

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

» Die Natur als chemische Fabrik «

Versuch's

mal



Seife aus
Pflanzenfett



* Zucker für Waschmittel und als Bakterienfutter!



Schon

gewusst?

* Herzmittel aus
Fingerhut?

Kunststoffe aus Pflanzen!



.....Treibstoffe
vom Acker

Stoffe der 1.000 Möglichkeiten ...



INHALT



✳️ Nachwachsende Rohstoffe

Die Natur als chemische Fabrik

2

✳️ Pflanzenöle und Pflanzenfette

Stoffe der 1.000 Möglichkeiten

6

✳️ Zucker und Kohlenhydrate

Ein Baukasten der Natur

11

✳️ Faseriges aus Pflanzen

Alte und neue Anwendungen

13

✳️ Rohstoff Holz

Nicht nur für Möbel

14

✳️ Mutter Natur als Apotheke

Pflanzen mit Heilwirkung

17

✳️ Sonnenenergie auf Umwegen

Treibstoffe vom Acker

18

NACHWACHSENDE ROHSTOFFE

Die Natur als chemische Fabrik

Waschmittel, Verpackungen oder Lacke: Zahlreiche Produkte werden auf Basis Nachwachsender Rohstoffe hergestellt. Doch was sind Nachwachsende Rohstoffe? Und was sind – im Gegensatz dazu – Rohstoffe, die nicht nachwachsen?

An einem Baggersee kann man manchmal beobachten, wie Kies abgebaut wird. Nach längerer Zeit ist unter Umständen zu sehen, dass die Kiesvorräte vollständig weggebaggert wurden. Entweder ist ein neuer See entstanden, oder man hat die Grube wieder mit Erde gefüllt und bepflanzt. Betrachten wir nun im Vergleich einen landwirtschaftlichen Betrieb: Der Bauer sät Getreide oder Mais auf dem Feld an. In der folgenden Wachstumsperiode wird er, wenn er sorgfältig arbeitet und die Wetterbedingungen gut sind, geerntet haben und wieder andere Ackerpflanzen, wie Zuckerrüben, Gemüse oder Raps, aussäen.

An den beiden Beispielen wird bereits ein grundlegender Unterschied deutlich:

- * Bestimmte Rohstoffe, wie in unserem Beispiel der Kies, werden abgebaut und erneuern sich nicht mehr von selbst. Dies gilt für Erze, aus denen Metalle gewonnen werden, genauso wie für die sehr wichtigen fossilen Rohstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle.

- * Pflanzen hingegen können Jahr für Jahr angebaut werden und sind eine nahezu unerschöpfliche Rohstoffquelle.

Pflanzen dienen nicht nur als Nahrungsmittelgrundlage für Mensch und Tier, sie liefern auch Rohstoffe für viele andere Produkte: Bäume liefern Holz zum Bauen oder für die Papierherstellung. Öle aus Pflanzensamen, wie Sonnenblumenkerne zum Beispiel, kommen in der Kosmetikindustrie zum Einsatz.

Da diese Rohstoffe immer wieder neu zur Verfügung stehen, werden sie Nachwachsende Rohstoffe genannt.

Dies gilt ebenso für tierische Produkte, wie zum Beispiel tierische Fette, die als Abfälle anfallen und für die Herstellung von Seife verwendet werden. Da auch diese Stoffe immer wieder verfügbar sind, werden sie mit zu den Nachwachsenden Rohstoffen gerechnet.

Übrigens:

Rohstoffe sind natürlich vorkommende organische und anorganische Stoffe. Beispiele sind Pflanzenöle, Erdöl, Kalkstein und Eisenerz. Rohstoffe dienen zur Herstellung verschiedenster Produkte oder können wie Holz oder Erdgas der Energiegewinnung dienen.



Fossile Rohstoffe wie zum Beispiel Torf, Braunkohle, Steinkohle, Erdöl und Erdgas, sind in der erdgeschichtlichen Vergangenheit entstanden. Sie haben sich in Jahrtausenden aus abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Organismen gebildet.

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

Nachwachsende Rohstoffe – was ist das überhaupt?

Die Verwendung Nachwachsender Rohstoffe ist nichts neues.

- * Holz wurde schon immer für Balken, Bretter und Werkzeuge, aber auch für den Bau von Häusern und Schiffen verwendet. Holz war lange die universelle Energiequelle zum Heizen und Kochen.
- * Bis in das 19. Jahrhundert wurden zum Färben von Geweben aller Art fast nur Pflanzenfarbstoffe verwendet.
- * Bereits die Ägypter, Griechen und Römer kannten Gerbstoffe aus Baumrinden, Hölzern oder Blättern, um Leder haltbar zu machen.
- * Aus pflanzlichen und tierischen Fetten wird seit Jahrhunderten Seife hergestellt.



In vielen anderen Fällen ist die Verwendung Nachwachsender Rohstoffe nicht so leicht zu erkennen. Dies gilt besonders dann, wenn pflanzliche und tierische Stoffe von der chemischen Industrie umgewandelt und veredelt werden. Die unten stehende Abbildung zeigt dazu einige Beispiele. Bereits diese Auswahl lässt die große Vielfalt sowohl der verwendeten Stoffe als auch ihrer Anwendungen erahnen.



Nachwachsende Rohstoffe – wir finden sie überall.

Viele Dinge des täglichen Lebens werden aus Nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Jeder von uns nutzt Nachwachsende Rohstoffe, wenn er einen Wollpullover, einen Seidenschal oder ein Baumwollhemd trägt.



Wird eine Pflanze angebaut, um sie in der Industrie zu verwenden, spricht man von einer Industriepflanze. Beispiele sind Erucaraps, Flachs und Hanf.

Viele Pflanzen können sowohl für die Herstellung von Nahrungsmitteln als auch für chemische und industrielle Zwecke verwendet werden. Beispiele sind die Zuckerrübe oder der Raps.

Die Natur als chemische Fabrik

Fossile Rohstoffe – viele Vorteile, aber auch Nachteile.

Erdöl und Erdgas sind heute die wichtigsten fossilen Rohstoffe. Aus ihnen werden viele Dinge unseres täglichen Lebens hergestellt. Die Palette reicht von Kunststoffen über Lacke und Farben, synthetische Textilien bis hin zu Arzneimitteln. Herkömmliche Treibstoffe wie Benzin, Dieselkraftstoff oder Kerosin für Flugzeugmotoren werden aus Erdöl hergestellt. Erdgas dient in vielen Haushalten zur Beheizung und Warmwasserbereitung. Neben den vielen Vorteilen sind aber auch die Nachteile zu nennen:

- * Beide Rohstoffe sind auf der Welt nicht in unendlichen Mengen vorhanden. Auch wenn in den letzten Jahrzehnten neue Erdgas- und Erdölfelder entdeckt wurden, werden diese Quellen irgendwann versiegen.
- * Erdöl und Erdgas sind nicht gleichmäßig auf der Welt verteilt. Dadurch sind oft lange Transportwege notwendig. Dies kostet zum einen Energie, zum anderen ist der Transport – wie auch die Förderung selbst – nicht immer ohne Risiken.
- * Voraussetzung für eine gesicherte Versorgung der Industriestaaten ist, dass Förder- und Verbraucherländer zusammen und nicht gegeneinander arbeiten.
- * Werden Erdöl und Erdgas verbrannt, bildet sich Kohlenstoffdioxid. Dieses an sich unschädliche Gas entsteht immer bei der Verbrennung organischer Stoffe. Kohlenstoffdioxid trägt zur Aufheizung der Erdatmosphäre bei. Deshalb wird es auch Treibhausgas genannt. Eine Erwärmung der Erdatmosphäre könnte zum Abschmelzen der Polkappen, damit zum Anstieg der Meeresspiegel und zu katastrophalen Überschwemmungen und Klimaveränderungen führen.

