

*GoetheLab „Biotreibstoffe“*

*Eine Kooperation der Fächer Biologie, Chemie und Geographie*

Name: \_\_\_\_\_

---

## Inhalt

### I. Teil - Biologie

1. Bioraffinerie.....	2
2. Energiepflanzen.....	3
3. Nachweis von Glucose in der Zuckerrübe.....	4
4. Nachweis von Stärke.....	5
5. Extraktion von Stärke aus Kartoffeln.....	6
6. Bestimmung des Stärkegehalts von Kartoffeln.....	7
7. Experiment zur alkoholischen Gärung durch Hefe.....	9
8. Nachweis der Produkte im Gäransatz.....	10
9. Betrachten der Hefe unter dem Mikroskop.....	11
10. Nachweis der Produkte im Gäransatz.....	12
11. Ethanolertrag oder: Wieviel Ethanol kann aus Zucker (Glukose) gewonnen werden?.....	13
12. Ackerflächenbedarf eines umweltfreundlichen Autos.....	14
13. Literatur.....	16
<b>II. Teil - Chemie: Biodiesel – Sprit vom Acker.....</b>	<b>18</b>
<b>14. Station 1: Herstellung und Überprüfung von Rapsöl.....</b>	<b>19</b>
14.1 Raps: Allgemeine Informationen.....	19
14.2 V1 Wir stellen Rapsöl her!.....	21
14.3 V2 Nachweis von Rapsöl.....	22
V 2a) Brechungsindex messen.....	22
V 2b) IR-Spektroskopie:.....	24
<b>15. Station 2: Herstellung und Überprüfung von Biodiesel.....</b>	<b>30</b>
15.1 Biodiesel: Allgemeine Informationen.....	30
15.2 V1 Wir stellen Biodiesel her!.....	32
15.3 V2 Nachweis von Biodiesel.....	34
V 2a) Flammprobe.....	34
V 2b) IR-Spektroskopie.....	35
<b>16. Station 3: Vorteile von Biodiesel.....</b>	<b>40</b>
16.1 Biodiesel: Umweltfreundliche Alternative zum herkömmlichen Dieselkraftstoff?.....	40
16.2 Die wichtigsten Vorteile von Biodiesel auf einen Blick.....	42
16.3 V1 Rußausstoß.....	43

---

16.4	V2 Kohlenstoffdioxidausstoß.....	45
<b>17.</b>	<b>Station 4: Nachteile von Biodiesel .....</b>	<b>49</b>
17.1	Biodiesel: Schadet der Umwelt.....	49
17.2	V1 Vergleich der Viskosität.....	49
17.3	V2 Heizwertbestimmung .....	52
<b>18.</b>	<b>Quellenverzeichnis der Abbildungen.....</b>	<b>56</b>
<b>III.</b>	<b>Teil - Geographie: Biotreibstoffe - eine vernetzte Sicht .....</b>	<b>58</b>
<b>19.</b>	<b>LE 02: Weltweiter Flächenverbrauch und regionale Unterschiede hinsichtlich Produktion und Konsumtion von Bioethanol.....</b>	<b>59</b>
19.1	A02-1: Produktion und Konsumtion von Biotreibstoffen im zeitlichen Verlauf.....	60
19.2	M02-1: Arbeiten mit dem Internetportal der U.S. Energy Information Administration .....	61
19.3	M02-2: Anbau von Energiepflanzen und Zugang zu Land.....	62
<b>20.</b>	<b>LE03: Die "Tank-oder-Teller-Diskussion" .....</b>	<b>63</b>
20.1	A03-1: Die „Tank-oder-Teller-Diskussion“ .....	64
20.2	M03-1: Paraphrasierung von Schlüsselsätzen.....	66
20.3	M03-2: Die Hungertreiber .....	67
<b>21.</b>	<b>LE04: Wirklichkeiten sind vielfältig - die finale Synopse.....</b>	<b>73</b>
21.1	A04-1: „Erstellung eines Beziehungsgeflechts“ .....	74
21.2	M04-1: Beispielhaftes Beziehungsgeflecht.....	75

---

*Teil I:*

## *Bioethanol*

Team:  
Didaktik der Biowissenschaften  
Biologicum, Campus Riedberg  
Gebäudeteil D,  
Max-von-Laue-Str. 13  
60438 Frankfurt am Main

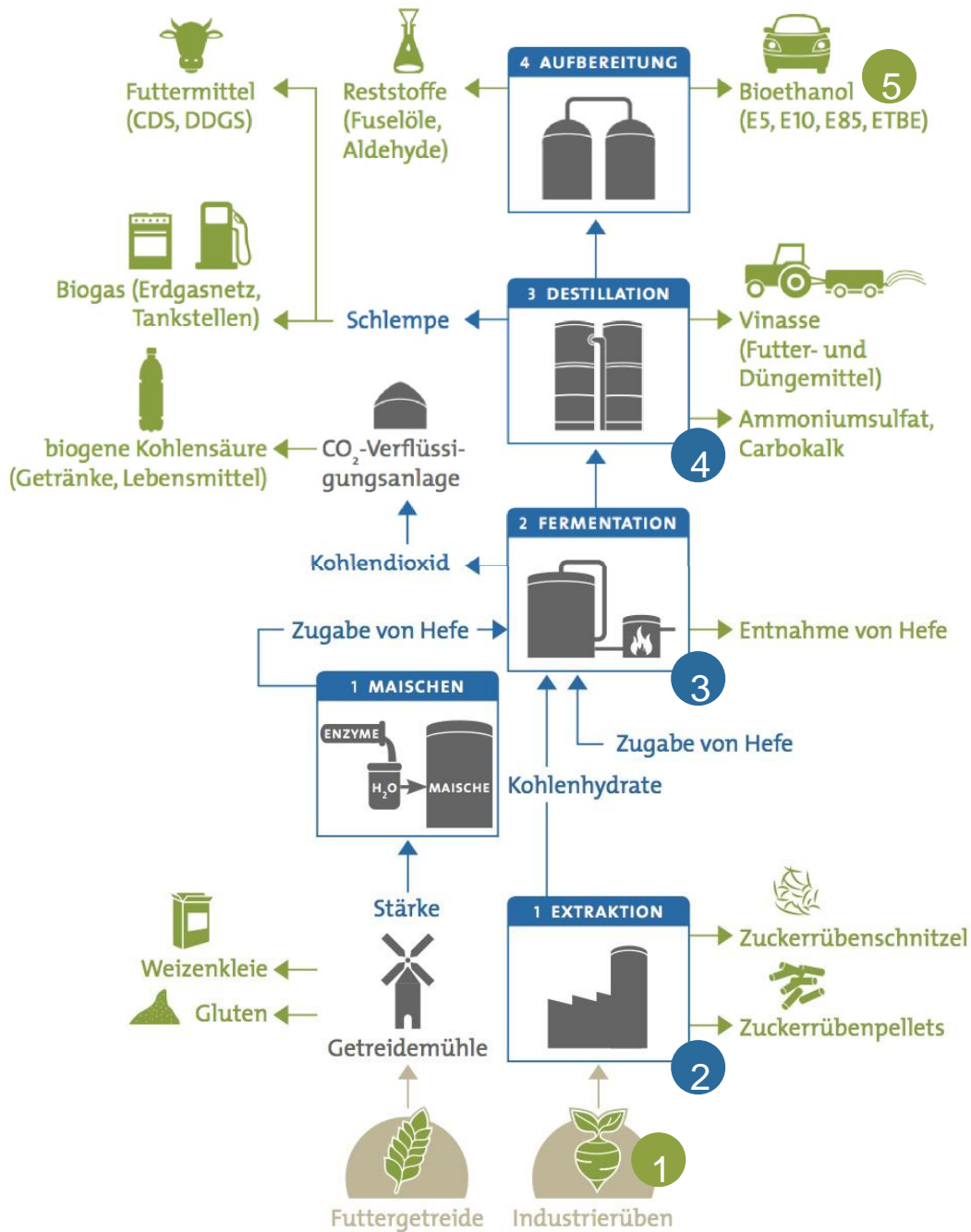
Tina Braun | Nicola Felka |

Kontakt:

>> <http://www.bio.uni-frankfurt.de/40704659/abteilung-didaktik>

# 1. Bioraffinerie

## Bioraffinerie



## 2. Energiepflanzen

---

### 2.1 Überlegen Sie, welcher Teil der jeweiligen Pflanze zur Gewinnung von Biotreibstoffen verwendet werden kann?

<u>Trivialname</u>	<u>Wissenschaftlicher Name</u>	
Zuckerrohr	<i>Saccharum officinarum</i>	_____
Zuckerrübe	<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i>	_____
Mais	<i>Zea mays</i>	_____
Soja	<i>Glycine max</i>	_____
Kartoffel	<i>Solanum tuberosum</i>	_____
Raps	<i>Brassica napus</i>	_____
Weizen	Gattung <i>Triticum</i> L.	_____
Ölpalme	<i>Elaeis guineensis</i>	_____

### 2.2 Was fällt Ihnen auf?

---

---

---

---

---

---

---

### 3. Nachweis von Glucose in der Zuckerrübe

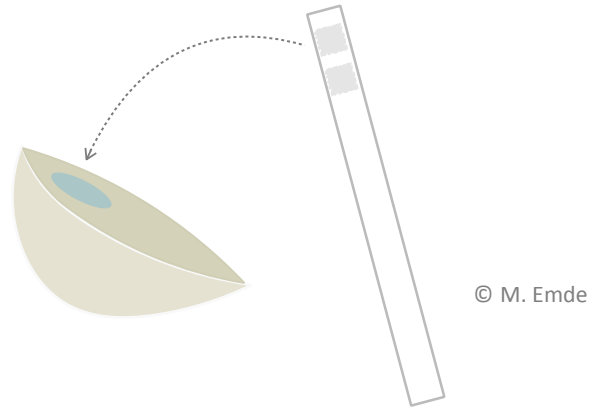
---

#### 3.1 Material

Geräte: Messer, Einmalpipette

Chemikalien: Zuckerrüben, Glucose-Oxidase-Teststreifen

#### 3.2 Aufbau



#### 3.3 Durchführung

Schneiden Sie mit dem Messer ein kleines Stück von der Zuckerrübe ab und befeuchten Sie es mit einem Tropfen destilliertem Wasser. Warten Sie einige Sekunden und drücken anschließend die beschichtete Seite des Teststreifens auf das feuchte Rübenstück.

#### 3.4 Beobachtung

---

---

#### 3.5 Deutung

Lesen Sie an der Legende ab, wie viel Glucose die Zuckerrübe enthält.

---

---

Enzyme arbeiten hoch spezifisch. Enzymatische Prozesse werden daher auch in der medizinischen Diagnostik eingesetzt. Diese Teststreifen werden z.B. zur schnellen Untersuchung auf eine Glucose-Ausscheidung mit dem Urin eingesetzt. Hiermit lässt sich ein Verdacht auf Diabetes bestätigen oder (bei nachgewiesenem und behandeltem Diabetes) eine ausreichende Insulin-Gabe überprüfen.

## 4. Nachweis von Stärke

---

### 4.1 Material

Geräte: Messer, Schälchen, verschiedene Lebensmittel

Chemikalien: Jod-Jodkalium-Lösung (Lugolsche Lösung)

### 4.2 Durchführung

Betrachten Sie die vorhandenen Lebensmittel und überlegen Sie, welche davon Stärke enthalten. Halten Sie Ihre Hypothese schriftlich fest.

Schneiden Sie nun kleine Stücke der jeweiligen Lebensmittel ab, legen diese in ein Schälchen und geben Sie einen Tropfen der Jod-Kalium-Lösung darüber.

Notieren Sie Ihre Beobachtung. Konnten Sie Ihre Hypothese bestätigen?

### 4.3 Beobachtung

Welche Lebensmittel enthalten Stärke?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

#### Information

Die Jodmoleküle der Lugolschen-Lösung lagern sich im Innern des schraubenförmigen Stärkemoleküls ab, was zu einer starken Absorption der langwelligen sichtbaren Strahlung, d.h. zu einer blau-violetten Färbung führt.



## 5. Extraktion von Stärke aus Kartoffeln

---

### 5.1 Material

Kartoffeln, Kartoffelschäler oder Schälmesser, Reibe, Sieb, Baumwollhandtuch, Messbecher

### 5.2 Durchführung

Schälen Sie zunächst 2 große Kartoffeln und reiben Sie diese. Die entstandenen Kartoffelraspeln werden in ein Sieb gegeben und vorsichtig ausgepresst. Danach pressen Sie den Rest mit dem Baumwolltuch aus, bis kein Wasser mehr austritt.

Wichtig: Fangen Sie die Flüssigkeit in einem Becherglas auf.

Stellen Sie dieses für etwa 2 Stunden auf die Fensterbank und beobachten Sie immer wieder was passiert.

### 5.3 Beobachtung

Skizzieren Sie Ihre Beobachtung

---

## 6. Bestimmung des Stärkegehalts von Kartoffeln

---

### 6.1 Material

Kartoffeln, Waage, Messbecher

### 6.2 Durchführung

Schälen Sie zunächst 5 festkochende Kartoffeln und wiegen Sie deren genaues Gewicht. Füllen Sie ein Messbecher mit Wasser und legen Sie die Kartoffeln so hinein, dass alle mit Wasser bedeckt sind. Messen Sie nun das Volumen des verdrängten Wassers (Wasserstand mit und ohne Kartoffeln) und notieren Sie es.

