die Schülerinnen und Schüler dazu an, Pflanzen als Rohstofflieferanten zu erkennen.

Der Weg von einem Nachwachsenden Rohstoff bis zu einem Produkt ist nicht immer offensichtlich. Anhand von vier Beispielen werden auf Folie 3 vereinfacht Zusammenhänge aufgezeigt. Komplizierte chemische Umsetzungen oder Verarbeitungstechniken sind dabei ausgeklammert.

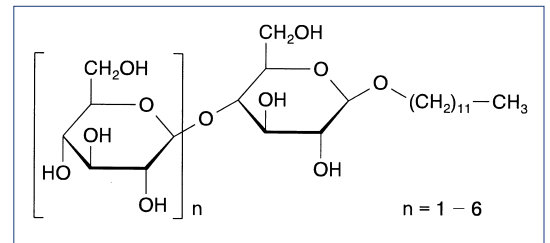
Die Inhalte sind auf zwei Overlayfolien angeordnet. Auf der ersten Teilfolie werden nur die Produkte aus Nachwachsenden Rohstoffen aufgezeigt. Diese sind Papier, Waschmittel, Biodiesel und Kunststoffe. Die zweite Teilfolie nennt die Rohstoffe, die zu den genannten Produkten umgesetzt werden (Cellulose, Zucker, Rapsöl und Rizinusöl), sowie die Rohstoffquelle, bei den hier genannten Beispielen die Pflanzenart: Bäume, Zuckerrübe, Rapspflanze und Rizinusstaude.

### Papier

Neben Altpapier sind die aus Holz gewonnenen Rohstoffe Holzschliff und Zellstoff die wichtigsten Edukte für die Papierherstellung. Zellstoff lässt sich durch den Aufschluss von Holz gewinnen.

### Waschmittel

Neuartige, nichtionische Tenside (Niotenside) lassen sich durch Umsetzung von Zuckern mit Fettalkoholen gewinnen. Die entstehenden Alkylpolyglycoside (APGs) sind durch die zahlreichen Hydroxygruppen auch bei niedrigen Wassertemperaturen gut löslich. Alkylpolyglycoside basieren vollständig auf Nachwachsenden Rohstoffen, da sowohl Zucker als auch Fettalkohole pflanzlichen Ursprungs sind. Sie sind biologisch abbaubar und zeichnen sich gegenüber vielen anderen Tensiden durch ihre höhere Umweltverträglichkeit aus. Beispiel eines solchen APGs ist das bekannte Plantaren®.



Plantaren®: Bis zu sieben Glucoseeinheiten sind glykosidisch mit einem Fettalkohol, der zumeist zwölf Kohlenstoffatome enthält, verknüpft.

### Biodiesel

Rapsölmethylester (RME) oder auch Biodiesel kann Dieselkraftstoffe petrochemischer Herkunft ersetzen. Aus dem Rapssamen lässt sich Rapsöl isolieren. Dieses kann mit Methanol zu Rapsölmethylester umgesetzt werden.

### Kunststoffe

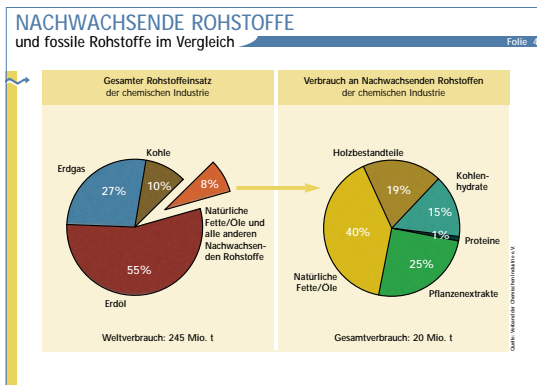
Fette und Öle pflanzlicher oder tierischer Herkunft können auch als Edukte für die Darstellung von Polymeren dienen. Funktionelle Gruppen an den Fettsäureresten, wie Hydroxygruppen oder Doppelbindungen, ermöglichen eine Umsetzung zu Makromolekülen: So können z. B. Fettsäurereste mit freien Hydroxygruppen direkt mit Polycarbonsäuren zu Polyestern reagieren. Doppelbindungen lassen sich durch Wasserstoffperoxid epoxidieren und mit gängigen Methoden analog petrostämmigen Epoxiden zu Kunststoffen verarbeiten. Ein Beispiel ist das Rizinusöl. Es enthält sowohl freie Hydroxygruppen als auch Doppelbindungen in den Fettsäureresten.

### Kopiervorlage A

- TEIL: Folgende Wörter müssen der Reihe nach in den Lückentext eingefügt werden: Erdöl – Erdgas – fossile – Rohstoffquellen – land- oder forstwirtschaftlich – Nichtnahrungsbereich – stofflich – energetisch – Industriepflanzen – Erzeugung
- TEIL: Folgende Pflanzen können u. a. genannt werden: Bäume – Baumwolle – Crambe – Erbse – Flachs/Faserlein – Getreide – Gummibaum – Hanf – Jute – Kartoffeln – Kautschukbaum – Kokospalme – Limonen – Mais – Öllein – Ölpalme – Orangen – Raps – Rizinusstaude – Roggen – Schilfgras – Sisal – Soja – Sonnenblumen – Weizen – Zitronen – Zuckerrohr – Zuckerrübe

Rapsölmethylester siehe auch Folie 8.

Näheres zu Polymeren aus Nachwachsenden Rohstoffen findet man im Begleittext zu Folie 9..



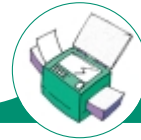
Die Folie verdeutlicht, in welchem Umfang die chemische Industrie nachwachsende Rohstoffe nutzt. Im Unterricht können hier die Vor- und Nachteile nachwachsender Rohstoffe einerseits und Erdöl, Erdgas und Kohle andererseits erarbeitet werden.

Der Großteil der fossilen Rohstoffe wird zur Energiegewinnung genutzt: So werden rund 29 % der Mineralölprodukte als Treibstoffe im Verkehr verwendet, 35 % werden zum Heizen verbraucht, rund 22 % werden in Kraftwerken und in der Industrie zur Energieerzeugung eingesetzt, und nur 7 % werden für die Produktion von Kunststoffen und Chemikalien genutzt. Zwar lassen sich auch nachwachsende Rohstoffe, wie z. B. Holz, zur Energiegewinnung nutzen, ihr Heizwert liegt jedoch unter dem fossiler Rohstoffe. Treibstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind noch wenig etabliert. Durch ihre große Umweltverträglichkeit sind sie insbesondere für umweltsensible Bereiche (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Schifffahrt, Baugewerbe) interessant.

Die industrielle organische Synthesechemie basiert heute zum überwiegenden Teil auf Erdöl und Erdgas. Diese Ausgangsstoffe ermöglichen im großen Maßstab den einfachen Zugang zu einer Vielzahl von Folgeprodukten, die unser Leben in den letzten 50 Jahren nachhaltig beeinflusst haben. Die gesamte chemische Industrie benötigt allerdings nur einen Bruchteil der Mineralölprodukte als Rohstoffe. Gut die Hälfte davon wird für die Herstellung von Kunststoffen eingesetzt.

Analysiert man den Rohstoffeinsatz der chemischen Industrie genauer, zeigt sich, dass über 90 % der Ausgangsstoffe fossilen Ursprungs sind. Die Gründe hierfür sind bewährte petrochemische Verarbeitungsverfahren und -möglichkeiten und die bisher hohe Verfügbarkeit von Erdöl. Nachwachsende Rohstoffe machen am Rohstoffeinsatz nur rund

### Kopiervorlage B



Folgende Argumente können u. a. genannt werden.

#### NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

##### LANDWIRTSCHAFT

- + Produktions- und Einkommensalternative zu Nahrungspflanzen
- + Neue Züchtungen steigern die Wirtschaftlichkeit nachwachsender Rohstoffe

##### UMWELT

- + Umweltverträglicher Anbau
- + Biologische Abbaubarkeit vieler Produkte
- + Der Artenverarmung könnte entgegengewirkt werden
- + Bei der Verbrennung wird nur so viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt, wie (kurze Zeit vorher) beim Wachsen der Pflanze gebunden wurde
- + Bindet Kohlenstoffdioxid und wirkt so dem Treibhauseffekt entgegen

##### INDUSTRIE

- + Produkte, die nicht aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden können, sind verfügbar
- + Produkte haben gute Kundenakzeptanz
- Hohe Forschungskosten
- Ernteschwankungen

#### FOSSILE ROHSTOFFE

##### UMWELT

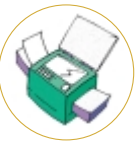
- Gewinnung und Transport können umweltgefährdend sein
- Bei der Verbrennung wird Kohlenstoffdioxid frei, das bereits vor Jahrmillionen aus der Luft gebunden wurde
- Begrenzte Ressourcen werden rasch aufgezehrt

##### INDUSTRIE

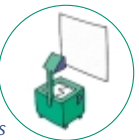
- + Gute Verarbeitungsmöglichkeiten
- + Bewährte Verarbeitungsverfahren
- + Manche Produkte bisher teilweise nicht ersetzbar
- + Niedrige Preise



Abschließend lässt sich Kopiervorlage B einsetzen. Sie dient der Ergebnissicherung.



Näheres zur Energiegewinnung aus Pflanzen siehe Folie 17.



8 % aus. Diese 8 % gliedern sich in 40 % Fette und Öle, 19 % Holzbestandteile, 15 % Kohlenhydrate, 25 % Pflanzenextrakte und knapp 1 % Proteine. Sowohl im Bereich der Energieerzeugung als auch im Bereich der chemischen Rohstoffe ist eine Ergänzung oder teilweise Substitution von Erdöl und Erdgas notwendig, wie die unten folgende Zusammenstellung der Vor- und Nachteile verschiedener Rohstoffquellen zeigt. Ein wertender Vergleich zwischen nachwachsenden und fossilen Rohstoffen ist jedoch nur bedingt möglich, da der derzeitige Stellenwert fossiler Ausgangsstoffe weit über dem von Rohstoffen pflanzlicher und tierischer Herkunft steht. Selbst wenn alle Argumente für nachwachsende Rohstoffe sprechen würden, wäre wegen der begrenzten Ackerflächen ein Verzicht auf fossile Rohstoffe nicht möglich. Dennoch kann eine Gegenüberstellung neue Denkanstöße geben und die Beurteilung zukünftiger Alternativen erleichtern. Die Bewertung von Vor- und Nachteilen muss Aspekte der Landwirtschaft, der Umwelt und der Industrie berücksichtigen.

#### Nachwachsende Rohstoffe & Landwirtschaft

- + Nachwachsende Rohstoffe stellen für landwirtschaftliche Betriebe eine Produktions- und Einkommensalternative zu Nahrungspflanzen dar. Stillgelegte Ackerflächen können durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen sinnvoll genutzt werden.
- + Neu gezüchtete Pflanzenarten können die Wirtschaftlichkeit nachwachsender Rohstoffe steigern. Pflanzen mit konstanten, definierten Inhaltsstoffen erleichtern und verbilligen Verarbeitungsverfahren.
- + Vorteile lassen sich auch aus der Nutzung von Reststoffen ziehen: Durchforstungsholz, Stroh und Grasschnitt aus der Landschaftspflege können der Energiegewinnung dienen.

#### Nachwachsende Rohstoffe & Umwelt

- + Mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe kann man einer Artenverarmung gerade von heimischen Pflanzen entgegenwirken.
- + Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen zeichnen sich gegenüber denen petrochemischer Herkunft oftmals durch eine größere Umweltverträglichkeit aus, da sie meist biologisch abbaubar sind.
- + Pflanzen binden während ihres Wachstums Kohlenstoffdioxid und wirken so dem Treibhauseffekt entgegen.

- + Pflanzliche Rohstoffe oder ihre Folgeprodukte setzen bei der Verbrennung maximal so viel Kohlenstoffdioxid frei, wie die Pflanze während ihres Wachstums aus der Luft gebunden hat.

#### Nachwachsende Rohstoffe & Industrie

- + Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen haben eine gute Kundenakzeptanz.
- + Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe ist bei Produkten vorteilhaft, die sich nicht oder nur unter hohem synthetischem Einsatz aus petrochemischen Verbindungen herstellen lassen. Dies gilt etwa für Naturstoffe mit definierter Stereochemie. Die Synthese solcher enantiomerenreiner Verbindungen ist selbst für erfahrene Chemiker schwierig. Ein anderes Beispiel sind Pflanzenfasern. Die speziellen Eigenschaften von Laminaten aus Naturfasern lassen sich durch glasfaserverstärkte Kunststoffteile (GFK) nicht erreichen.
- + Der Chemiker kann die Syntheseleistung der Natur teilweise direkt nutzen. So kann in nur einem Reaktionsschritt aus einem Fett eine Seife gewonnen werden.
- Teilweise beschränkt der chemische Bau einiger nachwachsender Rohstoffe ihre Verwendungsmöglichkeit. So sind Zucker „überfunktionalisiert“, d. h., die Moleküle haben zu viele Stellen, die in Reaktionen eintreten können.
- Die industrielle Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen ist zur Zeit noch nicht ausreichend erforscht. Die Suche nach neuen Anwendungen und Verarbeitungstechnologien erfordert hohe Geldsummen.
- Die Rohstoffversorgung eines industriellen Prozesses muss kontinuierlich gegeben sein. Treten durch verschiedenste Einflüsse Ernteschwankungen auf, ist die Versorgung mit nachwachsenden Rohstoffen nicht immer gewährleistet.

#### Fossile Rohstoffe & Umwelt

- Erdöl und Erdgas sind nur in endlichen Mengen vorhanden. Auch wenn ständig neue Lagerstätten entdeckt werden und die Ausbeutung ungünstig gelegener Vorkommen durch verbesserte Fördertechniken möglich wird, werden diese Rohstoffe knapper und damit teurer.
- Die Gewinnung von fossilen Rohstoffen kann erhebliche Umweltverschmutzungen mit sich bringen. Bei Ölförderanlagen treten öfter große Mengen an Erdöl aus, versickern im Erdreich und gelangen ins Grundwasser. Erst in letzter

Zeit wurde deutlich, dass Bohrschlämme, die im Umkreis einer Bohrinself auf dem Meeresgrund absinken, dort eine ökologische Wüste schaffen.

- Die Vorkommen an Erdöl und Erdgas sind auf der Erde nicht gleichmäßig verteilt. Dies bedingt oft lange Transportwege mit hohen Umweltgefährdungen und zum Teil hohen Verlusten.
- Bei der Verbrennung von Erdöl, Erdgas und ihren Folgeprodukten wird Kohlenstoffdioxid, das die Eigenschaft eines Treibhausgases hat, freigesetzt. Natürlich wäre es auch möglich, den fossilen Rohstoff Kohle verstärkt zu nutzen. Die Problematik der Kohlenstoffdioxidemissionen bleibt damit allerdings ungelöst, und der Energiebedarf bei der Förderung und Veredelung der Kohle zu hochwertigen chemischen Produkten ist beträchtlich.

#### Fossile Rohstoffe & Industrie

- + Die Methoden und Möglichkeiten der Verarbeitung von fossilen Rohstoffen sind seit Jahrzehnten erforscht, erprobt und immer weiter optimiert worden.
- + Viele petrochemische Produkte lassen sich nicht durch andere Erzeugnisse ersetzen.
- + Petrochemische Produkte sind heute noch kostengünstiger als die auf Basis nachwachsender Rohstoffe.
- Die Industrienationen ohne eigene Erdölreserven sind von den Förderländern abhängig. Die Ergebnisse der Vergangenheit haben gezeigt, dass dies auch zu problematischen Situationen führen kann, man denke an die „Ölkrise“ in den 70er Jahren. Ein derzeitiges weltweites Überangebot an Öl verdeckt allerdings diese Probleme.



Die Folie zeigt die drei grundsätzlichen Verfahren der Gewinnung pflanzlicher und tierischer Fette und Öle. Obwohl pflanzliche Fette im weiteren Verlauf des Unterrichts im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen, sollte das Ausschmelzen als typischer Prozess für tierische Fette nicht vernachlässigt werden.

Als Demonstrationsversuch eignet sich die Isolierung von Ölen aus Sonnenblumenkernen, Leinsamen, Raps oder Sojabohnen. Obwohl der Schwerpunkt bei den vorliegenden Materialien auf heimischen Rohstoffen liegt, kann ein Blick über den Zaun nicht schaden. Aus diesem Grund ist auch die Isolierung von Kokosfett beschrieben.

Für die Gewinnung von Fetten gibt es drei verschiedene Möglichkeiten: Auspressen, Extraktion, Ausschmelzen.

### Auspressen

Diese Methode bietet sich besonders bei ölhaltigen Pflanzenteilen, wie beispielsweise Samen und Kernen, an. Das Auspressen kann bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt werden. Entsprechend ihrer Gewinnungstemperatur unterscheidet man kalt- und heißgepresste Öle. Kaltgepresste Pflanzenöle zählen zu den wertvollsten und teuersten Ölen. Erhöhte Presstemperaturen vergrößern zwar die Ölausbeute, lösen aber auch andere Inhaltsstoffe aus den ölhaltigen Pflanzenbestandteilen, die das Aroma und die Qualität des Öles stark vermindern können. Diese müssen aus dem heißgepressten Öl für viele Verwendungen entfernt werden.

Beim Pressen verbleibt oftmals ein erheblicher Fettrest im Presskuchen, der anschließend mit organischen Lösemitteln extrahiert wird.