Übrigens:

Aktuelle Schätzungen der Mineralöl-Industrie besagen, dass die weltweiten Erdölvorräte bei weiterhin steigendem Verbrauch bis zum Jahr 2040 erschöpft sein werden. Somit hätte es der Mensch geschafft, innerhalb von gut 150 Jahren die über viele Jahrtausende entstandenen Ressourcen des „Schwarzen Goldes“ komplett aufzubauchen.



Auch in Zukunft sind Erdöl und Erdgas unverzichtbar. Da beide Rohstoffe aber nur in begrenzten Mengen vorkommen, sich nicht selbst erneuern und immer knapper werden, versucht man, sie in bestimmten Teilbereichen zu ersetzen. Hier bietet sich der Einsatz pflanzlicher und auch tierischer Rohstoffe an. Die Vorteile sind deutlich:

- * Pflanzen benötigen zum Wachsen Sonnenenergie, Wasser, Kohlenstoffdioxid und Nährstoffe. Gleichzeitig geben sie Sauerstoff ab. Werden pflanzliche Produkte verbrannt, wird nur so viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt, wie vorher aus der Luft gebunden wurde. Die Nutzung pflanzlicher Rohstoffe führt also beim Verbrennen nicht zu einer zusätzlichen Freisetzung des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid.
- * Pflanzliche und tierische Rohstoffe enthalten chemische Grundstoffe, die aus Erdöl nur mit einem vergleichbar größeren Aufwand hergestellt werden könnten.



Photosynthesekreislauf

- * Derzeit werden in Deutschland nicht alle landwirtschaftlichen Flächen für die Nahrungsmittelproduktion benötigt. Äcker können brachliegen – oder es werden Nutzpflanzen für industrielle und chemische Zwecke angebaut. Dabei können neue Züchtungen die Wirtschaftlichkeit von Pflanzen noch steigern. Auch kann durch den Anbau unterschiedlicher Pflanzen einer Artenverarmung entgegengewirkt werden.
- * Viele Nachwachsende Rohstoffe ermöglichen es, Produkte zu gewinnen, die umweltverträglich und leicht abbaubar sind. Dies gilt schon heute zum Beispiel für viele Waschmittel auf der Basis von Pflanzenölen.



Sonnenlicht



Die Potentiale Nachwachsender Rohstoffe sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Um aber eine umfangreiche Nutzung Nachwachsender Rohstoffe zu ermöglichen, sind weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung nötig. Ziel ist es, den Anteil Nachwachsender Rohstoffe bei der Herstellung vieler Produkte zu erhöhen und dort, wo heute ausschließlich Stoffe auf der Basis von Erdöl eingesetzt werden, Alternativen auf pflanzlicher und tierischer Basis zu finden. Dabei ist die Zusammenarbeit unterschiedlicher Wissenschaftsgebiete notwendig. Pflanzenzüchter müssen Pflanzen bereitstellen, die die gewünschten Inhaltsstoffe in hohen Ausbeuten liefern. Ingenieure haben die Aufgabe, neue Erntegeräte und Verarbeitungsmaschinen zu konstruieren. Chemiker suchen nach Möglichkeiten, Pflanzeninhaltsstoffe einfach abzutrennen und sie in hochwertige verkaufsfähige Produkte umzuwandeln. Dabei arbeiten sie wieder mit Ingenieuren zusammen, die die Materialeigenschaften und Verarbeitungswege neuer Werkstoffe erproben und optimieren. Die Wirtschaftlichkeit der neuen Produkte wird schließlich von Wirtschaftswissenschaftlern überprüft.

Trotz aller Bemühungen kann es aber nicht darum gehen, Erdöl und Erdgas vollständig zu ersetzen.

Dazu reicht einerseits die vorhandene landwirtschaftliche Fläche nicht aus, andererseits gibt es Produkte, die sich auch in Zukunft konkurrenzlos billig und in hoher Qualität nur aus Erdöl und Erdgas herstellen lassen werden. Ein Beispiel ist der Kunststoff Polyethylen, der heute in riesigen Mengen erzeugt und verbraucht wird.

In den nächsten Kapiteln werden wir etwas genauer auf einige ausgewählte Nachwachsende Rohstoffe eingehen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Stoffen und Produkten, die man aus bei uns kultivierten oder kultivierbaren Pflanzen erhalten kann.



PFLANZENÖLE UND PFLANZENFETTE

Stoffe der 1.000 Möglichkeiten

Sieht man einen einfachen Fettfleck, kann man sich kaum vorstellen, dass aus einem solchen Fett Seife und andere Waschmittel, aber auch Klebstoffe, Kunststoffe und Lacke hergestellt werden. Vom Fett bis zum nützlichen Produkt ist es ein weiter Weg. Wie sehen die einzelnen Etappen aus?

Pflanzensamen wie Sonnenblumenkerne, Rapsamen, Leinsamen oder Nüsse enthalten Pflanzenöle und -fette.

Versuch's mal!



➔ Reibe einen aufgeschnittenen Sonnenblumenkern oder eine halbierte Nuss stark auf einem Blatt Papier, und du siehst sofort einen Fettfleck.

Wie werden Fette und Öle gewonnen?

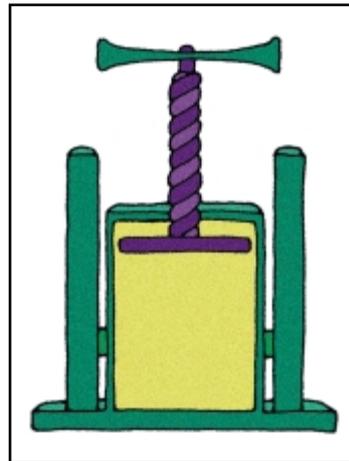
Die reifen Pflanzen werden geerntet, und die ölhaltigen Samen – die Ölsaart – wird abgetrennt. Die weitere Verarbeitung findet in sogenannten Ölmühlen statt.

Eine gängige Methode, aus der Ölsaart die Öle zu gewinnen, ist das Auspressen. Dieses kann bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt werden. Die bei Raumtemperatur gewonnenen Pflanzenöle heißen kaltgepresste Öle, die bei erhöhten Temperaturen gewonnenen Pflanzenöle entsprechend heißgepresste Öle. Kaltgepresste Pflanzenöle zählen zu den wertvollsten und teuer-



Als Fette bezeichnet man tierische und pflanzliche Stoffe, die flüssig, halbfest oder fest sein können. Chemisch sind sie Ester aus Glycerin und Fettsäuren. Fette, die bei Raumtemperatur flüssig sind, nennt man Öle. Streng genommen müsste man sogar „fette Öle“ sagen. Welche chemische Verbindung sich hinter dem Begriff „Öl“ versteckt, lässt sich immer nur aus dem Zusammenhang erkennen. So sind Erdöl und Rapsöl chemisch sehr unterschiedlich.

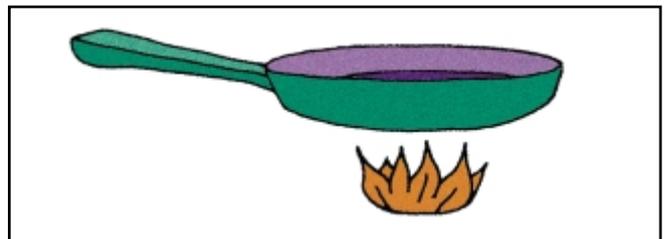
sten Ölen. Erhöhte Presstemperaturen vergrößern zwar die Ölausbeute, lösen aber zusätzlich andere Inhaltsstoffe aus den ölhaltigen Pflanzenbestandteilen, die das Aroma und die Qualität des Öles stark vermindern und deshalb abgetrennt werden müssen.