Führen Sie diesen Versuch nun mit mehlig kochenden Kartoffeln durch und vergleichen Sie die beiden Ergebnisse. Was erwarten Sie?

### 6.3 Hypothese

Stellen Sie eine Hypothese auf. Begründen Sie Ihre Hypothese.

---

---

---

---

---

---

---

---

### 6.4 Messwerte

Berechnen Sie nun die Dichten (Gewicht (g)/ Volumen in cm<sup>3</sup>)

Beachte 1Liter = 1000cm<sup>3</sup>

	Festkochend	Mehlig kochend
Gewicht	_____	_____
Volumen	_____	_____
Dichte	_____	_____

Lesen Sie den Stärkegehalt mit der berechneten Dichte in der folgenden Tabelle ab.

Dichte	Stärkegehalt [%]	Dichte	Stärkegehalt [%]
1,0526	8,1	1,0707	11,9
1,0537	8,3	1,0718	12,2
1,0549	8,6	1,0730	12,4
1,0560	8,8	1,0741	12,7
1,0571	9,0	1,0753	12,9
1,0582	9,3	1,0764	13,2
1,0593	9,5	1,0776	13,4
1,0604	9,7	1,0787	13,7
1,0616	10,0	1,0799	13,9
1,0627	10,2	1,0811	14,2
1,0638	10,5	1,0822	14,4
1,0650	10,7	1,0834	14,7
1,0661	11,0	1,0846	14,9
1,0672	11,2	1,0858	15,2
1,0684	11,5	1,0870	15,4
1,0695	11,7	1,0881	15,7

Tabelle 1: Quelle: <http://www.pflanzenbau.rlp.de> (Stand: 15.06.2016)

## 6.5 Antwort

---

---

---

---

---

## 7. Experiment zur alkoholischen Gärung durch Hefe

Fermentation oder Fermentierung (lat. fermentum: „Sauerteig“) bezeichnet in der Biotechnologie die Umsetzung von biologischen Materialien mit Hilfe von Bakterien-, Pilz-, oder Zellkulturen oder aber durch Zusatz von Enzymen (Fermenten). Dabei beschreibt die ursprüngliche Begrifflichkeit eine biologische Reaktion unter Ausschluss von Luft.

### 7.1 Gäransatz

Geräte: Erlenmeyerkolben, Waage, Messzylinder, Stopfen mit Luftballon

Chemikalien: Haushaltszucker (Saccharose), Trockenhefe, Wasser

### 7.2 Aufbau



© M. Emde

### 7.3 Durchführung

Füllen Sie 50 mL Wasser in den Erlenmeyerkolben und lösen Sie 6 g Haushaltszucker darin. Erwärmen Sie die Zuckerlösung auf der Heizplatte auf 37°C und fügen Sie 1 Päckchen Trockenhefe hinzu.

**Achtung:** die Zuckerlösung darf auf keinen Fall heißer als 40°C werden, da die Hefeenzyme sonst denaturieren.

Verschließen Sie den Erlenmeyerkolben mit einem Luftballon-Stopfen und schwenken Sie ihn vorsichtig ungefähr 1 min lang. Stellen Sie den Erlenmeyerkolben auf den Tisch und beobachten Sie ungefähr 10 min lang immer wieder was passiert.

### 7.4 Beobachtung

---

---

### 7.5 Deutung

---

---

## 8. Nachweis der Produkte im Gäransatz

---

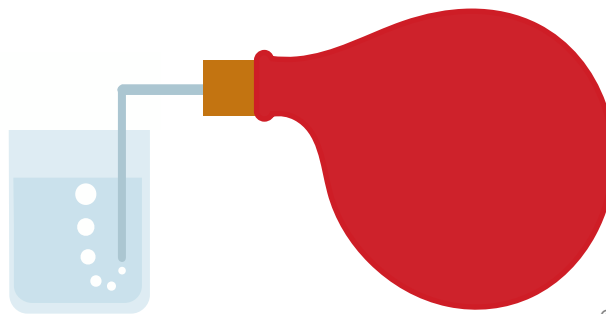
### 8.1 Produkt I

Geräte: Becherglas, Glasröhrchen, gefüllter Luftballon mit Stopfen

Chemikalien: Kalkwasser (Calciumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) in Wasser gelöst)



### 8.2 Aufbau



© M. Emde

### 8.3 Durchführung

Füllen Sie 100 mL Kalkwasser in ein Becherglas. Verschließen Sie den Luftballon mit einer Klammer, sodass kein Gas austreten kann. Ziehen Sie den Stopfen vom Erlenmeyerkolben ab, und schieben Sie ein Glasröhrchen in die Bohrung. Tauchen Sie das Glasröhrchen in das Kalkwasser ein und öffnen Sie die Klammer des Luftballons.

### 8.4 Beobachtung

---

---

---

### 8.5 Deutung

---

---

---

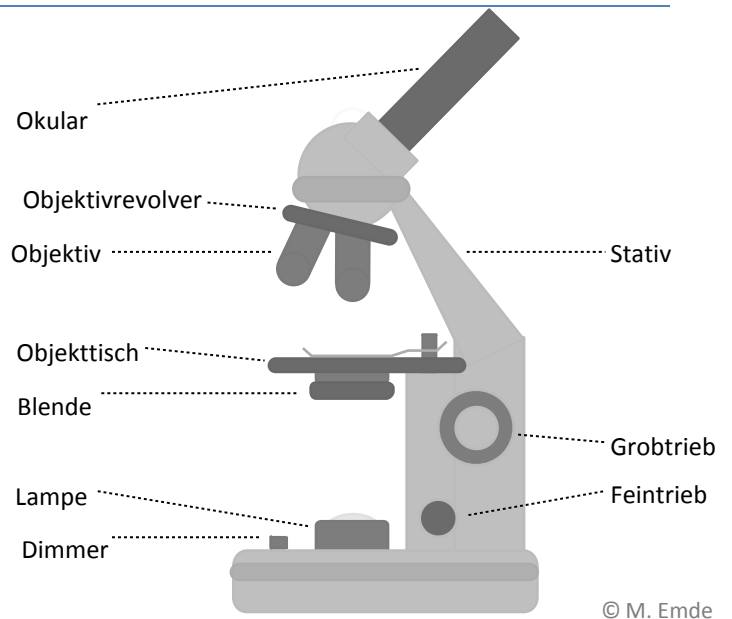
## 9. Betrachten der Hefe unter dem Mikroskop

### 9.1 Durchführung

Geben Sie einen Tropfen Hefesuspension auf einen Objektträger und legen Sie ein Deckgläschen auf den Tropfen. Betrachten Sie die Hefe unter dem Mikroskop.

### 9.2 Aufgabe

Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen und fertigen Sie eine Skizze von der Hefe an.



### 9.3 Beobachtung

### 9.4 Skizze der Hefe

Art: Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*)  
 Ordnung: Echte Hefen (Saccharomycetales)  
 Klasse: Saccharomycetes  
 Abteilung: Schlauchpilze (Ascomycota)  
 Reich: Pilze (Fungi)

## 10. Nachweis der Produkte im Gäransatz

---

### 10.1 Produkt II

Bei einem Alkoholgehalt von ca. 15% sterben Hefepilze ab. Die Ethanol-Wasser Lösung wird mit Hilfe einer Destillation weiterverarbeitet.

### 10.2 Aufgabe

Überlegen Sie sich einen Versuchsaufbau zur Trennung der Ethanol-Wasser-Lösung, skizzieren und beschriften Sie diesen.

### 10.3 Skizze

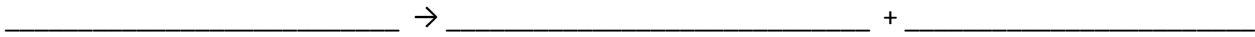
#### Information:

Der Siedepunkt des Ethanols liegt bei 78°C.

Um Ethanol mit einem Reinheitsgrad von über 99% zu erhalten, muss auch der letzte Rest Wasser abgetrennt werden. Diese Entwässerung wird durch den Einsatz von weiteren Trennverfahren wie z.B. ein Molekularsieb, das aus einem Granulat winziger Kristalle besteht, den sogenannten Zeolithen, erreicht. Zeolithe haben Poren, die Wassermoleküle aufnehmen, Alkoholmoleküle jedoch nicht.

## 11. Ethanolertrag oder: Wieviel Ethanol kann aus Zucker (Glukose) gewonnen werden?

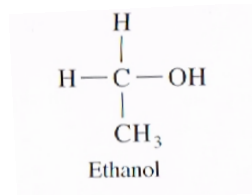
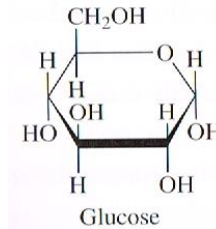
### 11.1 Reaktionsgleichung (Gärung)



### 11.2 Rechnung

#### Molmassen

Wasserstoff	1
Kohlenstoff	12
Sauerstoff	16



Bestimmen Sie die jeweiligen Molmassen.

Glukose:	_____ g/mol	1000g Glukose:	_____ mol
Ethanol:	_____ g/mol	1000g Ethanol:	_____ mol
Kohlenstoffdioxid:	_____ g/mol	1000g Kohlenstoffdioxid:	_____ mol

\_\_\_\_\_ mol Glukose → \_\_\_\_\_ mol Ethanol + \_\_\_\_\_ mol Kohlenstoffdioxid

1000 g Glukose → \_\_\_\_\_ g Ethanol + \_\_\_\_\_ g Kohlenstoffdioxid

### 11.3 Antwort



## 12. Ackerflächenbedarf eines umweltfreundlichen Autos

### 12.1 Aufgabe



Firma: Volkswagen GmbH  
 Modell: Golf Blue Motion  
 Leistung: 77 kW Verbrauch  
 Benzin: 5,2 L/100 km  
 E85: 6,9 L/100 km

Der VW Golf Blue Motion ist ein sogenanntes umweltfreundliches Auto. Mit ihm wird eine Autofahrt von Hamburg nach Hannover unternommen. Die zurückgelegte Fahrstrecke entspricht 130 km.

Frage 1: Wie viel E85 wird auf dieser Strecke verfahren?

Frage 2: Wie groß ist die Mais-Ackerfläche, die für diese Menge E85 benötigt wird?

Information: Bei der Verwendung von E 85 liegt der Verbrauch/100 km durchschnittlich 1/3 höher als bei Benzin. E85 enthält 85% Bioethanol. Daraus geht hervor, dass 6,9 L E85 5,9 L Bioethanol enthalten.

Der Anbau von Mais liefert einen Ernteertrag von 9200 kg/ha (1 ha = 10000 m<sup>2</sup>). Aus dem Mais werden durch alkoholische Gärung 3520 kg Ethanol gewonnen. Das entspricht einem Volumen von 4460 L.

### 12.2 Rechnung

Zur Erzeugung von 1 L Bioethanol benötigte Ackerfläche:

$$4460 \text{ L/ha} = 4460 \text{ L/} \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2 = 1 \text{ L/} \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$$

Berechnen Sie aus dem Verbrauch des Autos und der gegebenen Fahrstrecke wie groß die Mais Ackerfläche für die verfahrenene Menge Bioethanol gewesen sein muss.

Menge an E85, die auf der Strecke verfahren wird:

$$\underline{\hspace{2cm}} \text{ L/100 km} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ L/130 km}$$

Volumen des Bioethanols, welches in diesen \_\_\_\_\_ L enthalten ist:

$$6,9 \text{ L E85} = 5,9 \text{ L Bioethanol (+ 1 L Benzin)}$$

$$1 \text{ L E85} = \text{_____ L Bioethanol}$$

$$\text{_____ L E85} = \text{_____ L Bioethanol}$$

Diese \_\_\_\_\_ L Bioethanol entsprechen einer Mais-Ackerfläche von:

$$1 \text{ L/_____ m}^2 = \text{_____ L/_____ m}^2$$

### 12.3 Antwort 1

---

---

### 12.4 Antwort 2

---

---

### Information

Wie viel Ackerfläche braucht Bioethanol?