Neben Pflanzenteilen lassen sich auch Fischarten, wie Sardinen, Sardellen, Heringe, Sprotten, oder Fischabfälle aus Verarbeitungsbetrieben zur Gewinnung

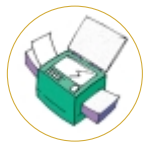
von Fischöl auspressen. Der zurückbleibende trockene Presskuchen findet als Fischmehl in der Tierfuttermittelindustrie Verwendung.

### Extraktion

Die Extraktion stellt die effektivste Fettgewinnung dar. Durch die gute Löslichkeit aller Fette in unpolaren, organischen Lösemitteln wie Petrolether oder n-Hexan lassen sich in Pflanzen enthaltene Fette quantitativ isolieren. Zur Fettgewinnung werden die zerkleinerten Pflanzenteile, wie Samen oder Fruchtfleisch (Kokosnüsse), mit einem niedrig siedenden Lösemittel versetzt und eventuell erhitzt. Dabei lösen sich die in den Pflanzenteilen enthaltenen Fette. Man erhält eine Fettlösung, in der die entfetteten Pflanzenteile schwimmen. Um diese abzutrennen, wird die Mischung filtriert. Das Lösemittel wird vom Filtrat abdestilliert und kann für weitere Extraktionen verwendet werden. Als Rückstand verbleibt hochreines Pflanzenöl. Die entfetteten Pflanzenteile werden getrocknet und können als Tierfutter verwendet werden.

### Ausschmelzen

Das Ausschmelzen empfiehlt sich bei der Gewinnung tierischer Fette. Zerkleinerte Schlachtabfälle werden bei etwa 120° C ausgelassen. Das bei diesen hohen Temperaturen flüssige Fett lässt sich vom Rückstand abtrennen. Allerdings hat diese Methode den Nachteil, dass die erhaltenen Produkte oftmals stark verunreinigt und von schlechter Qualität sind. Besser ist ein Ausschmelzen mit heißem Wasserdampf. Bei dieser schonenden Methode lassen sich hochreine tierische Fette gewinnen.



Zum Nachweis, dass Ölsamen oder Nusskerne Fette enthalten, kann die Fettfleckprobe durchgeführt werden (Kopiervorlage C).

## Kopiervorlage C



### VERSUCHSBEOBACHTUNG

Auf dem Filterpapier hat sich ein Fettfleck gebildet.

### VERSUCHSAUSWERTUNG

Die untersuchten Kerne und Samen enthalten erhebliche Mengen an Fett.





## Demonstrationsversuche

### Gewinnung von Sonnenblumenöl aus Sonnenblumenkernen

**ZEITBEDARF** an zwei Tagen jeweils 30 Min.

**GERÄTE** Kaffeemühle, 2 Rundkolben (250 ml) mit Stopfen, Filtriervorrichtung, Destilliervorrichtung, Magnetrührer.

**CHEMIKALIEN** Petrolether (Siedebereich 50 bis 70 °C, leicht entzündlich, F), schalenfreie Sonnenblumenkerne, Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , wasserfrei).

#### VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

Etwa 50 g Sonnenblumenkerne mahlt man in einer Kaffeemühle. Anschließend werden in einem Rundkolben 50 g Sonnenblumenkernmehl und 3 g Natriumsulfat mit etwa 100 ml Petrolether vermischt und für 15 Min. bei Raumtemperatur gerührt oder geschüttelt. Dann wird filtriert und das Lösemittel abdestilliert. Es bleibt ein gelbliches, meist etwas trübes Sonnenblumenöl im Kolben zurück.

**AUSBEUTE** 6 bis 8 g.

**HINWEIS** Alternativ kann die Extraktion auch in einem Soxhlet-Extraktor durchgeführt werden. Zur Gewinnung von Soja- oder Leinöl wird die Anleitung sinngemäß auf Sojabohnen (Reformhaus) bzw. Leinsamen angewendet.

### Gewinnung von Kokosfett aus Kokosnüssen

Kokosfett ist eine wichtige Rohstoffquelle für die sogenannten „lauric fats“. Diese Triglyceride zeichnen sich durch einen hohen Anteil an Dodecansäure (Laurinsäure) aus, die ein wichtiger Ausgangsstoff für die Herstellung von Tensiden auf Basis nachwachsender Rohstoffe ist. Hier wird das Fett durch Extraktion mit einem niedrig siedenden und unpolaren Lösemittel aus getrockneten Kokosraspeln gewonnen.

**ZEITBEDARF** an zwei Tagen jeweils 30 Min.

**GERÄTE** Küchenraspel, Kristallisierschale (Durchmesser etwa 10 cm), 2 Rundkolben (250 ml) mit Stopfen, Filtriervorrichtung, Destilliervorrichtung, Vakuumexsikkator, Magnetrührer.

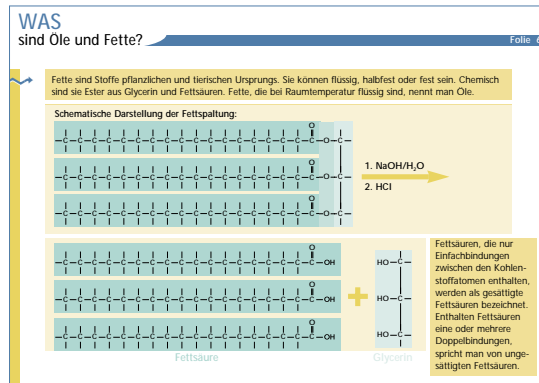
**CHEMIKALIEN** Petrolether (Siedebereich 50 bis 70 °C, leicht entzündlich, F), Kokosnuss, Natriumsulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , wasserfrei), Calciumchlorid ( $\text{CaCl}_2$ , wasserfrei, reizend, Xi) als Trockenmittel.

#### VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

Ca. 50 g vom Fruchtfleisch einer Kokosnuss werden mit der Raspel zerkleinert und in der Kristallisierschale mindestens einen Tag im Vakuumexsikkator über Calciumchlorid getrocknet. Wegen des hohen Wassergehaltes des Fruchtfleisches muss das Trockenmittel nach 12 Std. erneuert werden. Am folgenden Tag werden in einem Rundkolben 25 g Kokosraspel und ca. 3 g Natriumsulfat mit 50 bis 100 ml Petrolether versetzt, so dass die Raspel gut mit Flüssigkeit bedeckt sind. Für 20 Min. wird gerührt oder geschüttelt, anschließend filtriert und das Lösemittel abdestilliert. Als Destillationsrückstand verbleibt Kokosfett, das bei Raumtemperatur erstarrt.

**Ausbeute:** 5 bis 8 g, Fp. 30 bis 35 °C.

**HINWEIS** Alternativ kann die Extraktion auch in einem Soxhlet-Extraktor durchgeführt werden. Möchte man den Arbeits- und Zeitaufwand verringern, lassen sich auch die käuflichen Kokosraspel verwenden.



Die vorliegende Folie dient der Erarbeitung der chemischen Aspekte der Fette und Öle. Voraussetzung zum Verständnis sind Grundlagen der organischen Chemie (Alkane, Alkene, Alkohole und Carbonsäuren). Ein Vorwissen über Ester ist hilfreich, kann aber auch am Beispiel des Systems Fett – Seife – Carbonsäure erarbeitet werden. Reaktionsmechanismen werden nicht berücksichtigt. Zur Unterscheidung von gesättigten und ungesättigten Fetten und Ölen kann ein kurzer Handversuch mit Bromwasser durchgeführt werden. An dieser Stelle sollte auch der Unterschied zwischen Erdölinhaltsstoffen und pflanzlichen Ölen und Fetten herausgearbeitet werden. Dabei kann die Erdölchemie vereinfachend als Chemie der Kohlenwasserstoffe mit linearen, verzweigten und cyclischen Alkanen und Alkenen sowie Aromaten dargestellt werden. Ggf. werden nur die Alkane als typische Inhaltsstoffe herausgearbeitet.

Fette sind Glycerinester pflanzlichen oder tierischen Ursprungs. Jedoch werden im Sprachgebrauch auch andere Stoffe als Fett bezeichnet, man denke an Schmierfette oder an die allen Chemikern geläufigen Exsikkator- und Schliiffette. Diese haben che-

misch nichts mit natürlichen Fetten gemeinsam. Noch problematischer ist die Definition von Ölen. Es gibt eine Vielzahl von Stoffen, die allgemein als Öle bezeichnet werden: Mineralöle, die aus Erdöl gewonnen werden können, vollsynthetische Öle, wie Siliconöle, ätherische Öle sowie pflanzliche und tierische Öle.

Mineralöle bestehen aus Alkanen, Alkenen, Cycloalkanen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Siliconöle sind vollsynthetische polymere Verbindungen, in denen Siliciumatome über Sauerstoffatome auf unterschiedliche Weise miteinander verknüpft sind.

Ätherische Öle sind komplizierte Gemische unterschiedlicher organischer Verbindungen. Inhaltsstoffe können z. B. Alkohole, Aldehyde, Ketone und Ester, aber auch reine Kohlenwasserstoffverbindungen sein.

Pflanzliche und tierische Öle gehören chemisch zu den Fetten. Fette und Öle tierischer und pflanzlicher Herkunft bestehen zum Großteil aus Triglyceriden (Glycerinester) mit Fettsäuren der Kettenlänge C<sub>16</sub> bis C<sub>18</sub> (z. B. Palmitinsäure, Stearinsäure, Ölsäure, Linolsäure und Linolensäure). Einen kleineren Anteil am natürlichen Gesamtfettaufkommen haben pflanzliche Fette, die mittellange Fettsäuren C<sub>10</sub> bis C<sub>14</sub> (z. B. Caprinsäure, Laurinsäure und Myristinsäure) enthalten. Diese sogenannten „lauric fats“ müssen aus Übersee importiert werden und zählen zu den hochpreisigen Fetten und Ölen.

Um die Verarbeitungstechniken von pflanzlichen Ölen zu optimieren und die Kontinuität im Edukteinsatz zu gewährleisten, wird heutzutage eine gezielte Pflanzenzüchtung betrieben. Dabei werden Pflanzen kultiviert, die einen hohen Ölertrag liefern und Fette mit genau definierten Fettsäureresten in gleich bleibenden

Zur Wiederholung und Festigung eignet sich Kopiervorlage D.

### Kopiervorlage D

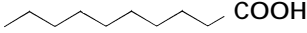
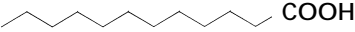

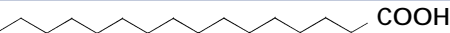






FOLGENDE BEGRIFFE MÜSSEN DER REIHE NACH EINGESETZT WERDEN:

Ausschmelzen – Extraktion – Auspressen – pflanzlichen – tierischen – flüssig – fest – Glycerin  
Fettsäuren: ungesättigt – ungesättigt – ungesättigt – gesättigt – ungesättigt – gesättigt

ANTWORT:

Öle pflanzlichen Ursprungs sind Ester aus Glycerin und Fettsäuren.

Erdöl besteht aus Kohlenwasserstoffen wie Alkanen, Alkenen, Cycloalkanen und Aromaten.

Name	Strukturformel	m : n
Caprinsäure C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>		10 : 0
Laurinsäure C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>		12 : 0
Myristinsäure C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>		14 : 0
Palmitinsäure C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>		16 : 0
Stearinsäure C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>		18 : 0
Ölsäure C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>		18 : 1
Linolsäure C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>		18 : 2
Linolensäure C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>		18 : 3
Arachinsäure C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>		20 : 0
Erucasäure C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>		22 : 1

Typische Fettsäuren pflanzlicher und tierischer Fette.

Zur besseren Übersicht ist in der rechten Spalte die Zahl der Kohlenstoffatome (m) und die der Doppelbindungen (n), getrennt durch einen Doppelpunkt, genannt: Beispielsweise hat Linolsäure 18 Kohlenstoffatome und zwei Doppelbindungen.

Öllieferant	10 : 0	12 : 0	14 : 0	16 : 0	18 : 0	18 : 1	18 : 2	18 : 3	20 : 0	22 : 1
Kokosnuss		48	17	9	2	7	1			
Ölpalme/Palmkern	5	50	15		2	15	1			
Ölpalme			2	42	5	41	10			
Erdnuss				10	3	50	30	1	3	
Sojabohnen				11	4	24	53	7		
Sonnenblume (alt)				6	4	28	61			
Crambe				9	3	15	10	8		55
Erucaraps			0,5	2	1	15	15	7	7	50
00-Raps			0,5	4	1	60	20	9	2	
Sesam				8,5	4,5	42	44			
Mohn				10	2	11	72	5		
Ölbaum (Olivenbaum)				14	2	64	16	2		
Leinsamen				5	4	22	17	52		
Rind			3	25	19	40	4			
Schwein			1	28	13	46	6			
Sonnenblume (neu)				4	4	85	7			

Herkunft und Zusammensetzung (in %) ausgewählter Fette.

Die Zusammensetzung pflanzlicher und tierischer Fette kann je nach Herkunft stark variieren.



## Versuch

### Unterscheidung gesättigter und ungesättigter Öle und Fette

Die Doppelbindungen ungesättigter Fettsäuren addieren Brom unter Sättigung. Dabei wird das durch Brom bräunlich gefärbte Bromwasser farblos. Bereits gesättigte Fettsäuren zeigen mit Halogenen keine Reaktion.

**ZEITBEDARF** pro Fettprobe etwa 5 Min.

**GERÄTE** Reagenzgläser mit Stopfen, 1 Pipette (5 ml), Peleusball, Becherglas (30 ml), Pasteurpipette.

**CHEMIKALIEN** Verschiedene Fette (Butter, Rapsöl), Bromwasser ( $\text{Br}_2(\text{aq})$ , ätzend, C), 1,1,1-Trichlorethan ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$ , gesundheitsschädlich, Xn).

**VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG**

In einem Reagenzglas werden 3 Tropfen Öl, in ein anderes wird etwa die gleiche Menge Butter gegeben und jeweils mit 3 ml 1,1,1-Trichlorethan versetzt. Dabei gehen die fettigen Anteile in Lösung. Zur Herstellung des Bromwassers werden 10 ml destilliertes Wasser tropfenweise mit Brom versetzt, bis eine leichte Braunfärbung der Lösung bestehen bleibt. Mit einer Pasteurpipette werden jeweils einige Tropfen des Bromwassers zu den Fettlösungen gegeben. Danach werden die Reagenzgläser mit den Stopfen verschlossen und geschüttelt und die Farbe der Lösung wird begutachtet.

**ENTSORGUNG** Die Reaktionsgemische werden in den Abfallbehälter für organische Lösungsmittel gegeben. Reste des Bromwassers werden gesammelt und in einer braunen Glasflasche vor Licht geschützt aufbewahrt.

**HINWEIS:** Alternativ kann anstelle des 1,1,1-Trichlorethans auch n-Hexan verwendet werden. Allerdings kann hier nach einiger Zeit auch bei gesättigten Fetten eine Entfärbung des Bromwassers auftreten. Die in Wasser gelösten  $\text{Br}_2$ -Moleküle werden durch Lichteinstrahlung radikalisch gespalten und substituieren als reaktionsfreudige Radikale die Wasserstoffe des n-Hexans.

Anteilen produzieren. Neben der traditionellen Pflanzzüchtung mit systematischen Kreuzungsexperimenten sind auch gentechnologische Methoden viel versprechend.

Die reaktiven Zentren von Fetten, wie die Carbonsäuregruppe, Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen sowie Hydroxyfunktionen (Rizinusöl), erlauben zahlreiche Umsetzungen.

Die Chemie von Fetten und Ölen wird zur Unterscheidung von der Petrochemie Oleochemie genannt.

Natürliche Fette und Öle werden wegen ihres Preises vor allem zu hochwertigen Produkten weiterverarbeitet. Dabei dominieren Tenside und Polymere.

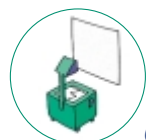
Auch in vielen kosmetischen und pharmazeutischen Produkten sind Fette, Öle sowie daraus hergestellte Substanzen enthalten, man denke an Shampoos, Schaum- und Duschbäder, Puder oder Cremes. Cremes sind Emulsionen aus Ölen und Wasser, meist unter Zusatz von Parfüm oder hautpflegenden Substanzen.

Auch Emulgatoren, die die Mischung von Öl und Wasser ermöglichen, werden oft aus pflanzlichen und tierischen Fetten synthetisiert.

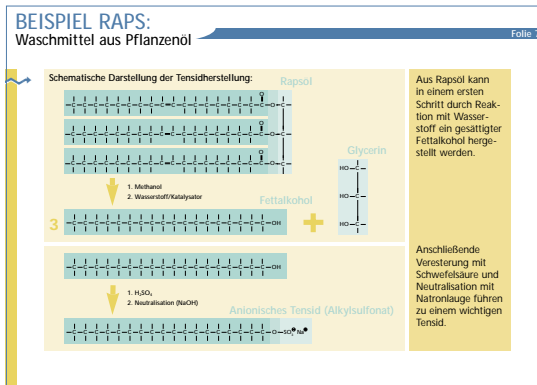
Fette sind aber auch Grundlage medizinischer Salben, deren Hauptkomponente allerdings meist nicht Wasser, sondern Wachs ist – Bienenwachs, Wollwachs von Schafen – oder tierische Fette wie Rindertalg und Schweineschmalz.

Heutzutage werden tierische Fette oft durch pflanzliche Fette ersetzt: So kann anstelle von Rindertalg auch Palm- oder Rapsöl verwendet werden. Viele Verbraucher bevorzugen diese rein pflanzlichen Produkte gegenüber denen mit tierischen Inhaltsstoffen.

