

Organische Chemie für grüne Power

Fortsetzung des Moduls „Energiepflanzen“ aus Heft 11

Lernziele und Kompetenzen:

- Die Schülerinnen und Schüler
- erklären die Herstellung von Bioethanol, Biogas und Biodiesel an Reaktionsgleichungen und Strukturformeln.
 - erstellen eine Übersicht über die Zwischenstufen von der Pflanze zum Energienutzer.
 - führen Experimente zur Fermentation, Umesterung und Phasentrennung durch.

Fach: Chemie zu den Themen Carbonsäuren, Alkane, Lipide, Ester, alkoholische Gärung, Methangärung, Essigsäurebildung

Energiegewinnung aus Pflanzen

Mithilfe der Fotosynthese und weiteren Reaktionen speichern Pflanzen die Sonnenenergie in diversen energiereichen Kohlenstoffverbindungen wie Cellulose, Stärke und Fettsäuren. Aus dieser chemisch gebundenen Energie lässt sich über Holzgas, Bioethanol, Biogas und Biodiesel elektrische, thermische und mechanische Energie gewinnen. Der Unterrichtsbaustein erläutert die chemischen Prozesse, die nötig sind, um die „grüne Power“ effizient verfügbar zu machen und gezielt freizusetzen.

Sachinformation:

Der Klassiker Holz

Die Verbrennung von Holz spendet schon seit der Steinzeit Wärme und Licht. In jüngster Zeit findet man in den Häusern neben Kaminen auch Öfen, die mit Pellets aus gepressten Spänen oder Hack-schnitzeln heizen. Bei der Verbrennung in großen Holzheizkraftwerken wird Wasser für die Warmwasserversorgung erhitzt oder verdampft, um damit Turbinen für die Stromerzeugung anzutreiben. Bei einem anderen Verfahren, der Vergasung, verschwelt das Holz zu Gas, bevor es verbrennt. Das nutzt die Energie des Holzes besser aus (höherer Wirkungsgrad).

Biodiesel – veredeltes Öl

Pflanzenöle wie Raps- und Sonnenblumenöl sind brennbar und werden durch Pressung aus den Samen gewonnen. Die enthaltenen Fettmoleküle (Triglyceride) bestehen aus dem dreiwertigen Alkohol Glycerin und je drei veresterten Fettsäuren. Mit dem Öl ließen sich Dieselmotoren antreiben, doch man veredelt das Öl durch Umesterung, um seine Fließeigenschaften (Viskosität) denen üblicher Dieselmotoren anzugleichen.

Bei der Umesterung werden die drei Fettsäuren vom Glycerin abgespalten und mit

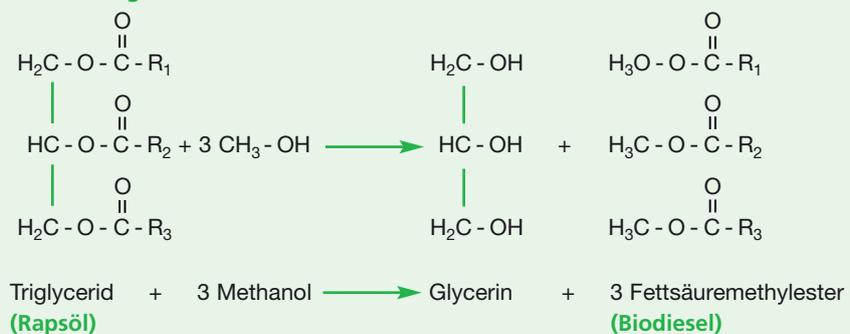
Methanol (einfacher Alkohol) neu verestert. Die Reaktion braucht Wärme (50–80 °C) und einen Katalysator. Es entstehen einzelne Fettsäuremethylester (Biodiesel) und Glycerin, das als Rohstoff in der chemischen Industrie dient. Der Biodiesel ist biologisch abbaubar und enthält kein Benzol oder andere Aromate.