1 L Bioethanol benötigt:

- 9,58 kg Kartoffeln. Das entspricht 2,2 m<sup>2</sup> Ackerfläche, 1,5 m x 1,5 m.
- 2,06 kg Mais. Das entspricht 2,2 m<sup>2</sup> Ackerfläche, also 1,5 m x 1,5 m.
- 2,59 kg Weizen. Das entspricht 3,6 m<sup>2</sup> Ackerfläche, also 1,9 m x 1,9 m
- 2,40 kg Roggen. Das entspricht 4,9 m<sup>2</sup> Ackerfläche, also 2,2 m x 2,2 m
- 7,90 kg Zuckerrüben. Das entspricht 1,5 m<sup>2</sup> Ackerfläche, also 1,2 m x 1,2 m

## 13. Literatur

---

- Bayerischer Rundfunk (2011), Vom Ahorn bis zur Zwiebel – Mais, 80335 München
- Bioenergie Icking GmbH (2009), Bioethanol in Zahlen, 14974 Großbeuthen
- Bundesverband der deutschen Bioethanolwirtschaft e.V. (2013), Bioethanol – Mehr als ein Biokraftstoff - Bioraffinerie, 10117 Berlin
- Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (2011), Energiepflanzen – Mais, 18276 Gülzow-Prüzen
- Goldstein R. (2012), Bioethanol – Herstellung und Anwendung, Lehrer Online, 65183 Wiesbaden
- Hodges S. (2010), Natur um Hüttenfeld – Weizen, 68623 Lampertheim-Hüttenfeld
- Horton, H. R. u.a. (2008), Biochemie, Glukose & Ethanol, 81829 München
- Information.Medien.Agrar e.V. (2012), Agrar-Lexikon: Mais, 10713 Berlin
- Information.Medien.Agrar e.V. (2012), Agrar-Lexikon: Weizen, 10713 Berlin
- Information.Medien.Agrar e.V. (2012), Agrar-Lexikon: Zuckerrübe, 10713 Berlin
- Nultsch, W. (1996), Allgemeine Botanik- Stärkenachweis, 10. Neu bearb. und erw. Aufl., Stuttgart
- Schulbiologiezentrum (2012), Vom Acker in den Tank (Bioethanol) – Ackerfläche, 30419 Hannover
- Schulbiologiezentrum (2012), Vom Acker in den Tank (Bioethanol) – Arbeitsblätter, 30419 Hannover
- Schunk, A. (2001), Chemie für Mediziner: Energetik und Kinetik – Enzymtest, 10245 Berlin

## *Teil II*

### *Biodiesel*

Ansprechpartner:

Dr. Edith Nitsche

J. W. Goethe-Universität Frankfurt am Main

Fachbereich Biochemie, Chemie und Pharmazie

Institut für Didaktik der Chemie / Lehrerfortbildungszentrum Chemie

Max-von-Laue-Str. 7

D-60438 Frankfurt am Main

Tel.: 069 798-29588 (Sekretariat -29456)

E-Mail: [nitsche@chemie.uni-frankfurt.de](mailto:nitsche@chemie.uni-frankfurt.de)

## Biodiesel – Sprit vom Acker

Die Bereitstellung von Energie für die Mobilität unserer Gesellschaft ist zwar im Wandel, wird aber noch immer in erster Linie durch fossile Energieträger, vor allem Erdöl, sichergestellt. Dessen Vorkommen ist jedoch begrenzt. Wann das Öl aufgebraucht sein wird, kann zwar niemand genau sagen, einig sind sich die Experten jedoch darüber, dass bei weltweit steigender Nachfrage billiges Erdöl knapper wird. Deshalb gilt es, mit den vorhandenen Ressourcen sparsamer umzugehen und nach neuen Alternativen zu suchen – ein Beispiel hierzu ist der **Biodiesel**.<sup>1</sup>

Zwar hat der Absatz des Biodiesels in den vergangenen Jahren wieder abgenommen, doch stellt er immer noch eine beworbene Alternative dar. Dieses Skript befasst sich im Folgenden mit den Fragen, woraus Biodiesel besteht und wie er hergestellt werden kann. Es versucht wesentliche Eigenschaften, die die Qualität des Biodiesels beeinflussen, zusammenzufassen und die Frage zu klären, ob Biodiesel eine sinnvolle und vernünftige Kraftstoffalternative zum Mineralöldiesel sein kann.<sup>2</sup>

Ziel dieses Projektes ist es, das Thema „Biodiesel - Sprit vom Acker“ experimentell zu erarbeiten und sich auf diesem Gebiet Kenntnisse anzueignen oder zu vertiefen. Jede Station hat zu diesem Zweck einen thematischen Schwerpunkt.

Sie werden in Kleingruppen aufgeteilt und bearbeiten nur **EINE** der folgenden Stationen. Somit werden Sie zu **Experten** an Ihrer Station.

Station 1	Rapsöl	Herstellung von Rapsöl und Identitätsüberprüfung mit Hilfe des Brechungsindex und der IR-Spektroskopie.
Station 2	Biodiesel - Synthese	Umwandlung von Rapsöl in Biodiesel und Identitätsüberprüfung mittels IR-Spektroskopie.
Station 3	Biodiesel – Vorteile	Biodiesel und Mineralöldiesel im Vergleich: Ruß- und Kohlenstoffdioxidausstoß.
Station 4	Biodiesel – Nachteil	Biodiesel und Mineralöldiesel im Vergleich: Viskosität und Heizwert.

Tabelle 1: Übersicht über die Station.

<sup>1</sup> <http://biokraftstoffe.fnr.de/kraftstoffe/einfuehrung/> (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>2</sup> <http://biodieselproject.de/> (letzter Zugriff 26.05.2014)

## 14. Station 1: Herstellung und Überprüfung von Rapsöl

Aus den Samen von Raps gewinnt man ein fettes Öl, das Rapsöl. Dieses Pflanzenöl ist der Ausgangsstoff für Biodiesel. Die Aufgabe an Station 1 ist es, Rapsöl herzustellen (V1) und mittels verschiedener Analyseverfahren (V2) zu überprüfen, ob es sich bei dem hergestellten Produkt tatsächlich um Rapsöl handelt.

### 14.1 Raps: Allgemeine Informationen

Raps ist für Biodiesel am bedeutendsten, da dessen Anbau, mit einem Anteil von über 80% in Deutschland die Ölpflanzen-Nutzung bestimmt. Daneben wird auch aus Sonnenblumen und Öllein Pflanzenöl gewonnen. Dieser Anteil ist jedoch so gering, dass wir uns im weiteren Verlauf nur auf Raps beziehen.

Die Rapspflanze ist eine Langtagspflanze, das bedeutet, dass sie erst zu blühen beginnt, wenn eine bestimmte Tageslänge überschritten beziehungsweise eine bestimmte Nachtlänge unterschritten wird. Sie braucht zur Blütenbildung lange Licht- und kurze Dunkelperioden. Somit sind die Lichtverhältnisse und Tageslängen für das Wachstum dieser Pflanze in Mittel-

und Nordeuropa optimal. Neben Europa wird Raps zum Beispiel auch in Asien, Nordafrika und Amerika angebaut.

Er hat eine ein- bis zweijährige Wachstumszeit und besitzt durchschnittlich eine Höhe von 60-120 cm.

Besonders gut geeignet ist Raps für die Biodieselproduktion, da die Rapssamen einen Ölgehalt von 40% bis 45% aufweisen. Ein weiterer Vorteil ist, dass Rapspflanzen sehr dicht nebeneinander gepflanzt werden können (pro m<sup>2</sup> 50-100 Stück). Im Jahr beträgt der Ertrag an Rapssamen durchschnittlich 3 Tonnen, damit können ca. 1200 bis 1350 Tonnen Rapsöl gewonnen werden.

Mindestens genauso wichtig ist, neben dem Ertrag, auch der gesundheitliche Aspekt. Man unterscheidet zwischen für den Menschen schädlichen und unschädlichen Rapsorten:

Die gesundheitlich bedenkliche Erucasäure ist im Speiseraps nicht mehr enthalten, da sie durch Züchtung eliminiert wurde. Diese Art von Raps wird O-Raps genannt.



Abbildung 1: Rapsöl.

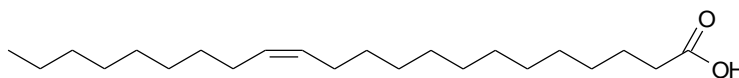


Abbildung 2: Struktur der Erucasäure.

Diese Säure kann sowohl bei Menschen als auch bei Tieren zu Organschädigungen, vor allem im Bereich der Herzmuskulatur, führen. Dabei kommt es zu einer pathologischen Veränderung der Muskulatur und Herzverfettung. Das ist auch für den Biodiesel entscheidend, da sich durch die Pollenverteilung auch im Industrieraps der Anteil an Erucasäuren verringert. Die Erucasäure mit ihren 22 Kohlenstoffatomen verringert zudem die Cetanzahl (s.u.). Beim sogenannten 00-Raps wurden zusätzlich Glucosilomate durch Züchtung eliminiert.

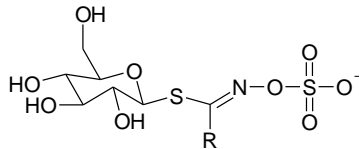


Abbildung 3: Struktur der Glucosilomate.

Glucosilomate sind schwefelhaltige Bitterstoffe. Die Entfernung dieser Stoffe macht den späteren Biodiesel schwefelfrei. Da aber der 00-Raps hauptsächlich für Speisezwecke verwendet wird, enthält Biodiesel geringe Anteile an Schwefel.

Ein weiterer wichtiger Punkt sind die Fettsäuren. Rapsöl hat hohe Anteile an Öl- und Linolsäure, diese haben C-18 Ketten und ähneln damit dem Cetan (n-Hexadecan).

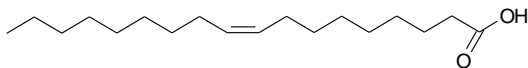


Abbildung 4: Struktur der Ölsäure (C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub>).

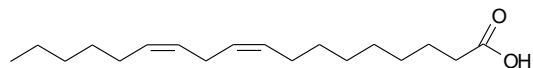


Abbildung 5: Struktur der der Linolsäure (C<sub>18</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>).

Die Cetanzahl beschreibt die Zündwilligkeit von Dieselmotorkraftstoff. Je mehr unverzweigt aufgebaute Kohlenwasserstoffmoleküle prozentual im Kraftstoff enthalten sind, desto leichter entzündet er sich. Dieses Verhalten ist für die spätere Verbrennung im Motor wichtig.<sup>3 4 5</sup>

<sup>3</sup> [http://biodieselproject.de/bedeutung\\_von\\_raps.html](http://biodieselproject.de/bedeutung_von_raps.html) (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>4</sup> <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/galex/konzepte/l323.html> (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>5</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Cetanzahl> (letzter Zugriff 26.05.2014)

## 14.2 V1 Wir stellen Rapsöl her!

Da es sich bei Rapsöl um eine unpolare Flüssigkeit handelt, benötigt man zur Unterstützung des HerauslöSENS des Öls ein ebenfalls unpolares Lösemittel – in diesem Fall n-Heptan.

### Geräte

- Mörser + Pistill
- 2 Rundkolben (250 mL)
- Ölbad + Thermometer
- Magnetrührer + Rührfisch
- Hebebühne
- Stativ + Stativmaterial
- Trichter + Filterpapier
- Messzylinder (50 mL)
- Waage + Löffel

### Chemikalien

- Rapssamen
- n-Heptan

### Sicherheitshinweise

n-Heptan:     **Gefahr!**

### Durchführung

- In einem Mörser werden 25 g Rapssamen zermahlen.
- Die Rapssamen werden in einen Rundkolben (250 mL) überführt.
- Ein Rührfisch wird hinzugefügt.
- 50 mL Heptan werden mit dem Messzylinder abgemessen und dazugegeben.
- Die Suspension wird für zehn Minuten im Ölbad auf dem Magnetrührer zum Sieden erhitzt.
- Die heiße Lösung (**Achtung!**) wird in einen zweiten Rundkolben (250 mL) filtriert.
- Anschließend wird die Lösung zur Beseitigung des überschüssigen Heptans etwa zehn Minuten lang mithilfe des Ölbad eingedampft, bis man einen öligen Rückstand erhält.



Abbildung 6: Rundkolben mit Rapssamen, Heptan und Rührfisch.

➔ Das entstandene Rapsöl wird für die folgenden Analyseverfahren aufbewahrt.



## Entsorgung

Samenreste und Filterpapiere können im Hausmüll entsorgt werden. Das Ölbad kann wiederverwendet werden.

## 14.3 V2 Nachweis von Rapsöl

Zur Überprüfung der Reinheit des selbsthergestellten Rapsöls – damit man dieses zum Beispiel zu Biodiesel weiterverarbeiten kann – werden hier zwei mögliche Analysetechniken vorgestellt. Dazu teilen Sie sich bitte in zwei Gruppen auf. Die einen werden mittels a) Brechungsindex und die anderen mittels b) IR-Spektroskopie Rapsöl nachweisen.

### V 2a) Brechungsindex messen

#### Methodenbeschreibung

Der Brechungsindex ist eine relative Größe, die die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Probenmedium (in unserem Fall Rapsöl) mit der in Vakuum (Prisma) vergleicht. Diese Ausbreitungsgeschwindigkeit ist stoffabhängig und kann somit zur Substanzidentifizierung, zur Reinheitsprüfung und zur Konzentrationsmessung von Lösungen verwendet werden. Die Geschwindigkeit, die das Licht beim Übergang vom Vakuum in ein Medium hat, wird dabei abgeschwächt. Der Brechungsindex  $n$  ist durch folgende Gleichung definiert:

(Gleichung 1)

$$n = \frac{c_0}{c_m}$$

Dabei gibt  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit in Vakuum und  $c_m$  die Lichtgeschwindigkeit im Medium an.