Die einfachste Reaktion in der Oleochemie ist die alkalische Spaltung der Fette mit Natronlauge und anschließender salzsaurer Neutralisation zu den entsprechenden Fettsäuren und Glycerin.



Mehr zu Tensiden (Seifen und Detergenzien) siehe Folie 7 und zu Polymeren (Lacke, Klebstoffe und Kunststoffe) siehe Folie 9.



Einführend in das Thema Fette und Öle wurde auf die Spaltung von Triglyceriden und die Gewinnung von Fettsäuren eingegangen. Dieser Aspekt wird hier vertieft und um die Herstellung von Seife und eines weiteren klassischen anionischen Tensids erweitert. Die Wirkung von Tensiden sowie der Einfluss der Wasserhärte auf die Waschwirkung werden hier nicht gesondert dargestellt. Als Demonstrationsversuche sind die Seifenherstellung und die eines anionischen Tensids beschrieben.

Ein Großteil der pflanzlichen und tierischen Fette dient zur Herstellung von Tensiden (Seifen und Detergenzien).

### Tenside und Detergenzien

Im deutschen Sprachgebrauch sind *Tenside* Stoffe, die die Grenzflächenspannung herabsetzen, also sowohl klassische Seifen als auch synthetische grenzflächenaktive Substanzen.

Unter Detergenzien werden synthetische organische grenzflächenaktive Stoffe verstanden. Im englischen Sprachgebrauch sind mit „deter-

gents“ alle Substanzen gemeint, die den Reinigungsprozess unterstützen. Das sind neben grenzflächenaktiven Substanzen auch Builder (Phosphate, Zeolithe, Natriumhydrogencarbonat), Bleichmittel etc.

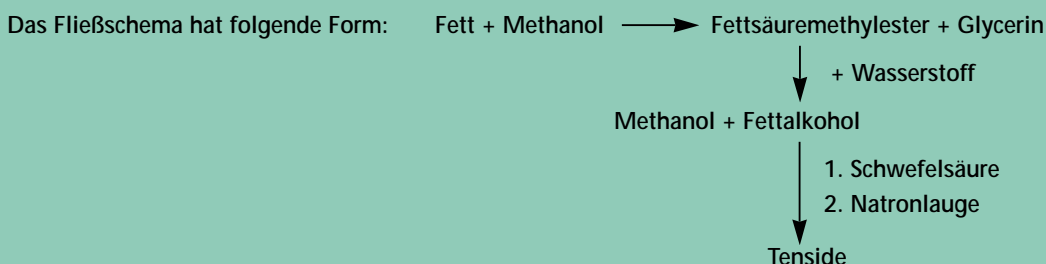
Fast alle Fettsäuren mit einer Kettenlänge zwischen acht und 22 Kohlenstoffatomen eignen sich für die Herstellung von Tensiden. Bei den klassischen Seifen umfasst die Kette 16 bis 18 Kohlenstoffatome. Diese Seifen werden durch Hydrolyse des Triglycerids und anschließende Neutralisation der Fettsäuren mit Natronlauge oder Kalilauge gewonnen. Die Natriumsalze der Fettsäuren (Natriumstearat, Natriumpalmitat, Natriumoleat) sind harte Seifen und werden Kernseife genannt. Die entsprechenden Kaliumsalze sind weich und werden deshalb als Schmierseifen bezeichnet.

Die sehr unterschiedlichen Anforderungen, die an Tenside gestellt werden, haben zur Entwicklung einer breiten Palette von Verbindungen geführt, die sich jeweils durch besondere Eigenschaften auszeichnen:

- Unempfindlichkeit gegenüber im Wasser vorhandenen Ionen
- besondere Hautverträglichkeit beim Einsatz in Kosmetika
- toxikologische Unbedenklichkeit bei der Verwendung als Emulgatoren in der Lebensmittelindustrie
- antimikrobielle Eigenschaften
- korrosionsinhibierende Wirkung bei Metallreinigungsmitteln



## Kopiervorlage E: Lösungen





## Versuch

### Herstellung einer Seife aus Pflanzenfett

**ZEITBEDARF** etwa 15 Min.

**GERÄTE** 2 Bechergläser (25 ml), Magnetrührer mit Heizplatte, Rührkern, Thermometer (100 °C), Brenner, Reagenzglas.

**CHEMIKALIEN** Pflanzenöl oder -fett, Ethanol ( $w(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 95\%$ , Brennspritus, leicht-entzündlich, F), Natriumhydroxid (NaOH, ätzend, C), destilliertes Wasser.

**VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG**

Etwa 10 g Fett oder Öl und 5 ml Ethanol werden in einem Becherglas auf der Heizplatte auf ungefähr 70 °C erwärmt. Dann wird eine Lösung von 2 g Natriumhydroxid in 10 ml Wasser hergestellt. Die Lauge wird erhitzt und innerhalb von 10 Min. portionsweise unter Rühren und Erhitzen zum heißen Fett gegeben. Der Abschluss der Verseifung ist daran zu erkennen, dass sich eine kleine Probe des Stoffgemisches im Reagenzglas in heißem Wasser klar löst. Nach beendeter Verseifung lässt man das Reaktionsgemisch im Becherglas erkalten.

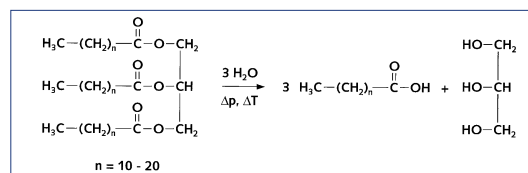
Als Beweis dafür, dass eine Seife entstanden ist, sollte die Schaumbildung einer wässrigen Seifenlösung gezeigt werden.

**ENTSORGUNG** Die Mischung wird nach Neutralisation ins Abwasser gegeben.

Aus pflanzlichen und tierischen Fetten lassen sich anionische, kationische sowie nichtionische Tenside darstellen.

### Anionische Tenside

Bekannte Beispiele für anionische Tenside sind Seifen und Alkylsulfonate. Zur Darstellung von Seifen werden die Triglyceride zunächst unter Druck und hoher Temperatur hydrolytisch gespalten.



Zur Synthese anionischer und kationischer Detergenzien werden vor allem die Fettalkohole mit einer Kettenlänge von zwölf bis 14 Kohlenstoffatomen als wichtigste Zwischenprodukte benötigt. Sie werden nach Umesterung der Triglyceride mit Methanol durch katalytische Hochdruckhydrierung der Fettsäuremethylester gewonnen. Die Fettalkohole lassen sich beispielsweise mit Schwefelsäure zu den entsprechenden Schwefelsäureestern umsetzen (siehe Versuchsvorschrift) und ergeben so nach Neutralisation mit Lauge Alkylsulfonate. Diese anionischen Tenside sind wichtige Bestandteile von Spül- und Reinigungsmitteln.

### Körperpflege

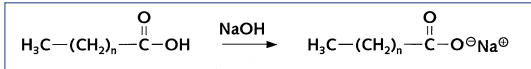
- Reinigungs- und Pflegemittel
- Cremes und Lotionen (Emulgatoren)

### Industrie, Technik

- Lebensmittelindustrie (Lecithine, Gelatine)
- Landwirtschaft (Bodenverbesserung, Emulgatoren für Herbizide, Fungizide)
- Textilindustrie (Faserbehandlung, Färbemittel, Weichspüler, Antistatika, Hydrophobierung)
- Kunststoffindustrie (Dispersionen, Schaumstoffe, Färbung, Filmtrennmittel)
- Chemische Industrie (Reaktionsbeschleunigung in zweiphasigen Systemen, sogenannte Phasen-Transfer-Katalyse, Beispiel Tetrabutylammoniumchlorid  $[(\text{H}_9\text{C}_4)_4\text{N}^+\text{Cl}^-]$ , das bei Cyanierungen in Mischphasen eingesetzt wird.)
- Lacke, Farben, Druckfarben (Dispersion, Verdickungsmittel)
- Papierindustrie (Harzentfettung bei der Celluloseherstellung, Papierveredlung, Altpapierregenerierung)
- Lederindustrie (Ledervor- und -nachbehandlung, Gerben)
- Metallbearbeitung (Härteöle, Metallreiniger)
- Korrosionsinhibierung
- Mineralölindustrie (Additive für Kraftstoffe, Heizöle, Schmierstoffe)
- Straßenbau (zur Bindung von Bitumen und Gestein)
- Erdölförderung (Tensidfluten)
- Bergbau (Flotation)

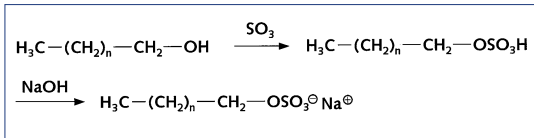
Anwendungen von Tensiden

Die erhaltenen Fettsäuren werden zur Reinigung destilliert und mit Laugen neutralisiert.



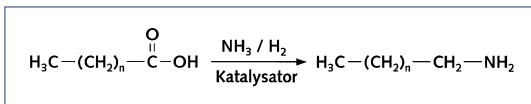
Das traditionelle Seifensieden, bei dem die Fette mit Pottasche, Soda oder Natronlauge zu Glycerin und den entsprechenden Salzen der Fettsäuren umgesetzt werden, wird heutzutage nur noch selten praktiziert.

Alkylsulfonate werden industriell aus den Fettalkoholen durch Reaktion mit Schwefeltrioxid oder Chlorsulfonsäure und anschließender Neutralisation mit Laugen hergestellt.

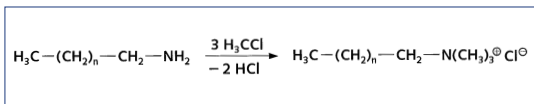


### Kationische Tenside

Zur Darstellung von kationischen Tensiden werden die Fettsäuren zunächst mit überschüssigem Ammoniak unter reduzierenden Bedingungen in die entsprechenden Fettamine umgesetzt.

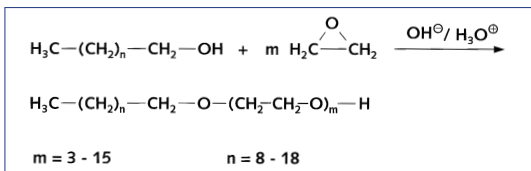


Diese werden dann mit Alkylierungsmitteln, wie beispielsweise Chlormethan, in die quartären Ammoniumverbindungen überführt – das Kationensid ist fertig.



### Nichtionische Tenside

Ein Beispiel für nichtionische Tenside (Niotenside) ist die Stoffklasse der neutralen Fettalkoholpolyglykolether. Ihre Darstellung erfolgt durch basisch oder sauer katalysierte Anlagerung von Ethylenoxid an Fettalkohole.

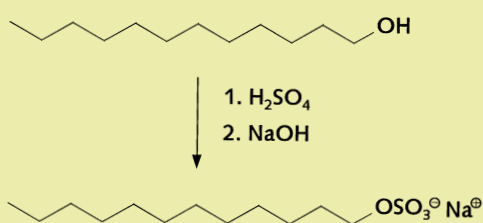




## Versuch

### Herstellung eines anionischen Tensids aus einem Fettalkohol

In vielen Seifen, Wasch- und Geschirrspülmitteln sind anionische Tenside aus Fettalkoholen enthalten. Ein Beispiel hierfür ist das bekannte Natriumdodecylsulfat (Sodiumdodecylsulfate, SDS), das durch Veresterung von Dodecanol (Laurylalkohol) mit Schwefelsäure entsteht.



*Synthese von Natriumdodecylsulfat aus Dodecanol*

Die in diesem Versuch durchgeführte Reaktion führt zu einem Produkt, das ausreichend rein ist, um damit weitere Versuche zur Erarbeitung von charakteristischen Tensideigenschaften durchführen zu können.

**ZEITBEDARF** 1. Tag 10 Min., 2. Tag 40 Min.

**GERÄTE** Wasserbad (200 ml), 2 Reagenzgläser, Erlenmeyerkolben (100 ml), Tropfpipette, 3 Messpipetten (1 ml, 5 ml, 10 ml), Messzylinder, Heizplatte, 9 Reagenzgläser, Thermometer.

**CHEMIKALIEN** Fettalkohole oder Dodecanol (Laurylalkohol,  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{O}$ , reizend, Xi), Diethylether ( $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$ , hochentzündlich, F+), Schwefelsäure ( $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\%$ , ätzend, C), Natronlauge ( $c(\text{NaOH}) = 2 \text{ mol/l}$ , reizend, Xi), destilliertes Wasser, Indikatorlösung (z. B. Phenolphthaleinlösung,  $w(\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4) = 1\%$ , in Ethanol,  $w(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) = 50\%$ ), Essigsäure ( $c(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 1 \text{ mol/l}$ ), Magnesiumchloridlösung ( $c(\text{MgCl}_2) = 1 \text{ mol/l}$ ), Calciumchloridlösung ( $c(\text{CaCl}_2) = 1 \text{ mol/l}$ ), Natriumstearatlösung ( $w(\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2\text{Na}) = 1\%$  in Natronlauge).

**VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG**

#### a) Herstellung von Natriumdodecylsulfat

In einem Reagenzglas löst man 1 g Dodeca-

nol in einer Mischung aus 2 ml Diethylether und 0,6 ml Schwefelsäure. Die Lösung wird im Wasserbad einmal kurz zum Sieden gebracht und dann 30 Min. bei Raumtemperatur stehen gelassen. Dann wird der Reaktionsansatz in einen Erlenmeyerkolben gegossen, der bereits 10 ml Wasser und 1 Tropfen Phenolphthaleinlösung enthält. Die überschüssige Schwefelsäure wird mit etwa 10 ml Natronlauge neutralisiert, wobei die Viskosität der Mischung ansteigt. Durch die frei werdende Reaktionswärme verdampft ein großer Teil des Ethers, so dass man unter einem Abzug arbeiten muss. Der Äquivalenzpunkt wird durch die Rotfärbung des Indikators angezeigt, den man durch einen Tropfen Essigsäure wieder entfärbt.

Für die folgenden Versuche füllt man die Tensidlösung mit destilliertem Wasser auf etwa 100 ml Gesamtvolumen auf.

#### b) Untersuchung der Tensideigenschaften von Natriumdodecylsulfat

Man mischt in je einem Reagenzglas 5 ml Natriumdodecylsulfat mit

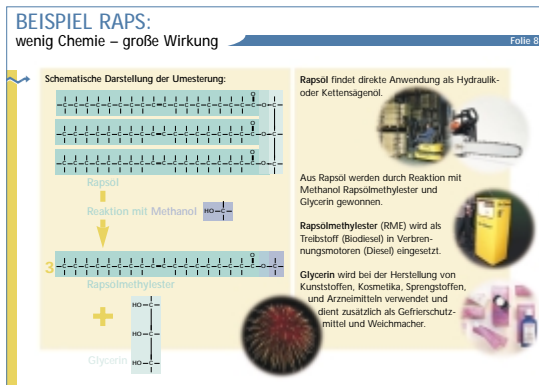
- 1) 1 ml Wasser (Blindprobe),
- 2) 1 ml Magnesiumchloridlösung,
- 3) 1 ml Calciumchloridlösung und
- 4) 1 ml Essigsäure.

Die Mischungen werden geschüttelt. Zum Vergleich werden diese Versuche auch mit Seifenlösung durchgeführt. Die oberflächenaktive Eigenschaft der Tenside wird durch Schaumbildung sichtbar. Natriumdodecylsulfat zeigt die Schaumbildung im Gegensatz zu Seife auch bei Anwesenheit härtebildender Ionen im Wasser und auch in deutlich saurem Medium.

**ENTSORGUNG** Die Lösungen können nach Neutralisation ins Abwasser gegeben werden.

**HINWEIS** Bei der Untersuchung der Tensideigenschaften sollte besprochen werden, welche Konsequenzen sich aus der Härteempfindlichkeit der Seife für die Rezeptur von Seifenwaschmitteln ergeben.





Auf der vorliegenden Folie werden die direkte Verwendung von Rapsöl und der Einsatz als Treibstoff thematisiert. Es soll deutlich werden, dass Rapsöl hier als – ohne Zweifel – wichtigstes Beispiel für viele Pflanzenöle steht. Bei einer vertieften Darstellung kann auf die unterschiedlichen Rapsorten eingegangen werden.

Das Thema Biodiesel kann hier im Zusammenhang mit Ölen und Fetten oder später im Kontext mit der Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen behandelt werden.

Raps ist die mit Abstand wichtigste Ölpflanze, die in Deutschland angebaut wird. Durch gezielte Züchtung gelang es in den vergangenen Jahren, unterschiedliche Sorten hervorzubringen, die den Anforderungen von Lebensmittelindustrie, chemischer Industrie und Landwirtschaft genügen.

Das aus Rapssamen gewonnene Öl kann direkt als Hydrauliköl, Sägekettenöl oder Gatterführungöl (in Gattersägen) verwendet werden bzw. dient als Basis für biologisch abbaubare Schmiermittel. Diese Öle werden besonders in umweltsensiblen Bereichen eingesetzt.

Eine weitere direkte Verwendung von Rapsöl als Treibstoff wird ebenfalls diskutiert. Derzeit erprobt werden Mischungen aus Rapsöl, Benzin und Isoopropanol, sogenannte Tessole. Die bisher erfolgten Testreihen mit Dieselmotoren haben zu Motorschäden geführt. Die Testreihen werden z. Zt. nicht weitergeführt.