Bioethanol – vergärter Zucker

Pflanzen wie Zuckerrüben und Getreide bilden mit der Glucose aus der Fotosyn-

these hohe Anteile an Saccharose und Stärke. Die Saccharose (= Glucose + Fructose) wird in Zuckerfabriken aus den Rüben ausgewaschen (Melasse). Das Getreide wird in Mühlen zerkleinert, dann dessen Stärke in Wasser gelöst (Verflüssigung) und enzymatisch zu einer Glucoselösung aufgeschlossen (Maische). Forscher suchen nach Wegen, auch Cellulose (100–10.000 Glucosemoleküle), z.B. aus Holz, effizient nutzen zu können. Anschließend setzen Hefepilze die Glucose aus der Melasse bzw. Maische in luftdichten Tanks mit ihren Enzymen zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid um (alkoholische Gärung). Da die Hefepilze bei

Herstellung von Biodiesel



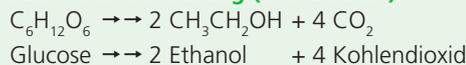
R_1, R_2, R_3 : Verschiedene Fettsäurereste (z.B. Stearinsäure, Ölsäure, Linolensäure etc.)

Verbrennung von Ölsäure-Methylester:

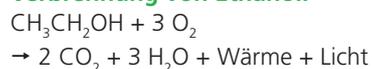


einem Alkoholgehalt von ca. 15 Prozent absterben, aber fast reines Ethanol benötigt wird, destilliert man die Ethanol-Wasser-Lösung: Das Ethanol verflüchtigt sich bei 78 Grad Celcius in einen separaten Tank, das meiste Wasser bleibt zurück. Danach folgen noch weitere Verfahren zur Entwässerung, z. B. mit Granulat. Bioethanol ist vielfältig nutzbar, biologisch abbaubar und der weltweit wichtigste Biokraftstoff für Ottomotoren. Während wir nur bis zu zehn Prozent zum Benzin beimischen, werden in Brasilien 25 Prozent beigemischt. Zudem ist dort ein Großteil der Pkw für reinen Ethanolkraftstoff (E100) freigegeben.

Alkoholische Gärung (vereinfacht):



Verbrennung von Ethanol:



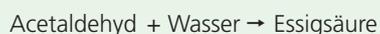
Biogas aus zersetzter Biomasse

Für die Biogasgewinnung lässt man die Biomasse geeigneter Pflanzen wie Mais, Getreide, Wildpflanzen und Durchwachsene Silphie, aber auch organische Abfälle wie Gülle, Grünschnitt oder Biomüll, von Mikroorganismen in großen Gärbehältern (Fermentern) zersetzen.

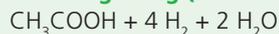
Die Biogasbildung entspricht einem mehrstufigen, komplexen Prozess mit verschiedenen Mikroorganismen in einer anaeroben Umgebung. In vier Phasen zerlegen diverse Bakterien und Hefen mit ihren Enzymen große Moleküle wie Stärke und Eiweiße in kleinere Einheiten (Hydrolyse), danach in Alkohole, organische Säuren, Kohlendioxid (CO_2) und Wasserstoff (H_2). Im Weiteren bilden sie vermehrt Essigsäure und H_2 , welche schließlich durch spezielle Bakterien zu dem brennbaren Alkan Methan (CH_4) und Wasser reduziert bzw. oxidiert werden (Methangärung).