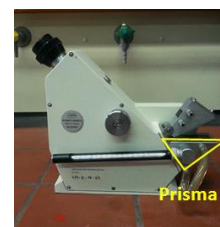


Abbildung 7: Refraktometer.

Zur Messung von Brechungsindizes verwendet man ein **Refraktometer**: Es nutzt dafür das Verhalten von Licht am Übergang zwischen einem Prisma mit bekannten Eigenschaften und dem zu prüfenden Stoff.<sup>6 7</sup>

Geräte	Chemikalien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zellstoff</li> <li>• Einwegpipette</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceton</li> </ul>

<sup>6</sup> <http://www.dgzfp.de/Portals/24/IZ/PDF/Jugend%20forscht/Brandenburg%20050815.pdf>

<sup>7</sup> [http://www.ipc.uni-jena.de/downloads/Lehre/Pharmazie/IAII/Praktikum/IAII\\_05\\_Refraktometrie.pdf](http://www.ipc.uni-jena.de/downloads/Lehre/Pharmazie/IAII/Praktikum/IAII_05_Refraktometrie.pdf) (letzter Zugriff 26.05.2014)

## Sicherheitshinweise

Aceton:



**Gefahr!**

## Durchführung

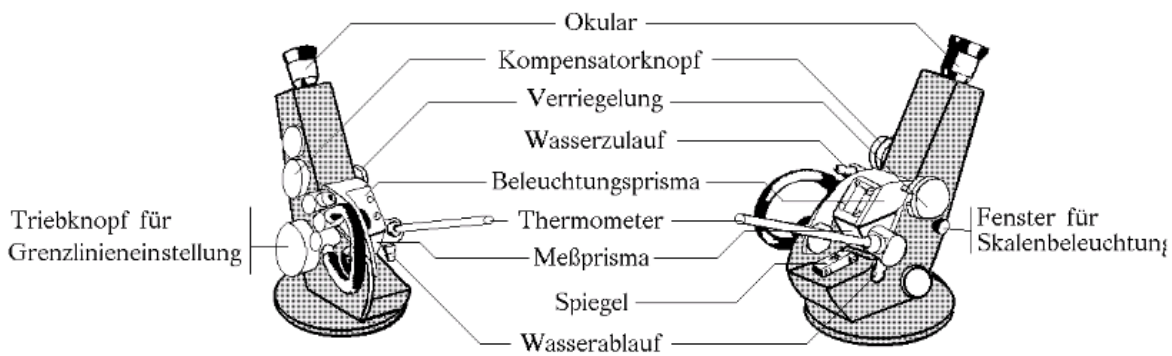


Abbildung 8: Schematischer Aufbau eines Refraktometers.

- Öffnen Sie die Verriegelung für das Beleuchtungsprisma und klappen Sie das Beleuchtungsprisma hoch.
- Tropfen Sie anschließend 1-2 Tropfen des Rapsöls mit einer Einwegpipette auf die jetzt sichtbare Glasfläche.
- **Wichtig: Man darf nicht auf der Glasfläche herumschaben bzw. den Tropfen verreiben!**
- Klappen Sie nun das Beleuchtungsprisma wieder herunter und verriegeln Sie dieses.
- Wenn Sie jetzt durch das Okular sehen, sollten Sie oben ein kreisrundes Fenster und unten zwei Skalen sehen, die sich bewegen, sobald Sie am Triebknopf für die Grenzlinieneinstellung drehen. (vgl. Abb. 11)
- Bewegen Sie diesen Knopf, damit Sie eine Hell-/Dunkelgrenze in dem oberen kreisrunden Fenster erkennen können.
- Sehen Sie keine scharfe Hell-/Dunkelgrenze, sondern nur einen Übergang mit einem bunten Saum, so drehen Sie am Kompensatorknopf, bis der Farbsaum verschwunden und die Hell-/Dunkelgrenze scharf ist.

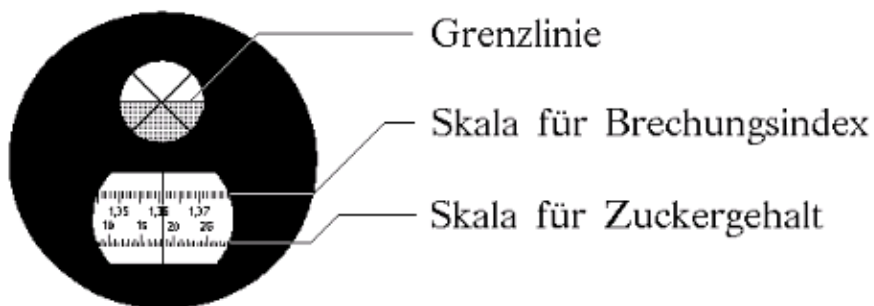


Abbildung 9: Grenzlinieneinstellung.

- Positionieren Sie abschließend die Hell-/Dunkel-Grenzlinie mit dem Triebknopf für die Grenzlinieneinstellung exakt in das Fadenkreuz.
- Bestimmen Sie den Brechungsindex auf der Skala. (in der Abb. 11 1,361).
- Nun wird der Brechungsindex des hergestellten Rapsöls mit dem Literaturwert verglichen.
- Der Literaturwert von Rapsöl beträgt 1,473.

### Beobachtung

Ihr gemessener Brechungsindex beträgt: \_\_\_\_\_

(Abweichungstoleranzen im Vergleich des hergestellten Rapsöls und des Literaturwertes dürfen erst in der zweiten Nachkommastelle auftreten.)

### Reinigung + Entsorgung

Zur Reinigung des Refraktometers klappen Sie zuerst das Beleuchtungsprisma hoch. Tupfen Sie vorsichtig mit einem Stück Zellstoff die Oberfläche ab (**Nicht reiben!**). Verriegeln Sie anschließend das Refraktometer erneut. Den Zellstoff und die Einwegpipette können in den Hausmüll entsorgt werden.<sup>8</sup>

### V 2b) IR-Spektroskopie:

#### Methodenbeschreibung

Die IR-Spektroskopie ist ein physikalisches Analyseverfahren, das mit infrarotem Licht (Wellenlängenbereich: 800 nm-1 mm) arbeitet. Infrarotstrahlung liegt energetisch im Bereich der Rotationsniveaus von kleinen Molekülen und den Schwingungsniveaus von Molekülbindungen. Die IR-Spektroskopie basiert auf Lichtabsorption, die zur Schwingungsanregung der Molekülbindungen führt, die wiederum in Form von

<sup>8</sup> <http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/gp/laborpraxis/refraktometer.pdf>

Ausschlägen im gemessenen Spektrum sichtbar gemacht wird. Da die dazu notwendigen Energien charakteristisch für die jeweiligen Bindungen sind, können so Substanzen identifiziert werden.<sup>9</sup>

Vergleichen Sie den schematischen Aufbau eines Spektrometers mit dem im Labor:

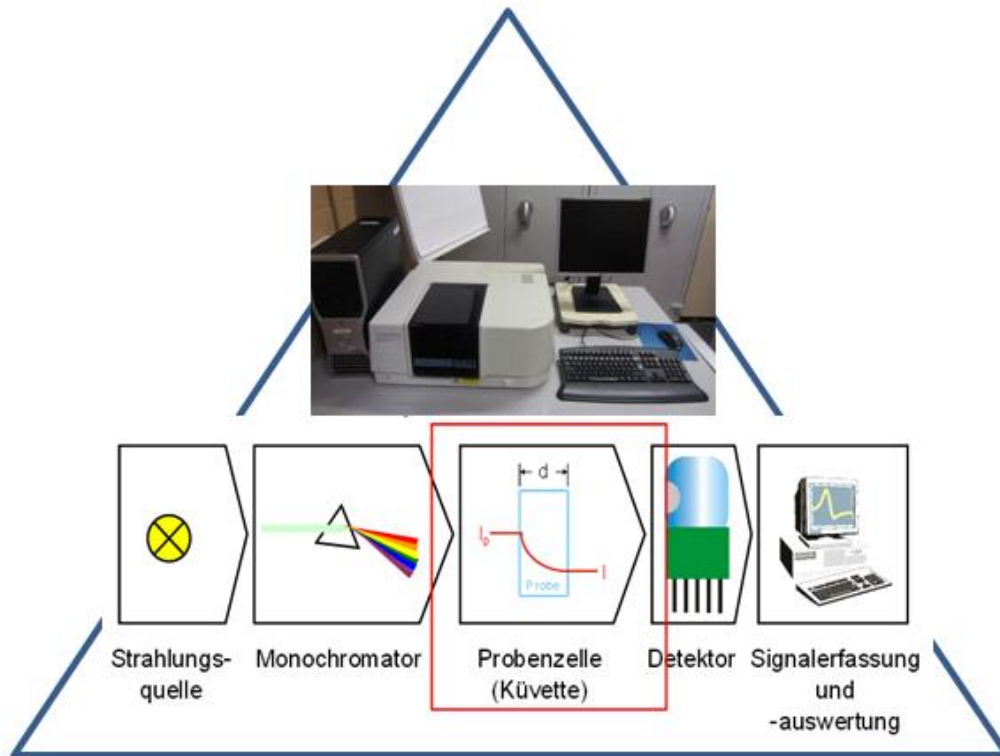


Abbildung 10: Vergleich eines schematischen Aufbaus eines Spektrometers mit dem im Labor.

## Durchführung

### Geräte

- **Küvette**
- **Spritze + Kanüle**

### Chemikalien

- Biodiesel

<sup>9</sup> <http://www.fz-juelich.de/zea/zea-3/DE/Leistungen/AnalytischeVerfahren/Identifizierung/IR.html?nn=790074> (letzter Zugriff 26.05.2014)

Probenvorbereitung:

- Legen Sie als erstes die Kuvette, wie auf den folgenden Fotos dargestellt, zusammen:

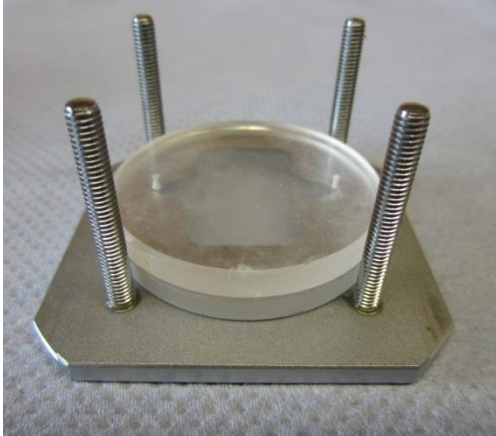


Abbildung 11: Kuvette.



- Zum Beschicken der Kuvette wird die Probe mit einer Spritze durch die zwei Bohrungen gespritzt.
- Stellen Sie nun die Kuvette fertig.



Abbildung 12: Fertige Kuvette für die Messung.



Messeinstellungen des Computerprogramms HYPER IR 1,57 zur IR-Messung:

- Die wichtigen Parameter sollten zwar schon eingestellt sein, müssen aber noch einmal überprüft werden:
  - Wellenlängenbereich: High: 4000 / Low: 400
  - Scan-Nummer: 40
  - Messungsmodus: %T
  - Detector: Standard

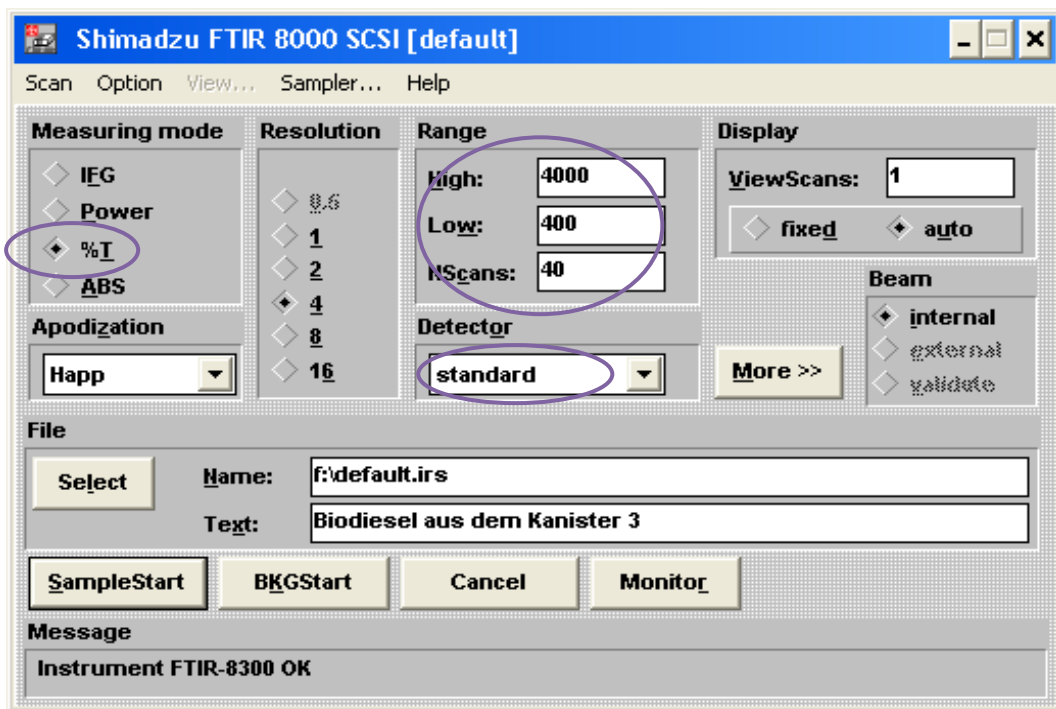


Abbildung 13: Screenshot des Computerprogramms HYPER IR 1,57 zur IR-Messung.