Auspressen



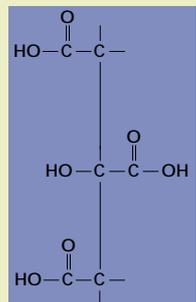
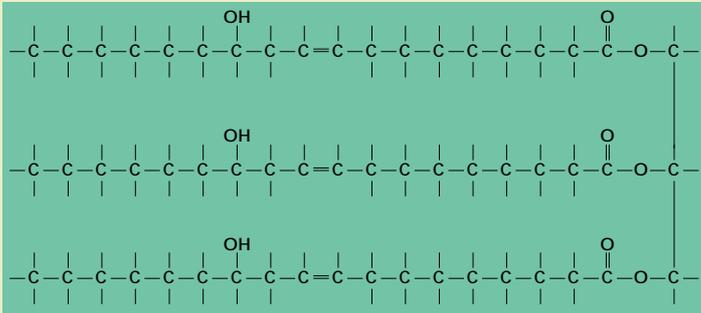
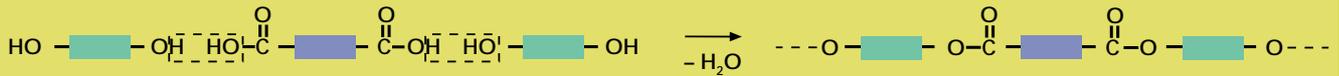
Extraktion



Ausschmelzen

Als Rückstand des Pressvorganges erhält man die sogenannten Presskuchen, in denen selbst bei Verwendung starker Pressen immer Ölreste zurückbleiben. Um das Öl vollständig zu gewinnen, werden die zerkleinerten Pflanzensamen bzw. die Presskuchen mit einem Lösemittel – zum Beispiel eignet sich sehr sauberes Benzin – vermischt. Dann wird filtriert, so dass eine Lösung des Fettes oder Öles in Benzin erhalten wird. Bei anschließender Destillation des Benzin-Öl-Gemisches verdampft das Benzin. Zurück bleibt das saubere Pflanzenöl oder das Pflanzenfett. Dieser Prozess heißt Extraktion.

Polyester entstehen durch Reaktion mehrwertiger Alkohole mit mehrwertigen Carbonsäuren unter Wasserabspaltung.



Rizinusöl

Zitronensäure

Aus Rizinusöl und Zitronensäure lässt sich ein Polyester herstellen.

gewonnen wird. Leinöl besteht aus Triglyceriden mit Fettsäureresten, die mehrere C=C-Doppelbindungen enthalten. Unter Einwirkung des Luftsauerstoffs werden die einzelnen Moleküle des Leinöls durch Reaktion der Doppelbindungen miteinander verbunden, so dass riesige Moleküle entstehen. Leinöl ist als Leinölfirnis in Baumärkten erhältlich und wird zum Anstreichen von Holz verwendet. Nach dem Trocknen bildet es lackartige Schichten, die das Holz lange Zeit vor Nässe und Schmutz schützen. Auch für die Herstellung von Naturfarben ist Leinöl ein guter Ausgangsstoff. Dieses Heft wurde übrigens mit solchen Farben gedruckt.

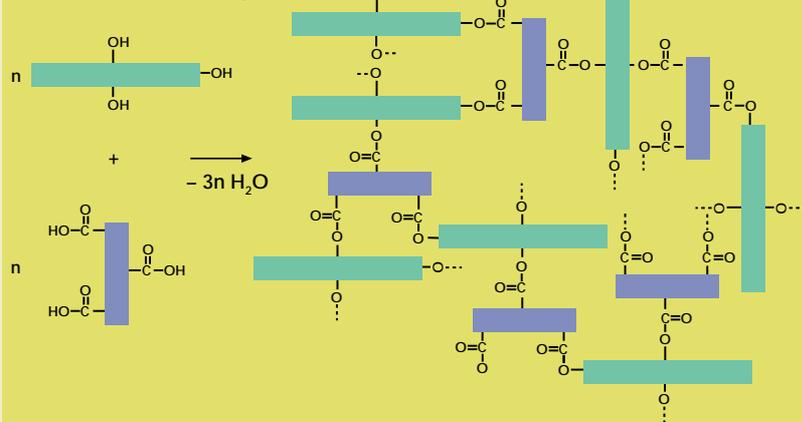
Der Trick mit der Wiederverwendung

Pflanzenöle sind wertvolle Rohstoffe, mit denen man sparsam umgehen sollte. Deshalb ist eine Mehrfachverwendung sinnvoll. Aus altem Fritteusenfett können beispielsweise Seifen, Tenside oder Tierfutter hergestellt werden. Dieses System ist erweiterungsfähig: Gebrauchte Frittierfette könnten gereinigt auch als Hydrualiköle dienen. Diese ließen sich, nachdem sie unbrauchbar geworden sind, zur Herstellung von Biodiesel oder Tensiden einsetzen.

Übrigens:

Cremt man sich die Hände ein, verwendet man stets Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen. Cremes sind Mischungen aus Wasser und Pflanzenölen, denen verschiedene andere Stoffe, wie zum Beispiel Parfüm und hautpflegende Substanzen, zugesetzt sind. Da sich Wasser und Öl bekannterweise nicht mischen – das Öl scheidet sich auf der Oberfläche des Wassers ab –, werden bei der Herstellung von Cremes sogenannte Emulgatoren benötigt.

Schematische Darstellung:



Herstellung eines Polyesters

Wir verwenden jetzt als Alkohol Rizinusöl, das aus dem Samen der Rizinusstauden gewonnen wird. Deses Moleküle besitzen jeweils drei Alkoholgruppen. Rizinusöl wird nun zusammen mit Zitronensäure, die drei Carbonsäuregruppen trägt, umgesetzt. Es entsteht ebenfalls ein Polyester. Das Ergebnis der Reaktion ist hier schematisch dargestellt. Vom Rizinusöl sind nur die Alkoholgruppen gezeigt, von der Säure nur die Säuregruppen.

Es gibt pflanzliche Öle, die unter der Einwirkung von Luftsauerstoff feste Kunststoffe bilden. Solche an der Luft fest werdenden Öle nennt man trocknende Öle. Ein Beispiel ist das schon lange genutzte Leinöl, das aus den Samen der Leinpflanze, den Leinsamen,

Auch andere Kosmetika und Hygieneartikel wie Shampoos, Schaumbäder, Duschbäder oder Puder enthalten Produkte aus pflanzlichen Ölen und Fetten. Und auch in der Pharmazie sind Fette Grundlage für Cremes und Salben. Salben enthalten meist kein Wasser, sondern basieren stattdessen in der Regel auf Wachsen, oft Bienenwachs oder Wollwachs von Schafen. Aber auch tierische Fette wie Schweineschmalz oder Rindertalg kommen zum Einsatz. Letztere werden jedoch zunehmend durch die pflanzlichen Fette Palm- oder Rapsöl ersetzt.

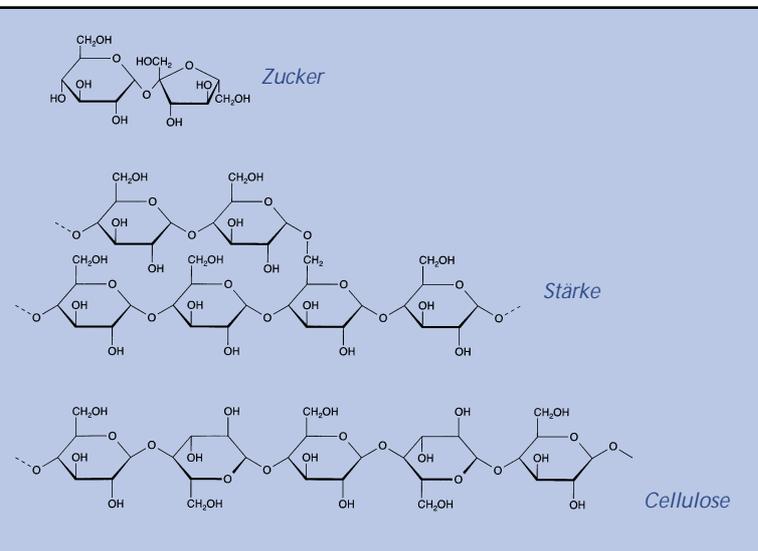
ZUCKER UND KOHLENHYDRATE

Ein Baukasten der Natur

Was sind Zucker und Kohlenhydrate?