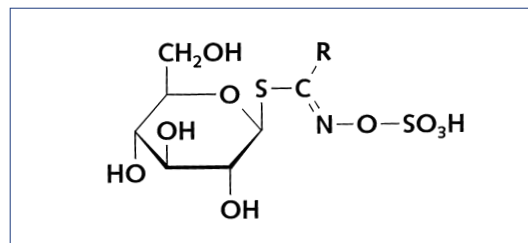
Durch eine einzige chemische Reaktion kann Rapsöl in einen gebrauchsfähigen, mit normalem Dieselenzin mischbaren Kraftstoff für Dieselmotoren umgewandelt werden. Die Umesterung des Triglycerids mit Methanol ergibt Rapsölmethylester (RME, Biodiesel) und Glycerin. Die Umwandlung erhöht die Kosten um bis zu 0,20 DM pro Liter Kraftstoff. Zusätzlich erfordert der RME-Einsatz

Umrüstkosten von etwa 400 DM pro Fahrzeug für Gummiteile und Dichtungen. Die meisten Neufahrzeuge sind bereits biodieseltauglich.

Nach anfänglichen Problemen ist der Betrieb mit Biodiesel mittlerweile ohne Schwierigkeiten möglich. Vorteilhaft ist auch hier die biologische Abbaubarkeit, die den Einsatz bei Fahrzeugen, die im umweltsensiblen Gebieten arbeiten, empfehlenswert macht.

Das bei der Herstellung von Biodiesel anfallende Glycerin wird so vielfältig verwendet, dass hier eine vollständige Übersicht nicht möglich ist. Beispiele sind der Einsatz als Ausgangsstoff zur Herstellung von Sprengstoff (Nitroglycerin), als Bestandteil von Kosmetika, als Alkoholkomponente für Polyester und Lackharze, als Gefrierschutzmittel und als Weichmacher in Kunststoffen.

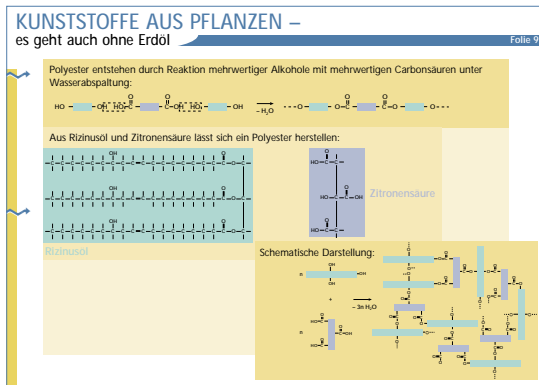
Der klassische „alte“ Raps enthielt neben Ölsäure, Linolsäure und Linolensäure große Mengen an Erucasäure und zusätzlich noch Glucosinolate (Glucose- $\beta$ -thioglykoside).



- Die Inhaltsstoffe des „alten“ Rapses verboten einen Einsatz als Tierfutter oder gar für die Lebensmittelindustrie. Erucasäure wie auch die Glucosinolate sind für Mensch und Tier ernährungsphysiologisch bedenklich. Man verwendet diese Rapsorte daher heute ausschließlich als Rohstofflieferant für die chemische Industrie. Beispielsweise wird die Erucasäure zur Herstellung von Schaumbremsern von der Waschmittelindustrie benötigt. Neue Züchtungen haben das Ziel, den Gehalt an Erucasäure noch zu steigern. Diese Rapsorten müssen allerdings isoliert von anderem Raps angebaut werden, um Änderungen der Fettsäurezusammensetzung im Samen durch Bestäubungseinfluss (die FS-Zusammensetzung wird auch durch den Pollen bestimmt) zu vermeiden. Alternativ bietet es sich zukünftig an, als Ölpflanze mit hohem Erucasäuregehalt die Crambe anzupflanzen. Ihr Anbau wird derzeit in Deutschland in einem bundesweiten Praxisversuch erstmalig erprobt.

Zusammensetzung von Rapsöl  
siehe Tabelle Seite 19.

- Der Null-Raps (Raps-0) enthält so gut wie keine Erucasäure und hat einen um etwa 50 % gesteigerten Ölsäureanteil. Wegen seines Glucosinolatgehaltes ist auch für sein Schrot eine Anwendung im Lebensmittelbereich begrenzt.
- Der Doppel-Null-Raps (Raps-00) biosynthetisiert weder Erucasäure noch die bitter schmeckenden Glucosinolate. Er ist heute in Europa die am weitesten verbreitete Ölpflanze und nimmt etwa 97 % des Rapsanbaus in Deutschland ein. Dies erlaubt den Einsatz seiner Öle auch im Lebensmittelbereich. Pressrückstände werden als wertvolles Tierfutter genutzt. Der hohe Ölsäuregehalt ist industriell von großem Interesse. Die Doppelbindung der Ölsäuremoleküle ist für die Derivatisierung dieser Fettsäure entscheidend, da sie Angriffspunkt für vielfältige oleochemische Reaktionen ist. Ölsäure hat deshalb ein erheblich breiteres Verwendungsspektrum als beispielsweise Stearinsäure, die fast ausschließlich zu Seife verarbeitet wird.



Die Chemie der Kunststoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wird hier sehr vereinfacht dargestellt. Zunächst wird anhand eines reduzierten Formelschemas die Synthese eines Polyesters verdeutlicht. In einem weiteren Schritt wird dies auf das System Rizinusöl – Zitronensäure übertragen. Neu dabei ist, dass Rizinusöl Fettsäurereste mit Hydroxygruppen als Substituenten enthält. Der Polyester selbst kann im Lehrerdemonstrationsversuch dargestellt werden.

Kunststoffe gehören mit zu den wichtigsten Produkten der chemischen Industrie. Nicht immer müssen sie petrochemischer Herkunft sein. Altbekannte Beispiele wie Gummi, Acetylcellulose (Kunstseide) oder Regeneratcellulose (Kunstseide, Viskose, Rayon) basieren auf natürlichen Polymeren.

Heutzutage versucht man, nicht nur natürliche Makromoleküle zu gebrauchsfähigen Polymeren zu verarbeiten, sondern auch kleinere Bausteine pflanzlicher und tierischer Herkunft zu nutzen. Insbesondere im Bereich der Polyester und Polyurethane ist man bestrebt, die klassischen petrochemischen Syntheseschritte auf nachwachsende Rohstoffe anzuwenden.

Entscheidend für die Weiterreaktion der Triglyceride oder der durch Spaltung gewinnbaren Fettsäuren sind funktionelle Gruppen, die Bindungsknüpfungen ermöglichen. Beispielsweise sind die Triglyceride des Rizinusöls mit bis zu 90 % Ricinolsäure verestert. Ricinolsäure enthält neben einer Doppelbindung eine freie Hydroxygruppe. Dadurch lässt sich Rizinusöl direkt mit Polycarbonsäuren, wie beispielsweise mit der trifunktionellen Zitronensäure, zu Polyestern umsetzen.

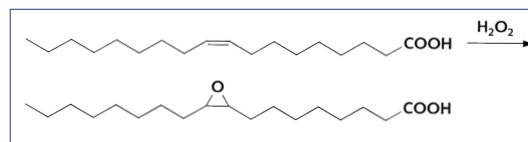
### Polymerisate als natürliche Holzschutzmittel

Ungesättigte Öle, wie Leinöl, sind Grundlage bereits seit langem genutzter Polymerisate: Bei der Einwirkung von Luftsauerstoff auf die mehrfach ungesättigten Fettsäureester, wie sie z. B. im Leinöl enthalten sind, erfolgt Autooxidation und radikalische Polymerisation (Quervernetzung) zu festen, hochmolekularen Harzen und Lacken. Dieser Vorgang kann durch sogenannte Sikkative, wie beispielsweise Cobalt- oder Bleisalze, beschleunigt werden. Trocknendes Öl und Sikkativ werden zusammen als Firnis bezeichnet, man denke an Leinölfirnis, der streichfertig im Handel erhältlich ist. Voraussetzung für eine gute Trocknungsfähigkeit der Öle ist ein hoher Anteil von Fettsäuren mit zwei oder drei konjugierten Doppelbindungen. Für die Herstellung moderner Lackharze setzt man mehrfach ungesättigte Fettsäuren als Bestandteile von Polyestern ein. Auch hier führt Quervernetzung der Doppelbindungen zu hochmolekularen Produkten, also einer ausgehärteten Lackschicht.

### Epoxidierung und die oxidative Spaltung am Beispiel der Ölsäure

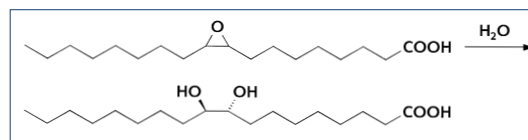
Ölsäure besitzt eine Doppelbindung zwischen den Kohlenstoffzentren C9 und C10, die Ansatzpunkt vielfältiger oleochemischer Reaktionen sein kann.

*Epoxidierte Fettsäuren* und Fette lassen sich durch Oxidation der Doppelbindung mit Wasserstoffperoxid erhalten.



Diese gebildeten Epoxide (Oxirane) haben durch die große Reaktivität des hochgespannten Dreiringes ein weit gefächertes Anwendungsgebiet.

Epoxide reagieren leicht mit Nucleophilen, so dass aus epoxidierten Fetten eine Vielzahl von Folgeprodukten erhältlich ist. Beispielsweise führt die Reaktion mit Wasser unter Ringöffnung zu einem Diol.





## Versuch

### Herstellung eines Polyesters aus Zitronensäure und Rizinusöl

Im Versuch wird eine klassische Veresterung durchgeführt. Aus sterischen Gründen ist das Rizinusöl keine sehr reaktionsfähige Hydroxykomponente. Da außerdem die Zitronensäure als schwache Carbonsäure kaum katalytische Wirkung hat, muss die Reaktion bei einer hohen Temperatur durchgeführt werden.

**ZEITBEDARF** 20 Min.

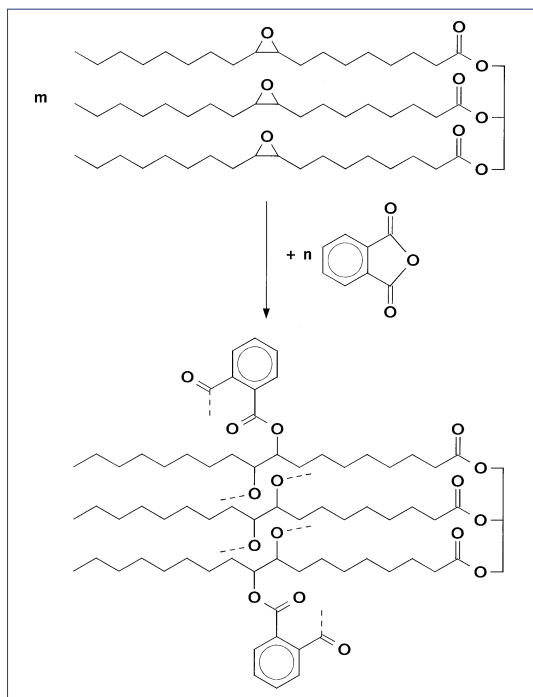
**GERÄTE:** Becherglas (100 ml), Thermometer (300 °C), Brenner, Vierfuß mit Keramikplatte.

**CHEMIKALIEN:** Rizinusöl, Zitronensäure (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>).

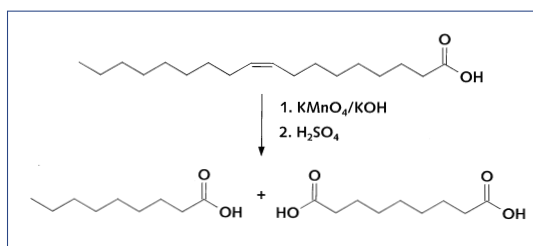
**VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG**

4,5 g Zitronensäure und 10 g Rizinusöl werden in einem Becherglas erhitzt, bis ein weiches, klebriges Harz entstanden ist. Die Reaktionstemperatur soll dabei nicht über 240 °C gesteigert werden, da diese Temperatur zur Zersetzung der Zitronensäure führt. Die Reaktion ist nach etwa 10 Min. beendet. Dann lässt man abkühlen.

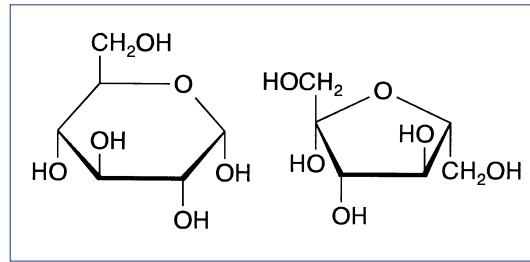
Epoxide können mit Dicarbonsäuren oder den Anhydriden, wie beispielsweise Phthalsäure oder Phthalsäureanhydrid, direkt zu Polyestern umgesetzt werden.



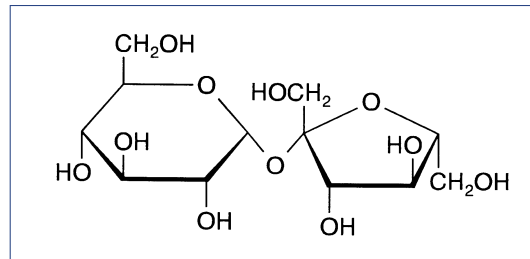
Bei der *oxidativen Spaltung* wird das ungesättigte Fettsäuremolekül an der Doppelbindung gespalten und die dabei entstehenden endständigen Kohlenstoffzentren werden jeweils bis zur Carbonsäure aufoxidiert. Industriell spaltet man mit Ozongas. Ölsäure wird durch oxidative Spaltung in eine Monocarbonsäure, die Pelargonsäure, und in eine Dicarbonsäure, die Azelainsäure, zerlegt.



Beide Produkte lassen sich weiterverarbeiten, wobei besonders die bifunktionelle Azelainsäure für Kunststoffsynthesen interessant ist.



Glucose (Traubenzucker)      Fructose (Fruchtzucker)



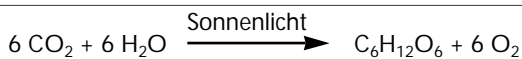
Saccharose (Rüben- oder Rohrzucker)

Die Folie zeigt eine Übersicht über drei wichtige Quellen für Kohlenhydrate, ihre Aufarbeitung und Verwendung. Das Thema lässt sich wahlweise ohne chemische Hintergründe oder unter Berücksichtigung von Struktur und Reaktionen der Kohlenhydrate behandeln.

Im Bereich der Sekundarstufe I wird man sich immer sehr stark phänomenologisch orientieren und auf weiter gehende Betrachtungen, wie die der Stereochemie der Kohlenhydrate, verzichten.

Kohlenhydrate spielen wie Öle und Fette eine große Rolle als nachwachsender Rohstoff. Cellulose, Stärke und Zucker werden in großer Menge in Pflanzen biosynthetisiert und sind Ausgangsstoff vielfältiger Produkte.

Die Biosynthese der Kohlenhydrate, die sogenannte Photosynthese, erfolgt in den Pflanzen mit Hilfe des Chlorophylls (Blattgrün) unter Nutzung der Sonnenenergie nach folgender Gleichung:



Chemisch sind Kohlenhydrate energiereiche Kohlenstoffverbindungen der Summenformel  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$ . Umgeformt lässt sich diese Summenformel auch  $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$  schreiben und erklärt so den Namen dieser Verbindungsklasse. Kohlenhydrate werden auch Saccharide genannt. Die Saccharide werden in Abhängigkeit von der Anzahl der Bausteine im Molekül als Mono-, Di- und Polysaccharide bezeichnet.

### Rübenzucker

Rübenzucker (Rohrzucker, Saccharose) ist ein Disaccharid der Monosaccharide Glucose und Fructose.

Haupttrohstofflieferant ist in unseren Breitengraden die Zuckerrübe, die bis zu 20 % Saccharose enthält. Zur Zuckergewinnung werden die Rüben gereinigt, zerkleinert und mit heißem Wasser extrahiert. Die erhaltene Zuckerrösung wird mit Kalkmilch oder gebranntem Kalk von Säuren, Proteinen und Metallkationen befreit und zur Kristallisation des Zuckers zu einer hochviskosen Lösung eingedampft. Die aus der Lösung ausfallenden Zuckerkristalle werden mit Zentrifugen vom Sirup abgetrennt. Der erhaltene, durch anhaftenden Sirup gelblich gefärbte Rohrzucker wird zu weißem Zucker raffiniert.

Ein Großteil der Saccharose wird im Lebensmittelbereich zum Süßen und Konservieren eingesetzt. Saccharose lässt sich auch in der Polymer- und Tensidproduktion verwenden. Große Mengen werden in biotechnologischen Fermentationsprozessen verbraucht und umgesetzt.

### Zucker als „Bakterienfutter“

Arzneimittel wie Penicilline und andere Antibiotika oder auch Vitamine wie B 12 werden heute biotechnologisch hergestellt. Sie sind Stoffwechselprodukte von Bakterien. Es gibt aber auch Bakterienstämme, die das Hormon Insulin direkt – als zelleigenes Polypeptid – produzieren.

Früher wurde Insulin ausschließlich aus den Bauchspeicheldrüsen von Rindern und Schweinen gewonnen. Da die aus einer Bauchspeicheldrüse isolierbare Menge aber sehr gering ist, wurden unzählige Tiere benötigt, um die Versorgung aller Diabetiker sicherzustellen.

Bei einer tiefer gehenden chemischen Betrachtung kann Kopiervorlage F (Zucker + Polysaccharide/ohne Abb.) eingesetzt werden. Auf Kopiervorlage G ist die Herstellung einer Folie auf Stärkebasis beschrieben. Kopiervorlage H zeigt zwei unterhaltsame Schülerversuche.