Start der Messung:

- Öffnen Sie das Fenster unten links.
- Starten Sie die „Background“-Messung indem Sie auf **BKGStart** klicken.
- Warten Sie so lange bis alle 40 Scans durchgeführt wurden (Dies kann man unten links verfolgen).
- Öffnen Sie das Fenster erneut und klicken Sie auf **Select** → Laufwerke → und wählen Sie dann den USB-Stick (Laufwerk f) aus, damit Sie das Spektrum darauf speichern und anschließend ausdrucken können.
- Geben Sie unter **Dateiname** „Rapsöl.irs“ ein und bestätigen Sie auf **OK**.
- Befestigen Sie anschließend die Probe in dem Strahlengang des Spektrometers.
- Starten Sie die Messung durch ein Klicken auf **SampleStart**.
- Um nun das Spektrum abzuspeichern, klicken Sie auf **file** → **print** und dann nochmal **file** → **print** → **OK**.
- Als Dokumententitel wählen Sie Rapsöl → **OK**.
- Wählen Sie abschließend den USB-Stick aus und geben einen Dokumententitel ein → **Speichern**.

### Auswertung

Zur Auswertung steht Ihnen auf der folgenden Seite ein Vergleichsspektrum von Rapsöl zur Verfügung.

*Transmission [%]*



Abbildung 14: IR-Spektrum von Rapsöl.

Ihr aufgenommenes Spektrum sollte mit dem Spektrum von Rapsöl weitgehend übereinstimmen, um eine Aussage über die Reinheit Ihres Rapsöls treffen zu können.

### Aufgabe

Die unten stehende Tabelle zeigt die charakteristischen Schwingungen verschiedener funktioneller Gruppen. Versuchen Sie nun mithilfe der allgemein chemischen Struktur von Fetten und dieser Tabelle Ihr aufgenommenes Spektrum zu identifizieren.

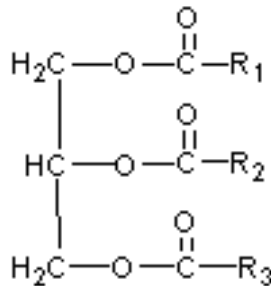


Abbildung 15: Allgemein chemische Struktur von Fetten.

Schwingung	Wellenzahl [ $\text{cm}^{-1}$ ]
C=O-Streckung	1600 - 1800
O-H-Streckung	3000 - 3500
N-H-Streckung	3000 - 3500
C(O)-H-Streckung	2720 - 2820
C $\equiv$ N-Streckung	2210 - 2260
N-H-Biege	1620 - 1650
Ringschwingung	1480 - 1500
CH <sub>3</sub> -, CH <sub>2</sub> -Biege	1400 - 1470
versch. C-O-Streckungen	1000 - 1300

Abbildung 16: Schwingungen verschiedener funktioneller Gruppen und ihre typischen Wellenzahlen.

### Reinigung + Entsorgung

- Die Einwegpipette kann in den Hausmüll entsorgt werden.
- Die NaCl-Fenster der Küvette werden mit Aceton gespült. **Auf gar keinen Fall mit Wasser!!**



## 15. Station 2: Herstellung und Überprüfung von Biodiesel

Biodiesel wird im Unterschied zu herkömmlichem Dieselmotorkraftstoff nicht aus Rohöl, sondern aus Pflanzenöl gewonnen. Station 2 zeigt, wie durch eine einfache chemische Reaktion, Rapsöl zu Biodiesel umgewandelt wird. Bei der sogenannten Umesterung des Rapsöls zu Biodiesel mit Methanol wird das Glycerin unter katalytischer Wirkung von Natriumhydroxid von den drei Fettsäuremolekülen getrennt.<sup>10 11 12</sup> Außerdem werden Sie mittels IR-Spektroskopie überprüfen, wie rein Ihr selbsthergestellter Biodiesel ist.

### 15.1 Biodiesel: Allgemeine Informationen

Biodiesel ist das Produkt einer Umwandlung von Fetten oder Ölen zu einem Biokraftstoff, der in Dieselmotoren eingesetzt werden kann. Diese Umwandlung wird als Umesterung bezeichnet, bei der aus einem Fett- oder Ölmolekül drei sogenannte Fettsäuremethylester entstehen. Dies ist in der folgenden Reaktionsgleichung dargestellt.

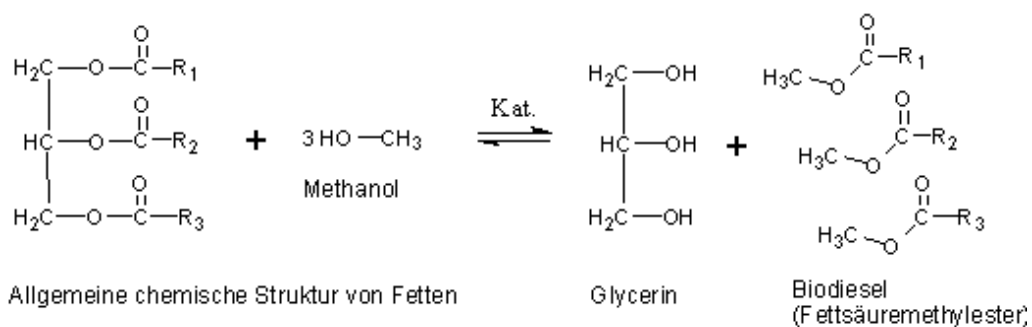


Abbildung 17: Reaktionsgleichung einer Umesterung von Rapsöl.

Fett- oder Ölmoleküle sind Triglyceride, das heißt, dass an ein 3-fach verestertes Glycerinmolekül je eine Fettsäure durch Esterbindung angehängt ist. Fettsäuren unterscheiden sich sowohl durch ihre Kettenlänge als auch durch die Anzahl und Position ihrer Doppelbindungen. Sie gehören zu den organischen Säuren (COOH-Gruppe). Die Art der Fettsäuren variiert von Molekül zu Molekül. Die Anteile im Industrierapsöl verteilen sich wie folgt: Erucasäure 48%, Ölsäure 15 %, Linolsäure 13,5 % und diverse andere Fettsäuren.

<sup>10</sup> <http://www.bio-kraft-stoff.de/Herstellung-von-Biodiesel.php>

<sup>11</sup> <http://www.iwr.de/biodiesel/fakten.html>

<sup>12</sup> <http://www.schulbiologiezentrum.info/Arbeitsbl%E4tter%20Raps%20Raps%F6l%20Biodiesel%20Me210212.pdf> (letzter Zugriff 26.05.2014)

Da in Deutschland meist Rapsöl als Ausgangssubstanz verwendet wird, wird Biodiesel oft auch als Rapsölmethylester (RME) bezeichnet. Grundsätzlich kann man Biodiesel aus allen Ölen und Fetten gewinnen. Allerdings ist dabei auf die Zusammenstellung der Fettsäuren und damit der Öle und Fette zu achten, damit der Kraftstoff später eine optimale Cetanzahl\* aufweist.

Nach der Umesterung sind die Moleküle des entstandenen Biodiesels nur Bruchstücke des einst großen Fett- oder Ölmoleküls. Dadurch sind sie auch bei niedrigeren Temperaturen flüssig und haben somit eine geringere Viskosität als die ursprünglichen Öle oder Fette. Daher kann der Biodiesel ohne jegliches Vorheizen des Kraftstofftanks problemlos zur Verbrennung in den Motor gepumpt werden (siehe Station 4).<sup>13</sup>



Abbildung 18

\*Die Cetanzahl beschreibt die Zündwilligkeit von Dieselmotorkraftstoff. Je mehr unverzweigt aufgebaute Kohlenwasserstoffmoleküle prozentual im Kraftstoff enthalten sind, desto leichter entzündet er sich. Dieses Verhalten ist für die spätere Verbrennung im Motor wichtig.

<sup>13</sup> [http://biodieselproject.de/chemischer\\_aufbau.html](http://biodieselproject.de/chemischer_aufbau.html) (letzter Zugriff 26.05.2014)

## 15.2 V1 Wir stellen Biodiesel her!

Im folgenden Versuch wird durch eine Umesterung Rapsöl zu Biodiesel umgewandelt.


### Geräte

- Hebebühne
- Wasserbad
- Thermometer
- Magnetrührer + Rührfisch
- Stoppuhr
- Stativ + Stativmaterial
- Messpipette (2 mL + 5 mL)
- Reagenzglas mit Rührfisch und durchbohrtem Stopfen + Glasrohr

### Chemikalien

- Natriumhydroxid
- Methanol
- Rapsöl

### Sicherheitshinweise

Natriumhydroxid:  **Gefahr!**

Methanol:    **Gefahr!**

### Durchführung

- Aus Zeitgründen wurden folgende Lösungen bereits hergestellt und stehen Ihnen nun zur Verfügung: Mithilfe der Waage wurden 0,15 g Natriumhydroxid abgewogen. Ebenso wurden 50 mL Methanol mit dem Messzylinder abgemessen. In einem 100 mL Becherglas wurde das Natriumhydroxid im Methanol gelöst.
- 4 mL dieser Lösungen werden (mithilfe der 5 mL Messpipette) abgemessen und mit 2 mL Rapsöl (mithilfe der 2 mL Messpipette) in ein Reagenzglas mit Rührfisch überführt.
- Das Reagenzglas wird durch einen durchbohrten Stopfen mit Glasrohr verschlossen.
- Der Reaktionsansatz wird mithilfe eines Wasserbads auf 75 °C erhitzt.

- Die Reaktion erfolgt unter ständigem Rühren des Rührfisches für ca. zehn Minuten. Danach sollte sich die zuvor trübe Lösung aufklären.
- Die klare Lösung wird weitere zehn Minuten erhitzt.

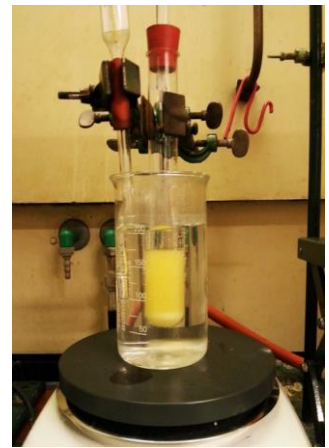


Abbildung 19: Versuchsaapparatur.

→ Damit die Trennung des Biodiesels vom restlichen Reaktionsgemisch zügig erfolgt, verwendet man für dessen Aufreinigung eine Zentrifuge.


### Aufreinigung

#### Geräte

- **Zentrifuge**
- **2 Zentrifugengläser + Stopfen**
- **Einwegpipette**

#### Chemikalien

- dest. Wasser

- Der heiße Reaktionsansatz (**Achtung!**) wird in ein Zentrifugenglas überführt und mit dest. Wasser auf 12 mL aufgefüllt.
- Das Reagenzglas wird mit einem Stopfen verschlossen und geschüttelt.
- Die trübe Lösung wird ohne Stopfen in der Zentrifuge zentrifugiert.
- Wichtig: Stellen Sie in die Zentrifuge als Gegengewicht ein Zentrifugenglas mit nahezu identischem Volumen an dest. Wasser.
- Nun wird für zwei Minuten zentrifugiert. Drücken Sie dafür den **START**- Knopf.
- Sind die zwei Minuten abgelaufen, können Sie die Zentrifuge mit folgendem Knopf öffnen: 

→ Man sollte nun eine Phasentrennung erkennen. Die obere Phase macht einen öligen Anschein und wird für die folgenden Analyseverfahren aufbewahrt.

### Entsorgung

Die untere Phase kann in den Ausguss geschüttet werden.

### 15.3 V2 Nachweis von Biodiesel

Um zu ermitteln, ob es sich bei Ihrem Produkt (ölige Phase) wie gewünscht um Biodiesel oder doch noch um das eingesetzte Rapsöl handelt, werden Sie im Folgenden die Flammprobe durchführen. Fällt der Schnelltest positiv aus, können Sie mittels IR-Spektroskopie zusätzlich die Reinheit des selbsthergestellten Biodiesels überprüfen.

#### V 2a) Flammprobe

##### Geräte

- 3 Porzellantiegel
- Watte
- Einwegpipette
- Feuerzeug

##### Chemikalien

- selbsthergestellter Biodiesel
- gekaufter Biodiesel
- Rapsöl

##### Sicherheitshinweise

Biodiesel:



**Gefahr!**

##### Durchführung

- Unter dem Laborabzug werden drei Porzellantiegel nebeneinander aufgestellt und jeweils mit Rapsöl, Biodiesel (selbsthergestellt) und Biodiesel (gekauft) befüllt.
- Tränken Sie je ein kleines Stück Watte der Lösung im Tiegel und versuchen Sie dieses zu entzünden.