Ganz egal, ob wir einen Löffel Zucker in den Tee rühren, die Nase mit einem Papiertaschentuch putzen oder einen Baumwollpullover anziehen, alle Stoffe gehören der gleichen Gruppe chemischer Substanzen an: Sie werden Kohlenhydrate, Zucker oder auch Saccharide genannt. Der Chemiker bezeichnet mit dem Begriff „Zucker“ also nicht nur Rohrzucker, Fruchtzucker und Traubenzucker. Auch wir werden die Begriffe „Kohlenhydrate“ und „Zucker“ als gleichwertig nebeneinander verwenden.

Die Natur nutzt die Zucker wie einen Baukasten. Aus verhältnismäßig wenigen Grundbausteinen lassen sich Substanzen mit unvorstellbarer Vielfalt aufbauen. Dabei dienen Kohlenhydrate im tierischen und pflanzlichen Organismus als wichtiger Energiespeicher. Pflanzen nutzen Kohlenhydrate aber auch als Bausubstanz.



Die Übersicht verdeutlicht, dass auch die sehr großen Moleküle von Stärke und Cellulose aus einzelnen Zuckerbausteinen aufgebaut sind.



Zucker sind energiereiche Kohlenstoffverbindungen der Summenformel $C_nH_{2n}O_n$. Kohlenhydrate werden auch Saccharide genannt. Sie werden in Abhängigkeit von der Anzahl der Bausteine im Molekül als Mono-, Di- und Polysaccharide bezeichnet.

Zucker für Waschmittel

Waschmittel sollen eine sehr gute Waschwirkung haben, nicht gegen Wasserhärte empfindlich und gut im Abwasser abbaubar sein. Um diesen Anforderungen zu genügen, sucht man nach immer besseren waschaktiven Verbindungen. Als sehr geeignet haben sich in den letzten Jahren Produkte auf der Basis von Zuckern erwiesen. Diese Verbindungen werden „Alkylpolyglycoside“ oder kurz „APGs“ genannt. Sie werden vor allem für Geschirrspülmittel eingesetzt.

Zucker als Bakterienfutter

Mit Zucker werden auch Bakterien gefüttert. Warum und wozu? Einige Bakterienstämme nutzen Zucker für ihren Stoffwechsel. Dabei scheiden sie Stoffe aus, die für den Menschen nützlich sind. Solche Verfahren, bei denen biologische Prozesse für die Produktion von Stoffen genutzt werden, heißen biotechnologische Verfahren.

Arzneimittel wie Penicilline und andere Antibiotika, aber auch Vitamine lassen sich so aus Zucker von den Bakterien herstellen. Neben ihren Stoffwechselprodukten werden auch die Bakterien selbst zur Gewinnung von Medikamenten genutzt. Es gibt zum Beispiel Bakterien, die das Hormon Insulin als zelleigenes Eiweiß produzieren. Insulin, das normalerweise in der Bauchspeicheldrüse hergestellt wird, reguliert den Blutzuckergehalt des Körpers.

Bei manchen Menschen, den Diabetikern, ist die körpereigene Insulinproduktion gestört, sie müssen ihrem Körper Insulin zuführen.

Früher wurde dieses lebenswichtige Hormon aus der Bauchspeicheldrüse von Rindern und Schweinen gewonnen. Die Insulinausbeute pro Tier war aber so gering, dass man unzählige Organe benötigte, um alle Diabetiker zu versorgen.





Biologisch abbaubare Kunststoffflaschen

Auch hier hat die Medizin große Fortschritte gemacht: Heute kann Insulin mit Hilfe von Bakterien, die mit dem Nachwachsenden Rohstoff Zucker gefüttert werden, in ausreichenden Mengen hergestellt werden.

Andere Bakterien scheiden, wenn sie mit Traubenzucker „gefüttert“ werden, den Kunststoff Polyhydroxybuttersäure aus, einen Polyester, der biologisch abbaubar ist. Daraus hergestellte Verpackungen können kompostiert werden.

Polyhydroxybuttersäure wird unter dem Markennamen Biopol vertrieben. Der Kunststoff ist thermoplastisch, also bei höherer Temperatur verformbar. Derzeit ist Biopol für eine breite Verwendung noch zu teuer. Noch viele andere Möglichkeiten werden derzeit untersucht, Zucker in der Chemie zu verwenden. So kann man etwa aus Zuckern eine Substanz herstellen, die als Ersatz von Formaldehyd bei der Herstellung bestimmter Kunststoffe dienen kann.



Kartoffelpflanze

Starke Anwendungen für Stärke

Stärke ist ein wichtiger Bestandteil unserer Nahrung: Nudeln, Reis, Kartoffeln und Mehl sind stärkehaltig. Grundbaustein der verschiedenen Stärkearten ist der Zucker Glucose.

Stärke dient aber nicht nur als Nahrungsmittel. Mit heißem Wasser entsteht ein dickflüssiger Brei, der Stärkekleister. Man kann damit Tapeten an die Wand kleben oder Papier und Pappen miteinander verkleben.

Große Mengen Stärke benötigt man auch bei der Papierherstellung. Stärkezusätze machen das Papier fester und besser beschreibbar, das Papier wird „geleimt“.

Ganz neue Anwendungen von Stärke haben sich in den letzten Jahren ergeben, bei der Suche nach leicht verrottbaren Verpackungen. Einweggeschirr wurde nämlich vorwiegend aus Kunststoffen hergestellt, was große Mengen an biologisch nicht abbaubarem Müll verursachte. Geschirr aus Stärke bietet da Vorteile: Es kann als Viehfutter dienen oder sogar gegessen werden. Die Reste werden kompostiert. Ursprünglich bestand das Problem, dass das Geschirr durch flüssige Speisen aufgeweicht wurde. Mittlerweile ist das Problem gelöst. Das „Wie“ bleibt natürlich Geheimnis der Hersteller.



Kompostierbare Pflanztöpfe

FASERIGES AUS PFLANZEN

Alte und neue Anwendungen

Pflanzliche und tierische Fasern werden schon immer vom Menschen genutzt. Das chemische Bauprinzip aller Pflanzenfasern ist gleich. Sie bestehen aus Cellulose, also langkettigen Kohlenhydraten aus vielen Glucosemolekülen.

Pflanzenfasern – wie übrigens auch tierische Fasern (Wolle, Seide etc.) – haben ihre Bedeutung in der Textilherstellung nie verloren: T-Shirts aus Baumwolle und Hosen aus Leinenstoff sind überall zu kaufen. In Deutschland wachsen zwar keine Baumwollpflanzen, aber Flachs, der die Fasern für Leinen liefert. In den vergangenen Jahrzehnten wurde diese Nutzpflanze bei uns jedoch kaum noch angebaut, da Importe und andere Fasern billiger waren. Erst in

ten Bedingungen darf Hanf nun in Deutschland wieder von Landwirten angebaut werden. Hanffasern sind etwas härter als Flachsfasern, aber auch dauerhafter. In vergangenen Jahrhunderten wurden Seile, Taue, Segel und Kleider aus dieser Faser hergestellt. Jeans – heute aus Baumwollstoff – waren ursprünglich aus Canvas, eben Hanf.

Es ist zu erwarten, dass Pflanzenfasern in Zukunft auch im technischen Bereich eine größere Bedeutung erlangen.