Das Biogas in den Fermentern ist ein Gemisch aus Methan (55–70 Prozent) nicht brennbarem CO_2 und kleinen Mengen an H_2 , Stickstoff und Schwefelwasser-

Essigsäurebildung (Phase 3):



Methangärung (Phase 4):

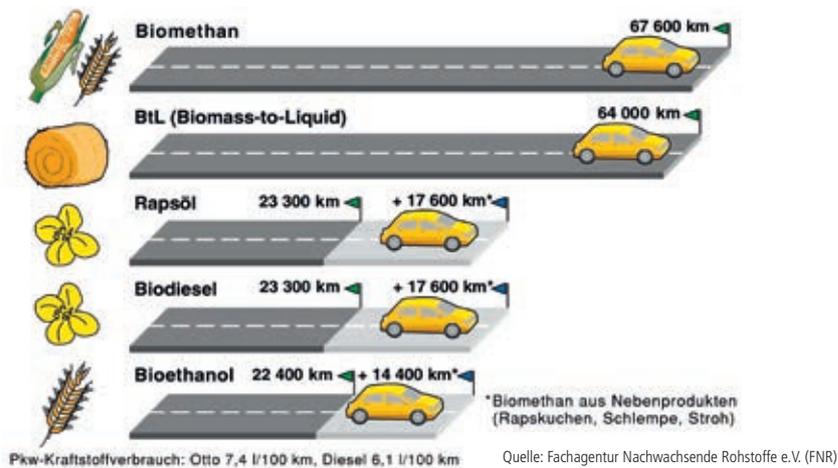


Verbrennung von Methan:



Biokraftstoffe im Vergleich

So weit kommt ein Pkw mit Biokraftstoffen von 1 Hektar Anbaufläche



stoff. Daher wird es vor der Verbrennung und Verstromung in Blockheizkraftwerken (BHKW) gereinigt und bis zum gewünschten Methananteil angereichert. So kann es alternativ zu Erdgas an Haushalte und Tankstellen geliefert werden.

Auf dem richtigen Weg

Die Gewinnung von Energie aus Pflanzen ersetzt wie andere regenerative Energiequellen fossile Energierohstoffe. Kritiker beklagen, der Netto-Energiegewinn, sprich der Energiegewinn nach Abzug des bei der Herstellung nötigen Energieaufwandes, müsse steigen. Biodiesel aus Raps und Sonnenblumen bringt derzeit einen Energieüberschuss von 50 Prozent, Bioethanol aus Futtergetreide – trotz der energieintensiven Destillation – 60 Prozent und aus Zuckerrüben sogar 100 Prozent. Auch wichtig für die Bilanz: Einige Neben- bzw. Koppelprodukte werden bereits genutzt, wie z.B. Rapsschrot als Tierfutter, doch hier liegt noch weiteres Potenzial. Zudem soll die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion gering gehalten werden.

Um die Effizienz der Verfahren und die Nachhaltigkeit des Anbaus weiter zu ver-

bessern, forschen Pflanzenbauer ebenso wie Anlagenbetreiber. Denkbar sind auch neue Verfahren, z.B. flüssige Brennstoffe aus ungenutztem Stroh oder Holz (BtL-Kraftstoffe) oder Verfahren mit Mikroalgen als Energieproduzenten. Natürlich muss es auch ein Ziel sein, den Energieverbrauch der Gesellschaft zu senken.

Methodisch-didaktische Anregungen:

Das Thema vereint viele Aspekte der organischen Chemie, die Schüler/innen sollten daher schon eine gutes Basiswissen haben. Alternativ können einzelne Teile des Unterrichtsbausteins von Zeit zu Zeit als Exkurs dienen.

Arbeitsblatt 1 leitet zwei Versuche zur Herstellung von Biodiesel und Bioethanol an. Zum Thema Biogas finden Sie zwei **Arbeitsblätter** im **Heft 5** (Ausgabe 1/2011). Zudem liefert die Sammelkarte auf Seite 27 eine **Bastelanleitung** für eine Öllampe.

Arbeitsblatt 2 dient der Übersicht über die gängigen Verfahren zur Energiegewinnung aus Pflanzen. Die Schüler/innen ergänzen die Reaktionsgleichungen und tragen einzelne Zwischenschritte ein.