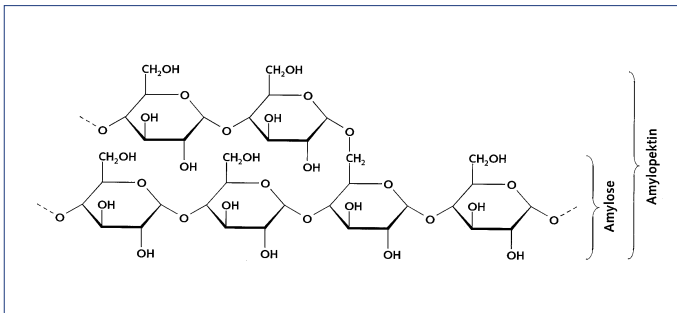
Mehr zur Biosynthese siehe Begleittext zu Folie 11.

Heute wird das lebenswichtige Hormon zwar immer noch aus tierischen Drüsen gewonnen, es kann inzwischen aber auch durch biotechnologisch hergestelltes Humaninsulin ergänzt werden.

Ein anderer Bakterienstamm setzt Glucose zu Polyhydroxybuttersäure um. Polyhydroxybuttersäure ist ein Polyester, der biologisch abbaubar ist. Daraus hergestellte Verpackungen lassen sich kompostieren. Die thermoplastische, d. h. bei erhöhten Temperaturen verformbare Polyhydroxybuttersäure wird unter dem Markennamen Biopol vertrieben. Jedoch ist Biopol derzeit für eine breite Verwendung noch zu teuer.

### Stärke

Stärke ist ein in der Flora weit verbreitetes Polysaccharid. Stärke besteht aus kettenförmigen Amylosemolekülen und verzweigten Amylopektinen, die wiederum aus dem Monosaccharid Glucose aufgebaut werden.



Chemischer Aufbau von Stärke

Stärkepflanze	Stärkegehalt [%]
Kartoffel	12 bis 20
Reis	70 bis 75
Mais	60 bis 70
Weizen	53 bis 70
Gerste	62

Stärkegehalt ausgewählter Stärkepflanzen

Heimische Stärkeliieferanten sind Getreide, wie Mais, Weizen, oder Kartoffeln.

Stärke wird in den Stärkepflanzen in kleinen, zwischen 5 und 500 µm großen, sogenannten Stärkekörnern gesammelt. Diese weisen eine für jede Pflanzenart typische Gestalt auf.

Die Stärke wird aus den vorgequollenen, zerkleinerten Stärketrägern durch Auswaschen gewonnen.

Sie hat die Eigenschaft, mit Wasser bei Temperaturerhöhung aufzuquellen: So lässt sich aus einer Stärkesuspension durch Erhitzen eine hochviskose, klebrige Masse, der sogenannte Stärkekleister, erhalten. Die Quelleigenschaften sind je nach Stärkeart verschieden.

Als verdauliches Kohlenhydrat spielen Stärketräger (Kartoffeln, Reis) und Stärkeprodukte (Brot, Mehlspeisen) eine wichtige Rolle bei der Ernährung von Mensch und Haustier: Die Verbrennung von 1 g Stärke setzt die Energie von etwa 17 kJ (4 kcal) frei.

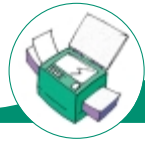


## Kopiervorlage G / Zusatzinformation

### ZUR FILMBILDUNGSEIGENSCHAFT VON STÄRKE

Verantwortlich für die Filmbildungseigenschaft der Stärke sind intra- und intermolekulare Wasserstoffbrückenbindungen. Besonders leicht bilden die gestreckten Amylosemoleküle beim Eintrocknen filmartiges Material. Durch Partialhydrolyse nativer Stärke wird vor allem das verzweigte Amylopektinmolekül abgebaut. Dadurch nimmt die Fähigkeit der Filmbildung zu. Filme aus reiner Stärke sind wegen der Ausbildung kristalliner Bereiche sehr spröde. Gelingt es, kleine Moleküle wie beispielsweise Wasser oder Glycerin unter Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen zwischen die Stärkemoleküle einzulagern, werden die kristallinen Bereiche gelockert. Wasser und Glycerin haben hier also die Funktion eines Weichmachers. Das wenig flüchtige und sehr hydrophobe Glycerin bewirkt einen Restgehalt Wasser in der Folie, welches auch als Weichmacher fungiert.

## Kopiervorlage H



### Tinte aus Tee

**BEOBACHTUNG** Es bildet sich eine tief-schwarz gefärbte Suspension.

**ZUSATZINFORMATION** Die Gerbstoffe im Tee bilden mit fast allen Metallen schwer lösliche Komplexe. Tee enthält als Hauptkomponente der Gerbstoffe (Polyphenole) das Gallo catechin (17 %) und seinen Ester, das Gallo catechin-Gallat (50 bis 70 %). Im Falle des Eisens entsteht der sehr farbintensive Eisengallus-komplex, der früher als Eisengallustinte Anwendung fand. Gummiarabicum dient lediglich als Fließverbesserer und macht die Tinte etwas dickflüssiger.

### Slime aus Guarmehl

**BEOBACHTUNG** Sofort nach der Zugabe der Boraxlösung verdickt sich die Mischung, und es entsteht ein gummiartiges Gel.

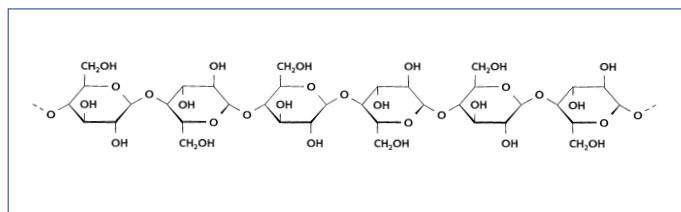
**ZUSATZINFORMATION** Guarmehl, das Produkt aus den Samen des Guarstrauches, enthält 75 bis 85 % Guar, ein Polysaccharid, das hauptsächlich aus Galaktose und Mannose besteht.

Man gewinnt das Guarmehl, indem Schale und Keimling der Samen vom Endosperm abgetrennt werden und Letzteres vermahlen wird. Pro Jahr werden zur Zeit etwa 70.000 bis 80.000 t Guarmehl produziert. Guarmehl bildet, in Wasser gelöst, hochviskose, kolloidale Lösungen, die zum Eindicken von Lebensmitteln verwendet werden können. Fruchtsäfte lassen sich durch den Zusatz von Guarmehl bereits in der Kälte verdicken. Weiterhin dienen die Lösungen von Guarmehl in Wasser als Fällungs- und Flockungshilfsmittel bei der Wasser- und Abwasseraufbereitung. Bei Zusatz von Borax zu Guarmehl-Lösungen bilden sich zwischen den Hydroxygruppen des Kohlenhydrates und den Borationen Wasserstoffbrücken und es entstehen vernetzte, halb feste bis gummiartige Gele.

Stärke wird entsprechend ihrer hervorragenden Quell- und Klebeeigenschaften zur Herstellung von Kleister, Kleber und Leim verwendet. Große Mengen Stärke benötigt man auch für die Papierherstellung. Stärkezusätze dienen dem Verleimen der Zellstofffasern und damit einer Verbesserung der Papiereigenschaften. Bei der Herstellung von Druckfarben dient Stärke als Verdickungsmittel, in der Textilbranche als Wäschestärke. Aber auch auf biotechnologischem Sektor besitzt Stärke – wie Zucker – eine große Bedeutung als Substrat, beispielsweise für die Herstellung von Antibiotika, Enzymen und Aminosäuren.

### Cellulose

Cellulose ist wie Stärke ein aus Glucoseeinheiten aufgebautes Polysaccharid.



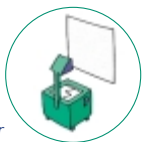
Chemischer Aufbau von Cellulose

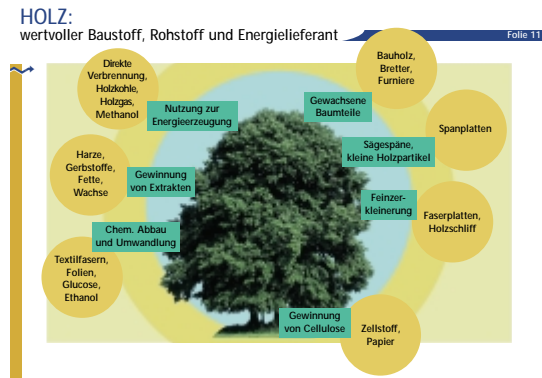
Der Unterschied im Molekülgerüst beider Polysaccharide besteht in der Art der Verknüpfung der Glucosemoleküle. Der unterschiedliche Bau beider Polymere ist auch dafür verantwortlich, dass nur die Stärke im menschlichen Organismus in ihre Glucosebausteine gespalten werden kann.

Neben der Verwendung als Rohstoff für die Papierherstellung wird Cellulose auch als Faserstofflieferant sowie zur Herstellung von Chemierohstoffen genutzt.



Die Gewinnung und Verarbeitung der Cellulose wird ausführlich im Begleittext zu Folie 12 behandelt.

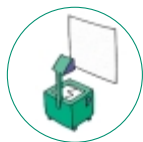




Der Baum zeigt mit seinen Ästen die vielen Verwendungsmöglichkeiten von Holz und Holzprodukten. Je nach Unterrichtsschwerpunkt kann die direkte stoffliche Verwendung von Holz (rechte Seite der Folie) oder die chemische Umwandlung (Mitte und linke Seite der Folie) betont werden. Die Bereiche Cellulose und Energieerzeugung werden in den vorliegenden Materialien erst im weiteren Unterrichtsverlauf behandelt.

Holz ist seit vielen Jahrtausenden einer der wichtigsten Rohstoffe: Schon immer wurde es als Bauholz für Schiffe, Möbel und Häuser verwendet. Die traditionelle Nutzung von Holz als Energieträger zum Heizen oder zur Stromerzeugung ist in den Industrieländern durch fossile Rohstoffe, wie Erdöl, Erdgas und Kohle, weitgehend in den Hintergrund gerückt und wird erst wieder in jüngster Zeit betrieben. Der Beruf des Köhlers ist allerdings inzwischen so gut wie ausgestorben.

Holz ist mengenmäßig der bedeutendste pflanzliche Rohstoff. Es enthält mehrere Bestandteile, die als nachwachsende Rohstoffe von der chemischen Industrie genutzt werden.



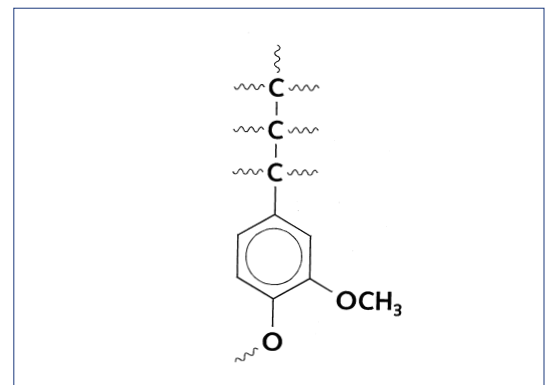
Weitere Informationen zur Energieerzeugung aus Pflanzen siehe Folie 17.

Hauptsächlich wird Holz als Bau- und Werkstoff verwendet sowie zur Herstellung von Papier und Zellstoff.

Holz enthält als Hauptbestandteile 40 bis 50 % Cellulose, 20 bis 30 % Lignin und 10 bis 20 % Hemicellulosen.

Cellulose ist ein Polysaccharid und besteht chemisch aus verknüpften Glucoseeinheiten. Sie ist das wichtigste Biopolymer. Alle Pflanzen auf der Welt biosynthetisieren durch Photosynthese jährlich etwa 1,3 Milliarden Tonnen und ein einzelner Baum täglich schätzungsweise 14 g Cellulose.

Lignin ist eine makromolekulare, aromatische Verbindung und besteht aus verknüpften polyhydroxypropan- und methoxysubstituierten Phenolen.



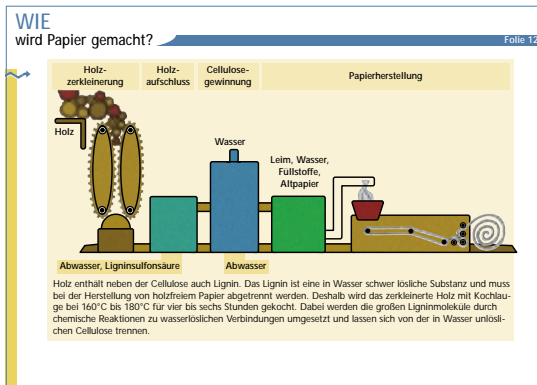
Lignin ist für die Verholzung von Pflanzen verantwortlich.

Die Hemicellulosen sind wie die Cellulose selbst Polysaccharide. Im Unterschied zu Cellulose bestehen sie jedoch aus verschiedenen, unregelmäßig verknüpften Monosacchariden. Anders als die geordnete Cellulose haben sie ein stark verzweigtes Molekülgerüst.

Zwischenprodukt	Endprodukte, Beispiele	Verwendungen, Beispiele
Cellulose	Cellulose Celluloseester, -ether	Papier, Fasern Sprengstoffe, Folien, Lacke
Lignin	Ligninsulfonsäure Ligninderivate	Baustoffadditiv, Flotationsmittel Kunststoffe
Hemicellulosen	Pentosen Furfural	Fermentation Kunststoffe

Verwendung der Hauptinhaltsstoffe von Holz.





Der Holzaufschluss zur Cellulosegewinnung und die Papierherstellung sind Inhalt der vorliegenden Folie. Bei der Erarbeitung des Holzaufschlusses ist eine sehr einfache Vorgehensweise möglich, bei der lediglich die prinzipiellen Schritte des Verfahrens behandelt werden.

Experimentell lässt sich die Gewinnung von Cellulose am Beispiel des Acetosolv-Verfahrens nachvollziehen. Bei diesem Prozess wird zum Aufschließen eine Mischung aus Essig- und Salzsäure eingesetzt.

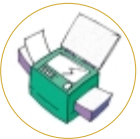
Um Cellulose aus Holz und anderen lignocellulosehaltigen Materialien zu gewinnen, müssen diese aufgeschlossen werden, d. h., Cellulose wird von den anderen Bestandteilen Lignin und Hemicellulosen abgetrennt. Als heimischer Rohstoff lässt sich beispielsweise Durchforstungsholz verwenden. Das einzige zur Zeit in Deutschland angewandte Holzaufschlussverfahren ist das sogenannte Sulfitverfahren. Dabei wird das zerkleinerte Holz in Druckkochern mit schwefeldioxidhaltiger Calciumhydrogensulfit-Lösung ( $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ -Lösung), sogenannter Kochlauge, mehrere Stunden erhitzt. Das wasserunlösliche Lignin setzt sich in wasserlösliche Ligninsulfonate um und lässt sich so – zusammen mit den unter diesen Bedingungen löslichen Hemi-

cellulosen – von der Cellulose abtrennen. Die erhaltene Rohcellulose wird mit Chlor- oder Peroxidverbindungen gebleicht und als dicke Pappe bis zu einer Restfeuchte von etwa 10 % getrocknet. Zur Herstellung einer Tonne Cellulose werden  $7 \text{ m}^3$  Holz und knapp 10.000 l Calciumhydrogensulfit-Lösung benötigt. Die anfallenden Ligninsulfonate werden zunehmend als Baustoffadditive und Flotationsmittel eingesetzt.

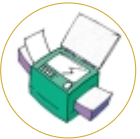
Das weltweit am meisten verbreitete Aufschlussverfahren, das sogenannte Sulfatverfahren, arbeitet mit Natronlauge, Natriumsulfid ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), Natriumcarbonat und Natriumsulfat. Auch hier wird unter Druck und erhöhter Temperatur das Lignin in wasserlösliche Verbindungen überführt. Die dabei entstehende Schwarzlauge besteht aus schwarz gefärbten Alkalligninen. Sie kann nach dem Eindampfen und Entfernen der unangenehm riechenden Thiole zu Düngemitteln verarbeitet werden. Angesichts der großen Abfallmengen bei den traditionellen Verfahren werden neuartige, umweltfreundlichere Holzaufschlussmethoden, wie beispielsweise das Acetosolv-Verfahren, erprobt. Dabei werden die kovalenten Bindungen zwischen Cellulose und Lignin unter Protonenkatalyse in einem Gemisch aus Essig- und Salzsäure gespalten. Freies Lignin und die Hemicellulosen sowie die in Holz enthaltenen Lipide, Harze und Terpene sind in Essigsäure löslich, so dass die Cellulose leicht abgetrennt werden kann.

Die Zellstoffgewinnung nach dem Acetosolv-Verfahren ist ein Beispiel für eine schadstoffarme Technologie, der Holzaufschluss erfolgt ohne schwefelhaltige Zusätze und ohne anorganische Aufschlusschemikalien. Die eingesetzten Säuren können weitgehend zurückgewonnen werden. Acetosolv-Zellstoffe sind mit Sauerstoffbleiche bleichbar. In der Industrie arbeitet man mit Peroxyessigsäure in saurer Lösung.

Das Prinzip der Papierherstellung ist auf Kopiervorlage I dargestellt, ein einfacher Schülerversuch auf Kopiervorlage J. Hier gibt es große Variationsmöglichkeiten im Einsatzmaterial, etwa indem man teilweise Altpapier zur Papierherstellung verwendet.



Ergänzend zeigt der auf Kopiervorlage K beschriebene Versuch, wie ein Abfallprodukt der Zellstoffgewinnung, die Ligninsulfonsäure, nutzbringend verwendet werden kann.