##### Aufgabe

Was können Sie beobachten? Wozu benötigt man eine Probe mit gekauftem Biodiesel? Handelt es sich bei Ihrem Produkt um Biodiesel?

---

---

---

---

---

## Reinigung + Entsorgung

Der Zellstoff, mit dem die Porzellantiegel gesäubert wurden, kann im Hausmüll entsorgt werden. Die Einwegpipetten können ebenfalls im Hausmüll entsorgt werden.

## V 2b) IR-Spektroskopie:

### Methodenbeschreibung

Die IR-Spektroskopie ist ein physikalisches Analyseverfahren, das mit infrarotem Licht (Wellenlängenbereich: 800 nm – 1 mm) arbeitet. Infrarotstrahlung liegt energetisch im Bereich der Rotationsniveaus von kleinen Molekülen und den Schwingungsniveaus von Molekülbindungen. Die IR-Spektroskopie basiert auf Lichtabsorption, die zur Schwingungsanregung der Molekülbindungen führt die wiederum in Form von Ausschlägen im gemessenen Spektrum sichtbar gemacht wird. Da die dazu notwendigen Energien charakteristisch für die jeweiligen Bindungen sind, können so Substanzen identifiziert werden.<sup>14</sup>

Vergleichen Sie den schematischen Aufbau eines Spektrometers mit dem im Labor.

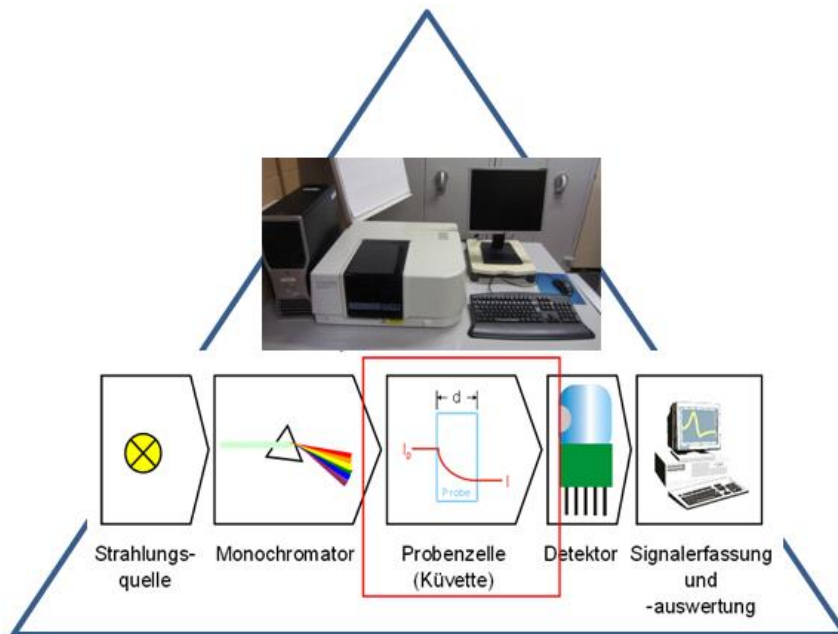


Abbildung 20: Vergleich eines schematischen Aufbaus eines Spektrometers mit dem im Labor

<sup>14</sup> <http://www.fz-juelich.de/zea/zea-3/DE/Leistungen/AnalytischeVerfahren/Identifizierung/IR.html?nn=790074> (letzter Zugriff 26.05.2014)

## Durchführung

### Geräte

- **Küvette**
- **Spritze + Kanüle**

### Chemikalien

- Biodiesel

### Probenvorbereitung:

- Legen Sie als erstes die Küvette, wie auf den folgenden Fotos dargestellt, zusammen:

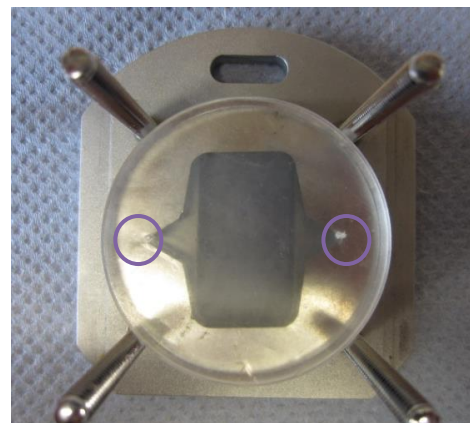
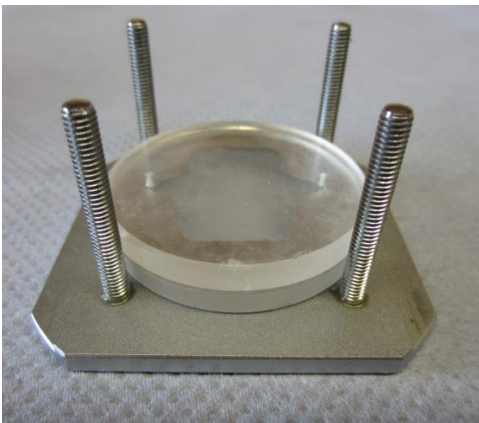


Abbildung 21: Küvette.

- Zum Beschicken der Küvette wird die Probe mit einer Spritze durch die zwei Bohrungen gespritzt.
- Stellen Sie nun die Küvette fertig.



Abbildung 22: Küvette fertig für die Messung.

### Messeinstellungen des Computerprogramms HYPER IR 1,57 zur IR-Messung:

- Die wichtigen Parameter sollten bereits eingestellt sein, müssen aber noch einmal überprüft werden:

- Wellenlängenbereich: High: 4000 / Low: 400
- Scan-Nummer: 40
- Messungsmodus: %T
- Detector: Standard

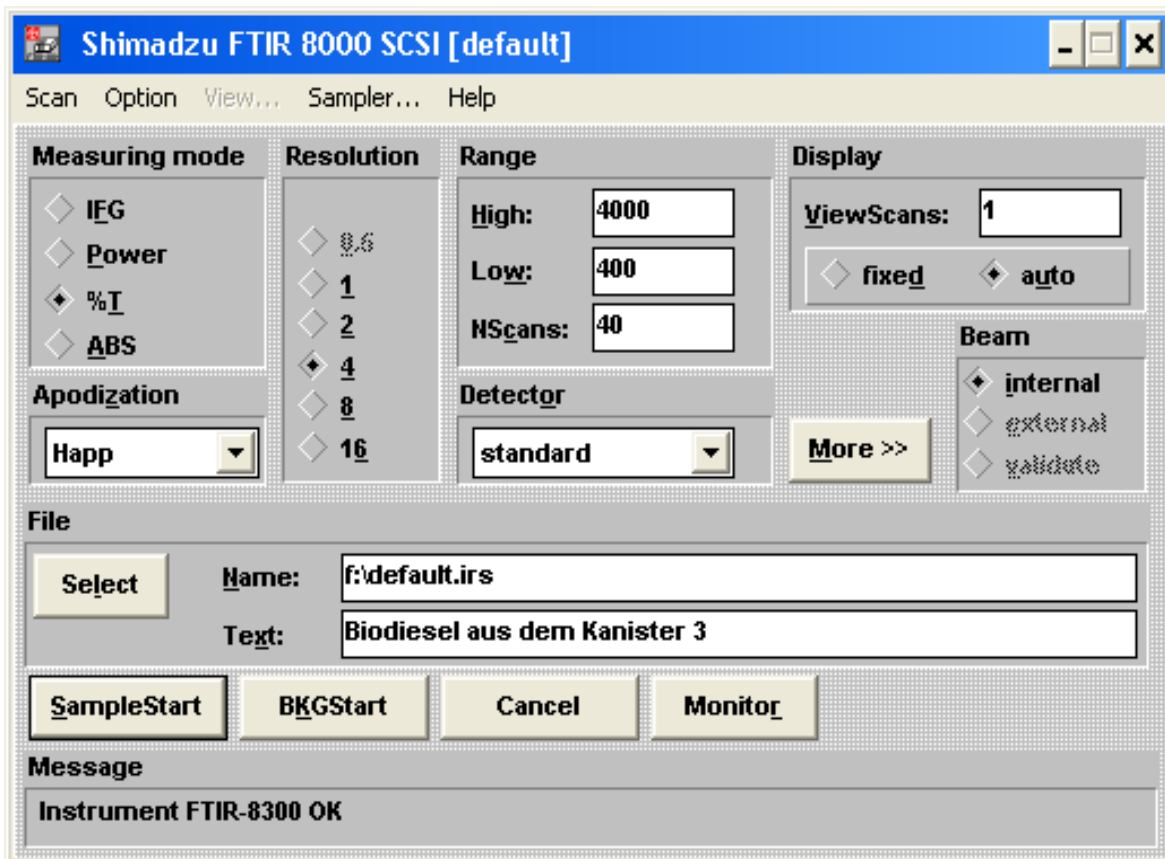


Abbildung 23: Screenshot des Computerprogramms HYPER IR 1,57 zur IR-Messung.

Start der Messung:

- Öffnen Sie das Fenster unten links.
- Starten Sie die "Background"-Messung indem Sie auf **BKGStart** klicken.
- Warten Sie so lange bis alle 40 Scans durchgeführt wurden (Dies kann man unten links verfolgen).
- Öffnen Sie das Fenster erneut und klicken Sie auf **Select** → Laufwerke → und wählen Sie dann den USB-Stick (Laufwerk f) aus, damit Sie das Spektrum darauf speichern und anschließend ausdrucken können.
- Geben Sie unter **Dateiname** „Biodiesel.irs“ ein und bestätigen Sie auf **OK**.
- Befestigen Sie anschließend die Probe in dem Strahlengang des Spektrometers.
- Starten Sie die Messung durch ein Klicken auf **SampleStart**.



- Um nun das Spektrum abzuspeichern, klicken Sie auf **file**→**print** und dann nochmal **file** →**print**→ **OK**.
- Als Dokumententitel wählen Sie Rapsöl → **OK**.
- Wählen Sie abschließend den USB-Stick aus und geben einen Dokumententitel ein →**Speichern**.

### Auswertung

Zur Auswertung steht Ihnen auf der folgenden Seite ein Vergleichsspektrum von Biodiesel zur Verfügung.

Transmission [%]

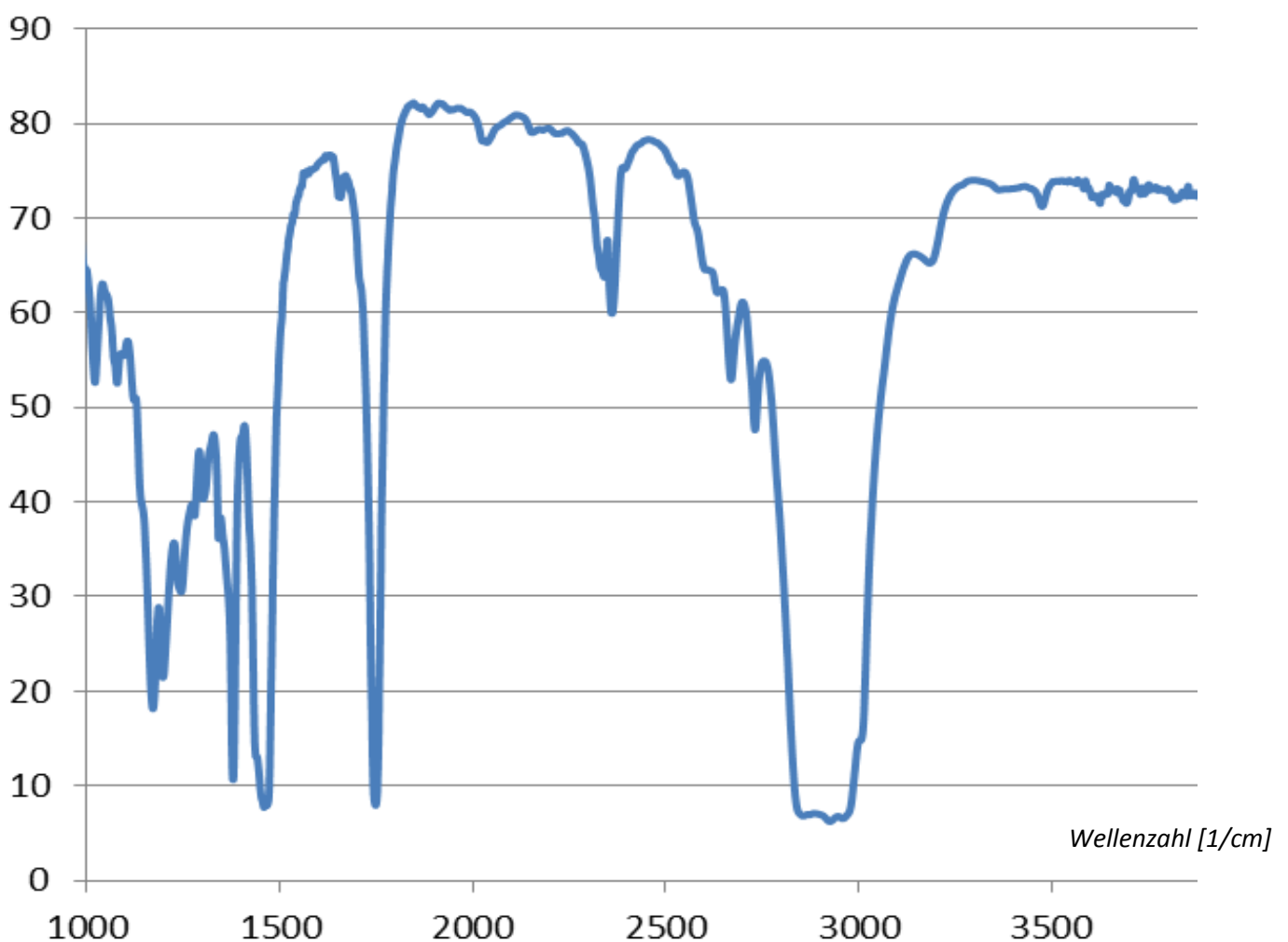


Abbildung 24: IR-Spektrum von Biodiesel.