Links und Literaturempfehlungen:

- ➔ www.holzgas-info.de
- ➔ www.bio-energie.de
- ➔ www.bio-kraftstoffe.info/kraftstoffe/bioethanol/
- ➔ http://biodieselproject.de/basenkatalysierte_umesterung_von_biodiesel.html
- ➔ www.weltderphysik.de/gebiete/technik/energie/fluss-der-energie/
- ➔ www.agenda21-treffpunkt.de/lexikon/energieeffizienz.htm
- ➔ www.Bine.info
- ➔ **Lehr- und Lernmaterial** „Nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) e.V. für Sek I und II, bestellbar unter www.hydrogeit-verlag.de/fnr-paket.htm;
- ➔ **Unterrichtsmappe** „Nachwachsende Rohstoffe“ der i.m.a für Klasse 3–6, bestellbar unter www.ima-agrar.de; **Sachinformation** „Nachwachsende Rohstoffe“ sowie **Unterrichtsposter** und **Faltblatt** 3-Min-Info „Energiepflanzen“ als Download unter www.ima-agrar.de/medien

Green Power im Experiment

1. Biodiesel selbst herstellen

Geräte: 2 Bechergläser (250 ml), Erlenmeyerkolben, Thermometer, Bunsenbrenner, Dreifuß, Keramikschale, Pipette

Chemikalien: 100 ml Rapsöl, 30 ml Alkohol (Methanol oder Ethanol), NaOH-Plätzchen

Durchführung:

1. 100 ml Rapsöl und 30 ml Alkohol zusammen mit einigen NaOH-Plätzchen in einen Erlenmeyerkolben geben und vermischen.
2. Die Mischung über dem Bunsenbrenner auf etwa 70 °C erhitzen und diese Temperatur etwa 15 Minuten unter leichtem Rühren aufrechterhalten.
3. Das Gefäß abkühlen lassen und nicht mehr weiter rühren.
4. Nach etwa 15 Minuten: Was beobachtest du? **im Gefäß sind zwei Phasen erkennbar. Erkläre, was passiert ist. Biodiesel und Glycerin unterschiedlicher Dichte trennen sich auf. Oben eine gelbliche (Biodiesel) und unten eine zähfließende Flüssigkeit (Glycerin).**
5. Ein paar Tropfen Biodiesel mit der Pipette entnehmen und vorsichtig in der Keramikschale anzünden.

2. Bioethanol selbst herstellen und nachweisen

Geräte Hefeansatz: 0,5-Liter-PET-Flasche, Waage, Messbecher

Geräte Nachweis: Schutzbrille, feuerfeste Unterlage, Erlenmeyerkolben (500 ml), 1 Steigrohr (Länge 50–100 cm, Durchmesser ca. 8–10 mm), passender durchbohrter Stopfen, Siedesteinchen, Gasbrenner, Drahtnetz, Dreifuß

Chemikalien: Haushaltszucker (Saccharose), Bäckerhefe, Watte

Durchführung Gärung:

1. Etwa 30 g Haushaltszucker in ca. 200 ml Wasser lösen.
2. Dazu in kleines Stückchen Bäckerhefe geben, die man vorher in einigen ml Wasser aufgeschlämmt hat.
3. Dann die Flasche mit einem Wattebausch verschließen.
4. Die Flasche für mindestens 15 Minuten an einen warmen Ort stellen.

Durchführung Nachweis:

1. In einen Erlenmeyerkolben ca. 100 ml Flüssigkeit aus dem Gärungsversuch ohne die abgesetzte Hefe dekantieren und einige Siedesteinchen zufügen.
2. Dann auf das Gefäß ein Steigrohr mit durchbohrtem Stopfen setzen und die Flüssigkeit bis zum Sieden erhitzen.
3. Wenn die ersten Dämpfe am Rohrende entweichen, entzünden.

VORSICHT: Unbedingt **SCHUTZBRILLE** tragen und mit **HOHER STICHLAMME** rechnen!