Pflanzenfasern ersetzen Glasfasern und Asbest

Zur Herstellung von Bootsrümpfen, Autoteilen, Flugzeugteilen und vielen anderen Gegenständen hat man ein universelles Verfahren entwickelt: Gewebe aus dünnen Glasfasern werden in einer Form mit einer flüssigen Kunststoffmischung getränkt. Diese Mischung wird nach einigen Stunden hart, und man kann der Form das fertige GFK-Teil, ein Teil aus glasfaserverstärktem Kunststoff, entnehmen. Mittlerweile werden nicht nur Glasfasern, sondern auch noch belastbarere Gewebe verwendet. Diese ergeben sehr stabile und leichte Teile.

Der Gedanke liegt nahe, bei den benötigten Geweben auf Naturfasern zurückzugreifen. Im modernen Autobau plant man, Innenverkleidungen für Pkw daraus zu fertigen. Dies bringt handfeste Vorteile: Die Geräuschkämmung ist besser, und auch die mechanische Belastbarkeit soll höher sein als bei den bisher verwendeten Werkstoffen. Und nicht zuletzt kann man solche Verkleidungen als Altmaterial rückstandslos verbrennen.

Zur Herstellung werden das Gewebe aus Pflanzenfasern und der Kunststoff unter Wärmeeinwirkung in einer Form gepresst. Das fertige Teil kann nach sehr kurzer Zeit entnommen werden. Der geringe Zeitfaktor gilt als wesentliches Plus angesichts der im Autobau benötigten hohen Stückzahlen.



Verarbeitung von Flachs

den letzten Jahren hat man sich auch bei uns wieder verstärkt dem Flachs zugewandt.

Der Weg von der Flachspflanze bis zum gewebten Leinen ist aufwendig: Von den Stängeln müssen die verholzten Bestandteile abgelöst werden, da man erst dann weiche und saubere Fasern erhält, die versponnen werden können. Allerdings müssen Wege gefunden werden, die Verarbeitungsschritte maschinell durchzuführen, um eine rentable Verarbeitung sicherzustellen.

Eine weitere Pflanze, die bei uns kultiviert werden kann – und früher auch kultiviert wurde –, ist der Hanf. Wegen seines Rauschgiftgehaltes und der Gefahr des Missbrauches war der Anbau lange Zeit verboten. Mittlerweile werden Sorten gezüchtet, die fast kein Rauschgift mehr enthalten. Unter bestimm-



Flachs, Hanf, Baumwolle

ROHSTOFF HOLZ

Nicht nur für Möbel

Fast 30 Prozent der Fläche Deutschlands sind mit Wald bedeckt. Die Wälder der Welt sind unersetzliche Biotope, aber auch unersetzliche Rohstoffquellen für Holz.

In der Vergangenheit betrieb der Mensch Raubbau mit den natürlichen Ressourcen. In der Antike waren selbst die Mittelmeerländer stark bewaldet. Durch die Abholzung für den Schiffsbau veränderte sich die Agrarstruktur. Wie auch heute bei Regenwald oder Alpenregionen löste sich der Erdboden, und der Landstrich verödete. Resultat dieser Art von Raubbau ist immer eine Klimaveränderung.

tet, d. h., es darf nur so viel Holz genutzt werden, wie nachwächst.

Das Bild des Baumes mit seinen vielen Ästen zeigt, was man aus Holz alles machen kann. Wir wollen uns hier speziell mit der Cellulose und der Herstellung von Papier und Fasern aus Cellulose beschäftigen.

Cellulose – das wichtigste Holzprodukt

Holz besteht nur knapp zur Hälfte aus Cellulose.

Weitere Bestandteile sind Lignin (20 bis 30 %) und Hemicellulosen (10 bis 30 %). Es geht darum, Cellulose möglichst sauber und einfach von den anderen Begleitstoffen abzutrennen.

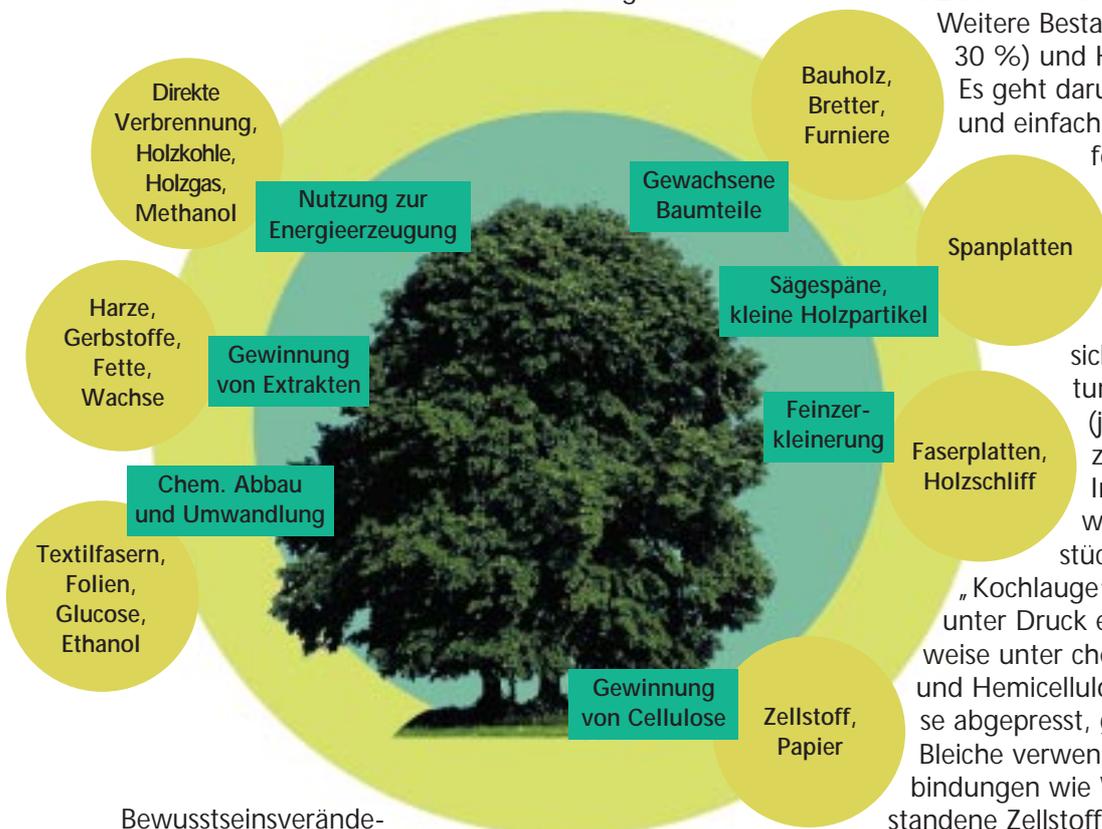
Das Grundprinzip der Zellstoffherstellung zeigt das nebenstehende Schema.

Das Holz – besonders eignen sich sogenanntes „Durchforstungsholz“ und Industrierestholz (je zu 50 %) – wird zunächst zerkleinert.

In großen Reaktionsgefäßen werden die zerkleinerten Holzstücke mit einer sogenannten „Kochlauge“ versetzt und einige Stunden unter Druck erhitzt. Dabei lösen sich – teilweise unter chemischer Reaktion – Lignine und Hemicellulosen. Danach wird die Cellulose abgepresst, gewaschen und gebleicht. Zur Bleiche verwendet man heute Sauerstoffverbindungen wie Wasserstoffperoxid. Der entstandene Zellstoff wird in Form dicker Pappen auf Rollen verkauft.

Neben Zellstoff können – je nach Verfahren – auch verkäufliche Nebenprodukte gewonnen werden. Eines davon ist die aus Lignin entstehende Ligninsulfonsäure. Mischt man Ligninsulfonsäure mit Beton, so fließt dieser besser und schneller. Besonders nützlich ist dies, wenn man einen vollständig geraden Fußboden aus Beton gießen möchte.

Ein wichtiger Einsatzbereich für Zellstoff ist die Herstellung von Papier – vom Schreib- oder Geschenkpapier über Papiertaschentücher bis hin zum Toilettenpapier – und Pappen. Cellulose wird auch chemisch weiter umgesetzt, wodurch sogenannte halbsynthetische Kunststoffe entstehen.