### Kopiervorlage J: Zusatzinformation

#### ZUR BEDEUTUNG VON STÄRKE BEI DER PAPIERHERSTELLUNG

Das Eindringen von Wasser in das Papierblatt wird durch die gute Benetzbarkeit der Cellulose und insbesondere durch das Kapillarsystem des Papierblattes begünstigt. Um dies zu verhindern, werden Schreibpapiere mit Leimungsmitteln wie Stärke behandelt, die durch Verschluss der Oberflächenporen das Eindringen von Wasser verhindern.



## Kopiervorlage K

Die Methode der Papierherstellung hängt von der gewünschten Papiersorte ab: Weißes, holzfreies Papier wird direkt aus Cellulose (Zellstoff) hergestellt. Die saubere Cellulose wird zusammen mit Füllstoffen (Titandioxid, Kaolin, Kreide), Pigmenten und Farbstoffen, Bindemitteln (Stärke, Kunststoffdispersionen, Harzleime), Aufhellern (Aluminiumsulfat) und Wasser gemischt. Der Papierbrei wird getrocknet, geglättet und als fertiges Papier aufgerollt. Die traditionelle Methode des Papierschöpfens wird nur noch für teure Büttenpapiere angewendet.

Zeitungs- und Verpackungspapier kann aus fein zerkleinerten Holzpartikeln, dem sogenannten Holzschliff, hergestellt werden. Die durch das Holz entstehende etwas graue Farbe stört bei derartigen Verwendungen nicht. Die Vergilbung dieser Papiere ist auf das enthaltene Lignin zurückzuführen.

Altpapiere können ohne aufwendige Entfärbung zu Pappen und Verpackungen verarbeitet werden. Die Herstellung von Schreibpapieren erfordert das Ablösen der Farben durch einen sogenannten Deinking-Prozess. Die Verwendung von Altpapier zur Papierherstellung hat den Nachteil, dass die Fasern im erhaltenen Recyclingpapier im Vergleich zu denen im weißen Papier kürzer sind. Deshalb zerreißt Recyclingpapier leichter als weißes Papier.

### Cellulose nicht nur für Papier

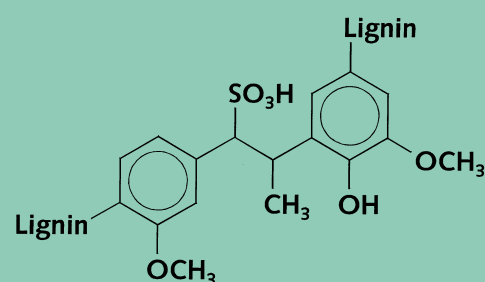
Im letzten Jahrhundert wurde herausgefunden, dass Cellulose mit Salpetersäure zu „Nitrocellulose“ reagiert. Diese ist im Gegensatz zu Cellulose in Alkoholen löslich und kann mit Weichmachern vernetzt und verformt werden. Dieser erste halbsynthetische Kunststoff, das Celluloid, wurde für Billardkugeln, Tischtennisbälle und auch für Filme verwendet. Celluloid hat den Nachteil, besonders leicht zu brennen, was Filmvorführungen durch den heißen Projektor gefährlich machte. Celluloid findet heute kaum noch Anwendung. Es gibt aber andere halbsynthetische Kunststoffe, die auf Cellulose basieren: Wird Cellulose mit Essigsäure umgesetzt, erhält man einen Kunststoff, der ebenfalls zu Filmen oder Textilfasern verarbeitet werden kann. Dieses Filmmaterial brennt nur schwer und wird als „Sicherheitsfilm“ bezeichnet.

### Cellulose für Textilien

Die Verwendung von Cellulose als Ausgangsmaterial für Textilien scheiterte daran, dass die aus Holz gewonnenen Cellulosefasern zu kurz waren, um zu Fäden versponnen zu werden. Erst chemische Ver-

**ERGEBNIS** Die Zementmischung mit dem Ligninsulfonat fließt deutlich besser als die reine Zementmischung.

**ZUSATZINFORMATION** Ligninsulfonate, Abfallprodukte der Zellstoffgewinnung nach dem Sulfitverfahren, haben die Eigenschaften von anionischen Tensiden.



Ligninsulfonsäure (Ausschnitt)

fahren machten es möglich, lange und damit spinnbare Cellulosefasern zu gewinnen.

### Beispiel Kupferseide

Cellulose löst sich in der dunkelblau gefärbten wässrigen Lösung von Tetraamminkupfer(II)-Hydroxid  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}]$  in Form von Tetraamminkupfer(II)-Cellulose. Wird diese Kupfercellulose durch Düsen in ein Fällbad aus verdünnter Schwefelsäure gepresst, kann man die Cellulose als lange Fäden wiedergewinnen. Diese Art der Faserherstellung heißt Nassspinnverfahren.

### Beispiel Viskose

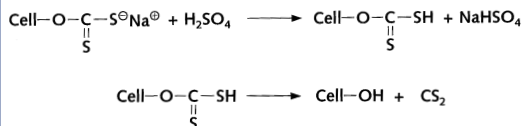
Analog funktioniert das Verfahren zur Viskoseherstellung. Die Cellulose wird zunächst mit starken Laugen (Natronlauge, Kalilauge) behandelt. Die Cellulose lagert unter Aufweitung ihrer Molekülstruktur die Alkalien als sogenannte Alkalicellulose ein.



Die Alkalicellulose wird nun in Schwefelkohlenstoff unter Ausbildung von Cellulosexanthogenaten gelöst.



Leitet man diese Xanthogenatlösung in ein Spinnbad aus verdünnter Schwefelsäure und Natriumsulfat ein, lässt sich die Cellulose als Fäden zurückgewinnen.



Im Fällbad spalten sich die zuvor angelagerten Schwefelkohlenstoffgruppen quantitativ ab.

Da man bei den beiden dargestellten Verfahren die Cellulose löst und wieder herstellt – regeneriert –, spricht man von Regeneratcellulose.



## Versuch

### Gewinnung von Zellstoff nach dem Acetosolv-Verfahren

ZEITBEDARF 90 Min.

GERÄTE 2 Rundkolben (250 ml), Rundkolben (500 ml), Rückflusskühler, Magnetrührer mit Heizplatte, Ölbad, Wasserbad, Badthermometer, Messzylinder (100 ml), Messpipette (10 ml), Pasteurpipette, Saugflasche (250 ml) und Büchnertrichter, Destillationsvorrichtung, Vakuumexsikkator, Abzug.

CHEMIKALIEN Fichten- oder Buchenspäne (möglichst Hobelspäne), Stroh (klein geschnitten), Essigsäure (w (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) = 96 %, ätzend, C), Salzsäure (w (HCl) = 36 %, ätzend, C), Ammoniaklösung (w (NH<sub>3</sub>) = 25 %, reizend, Xi), Wasserstoffperoxidlösung (w (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) = 30 %, ätzend, C), 2-Propanol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O, leicht entzündlich, F) oder Siliconentschäumer, Kaliumhydroxid (KOH, ätzend, C) als Trockenmittel, destilliertes Wasser.

VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG:

#### a) Gewinnung von Zellstoff

5 g Holzspäne oder 5 g Stroh werden 1 Std. in einer Mischung aus 65 ml Essigsäure und 5,5 ml Salzsäure unter Rückfluss im Ölbad erhitzt. Dabei wird stark gerührt.

Nachdem der Reaktionsansatz mit einem Wasserbad auf Raumtemperatur abgekühlt wurde, wird abgesaugt. Der braune Zellstoff-

rückstand wird zweimal mit je 15 ml Essigsäure gewaschen und über Nacht im Vakuumexsikkator getrocknet.

Ausbeute: 2 g Zellstoff

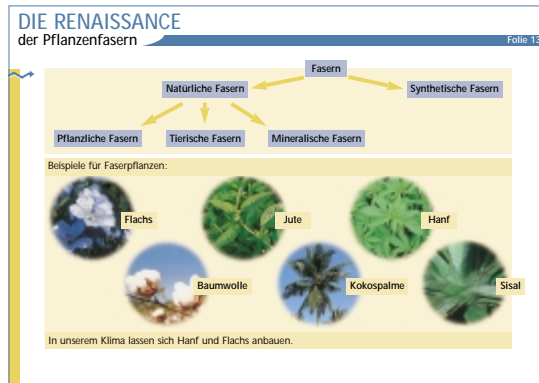
#### b) Zellstoffbleiche

Der Filterkuchen wird geteilt.

Zum Bleichen wird die Hälfte des je nach Herkunft bräunlich bis rötlich gefärbten Rohzellstoffes in einer Mischung aus 30 ml Ammoniaklösung und 30 ml Wasserstoffperoxidlösung für 15 Min. auf 70 bis 80 °C erhitzt. Der Ansatz neigt zum Übersäumen! Man verwendet daher einen großen Rundkolben (500 ml) und setzt der Reaktionsmischung zur Unterdrückung der Schaumbildung etwa 5 ml 2-Propanol oder etwas Siliconentschäumer zu. Sollte dennoch eine starke Schaumentwicklung zu beobachten sein, kann dies durch weitere Propanolzugabe unterdrückt werden. Nach Beendigung der Reaktion wird abgesaugt. Der gebleichte Zellstoff wird zweimal mit je 50 ml Wasser gewaschen und im Vakuumexsikkator getrocknet. Das erhaltene Produkt wird mit dem Rohzellstoff verglichen.

ERGEBNIS Der gebleichte Zellstoff ist wesentlich heller als der Rohzellstoff.

ENTSORGUNG Die Lösungen können nach der Neutralisation ins Abwasser gegeben werden.



Das Thema Pflanzenfasern wird auf dieser und der nächsten Folie behandelt. Zunächst wird eine Übersicht über die unterschiedlichen Fasern gegeben. Es folgen Beispiele für wichtige Faserpflanzen.

Ergänzend lässt sich Kopiervorlage L einsetzen.

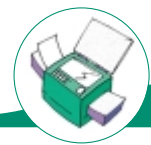
Fasern lassen sich grob in Natur- und Chemiefasern einteilen.

Zur Gruppe der Chemiefasern zählen synthetische Fasern aus organischen Polymeren, die durch Polymerisations-, Polyadditions- oder Polykondensationsreaktionen hergestellt werden. Bekannte Beispiele hierfür sind Polyacrylnitril (PAN-Fasern), Polyethylenterephthalat (Polyesterfasern) und Polyamide (Nylon-, Perlonfasern).

Zur Gruppe der Chemiefasern gehören auch halbsynthetische Produkte, die sich durch chemische Umwandlung natürlicher pflanzlicher und tierischer Polymere gewinnen lassen. Beispiele für derartige Polymere sind die aus Cellulose herstellbaren Fasern, wie Acetate, Viskose oder Rayon.

Synthetische Fasern müssen nicht immer aus organischen Makromolekülen aufgebaut sein, sondern können auch auf rein anorganischer Basis beruhen. Beispiele hierfür sind Glasfasern und Metallfasern.

Naturfasern sind alle Fasern, die von natürlichen Quellen wie Pflanzen, Tieren oder Mineralien stammen und sich ohne weitere chemische Umwandlungsreaktionen direkt einsetzen lassen.



### Kopiervorlage L

#### FASERPFLANZEN

Baumwolle, Kapok, Flachs, Hanf, Jute, Ramie, Sisal, Kokos

#### MINERALISCHE FASER

Asbest

#### TIERARTEN

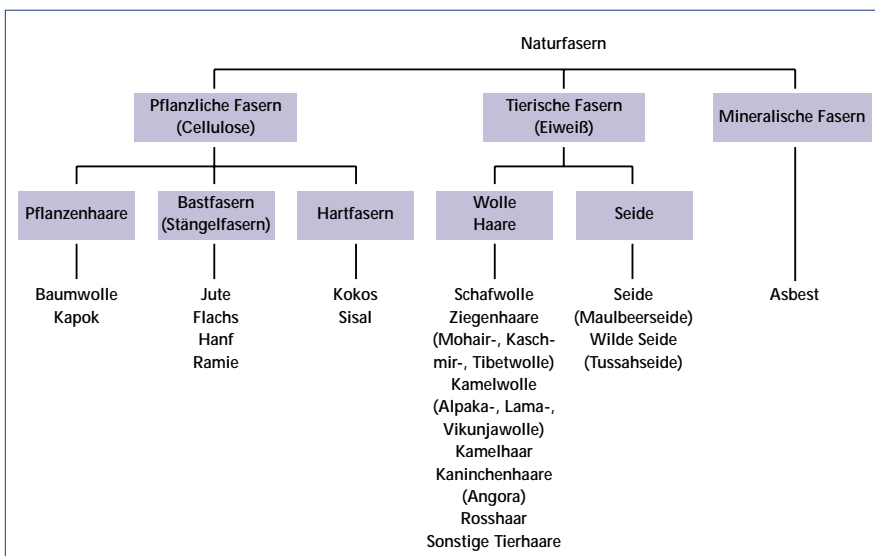
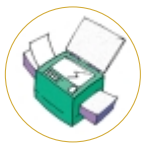
Schaf, Kamel, Kaninchen, Ziege, Lama, Pferd

WELCHE WOLLE STAMMT VON WELCHEM TIER?

Merinowolle – Schaf, Mohairwolle – Ziege,

Alpakawolle – Lama, Kaschmirwolle – Ziege,

Angorawolle – Kaninchen



Was sind Naturfasern ?

#### Pflanzenfasern

Zahlreiche Pflanzen eignen sich zur Gewinnung von Fasern. Beispiele sind Jute, Baumwolle, Sisal, Kapok, Kokos, Ramie, Hanf und Flachs, wobei die beiden Letzteren besonders gut in unserem Klima gedeihen. Insbesondere die klassische Faserpflanze Flachs wird in Deutschland wieder vermehrt angebaut. Der Anbau von Hanf war wegen seines Inhaltsstoffes Tetrahydrocannabinol (THC) lange Zeit verboten. Tetrahydrocannabinol ist ein Euphorikum und Halluzinogen und ist für die Wirkung von Haschisch und Marihuana verantwortlich. Mittlerweile gibt es jedoch Hanfsorten, die einen THC-Gehalt von maximal 0,3 % aufweisen, so dass auch diese lang bekannte Faserpflanze wieder Einzug auf unseren Feldern hält.



Im oberen Teil der Folie sind die mehrstufigen Verarbeitungsschritte von Flachs dargestellt. Im unteren Teil der Folie sind Beispiele für traditionelle und neuartige Nutzungen von Faserpflanzen aufgezeigt.

In Deutschland heimische Faserpflanzen sind Flachs und Hanf. Beide enthalten sogenannte Bastfasern und können auf ähnliche Weise verarbeitet werden. Die aufwendige Flachsverarbeitung hat bei uns eine lange Tradition und verläuft über vier Stufen: Raufen, Rosten, Schwingen und Hecheln.

- Die Ernte erfolgt kurz vor der Samenreife. Dabei werden die kompletten Pflanzen mit der Hand oder maschinell herausgezogen. Man nennt diese Erntemethode das Raufen.
- Die geernteten Pflanzen werden mehrere Wochen auf dem Feld ausgelegt. Dabei wird durch Bakterien der feste Verbund zwischen Holz- und Faserbestandteilen aufgelockert. Diesen Vorgang nennt man Rosten.
- Anschließend werden die Fasern in einem umlaufenden Schlägerwerk bearbeitet, um restliche Holzbestandteile vollständig zu entfernen. Dieser Vorgang heißt Schwingen.
- Zum Schluss werden die Fasern gekämmt. Dabei werden die langen Pflanzenfasern vom kurzfasrigen, sogenannten Flachswerg befreit. Dieser Vorgang heißt Hecheln.

Die festen und trotzdem geschmeidigen Fasern sind grau bis lichtblond gefärbt, weisen eine Länge zwischen 20 und 140 cm auf und können jetzt in einer Spinnerei zu Fäden versponnen werden.

### Traditionelle Anwendungen

Flachs- und Hanffasern dienten schon immer zur Herstellung von Textilien und Haushaltswäsche. Die Schifffahrt war früher entscheidend auf Taae,

Seile, Netze und Segeltücher aus Flachs- und Hanffasern angewiesen. Heutzutage werden für diese Produkte weitgehend synthetische Fasern verwendet, da diese nicht verrotten und wesentlich leichter und belastbarer sind.

Bei hochwertigen Textilien hat sich in den letzten Jahren wieder ein Trend hin zu Naturfasern entwickelt. Kleidung aus Flachs oder Hanf ist in.

### Neuartige Anwendungsgebiete für Naturfasern

Bei der Herstellung von Bootsrümpfen, Auto- und Flugzeugteilen sowie anderen Gegenständen werden seit Jahrzehnten glasfaserverstärkte Kunststoffe eingesetzt: Gewebe aus dünnen Glasfasermatten werden mit Kunststoffmischungen getränkt und in Formen eingelegt. Nach dem Aushärten können die fertigen glasfaserverstärkten Kunststoffteile (GFK-Teile) der Form entnommen werden. Die in den Verbundwerkstoffen verwendeten Glasfasern halten zwar hohen Zugspannungen und Druck stand, brechen aber bei seitlicher Belastung leicht. Deutlich wird dieses Verhalten etwa bei den hoch belastbaren Carbonfasern: Rohre aus diesem Material sind extrem stabil, können aber durch einen seitlichen Schlag gegen eine scharfe Kante leicht brechen. Daher finden mittlerweile auch andere Fasern – wie Aramidfasern (Kevlar®) – Anwendung, die sich zu sehr stabilen und leichten Teilen verarbeiten lassen.