Ihr aufgenommenes Spektrum sollte mit dem Spektrum von Biodiesel weitgehend übereinstimmen, um eine Aussage über die Reinheit Ihres Biodiesels machen zu können.

## Aufgabe

Die unten stehende Tabelle zeigt die charakteristischen Schwingungen verschiedener funktionellen Gruppen. Versuchen Sie nun mithilfe der allgemein chemischen Struktur von Fetten und dieser Tabelle Ihr aufgenommenes Spektrum zu identifizieren.

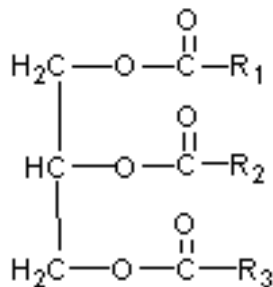


Abbildung 25: Allgemein chemische Struktur von Fetten.

Schwingung	Wellenzahl [ $\text{cm}^{-1}$ ]
C=O-Streckung	1600 - 1800
O-H-Streckung	3000 - 3500
N-H-Streckung	3000 - 3500
C(O)-H-Streckung	2720 - 2820
C $\equiv$ N-Streckung	2210 - 2260
N-H-Biege	1620 - 1650
Ringschwingung	1480 - 1500
CH <sub>3</sub> -, CH <sub>2</sub> -Biege	1400 - 1470
versch. C-O-Streckungen	1000 - 1300

Abbildung 26: Schwingungen verschiedener funktioneller Gruppen und ihre typischen Wellenzahlen.

## Reinigung + Entsorgung

- Die Einwegpipette kann im Hausmüll entsorgt werden.
- Die NaCl-Fenster der Küvette werden mit Aceton gespült. **Auf gar keinen Fall mit Wasser!!**

## 16. Station 3: Vorteile von Biodiesel

Um die Frage klären zu können, ob Biodiesel eine sinnvolle und umweltfreundliche Kraftstoffalternative ist, ist ein Vergleich mit seinem direkten Konkurrenten, dem Mineralöldiesel, sinnvoll. Dazu wird in Station 3 geklärt, wie hoch der Ausstoß an umwelt- bzw. gesundheitsgefährdenden Stoffen, wie z.B. Rußpartikeln (V1) und Kohlenstoffdioxid (V2), ist.

### 16.1 Biodiesel: Umweltfreundliche Alternative zum herkömmlichen Dieselkraftstoff?

Kohlenstoffdioxid ist zu ca. 0,03 % in der Atmosphäre enthalten. Über große Zeiträume blieb dieser CO<sub>2</sub>-Gehalt weitgehend konstant. Die ständig zunehmende Erdbevölkerung droht mit ihrem steigenden Energieverbrauch nun jedoch dieses Gleichgewicht empfindlich zu stören. Verbrannte man in früheren Jahrhunderten Holz zur Energiegewinnung, so wurde das dabei entstehende CO<sub>2</sub> von den nachwachsenden Bäumen wieder aufgenommen. Seit Beginn der Industrialisierung und der während der letzten Jahrzehnte stark zunehmenden Motorisierung, wird zur Deckung des steigenden Energiebedarfs mehr und mehr auf die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas zurückgegriffen, bei deren Verbrennung weltweit gewaltige Mengen an CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangen. Gleichzeitig berichten die Medien immer wieder darüber, dass in den Tropen die Regenwälder, in denen die Pflanzen besonders schnell wachsen und damit verhältnismäßig viel CO<sub>2</sub> aufnehmen, großflächig abgeholzt werden. Zudem gehen Jahr für Jahr weltweit riesige Flächen durch Betonierung beim Bau neuer Häuser, Industrieanlagen und Straßen für den Pflanzenwuchs verloren. Als Folge dieser Entwicklungen konnte in den letzten Jahrzehnten ein kontinuierlicher Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre beobachtet werden. Will man die Zunahme des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre begrenzen, so ist es notwendig, die Verbrennung fossiler, d.h. kohlenstoffhaltiger, Energieträger einzuschränken, denn durch die Verbrennung fossiler Energieträger gelangen riesige Mengen an CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre, die dann den natürlichen Treibhauseffekt verstärken.

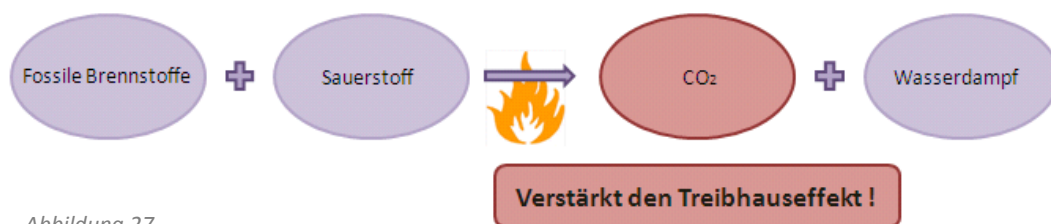


Abbildung 27

Neben anderen Maßnahmen, wie z.B. dem Verbot von FCKW-Treibhausgasen, die bereits zur Senkung des Treibhauseffekts geführt haben, wird Biodiesel als umweltfreundliche Alternative zu Mineralöldiesel beworben. Biokraftstoffe produzieren durchschnittlich zwei Drittel weniger Treibhausgasemissionen als herkömmliche Kraftstoffe. Weitere Vorteile des Biodiesels sind die vergleichbar niedrigen enthaltenen Mengen an Schwefel und die schnelle biologische Abbaubarkeit.

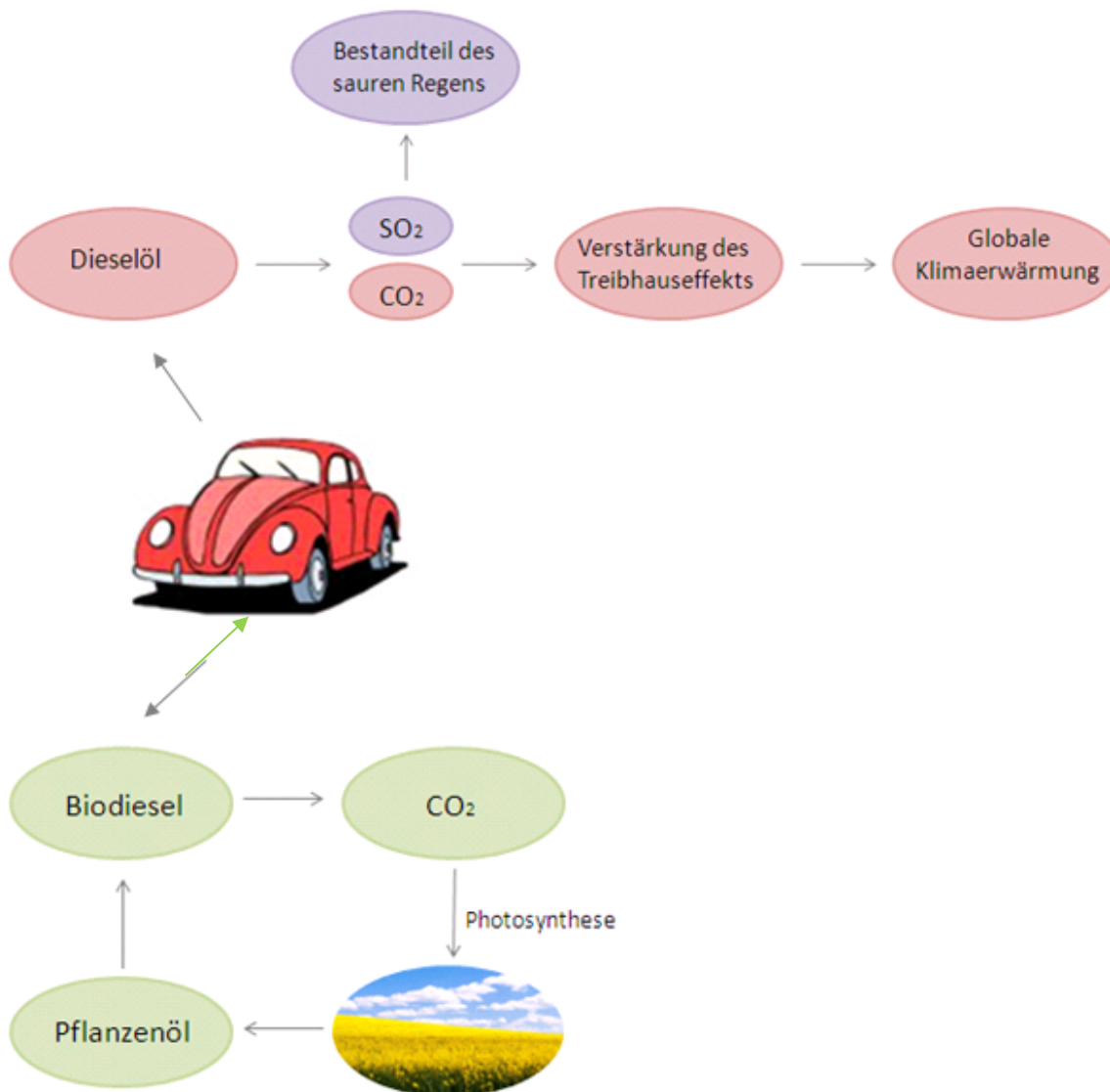


Abbildung 28: Mineralöldiesel und Biodiesel im Vergleich.

Wie Abb. 28 zeigt, führt die Verwendung nachwachsender Rohstoffe als Energiequelle theoretisch zu einem geschlossenen Kohlenstoffkreislauf und so liefert letztendlich die Sonne die zum Fahren erforderliche Energie.<sup>15 16</sup>

<sup>15</sup> <http://www.iwr.de/biodiesel/fakten.html> (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>16</sup> <http://www.kp-iv.de/Biodiesel.pdf> (letzter Zugriff 26.05.2014)

## 16.2 Die wichtigsten Vorteile von Biodiesel auf einen Blick

### 1. Biodiesel „wächst“ vor der Haustür

Biodiesel kann z.B. aus Raps gewonnen werden. Rapsöl wird dabei durch ein chemisches Verfahren in Biodiesel umgewandelt. Sollte Biodiesel in die Natur gelangen, sind keine negativen Folgen zu erwarten, da er biologisch abbaubar ist.

### 2. Biodiesel ist nahezu kohlenstoffdioxidneutral

Das Kohlenstoffdioxid, das bei der Verbrennung ausgestoßen wird, wurde von der Pflanze während ihres Wachstums aufgenommen (und nicht wie bei Mineralöl im Laufe von Millionen von Jahren gebunden). Der Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre erhöht sich nicht!

### 3. Biodiesel ist preiswert

Biodiesel ist kein Mineralöl! Deshalb bezahlt man auch keine Mineralölsteuer! Als umweltfreundlicher Treibstoff bleibt Biodiesel deshalb von Mineralölsteuererhöhungen befreit.

### 4. Biodiesel ist schadstoffarm

Beim Verbrennen von Biodiesel werden wesentlich weniger Schadstoffe ausgestoßen als im Vergleich eines herkömmlichen Mineralöldiesels. Der Schwefelausstoß (Stichwort: saurer Regen, Waldsterben) sinkt sogar auf Null. Zudem wird der Ausstoß an gefährlichen, krebserregenden Partikeln ebenfalls stark verringert.

### 16.3 V1 Rußausstoß

Im folgenden Versuch werden Sie die beiden Treibstoffe Mineralöldiesel und Biodiesel auf ihren Rußausstoß hin untersuchen. Berechnen Sie hierfür die bei gleicher Brenndauer entstehende Rußmasse beider Kraftstoffe.

#### Geräte

- Waage
- Glastrichter
- Glaswolle
- Stativ + Stativmaterial
- Vakuumschlauch
- Wasserstrahlpumpe
- Kerzendocht (7,5 cm) + Feuerzeug
- Stopfen + Schnappdeckelglas (2 mL)
- Hebebühne
- Kristallisierschale

#### Chemikalien

- Mineralöldiesel
- Biodiesel

#### Sicherheitshinweise

Biodiesel:   **Gefahr!**

Mineralöldiesel:   **Gefahr!**

#### Durchführung

- Der Trichter wird mit Glaswolle gefüllt. Achten Sie darauf, dass der Glastrichter dabei nicht verstopft!
- Mit der Waage wird die Masse des Glastrichters mit der Glaswolle bestimmt.
- Tragen Sie diesen Wert in die Ihnen zur Verfügung stehende Tabelle (S. 33) ein.
- Der mit Glaswolle befüllte Glastrichter wird mit der großen Öffnung nach unten mithilfe des Stativmaterials an einem Stativ befestigt.
- Am oberen Ende des Glastrichters wird ein Vakuumschlauch befestigt, welcher zu einer Wasserstrahlpumpe führt.
- Der 7,5 cm lange Kerzendocht wird in das Schnappdeckelglas gegeben, welches mit Biodiesel befüllt und in die Mitte der Kristallisierschale gestellt wird.