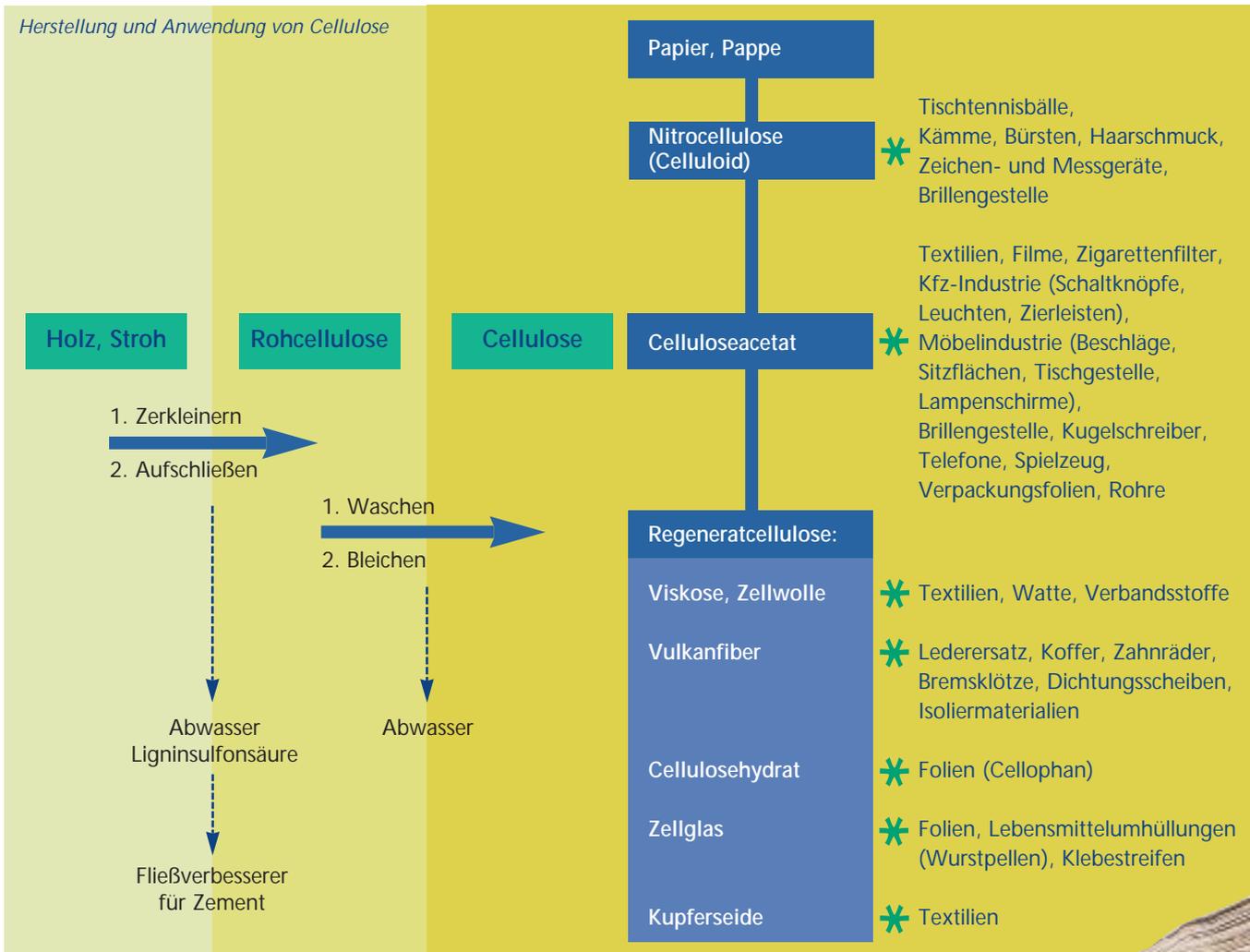


Bewusstseinsveränderungen der Menschheit treten leider sehr viel langsamer ein. Man nutzt den Wald so wie einen fossilen Rohstoff, nicht aber wie eine Quelle für einen nachwachsenden Rohstoff. Dabei geht es auch anders: Bei uns wird der Wald nach dem Grundsatz der Nachhaltigkeit bewirtschaftet.



Durchforstungsholz fällt an, wenn der Wald ausgelichtet wird. Im so kultivierten Wald erhält man gute und gerade gewachsene Holzstämmen, die für große Holzteile wie Balken und Bretter benötigt werden.

Ein universeller Werkstoff- und Energielieferant



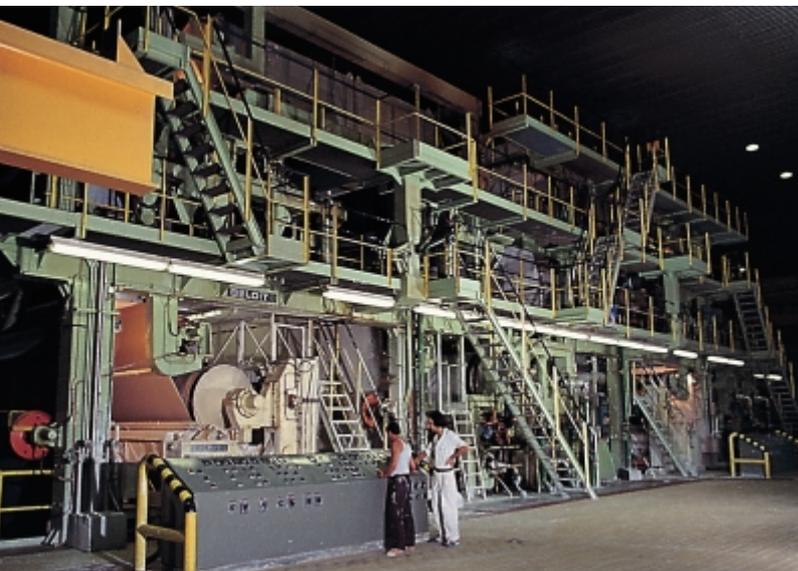
Papier und Pappen

Der Weg von der Cellulose zum Papier ist eigentlich ganz einfach: Man zerteilt Cellulose in Wasser so weit, dass ein faseriger Brei entsteht. Mit auf Rahmen gespannten Sieben schöpft man nun gleichmäßige dünne Schichten des Breis ab. Nach dem Abtropfen des Wassers werden die dünnen Blätter getrocknet. Da die Fasern des Zellstoffs miteinander verfilzt sind, ist so ein reißfähiges Papier entstanden. Dieses Verfahren ist sehr leicht nachzumachen und ergibt schönes individuelles Papier. Bei der industriellen Produktion werden natürlich Maschinen eingesetzt, die aber nach dem gleichen

Prinzip arbeiten. Die nach dem einfachen Verfahren hergestellten Papiere und Pappen sind nicht gleichmäßig, nicht sehr reißfest und für viele Zwecke zu saugfähig. Deshalb versetzt man den Faserbrei je nach gewünschtem Produkt mit verschiedenen Hilfsstoffen. Ein wichtiger Zusatz ist die Stärke, die das Papier reißfester und weniger saugfähig macht. Hier ergänzen sich also gleich zwei nachwachsende Rohstoffe!



Cellulose ist das wichtigste Polymer in der Natur und kommt in allen Pflanzen vor. Sie besteht aus vielen Glucoseeinheiten. Lignin ist eine kompliziert gebaute Verbindung, die für die Verholzung von Pflanzen verantwortlich ist. Hemicellulosen sind wie die Cellulose Vielfachzucker. Anders als die Cellulose bestehen sie jedoch aus unterschiedlichen Einfachzuckern und besitzen zusätzlich ein stark verzweigtes Molekülgerüst.



Papiermaschine

Papiere mit Holzschliff

Papiere aus reinem Zellstoff – sogenannte „holzfreie“ Papiere – sind von hoher Qualität und damit teuer.