Hier zeichnet sich eine neue Verwendung von Naturfasern, wie Flachs oder Hanf, ab: Im Kraftfahrzeugbau plant man, die Innenverkleidungen von Pkws aus naturfaserverstärkten Kunststoffen zu fertigen. Vorteile sollen eine bessere Geräuschdämmung und eine höhere mechanische Belastbarkeit sein. Bei der Kraftfahrzeugentsorgung lassen sich solche Bauteile rückstandslos verbrennen. Die Herstellung der Formteile erfolgt unter Wärme- und Druckeinwirkung und ist im Vergleich zu anderen Verfahren weniger zeitaufwendig. Dadurch können die im Automobilbau benötigten großen Stückzahlen gewährleistet werden.

Neben ihrer Verwendung in Verbundwerkstoffen dienen Naturfasern auch zur Herstellung von Filtermaterialien, technischen Geweben und Vliesen.

Weitere hochwertige Anwendungsmöglichkeiten für Naturfasern sind Brems- und Kupplungsbeläge.



**MEDIZIN AUS DER NATUR – Möglichkeiten** Folie 15

In der Natur wachsen viele Pflanzen, deren Inhaltsstoffe als Arzneimittel verwendet werden. Oftmals sind die Moleküle so kompliziert aufgebaut, dass eine künstliche Herstellung (chemische Synthese) zu aufwendig ist.

The diagram illustrates two pathways: 1) The extraction of Digitalis from the foxglove plant (Fingerhut) and its use as a heart therapy. 2) The extraction of Morphine from the opium poppy (Mohn) and its conversion to Codein, which is used as a cough suppressant.

**MEDIZIN AUS DER NATUR – Grenzen** Folie 16

Viele Wirkstoffe, die früher oftmals nur aus Pflanzen gewonnen werden konnten, lassen sich heutzutage im Labor herstellen. Neue Synthesestrategien und insbesondere biotechnologische Verfahren erlauben die gezielte Darstellung naturidentischer Verbindungen. Dies ist billiger als eine Aufarbeitung von Pflanzen.

The diagram compares historical and modern synthesis: 1) Taxol (Antikrebsmittel) was historically extracted from yew trees (Eibe) but is now synthesized in a laboratory. 2) Ascorbic acid (Vitamin C) was historically extracted from lemons (Zitrone) but is now synthesized in a bioreactor (Biofermenter).

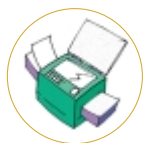
Arzneimittel auf pflanzlicher Basis sind ein nahezu unüberschaubares Gebiet. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass es neben hochwirksamen Naturstoffen auch eine große Zahl von Pflanzenauszügen und darauf basierenden Zubereitungen gibt, deren Wirksamkeit zumindest umstritten ist. Aus der Fülle der Beispiele werden mit Digitalisglycosiden und Morphin Stoffe gezeigt, die ausschließlich aus den entsprechenden Pflanzen isoliert werden. Taxol hingegen ist ein Beispiel für einen Wirkstoff, der heute auch synthetisch zugänglich ist. Vitamin C schließlich wird heute auf der Basis eines nachwachsenden Rohstoffes synthetisiert, aber nicht aus pflanzlichem Material isoliert.

Die heilende Wirkung vieler Pflanzeninhaltsstoffe ist seit jeher bekannt. Schon die Germanen wussten heimische Pflanzen, wie Schlehe, Weißdorn und Holunder, für Heilzwecke einzusetzen. Der Einzug der römischen Kultur brachte Heil- und Kräuterpflanzen, wie beispielsweise Dill, Anis, Senf, Koriander, Kerbel und Beifuß nach Deutschland. Nach dem Rückzug der Römer geriet der reichhaltige Gartenbau in den nächsten Jahrhunderten durch Kriege und Völkerwanderungen in Vergessenheit. Erst im frühen Mittelalter begannen Mönche wieder, verschiedene Heilpflanzen zu kultivieren. Von

ihren Reisen brachten sie neue Heilkräuter mit. Aus den Klostergärten verbreiteten sich die Pflanzen in die Bauerngärten; die uns heute bekannte Vielfalt konnte entstehen.

Die Wirkung von Heilpflanzen beruht auf Inhaltsstoffen wie Glykosiden, ätherischen Ölen, Alkaloiden, Bitterstoffen, Schleimen, Gerbstoffen, Vitaminen, aber auch Spurenelementen und Mineralien. Heilpflanzen enthalten oftmals nicht nur einen einzigen Wirkstoff, sondern eine Mischung unterschiedlicher Substanzen.

- Glykoside sind im Pflanzenreich weit verbreitet. Chemisch bestehen sie aus einem substituierten Kohlenhydrat (daher auch der Name Glykosid). Der Substituent bestimmt dabei entscheidend die Wirkung des Glykosids. Ein bekanntes Beispiel sind die im Fingerhut enthaltenen Digitalisglykoside, die ein sehr wirksames Herztherapeutikum darstellen und auch noch heute wie früher eingesetzt werden.
- Ätherische Öle sind in fast jeder Pflanze, jedoch in sehr unterschiedlichen Mengen, enthalten. Sie sind Gemische organischer Verbindungen wie beispielsweise Alkohole, Aldehyde, Ketone, Ester oder Kohlenwasserstoffe und haben ein breites Anwendungsspektrum. Beispielsweise ist Pfefferminzöl, das man in Apotheken kaufen kann, äußerlich bei Erkältungskrankheiten und Kopfschmerzen, oral eingenommen auch bei Magenverstimmungen wirksam.
- Alkaloide kommen in vielen Pflanzen vor. Charakteristisch für ihre chemische Struktur sind ein oder mehrere Stickstoffzentren, die, meist heterocyclisch, im Molekül eingebaut sind. Viele Alkaloide gehören zu den auf den Organismus wirksamsten Verbindungen pflanzlichen Ursprungs. Die stärksten Gifte und Rauschgifte sind Alkaloide. Beispiele sind Meskalin, Cocain, Strychnin und Morphin, aber auch Nicotin und Coffein. Durch ihre ausgeprägte Wirksamkeit werden sie oft in der Schmerztherapie eingesetzt. Viele bekannte hochwirksame Pharmazeutika sind Alkaloidderivate. Beispiel hierfür ist das aus Morphin herstellbare Codein, das als Hustenmittel verwendet wird.
- Schleime sind aus Pflanzen isolierbare Gele. Chemisch sind es Polysaccharide, die äußerlich eine entzündungshemmende und innerlich eine abführende Wirkung haben.



Auf Kopiervorlage N (ohne Abb.) ist die Herstellung einer Kamillenhandcreme aufgezeigt, die als Schülerversuch im Unterricht durchgeführt werden kann.

- Gerbstoffe sind in vielen Pflanzen enthalten. Man findet sie in Blättern (Tee) oder auch in Samen (Kaffee). Chemisch sind Gerbstoffe sogenannte Tannine (frz. tanin – Gerbstoff). Bei Tanninen handelt es sich um natürliche Polyphenole unterschiedlicher Zusammensetzung. Pharmakologisch wirken sie entzündungshemmend, adstringierend und blutstillend.
- Vitamine, Spurenelemente und Mineralien finden sich in verschiedenen Pflanzen. Als essentielle Bausteine mussten sie schon immer dem menschlichen Organismus mit der Nahrung zugeführt werden.

Zur Gewinnung der wirksamen Pflanzeninhaltsstoffe lassen sich verschiedene Verfahren anwenden.

- Am einfachsten ist eine direkte Verwendung der Pflanzen oder Pflanzenteile, wie z. B. getrocknet in Form von Tees.
- Die Wasserdampfdestillation, die z. B. bei der Gewinnung von ätherischen Ölen Anwendung findet, hilft auch wasserunlösliche Verbindungen aus dem Pflanzenextrakt abzutrennen.
- Die Extraktion ist die effektivste Methode, um pflanzliche Inhaltsstoffe zu gewinnen. Dabei werden die in bestimmten Lösemitteln löslichen Pflanzeninhaltsstoffe quantitativ gelöst und durch Filtration sowie anschließendes Abdestillieren des Lösemittels als saubere Extrakte gewonnen.

Pflanzliche Wirkstoffe spielen pharmakologisch auch heute noch eine wichtige Rolle: Etwa 50 % aller Arzneimittel beruhen auf pflanzlichen Inhaltsstoffen, d. h., die Molekülstruktur der Medikamente entspricht oder ähnelt der Struktur natürlicher Verbindungen. Neue Verbindungen werden oftmals durch die systematische Untersuchung von Pflanzen gefunden.

Die Komplexität vieler Pflanzeninhaltsstoffe macht eine schnelle und einfache Synthese teilweise unmöglich, etwa wenn bei Alkaloiden viele stereochemische Zentren aufgebaut werden müssen. Der synthetische Zugang läuft oft über viele Stufen ab, was die Produkte sehr teuer macht.

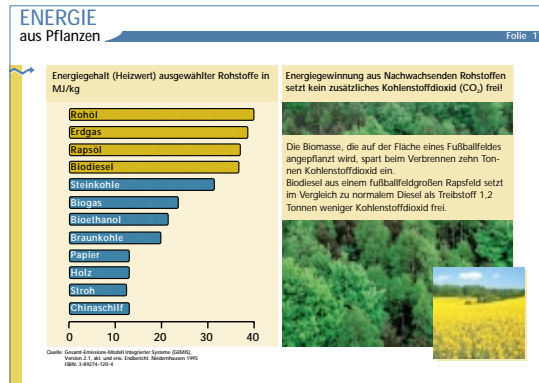
Daher werden viele kompliziert aufgebaute Naturstoffe auch heute noch aus pflanzlichen Rohstoffen gewonnen. Hinzu kommt, dass viele pflanzliche Rohstoffe in großer Menge verfügbar und ihre

Wirkstoffe auf einfache Weise isolierbar sind. Beispiele hierfür sind die auf der Folie dargestellten Digitalisglykoside und das aus Mohn gewinnbare Morphin.

Es gibt aber auch pflanzliche Pharmazeutika, die nicht mehr aus pflanzlichen Rohstoffen gewonnen werden. Gründe hierfür sind zum einen neue Synthesemethoden und biotechnologische Verfahren, aber auch die Monopolstellung der Pflanzenzüchter: Lässt sich ein benötigter Wirkstoff nur aus Pflanzen gewinnen, die nicht in ausreichender Menge, schlecht oder nur regional begrenzt kultivierbar sind, können die Preise sehr schnell steigen. Ein Beispiel hierfür ist das auf der Folie dargestellte Taxol, das als Krebstherapeutikum eingesetzt wird. Taxol wurde früher ausschließlich aus der Rinde der pazifischen Eibe (*Taxus brevifolia*) gewonnen. Immer kleiner werdende Baumbestände gaben dann Anlass, nach einer Alternative zu suchen. Es wurden Totalsynthesen für die Herstellung von Taxol entwickelt. Zeitgleich wurde herausgefunden, dass ausreichende Mengen Taxol aus einer Verbindung hergestellt werden können, die in den Nadeln der europäischen Eibe vorkommt. Der Einsatz dieser aus Pflanzen isolierbaren chemischen Vorstufe machte die Totalsynthese dieses wichtigen Medikamentes hinfällig.

Die Einführung biotechnologischer Verfahren hat die kostengünstige stereoselektive Herstellung vieler Naturstoffe ermöglicht. In biotechnologischen Verfahren werden Bakterien eingesetzt, um Substrate, wie beispielsweise Zucker, umzuwandeln. Die erhaltenen Verbindungen sind die Stoffwechselprodukte der Bakterien. Ein bekanntes Beispiel sind Milchsäurebakterien, die Glucose zu rechts- und linksdrehender Milchsäure abbauen.

Auf der Folie ist als Beispiel die Ascorbinsäure dargestellt. Ascorbinsäure wurde früher aus Zitrusfrüchten gewonnen. Heutzutage wird in Fermentationsprozessen D-Sorbit, das man aus Glucose herstellen kann, zu einem Ketozucker, der L-Sorbose, dehydriert. L-Sorbose wird anschließend durch chemische Reaktion zur L-Ascorbinsäure umgesetzt. Die Darstellung von Ascorbinsäure ist somit ein herausragendes Beispiel für die Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen.



Die Möglichkeiten, Energie aus nachwachsenden Rohstoffen zu erzeugen, werden auf der vorliegenden Folie verdeutlicht. Auch die Herstellung von Biodiesel (RME) wird noch einmal aufgegriffen.

Zur Erarbeitung eignet sich Kopier-vorlage O.

Ein unterhaltendes Silbenrätsel ist auf Kopier-vorlage P abgedruckt.

Zum Abschluss der Unterrichtseinheit finden sich auf den Kopier-vorlagen Q und R zwei Rätsel, die nicht nur unterhaltend sind, sondern auch der Wiederholung dienen. Für das Kreuzwörterrätsel sind zwei Ausführungen abgedruckt, die aber jeweils dieselbe Lösung ergeben. Assoziationen, Phantasie und gedankliche Beweglichkeit sind aber in jedem Fall notwendig, um zur Lösung zu gelangen.

Der wichtigste Energielieferant der Erde ist die Sonne. Solarzellen können Sonnenenergie direkt in elektrische Energie umwandeln. Auch Windkraftwerke sind auf Sonnenenergie angewiesen: Durch Sonneneinstrahlung entstehen Temperaturgefälle, die den zur Energieerzeugung benötigten Wind verursachen. Auch die Wasserkraft – mit Ausnahme der in Gezeitenkraftwerken genutzten Energie – beruht letztendlich auf der Sonnenenergie, die den Wasserkreislauf antreibt.

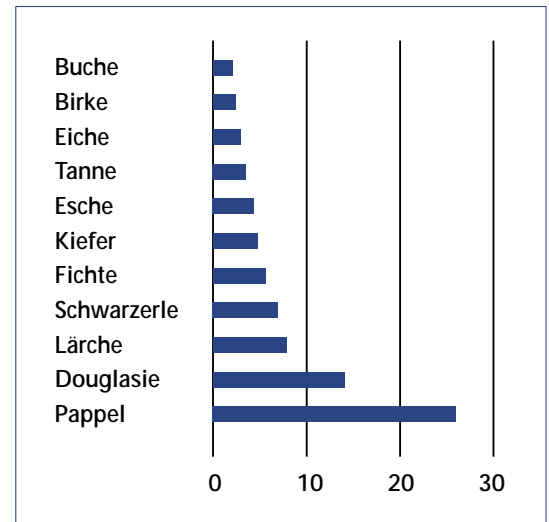
Pflanzen nutzen die Sonnenenergie, um energiereiche Kohlenstoffverbindungen aus Wasser und Kohlenstoffdioxid zu synthetisieren. Gewachsenes Pflanzenmaterial wird als Biomasse bezeichnet.

### Strom und Wärme aus nachwachsenden Rohstoffen

Zum Heizen, Kochen und zur Stromerzeugung werden Energieträger im großen Umfang benötigt. Traditionell ist in vielen Ländern – auch heute noch – Holz der wichtigste Energielieferant. Auch bei uns ist die Nutzung von Holz als Brennmaterial in Kaminöfen wieder in Mode gekommen. Die Verbrennung nachwachsender Rohstoffe hat den entscheidenden Vorteil, dass bei der Verbrennung von Pflanzen nur so viel Kohlenstoffdioxid entsteht, wie vorher von der Pflanze während ihres Wachstums gebunden wurde.

Die Verfeuerung nachwachsender Rohstoffe in Kraftwerken lohnt sich besonders, wenn Holzabfälle, Stroh oder andere Pflanzenreste in großer Menge zur Verfügung stehen. Beispielsweise fallen in der Landschaftspflege Grasschnitt, Hölzer und Pflanzenreste an, die nach Trocknung verfeuert werden können. Mittlerweile werden spezielle

schnell wachsende Pflanzen- und Baumarten gezüchtet. Beispiele hierfür sind das sogenannte Schilfgras und verschiedene Pappelarten. Die Abbildung zeigt die Wachstumsgeschwindigkeit ausgewählter Baumarten.



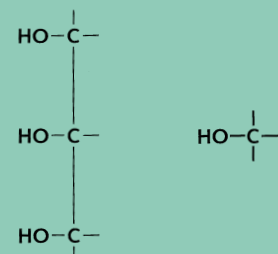
Durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs ausgewählter Baumarten pro Hektar [m<sup>3</sup> nutzbares Holz]

### Kopier-vorlage O

BEISPIELE FÜR PFLANZEN UND PFLANZENTEILE  
Holz, Stroh, Schilf, Äste, Zweige  
VORTEIL DER ENERGIEGEWINNUNG  
AUS PFLANZEN

Beim Verbrennen von Pflanzen wird kein zusätzliches Kohlenstoffdioxidgas freigesetzt. Die entstehende Menge an Kohlenstoffdioxidgas ist vorher während der Photosynthese durch die Pflanze aus der Luft aufgenommen worden.

STRUKTURFORMELN VON GLYCERIN UND METHANOL





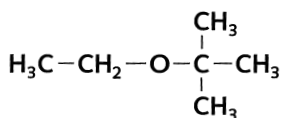
### Biodiesel und Bioethanol

Ein großer Teil des Erdöls dient der Herstellung von Treibstoffen. Die begrenzten Vorkommen dieses fossilen Energieträgers und andere bereits genannte Nachteile machen eine Suche nach alternativen Kraftstoffen notwendig.

Für die Treibstoffherstellung aus pflanzlichen Rohstoffen gibt es verschiedene Möglichkeiten: Rapsöl und andere Pflanzenöle können direkt in Verbrennungsmotoren eingesetzt werden. Allerdings müssen die Motoren speziell für diese Treibstoffe ausgelegt werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Methylester von Fettsäuren als Dieselmotorkraftstoffe einzusetzen. Im Falle von Rapsöl heißt der Treibstoff Rapsölmethylester (RME) oder auch Biodiesel.