Es geht aber auch billiger: Holz wird staubfein geschliffen und direkt – oder unter Zusatz von Zellstoff – zu Papier für Zeitungen verarbeitet. Bei sehr groben Papieren lassen sich meist noch feine Holzpartikel erkennen. Sie vergilben sehr leicht, wenn sie Licht ausgesetzt sind. Ursache hierfür ist ihr hoher Ligningehalt.

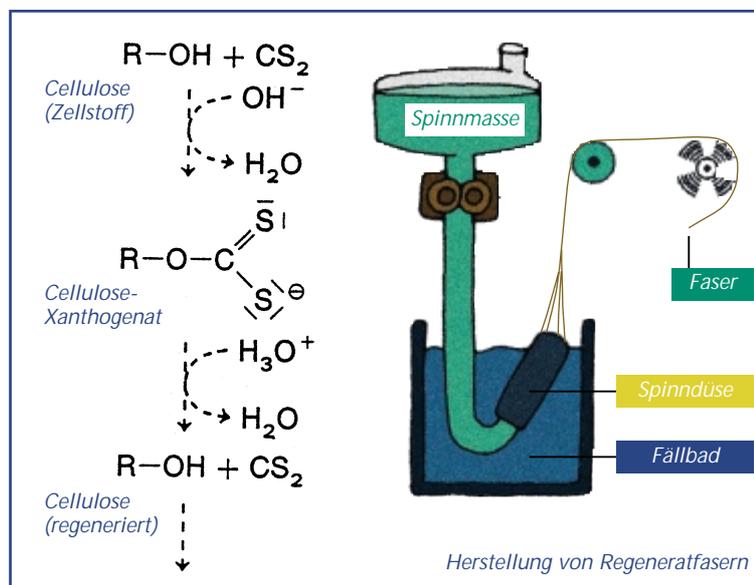
„Natürliche“ Kunststoffe aus Cellulose – die ältesten Kunststoffe

Im letzten Jahrhundert wurde ein Ersatzstoff für die teuren Billardkugeln aus Elfenbein gesucht. Die Lösung hieß: Cellulose. Cellulose reagiert mit Salpetersäure zu „Nitrocellulose“. Diese löst sich in Alkoholen oder kann mit einem Weichmacher verknetet und dann verformt werden. Der erste „natürliche“ Kunststoff, das Celluloid, war erfunden. Es war nicht nur das geeignete Material für Billardkugeln und Tischtennisbälle, sondern auch für Filme.

Leider brennt Celluloid sehr leicht. Und so musste der Filmvorführer früher ungemein aufpassen, dass sich der Film nicht am heißen Projektor entzündete.

Bei anderen halbsynthetischen Kunststoffen aus Cellulose ist das anders: Cellulose kann mit Essigsäure umgesetzt werden. Dabei erhält man einen Kunststoff, der ebenfalls zu Filmen oder Textilfasern verarbeitet werden kann. Dieses Filmmaterial brennt nur schwer und wird als „Sicherheitsfilm“ bezeichnet.

Cellulose wäre eigentlich ein gutes Material für Textilfasern. Bei der Gewinnung aus Holz fallen aber nur kurze Fasern an, die sich nicht zu Fäden verarbeiten lassen. Man fand aber Chemikalien, in denen man Cellulose lösen kann. Die Lösungen werden durch Düsen in eine andere Flüssigkeit gespritzt, in der die Cellulose nicht löslich ist. Bei geschickter Anwendung erhält man Fäden, die für die Herstellung von Textilien verwendet werden. Da man die Cellulose wieder herstellt – „regeneriert“ – hat, spricht man von Regeneratcellulose oder Viskose.



Quelle: Chemie heute, Sek.II, Schrödel Verlag, 1992.



MUTTER NATUR ALS APOTHEKE

Pflanzen mit Heilwirkung

In den letzten Jahren haben Wissenschaftler Pflanzen als Rohstoff für Medikamente wieder entdeckt. Noch sind nicht alle Inhaltsstoffe aller Pflanzen bekannt, und die Natur ist immer wieder für Überraschungen gut.

Herzmittel aus dem Fingerhut

Trotz gewaltiger Fortschritte im Bereich der Arzneimittelherstellung ist die Natur auch heute in vielen Fällen die billigere chemische Fabrik. Dies gilt besonders für kompliziert gebaute Verbindungen, die nur über sehr viele Arbeitsschritte und Reaktionen im Labor hergestellt werden könnten. Ein Beispiel sind die im Fingerhut enthaltenen Substanzen.



Fingerhut ist ein auf Waldlichtungen oder Kahlschlägen wachsender Rachenblütler mit schönen rosa Blüten. Die wild wachsende Pflanze ist bei uns geschützt! Bereits im 18. Jahrhundert entdeckten englische Ärzte im Fingerhut einen Stoff, der wirksam ist, wenn die Pumpleistung des Herzens nicht ausreicht, um den Blutkreislauf zu versorgen. Nach dem lateinischen Namen „Digitalis“ für den Fingerhut wurden auch die Herzmittel benannt. Bereits Ende des 18. Jahrhunderts kannte man die notwendigen

Dosierungen. Trotzdem gerieten im letzten Jahrhundert diese Medikamente in Verruf. Oft wurde zu viel verordnet, was zu Vergiftungen oder sogar zum Tod führte. Heute gehören Digitalispräparate zur normalen Herztherapie. Es wäre sehr aufwendig, Digitalis künstlich herzustellen. Viel wirtschaftlicher ist es, Fingerhut anzubauen und die Inhaltsstoffe aus der Pflanze zu isolieren.

Pflanzen stellen aber nicht nur hochwirksame Inhaltsstoffe zur Verfügung, die nur Ärzte verordnen dürfen. Bereits seit Jahrhunderten kennt man pflanzliche Präparate, die sich als recht ungefährliche Hausmittel gegen die verschiedensten Beschwerden bewährt haben.

Bakterien als Fabrik

Im Abschnitt über Zucker ging es bereits um die Möglichkeit, geeignete Bakterien als „Fabrik“ zu verwenden.

Auch bei der Herstellung von Vitamin C, Ascorbinsäure, werden heute Bakterien genutzt. Als Ausgangsstoff wird Traubenzucker verwendet. Er ist Grundlage für ein wichtiges Vitamin, das nicht nur für Multivitamin-, sondern auch für Grippetabletten und als Lebensmittelzusatzstoff benötigt wird.

Fingerhut



SONNENENERGIE AUF UMWEGEN

Treibstoffe vom Acker

Direkte elektrische Energie liefern Solarzellen. Aber auch Windkraftwerke werden letztendlich mit Sonnenenergie betrieben. Denn ohne die Einstrahlung der Sonne gäbe es auf der Erde keine Temperaturunterschiede und damit keinen Wind. Dasselbe gilt für Wasserkraftwerke. Der Wasserkreislauf wird durch die von der Sonne gelieferte Energie angetrieben. Man kann die Sonne aber auch nutzen, indem man auf die in Pflanzen gespeicherte Energie zurückgreift.

Strom und Wärme aus Nachwachsenden Rohstoffen

Zum Heizen, Kochen und zur Stromerzeugung werden Energieträger im großen Umfang benötigt. In vielen Ländern ist – auch heute noch – Holz als



Rapsfeld

Energienlieferant sehr wichtig. Auch bei uns gewinnt die Nutzung von Holz als Brennmaterial wieder an Bedeutung. Ein zusätzlicher Ofen im Wohnzimmer spart an kalten Tagen deutlich Heizkosten und verbreitet gleichzeitig Gemütlichkeit. Es gibt auch Öfen für Zentralheizungen. Dies bietet sich für Häuser in waldreichen Gegenden an. Die Transportwege für diese Brennmaterialien sind dann entsprechend kurz. Auch in Heizkraftwerken können nachwachsende Rohstoffe verfeuert werden. Das lohnt sich, wenn Holzabfälle, Stroh oder andere Pflanzenreste in großen Mengen zur Verfügung stehen. So fallen bei der Landschaftspflege Grasschnitt, Hölzer und Pflanzenreste an. Diese können getrocknet und verfeuert werden. Es wurde auch bereits daran gedacht, spezielle Pflanzen für die Energieerzeugung zu züchten. Erprobt wurde auch der Anbau von

Chinaschilf (*Miscanthus*). Dieses ist an deutsche Standortverhältnisse jedoch nicht angepasst. Man kann heute noch nicht abschließend sagen, in welchem Umfang künftig heimische Nachwachsende Rohstoffe für diese Zwecke eingesetzt werden.