Biodiesel lässt sich nach geringfügigem Umrüsten der Fahrzeuge problemlos verwenden. In Deutschland kann man (1997) an etwa 700 Tankstellen Biodiesel tanken.

Ein weiterer Treibstoff auf pflanzlicher Basis ist das Ethanol, das in diesem Zusammenhang oft auch Bioethanol genannt wird. Die großtechnische Gewinnung von Bioethanol ist mit der Trinkalkoholherstellung vergleichbar: Kohlenhydratreiches Pflanzenmaterial, wie Zuckerrüben oder Getreide, wird mit Wasser und Hefe versetzt und vergoren. Die Hefepilze ernähren sich von den Kohlenhydraten und produzieren Ethanol und Kohlenstoffdioxid als Abbauprodukte ihres Stoffwechsels. Das Ethanol wird abdestilliert. Ethanol kann direkt bis zu 5 Vol.-% gewöhnlichem Ottokraftstoff zugemischt werden oder wird zunächst zum Ethyl-t-butylether (ETBE) umgesetzt und als solcher als Benzinadditiv verwendet.

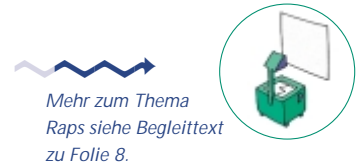


Ethyl-t-butylether

Finanziell lohnend ist das Verfahren unter den derzeitigen Rahmenbedingungen nicht, die Hauptmenge des Ethanols wird deshalb auf der Basis von Erdöl gewonnen. Dabei wird Ethylen bei erhöhten Temperaturen und Drücken katalytisch mit Wasser umgesetzt. Aber auch das so hergestellte Ethanol ist als Treibstoff bzw. Treibstoffzusatz gegenüber Benzin/Diesel nicht konkurrenzfähig.

### Biogas

Eine dritte Möglichkeit der Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen ist die Erzeugung von Biogas. Es gibt Bakterien, die pflanzliche Rohstoffe anaerob, also ohne Sauerstoff, abbauen. Hauptprodukt ihres Stoffwechsels ist Methangas. Geeignete Nahrungsquelle für derartige Bakterienstämme können pflanzliche Abfälle, Abfälle aus Gärungsprozessen, aber auch tierische und menschliche Exkremente sein. Biogasanlagen lohnen sich besonders in Verbindung mit landwirtschaftlichen Betrieben. Aber auch bei vielen Verfahren der Gewinnung nachwachsender Rohstoffe bleiben Reste von Pflanzen übrig. Werden diese Reste nicht als Viehfutter verwendet, kann ihre Nutzung zur Erzeugung von Biogas sinnvoll sein.



### Kopiervorlage P

DER REIHE NACH SIND VON OBEN NACH UNTEN FOLGENDE WÖRTER EINZUTRAGEN:

1. Raps, 2. Ölfarbe, 3. Holz, 4. Seife,
5. Tenside, 6. Orange, 7. Fingerhut, 8. Flachs,
9. Lignin, 10. Industriepflanze, 11. Extraktion,
12. Fettsäuren, 13. Erdöl, 14. Recyclingpapier,
15. Autoreifen, 16. Naturfasern,
17. Treibstoffe

ALS LÖSUNGSWORT ERGEBEN DIE ANFANGSBUCHSTABEN DER WÖRTER, VON OBEN NACH UNTEN GELESEN:

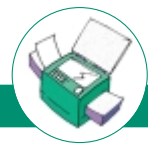
Rohstofflieferant.

### Lohnt sich die Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen?

Fossile Rohstoffe sind auf unserer Erde begrenzt, und es stellt sich die Frage, inwieweit die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe helfen kann, fossile Rohstoffe einzusparen. Auf den ersten Blick scheint dies selbstverständlich zu sein, da die in nachwachsenden Rohstoffen enthaltene Energie nichts anderes ist als in Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie. Durch die Photosyntheseleistung von Pflanzen könnten – bei genügend großen Ackerflächen – auf nachhaltige Weise beträchtliche Mengen an Energieträgern produziert werden.

Aber auch für den Anbau Nachwachsender Rohstoffe wird Energie benötigt. Der Landwirt benutzt zum Bestellen des Feldes einen Traktor, der wiederum Dieselkraftstoff zum Fahren braucht. Die Pflanzen auf dem Feld müssen mit Pflanzenschutzmitteln und Dünger behandelt werden, und nach der Ernte für eine weitere Nutzung transportiert sowie aufbereitet werden. Auch die Herstellung von Dieselkraftstoff, die Produktion von Pflanzenschutzmitteln und Düngern sowie der Transport von Pflanzen und ihre Aufbereitung verbrauchen Energie. Für eine Beurteilung, ob sich die Energiegewinnung aus Nachwachsenden Rohstoffen lohnt, müssen all diese Gesichtspunkte berücksichtigt und miteinander verglichen werden.

Das Resultat der Berechnung ist die Energiebilanz. Tatsächlich zeigen wissenschaftliche Untersuchungen, dass die aus Nachwachsenden Rohstoffen gewonnene Energiemenge bis zu 65-mal höher ist als die Energiemenge, die man zur Produktion der Pflanzen benötigt. Die Energiebilanz für Nachwachsende Rohstoffe ist also positiv, wobei die gewinnbare Energiemenge vom eingesetzten Pflanzenbrennstoff (Getreidepflanze, Stroh, Holzhackschnittel, Schilfgras etc.) sowie dem notwendigen Einsatz an Betriebsmitteln (z. B. Nutzungstechniken, Dünge- und Pflanzenschutzmittel) abhängt. Die Energieerzeugung aus Nachwachsenden Rohstoffen ist also sinnvoll und kann helfen fossile Rohstoffe einzusparen.



## Kopiervorlagen Q und R

1	N	A	2	C	3	H	4	W	5	A	6	C	7	H	8	S	9	E	N
A			10	R	E	E	T				11	E	I	B	E				
12	T	R	A	U	B	E					I			13	E	I			
U			M		14	E	M	S	L	15	A	N	D						
16	R	17	A	B	18	E	N				19	P	R						H
		20	L	E	R			21	H	E	F	E							A
22	E	U			Z						23	L	A	M	M				
L			24	S		25	S	I	S	A	L								M
26	B	I	O	27	G	A	S				N			28	P	E			
E			29	J	E	T	S				30	Z	31	I	E	L			
		32	M	A	L	Z				33	W	E	R	T					

## VERÖFFENTLICHUNGEN DER FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR), GÜLZOW

Erhältlich bei der FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., Hofplatz 1, 18276 Gülzow  
Telefon: 0 38 43/69 30-0, Fax: 0 38 43/69 30-102, E-Mail: info@fnr.de

### ALLGEMEINES INFORMATIONSMATERIAL UND BROSCHÜREN

*Nachwachsende Rohstoffe. Spitzentechnologie ohne Ende, 1999*  
*Biomasse. Nachwachsende Energie aus der Land- und Forstwirtschaft, 1997*  
*Dämmstoffe aus der heimischen Natur, 1997*  
*Biomasse. Eine erneuerbare Energie, 2000*  
*Biogas. Eine erneuerbare Energiequelle, 2000*  
*Adressenverzeichnis „Nachwachsende Rohstoffe“ (Neuaufgabe 2001 in Vorbereitung)*

### SCHRIFTENREIHE „GÜLZOWER FACHGESPRÄCHE“

*Biotechnologie und Gentechnik in der Industriepflanzenzüchtung, 1996*  
*Färberpflanzen, 1997*  
*Arznei- und Gewürzpflanzen, 1997*  
*Nachwachsende Rohstoffe. Von der Forschung zum Markt, 1998*  
*Energetische Nutzung von Biomasse mit Brennstoffzellenverfahren, 1999*  
*Lokale Agenda 21. Bioschmierstoffe in der kommunalen Praxis, 1999*  
*Lacke und Farben aus nachwachsenden Rohstoffen, 1999*  
*Forum Färberpflanzen, 1999*  
*Statusseminar „Biologisch schnell abbaubare Schmier- und Verfahrensstoffe“, 2000*  
*Markt- und Preissituation bei Faserpflanzen, 2000*  
*Energetische Nutzung von Biomasse durch Kraft-Wärme-Kopplung, 2000*

### SCHRIFTENREIHE „PFLANZEN, ROHSTOFFE, PRODUKTE“

*Pflanzen für die Industrie, 2001*

### PROJEKTBLÄTTER (AKTUELLER STAND SIEHE UNTER WWW.FNR.DE)

*Hafenschlickentsorgung durch Flockungsmittel auf Stärkebasis*  
*Gammalinolensäure*  
*Linoleum*  
*Forsthydraulik*  
*Betontrennmittel*  
*Wirbelschichtvergasung*  
*Gerb- und Farbstoffe aus Rhabarberwurzeln*  
*Mais als Porosierungsmittel für die Ziegelindustrie*  
*Kapselsysteme zur biologischen Schädlingsbekämpfung*  
*Dieselmotorschmierung mit Pflanzenöl*

### INTERNETRECHERCHE (Auswahl zu weiterführender allgemeiner und didaktischer Literatur)

[www.fnr.de](http://www.fnr.de) • [www.biomasse-info.net](http://www.biomasse-info.net) • [www.boxer99.de](http://www.boxer99.de) • [www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de) • [www.dainet.de](http://www.dainet.de)  
[www.flachs.de](http://www.flachs.de) • [www.gdch.de](http://www.gdch.de) • [www.haf.de](http://www.haf.de) • [www.inaro.de](http://www.inaro.de) • [www.nova-institut.de](http://www.nova-institut.de) • [www.ufop.de](http://www.ufop.de)  
[www.vci.de](http://www.vci.de)

## DIDAKTISCHE LITERATUR

1. *Experimentierset Nachwachsende Rohstoffe*. Bezugsquelle: Aug. Hedinger, Chemikalien/Lehrmittel, Postfach 60 02 62, 70302 Stuttgart-Wangen.
2. MELLE, INSA; BADER, HANS JOACHIM: *Nachwachsende Rohstoffe in der experimentellen Schulchemie. Eine Übersicht*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 6/96, S. 16-19.
3. LÜCK, GISELA; DEMUTH, REINHARD: *Nachwachsende Rohstoffe: Bedeutung für die Bundesrepublik Deutschland. Eine Übersicht*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 6/96, S. 2-8.
4. SOMMERFELD, HERBERT: *Fette und Öle als Rohstoffe für die Chemie*. Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie 7/89, S. 8-13.
5. BLUME, RÜDIGER; SOMMERFELD, HERBERT; BADER, HANS JOACHIM: *Chemierohstoffe aus Pflanzenfetten, Experimente zur Unterrichtseinheit „Nachwachsende Rohstoffe“*. Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie 7/89, S. 28-32.
6. BAUER, HERBERT FRIEDRICH; SCHERBAUM, MARTINA; BADER, HANS JOACHIM: *Industriepflanzenanbau. Nachwachsende Rohstoffe*. Ein Vorschlag zur Behandlung des Themas „Pflanzenöle“ im Chemieunterricht der Hauptschule. Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie 7/89, S. 19-27.
7. STÄUDEL, LUTZ; MANDER, KLAUDIA; RUDOLPH, MARTINA: *Das Leinöl-Projekt – fächerübergreifender Unterricht für die Mittel- und Oberstufe*. Praxis der Naturwissenschaften - Chemie 6/95, S. 8-12.
8. SOMMERFELD, HERBERT; BLUME, RÜDIGER; BADER, HANS JOACHIM: *Nachwachsende Rohstoffe in der Oleochemie – Vom Rohstoff zum Produkt*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 2/90, S. 28-33.
9. BADER, HANS JOACHIM; SOMMERFELD, HERBERT: *Nachwachsende Rohstoffe im Unterricht*. Beispiele Energieproduktion/Rohstoffe für die Tensidsynthese. Teil 1: Chemie in der Schule 2/94, S. 61-69, Teil 2: Chemie in der Schule 3/94, S. 94-98.
10. BLUME, RÜDIGER: *Kohlenhydrate als Basis zur Gewinnung von organischen Chemikalien*. Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie 7/89, S. 14-18.
11. BLUME, RÜDIGER; SOMMERFELD, HERBERT: *Experimente zum Thema Kohlenhydrate als Nachwachsende Rohstoffe*. Naturwissenschaften im Unterricht – Physik/Chemie 7/89, S. 38-42.
12. ENGELSKIRCHEN, KONRAD: *Carboxymethylcellulosen – Wasserlösliche Polymere auf Basis nachwachsender Rohstoffe*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 4/97, S. 2-8.
13. SOMMERFELD, HERBERT: *Das Acetosolv-Verfahren zur schadstoffarmen Herstellung von gebleichtem Zellstoff*. Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie 4/95, S. 23-25.
14. FECKL, J.: *Hydrolyse von Polysacchariden und Verwertung der Produkte*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 4/97, S. 8-12.
15. BADER, HANS JOACHIM; HARJI, ZOHRA: *Slime. Die Faszination von Glibber*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 1/00, S. 38
16. BOJACK, SANDRA; STEINEMANN, JÖRG; EILKS, INGO; RALLE, BERND: *Biodiesel aus Rapsöl*. Chemie konkret 1/97, S. 27-28.
17. BAUR, VERONIKA; MELLE, INSA; BADER, HANS JOACHIM: *Herstellung von Biodiesel im Schulversuch*. Chemie konkret 3/00, S. 143-144.
18. HARTINGER, VERONIKA; MELLE, INSA; MONZ, SABINE; BADER, HANS JOACHIM: *Die Analyse von Fettsäuren. Ein wichtiger Aspekt des Themas Fette und Öle als nachwachsende Rohstoffe*. Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht 4/99, S. 219-226.
19. SOMMERFELD, HERBERT; NETENJAKOB, RITA; BLUME, RÜDIGER: *Nachwachsende Rohstoffe – Lignin und Proteine*. Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie 2/93, S. 19-21.
20. NETENJAKOB, RITA; SOMMERFELD, HERBERT; HILGERS, UWE; BLUME, RÜDIGER: *Alles aus Protein: Folien und Tenside*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 6/96, S. 33-35.
21. SCHANZENBACH, DIRK: *Chitin und Chitosan – Chemie und Biochemie vielseitiger Naturstoffe*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 6/00, S. 8-17.
22. BADER, HANS JOACHIM; BIRKHOLZ, ELKE: *Chitin – Ein wertvolles Polysaccharid aus Krabbenpanzern*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 6/96, S. 24-30.
23. REINHARDT, GUIDO A.: *Zur Ökobilanz von Verpackungen aus nachwachsenden Rohstoffen*. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 6/96, S. 8-15.
24. HUNTEMANN, HEIKE; PARCHMANN, ILKA: *Biologisch abbaubare Kunststoffe. Ein neues Konzept für den Chemieunterricht*. Chemie konkret 1/00, S. 15-21.

## **FOTONACHWEIS (OVERHEADFOLIEN)**

Andreas Stihl, Waiblingen  
Bayer AG, Leverkusen  
Brauerei Beck GmbH & Co., Bremen  
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn  
Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH (CMA), Bonn  
Cotton Service Büro, Frankfurt/Main  
Dorland Public Relations, Berlin  
Dunlop SP Reifenwerke GmbH, Hanau  
Empe Werke, Geretsried  
HanfHaus GmbH, Berlin  
Henkel KGaA, Düsseldorf  
Hoechst AG, Frankfurt/Main  
ICI Dulux Lacke Farben GmbH, Hilden  
Institut für Angewandte Forschung, Fachhochschule Reutlingen, Reutlingen  
Institut für Didaktik der Chemie, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt/Main  
Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Rheinstetten  
Leinen Schwurhand-Zeichenverband e.V., Bielefeld  
Okapia Bildarchiv KG, Berlin  
Pflanzenarchiv Lavendelfoto, Hamburg  
Premium Stock Photography GmbH, Düsseldorf  
Südzucker AG, Mannheim  
Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), Bonn  
Weco GmbH, Eitorf  
Weleda AG, Schwäbisch Gmünd  
Wella AG, Darmstadt

## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.,  
Hofplatz 1, 18276 Gülzow  
Telefon: (0 38 43) 69 30-0, Fax: (0 38 43) 69 30-102

Gefördert durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz,  
Ernährung und Landwirtschaft, Bonn

### **Autoren**

Prof. Dr. Hans Joachim Bader, Dr. Sabine Nick, Prof. Dr. Insa Melle  
Johann Wolfgang Goethe-Universität, Fachbereich Chemie,  
Institut für Didaktik der Chemie, Frankfurt/Main

### **Redaktion**

Angela Schulze-Scholpp, Dorland Public Relations. Grey Gruppe, Berlin

### **Gestaltung**

Wiebke Enwaldt & Ines Vorberg, Dorland Public Relations. Grey Gruppe, Berlin

### **Vertrieb**

Schroedel Verlag, Hannover

# NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

- Vielfalt
- Einsatzmöglichkeiten
- Trends

Ein brandaktuelles  
Thema, spannend  
und praxisbezogen  
aufbereitet

Herausgeber  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.  
Hofplatz 1, 18276 Gülzow  
Telefon: (0 38 43) 69 30-0, Fax: (0 38 43) 69 30-102  
E-Mail: [info@fnr.de](mailto:info@fnr.de), Internet: <http://www.fnr.de>

Gefördert durch das Bundesministerium für  
Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn

Mit freundlicher Unterstützung des  
Schroedel Verlages, Hannover