Biodiesel und Bioethanol

Erdöl wird u. a. für die Herstellung flüssiger Kraftstoffe für Autos, Flugzeuge und Schiffe eingesetzt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, einen Teil dieser Treibstoffe durch pflanzliche Produkte zu ersetzen. Rapsöl oder auch andere Pflanzenöle können direkt zum Antrieb von Motoren eingesetzt werden. Allerdings müssen die Motoren speziell an dieses „Fut-ter“ angepasst werden.

Ein anderer Weg besteht darin, die Methyl ester der Fettsäuren des Rapsöls (Rapsölmethyl ester, RME) oder anderer Pflanzenöle als Dieselmotorkraftstoff einzusetzen. Größere Änderungen an den Motoren sind bei der Verwendung dieses Biodiesels nicht notwendig. Allerdings müssen die eingebauten Kraftstoffschläuche gegenüber diesem Treibstoff beständig sein.

In Deutschland kann man derzeit (1997) an etwa 700 Tankstellen Biodiesel tanken. Die Preise sind mit denen des „normalen“ Diesels vergleichbar, obwohl die Herstellung von Biodiesel eigentlich teurer ist. Im Gegensatz zu Dieselmotorkraftstoff aus Erdöl muss auf Biodiesel aber keine Mineralölsteuer bezahlt werden.

Wesentlicher Vorteil des Biodiesels ist seine gute biologische Abbaubarkeit. Damit sind auch die auftretenden Gefährdungen der Umwelt bei undichten Kraftstoffleitungen oder beim Verschütten von Treibstoff erheblich geringer. Deshalb wird beispielsweise der Einsatz in umweltsensiblen Bereichen, z. B. im Tiefbau, in Wassergewinnungsanlagen und bei Krabbenkuttern, die im Wattenmeer fischen, empfohlen. Hier kann Biodiesel eindeutig zum Umweltschutz beitragen.



Neben Pflanzenölen, Rapsölmethylester oder allgemein Pflanzenölmethylester gibt es noch einen anderen Treibstoff auf pflanzlicher Basis: das Ethanol.

Das Verfahren zur Gewinnung von Ethanol ist uralte. Kohlenhydratreiches Pflanzenmaterial, wie Zuckerrüben oder Getreide, wird mit Wasser und Hefe versetzt und vergoren. Die Hefepilze ernähren sich von den Kohlenhydraten und produzieren dabei Kohlenstoffdioxid und Ethanol. Das Ethanol kann nach Beendigung der Gärung abdestilliert werden. Der Prozess ist somit vergleichbar mit der Herstellung von Schnaps oder Weinbrand. Finanziell lohnend ist das Verfahren unter den derzeitigen Rahmenbedingungen jedoch nicht.

Die Hauptmenge des Ethanols wird heute auf der Basis von Erdöl gewonnen. Aber auch dieses Ethanol ist als Treibstoff bzw. Treibstoffzusatz gegenüber Benzin/Diesel nicht konkurrenzfähig.

Eine dritte Möglichkeit der Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist nur wenig bekannt. Wir haben bereits gehört, dass pflanzliche Stoffe bestimmten Bakterien als Nahrung dienen können. Eine Gruppe von Bakterien lebt anaerob, „arbeitet“ also ohne Sauerstoff. Als Stoffwechselprodukt scheiden sie zum größten Teil den Kohlenwasserstoff Methan aus. Die Bakterien sind dabei nicht wählerisch. Pflanzliche Abfälle, Abfälle aus Gärungsprozessen, aber auch tierische und menschliche Exkremente werden als Nahrung genutzt. Das entstehende Gas wird „Biogas“ genannt und kann zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt werden. Biogasanlagen können sich besonders in Verbindung mit landwirtschaftlichen Betrieben lohnen. Auch bei vielen Verfahren der Gewinnung nachwachsender Rohstoffe bleiben Reste von Pflanzen übrig. Sie können als Viehfutter oder zur Erzeugung von Biogas eingesetzt werden.

Lohnt sich die Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen?

Fossile Rohstoffe sind auf unserer Erde begrenzt. Kann nun die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen helfen, fossile Rohstoffe einzusparen? Auf den ersten Blick scheint dies selbstverständlich zu sein, denn die in nachwachsenden Rohstoffen enthaltene Energie ist nichts anderes als in

Pflanzen gespeicherte Sonnenenergie. Pflanzen wachsen nach, und es könnten, bei genügend großen Ackerflächen, beträchtliche Mengen an Energieträgern produziert werden.

Jedoch benötigt man für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auch Energie. Der Landwirt benutzt zum Bestellen des Feldes einen Traktor, der wiederum Dieselkraftstoff zum Fahren braucht. Die Pflanzen auf dem Feld müssen mit Pflanzenschutzmitteln und Düngern behandelt werden. Nach der Ernte müssen sie für eine weitere Nutzung transportiert und aufbereitet werden. Auch die Herstellung von Dieselkraftstoff sowie die Produktion von Pflanzenschutzmitteln und Düngern als auch der Transport und die Aufbereitung der Pflanzen verbrauchen Energie. Für eine Beurteilung, ob sich die Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen lohnt, muss man all diese Gesichtspunkte berücksichtigen und miteinander vergleichen. In der Fachsprache spricht man von einer Energiebilanz.

Tatsächlich zeigen wissenschaftliche Untersuchungen, dass die aus nachwachsenden Festbrennstoffen 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. Die gewinnbare Energiemenge hängt natürlich vom eingesetzten Pflanzenbrennstoff (Getreidepflanze, Stroh, Holzhackschnitzel, Schilfgras etc.), von den zur Verfügung stehenden Flächen sowie dem notwendigen Einsatz an Betriebsmitteln (zum Beispiel Nutzungstechniken, Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteln) ab.

Die Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen ist also sinnvoll, und sie kann helfen, fossile Rohstoffe einzusparen.

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.

FOTONACHWEIS

Andreas Stihl, Waiblingen
Bayer AG, Leverkusen
Brauerei Beck GmbH & Co, Bremen
Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH (CMA), Bonn
Comstock GmbH, Berlin
Cotton Service Büro, Frankfurt/Main
Dunlop SP Reifenwerke GmbH, Hanau
Henkel KGaA, Düsseldorf
ICI Dulux Lacke Farben GmbH, Hilden
Institut für Angewandte Forschung, Fachhochschule Reutlingen, Reutlingen
Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Dr. Paul Schweiger, Rheinstetten
Leinen Schwurhand-Zeichenverband e.V., Bielefeld
Okapia Bildarchiv KG, Berlin
Premium Stock Photography GmbH, Düsseldorf
Südzucker AG, Mannheim
Tony Stone, München
Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. (UFOP), Bonn
Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Bonn
Weleda AG, Schwäbisch Gmünd
Wella AG, Darmstadt

IMPRESSUM

Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.,
Hofplatz 1, 18276 Gülzow
Telefon: (03843) 69 30-0, Fax: (03843) 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

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

E-Mail: info@fnr.de

Internet: <http://www.fnr.de>



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



Bundesministerium
für Verbraucherschutz, Ernährung
und Landwirtschaft

Mit freundlicher Unterstützung
des Schroedel Verleges,
Hannover