- Diese Kristallisierschale wird auf die Hebebühne gestellt, so dass sie sich genau unter der Öffnung des Glastrichters befindet. Der Kerzendocht ist dabei genau unter der Glaswolle.
- Die Kristallisierschale dient als Windschutz. Bei der folgenden Verbrennung ist daher darauf zu achten, dass die Flamme vollständig geschützt ist. Dafür wird die Hebebühne so eingestellt, dass das obere Ende der Kristallisierschale dort endet, wo der Glastrichter beginnt.

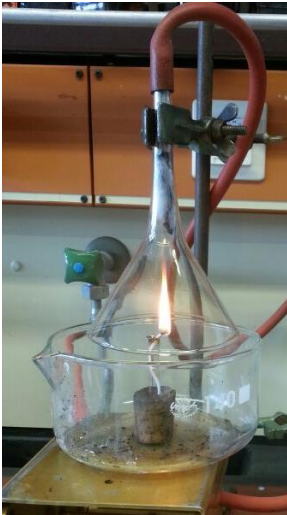


Abbildung 29: Versuchsaufbau.

- Nun wird der Kerzendocht angezündet und gleichzeitig die Wasserstrahlpumpe angeschaltet. **Wichtig: Merken Sie sich genau, wie weit Sie den Wasserhahn aufgedreht haben! Genauso weit müssen Sie den Wasserhahn auch bei der Verbrennung von Mineralöldiesel aufdrehen, damit man einen direkten Vergleich erhält!**
- Achten Sie auf die Zeit → Verbrennungsdauer: 10 Minuten
- Nach zehn Minuten wird die Flamme wieder gelöscht und der Wasserhahn der Wasserstrahlpumpe geschlossen.
- Mit der Waage wird erneut die Masse des Glastrichters mit der Glaswolle bestimmt.
- Tragen Sie ihre Messwerte in die untenstehende Tabelle ein.
- Der Versuch wird anschließend mit Mineralöldiesel wiederholt.

Glastrichter + Glaswolle [g]	Glastrichter + Glaswolle + Rußpartikel [g]	Differenz = Ruß [g]
------------------------------	---	---------------------

Biodiesel

Mineröldiesel

---

## Entsorgung

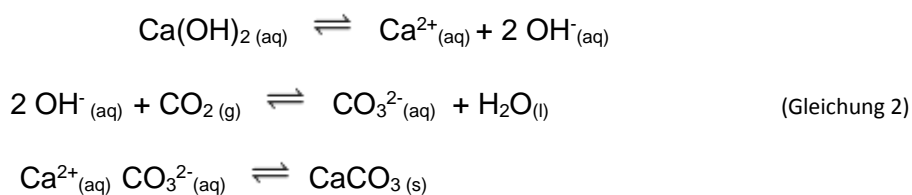
Die Glaswolle mit den Rußpartikeln kann im Hausmüll entsorgt werden. Reste des Biodiesels sowie des Mineralöldiesels werden in den Kanister für organische Lösemittel gegeben.

## 16.4 V2 Kohlenstoffdioxidausstoß

Zur vergleichenden Untersuchung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses bei der Verbrennung von Biodiesel und Mineralöldiesel, werden Sie dieses Gas als Verbrennungsprodukt nach Durchleiten durch einen Rußfilter, bestehend aus Glaswolle, mithilfe eines üblichen Kohlenstoffdioxid-Nachweises durch Kalkwasser nachweisen.

### Methodenbeschreibung - Kohlenstoffdioxidnachweis mit Kalkwasser

Beim Einleiten von CO<sub>2</sub>-haltiger Luft in Kalkwasser bildet sich ein Niederschlag von Calciumcarbonat. Die Hydroxid-Ionen reagieren mit dem Kohlenstoffdioxid zu Carbonat-Ionen und diese wiederum zu Calciumcarbonat.<sup>17</sup>



---

<sup>17</sup> <http://chemiefachberater.manos-dresden.de/downloads/reaktionco2caoh2.pdf> (letzter Zugriff 26.05.2014)



### Geräte

- Waage
- Glastrichter
- 2 Waschflaschen
- Glaswolle
- Stativ + Stativmaterial
- Vakuumschlauch
- Wasserstrahlpumpe
- Kerzendocht (7,5 cm)
- Stopfen + Reagenzglas (2 mL)
- Hebebühne
- Kristallisierschale
- Feuerzeug
- Messzylinder ( 50 mL)

### Chemikalien

- Biodiesel
- Kalkwasser (Calciumhydroxid-Lösung)

### Sicherheitshinweise

Biodiesel:   **Gefahr!**

Mineralöldiesel:   **Gefahr!**

Kalkwasser:  **Gefahr!**

### Durchführung

- Zur Ermittlung des Kohlenstoffdioxidausstoßes wird die in V1 verwendete Apparatur nur ein wenig verändert.
- Zwischen Glastrichter und Wasserstrahlpumpe werden zwei Waschflaschen geschaltet.
- In einem Messzylinder werden 50 mL Kalkwasser abgemessen und in eine der beiden Waschflaschen überführt.
- Diese Waschflasche wird zusammen mit dem Tauchrohr gewogen.
- Auf den Boden der anderen Waschflasche gibt man als Rußfilter ein wenig Glaswolle.
- Die zwei Waschflaschen werden wie auf folgendem Bild angeschlossen:

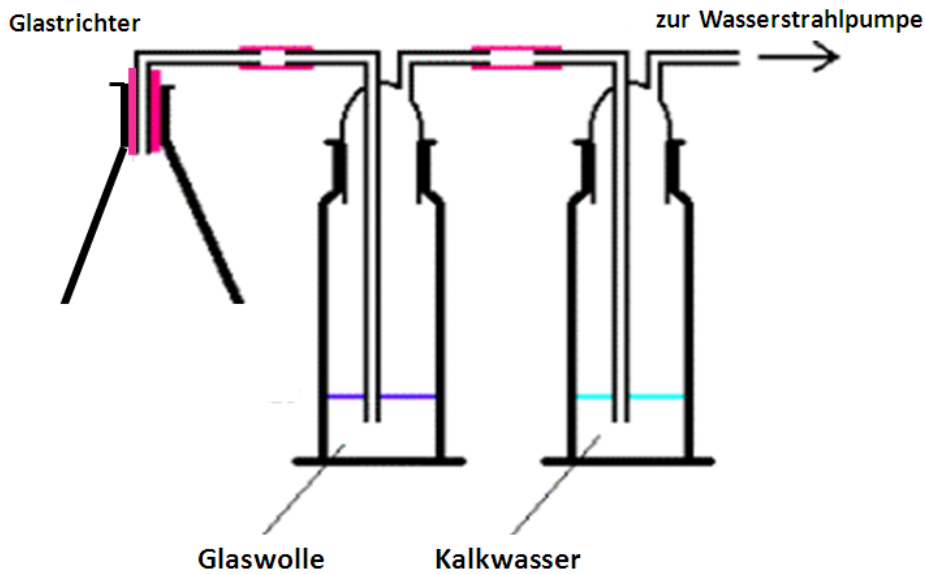


Abbildung 30: Skizze der anzuschließenden Waschflaschen.

- Nun folgt die gleiche Durchführung wie zuvor bei der Untersuchung der Rußmenge (siehe S. 31f.).
- **einzigste Änderung: Die Flamme wird nach drei Minuten gelöscht.**
- Nachdem das Gas 3 Minuten lang das Kalkwasser durchgeströmt hat, wird die Waschflasche mit Calciumcarbonat + Tauchrohr wieder gewogen.

Waschflasche + Kalkwasser + Tauchrohr [g]	Waschflasche + Calciumcarbonat + Tauchrohr [g]	Differenz = Calciumcarbonat [g]
--	--	------------------------------------

Biodiesel

### Aufgabe

Diesen Versuch müsste man nun eigentlich noch einmal mit Mineralöldiesel durchführen und die dabei entstehende Masse an Calciumcarbonat ermitteln, um eine Aussage darüber machen zu können, ob Biodiesel tatsächlich einen niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß besitzt. Allerdings hat sich dieses Experiment als schwierig erwiesen. Können Sie sich äußere Faktoren/ Fehlerquellen vorstellen, die die Genauigkeit dieses Versuches beeinträchtigen könnten?

---



---



---



---



---

### **Entsorgung**

Die Glaswolle mit den Rußpartikeln kann im Hausmüll entsorgt werden. Der verbleibende Biodiesel wird in den Lösemittelabfall für organische Lösungen gegeben. Das Kalkwasser kann verdünnt in den Abguss gegeben werden.

## 17. Station 4: Nachteile von Biodiesel

Ausgangsstoff für die Herstellung von Biodiesel ist Rapsöl. Durch dessen hohe Viskosität (V1) ergeben sich jedoch auch Nachteile. Des Weiteren wird auf den niedrigeren Heizwert von Biodiesel und die damit verbundenen Folgen für die Umwelt eingegangen (V2).

### 17.1 Biodiesel: Schadet der Umwelt

Ein wichtiger Parameter, der wesentlich zur Qualität eines Kraftstoffes beiträgt, ist die Viskosität. Eine Flüssigkeit, die zu viskos ist, kann als Kraftstoff in modernen Verbrennungsmotoren nicht zum Einsatz kommen, da sie in den Kraftstoffleitungen möglicherweise nicht hinreichend gut und schnell fließen kann. Die eigentliche Hürde stellt jedoch der Einspritzvorgang dar: Die Viskosität der Flüssigkeit muss klein genug sein, um eine gute Verteilung beim Einspritzen des Kraftstoffes in den Verbrennungsraum zu gewährleisten. Biodiesel und Mineralöldiesel unterscheiden sich in der Viskosität. Zwar sehen sich Biodiesel- und Dieselmoleküle nach der Umesterung ähnlich und haben deswegen auch ähnliche Eigenschaften, trotzdem gibt es Unterschiede, auf die man bei der Qualitätsprüfung achten sollte. Im Gegensatz zu den Kohlenwasserstoffen beim Mineralöldiesel können die Fettsäuren beim Biodiesel ungesättigt sein, was ihnen durch die Doppelbindung einen Knick in der Molekülkette verleiht. Dadurch kann Biodiesel bei gleicher Anzahl an Kohlenstoffatomen eine niedrigere Viskosität besitzen als Diesel, da die Van-der-Waals-Kräfte zwischen den Molekülen dadurch geschwächt werden.<sup>18 19</sup>

### 17.2 V1 Vergleich der Viskosität

Im Folgenden werden mit einem vereinfachten Kugelfallviskosimeter die Viskositäten von Rapsöl, Biodiesel und Mineralöldiesel miteinander verglichen.

#### Geräte

- **3 Verbrennungsrohre + Murmel + Stopfen**
- **Stoppuhr**

#### Chemikalien

- gefüllt mit Rapsöl, Biodiesel, Mineralöldiesel

#### Sicherheitshinweise

Biodiesel:



**Gefahr!**

Mineralöldiesel:



**Gefahr!**

<sup>18</sup> <http://biodieselproject.de/eigenschaften.html> (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>19</sup> <http://www.abipur.de/referate/stat/638489104.html> (letzter Zugriff 26.05.2014)

## Methodenbeschreibung: Messung von Viskosität



Abbildung 31:  
Kugelfallviskosimeter.

Zur Messung der Viskosität von Flüssigkeiten und Gasen dient normalerweise ein Kugelfallviskosimeter: Eine Kugel bewegt sich in rollender und gleitender Bewegung in einem geneigten zylindrischen Rohr, das mit dem zu prüfenden Fluid gefüllt ist. Es wird die Zeit gemessen, die die Kugel benötigt, um eine definierte Messstrecke zu durchlaufen.<sup>20</sup>

Für unseren Versuch reicht eine vereinfachte Version dieses Mesgerätes aus. Dafür wurden Verbrennungsrohre mit der zu untersuchenden Substanz befüllt und eine Murmel dazugegeben. Mit zwei PVC-Stopfen wurden die Öffnungen verschlossen und zusätzlich mit Parafilm umwickelt, um die Stopfen vollständig

abdichten. Es wurde darauf zu geachtet, dass keine Luftblasen zurückbleiben. Mit einem Stift wurden auf jedem Fallrohr gleichlange „Fallstrecken“ markiert, innerhalb dieser die Zeitmessung im folgenden Versuch erfolgt.



Abbildung 32: Vereinfachtes  
Kugelfallviskosimeter.

### Durchführung

- Mit einer Stoppuhr wird die Zeit gemessen, die die Kugel zum Durchlaufen der Fallstrecke benötigt.
- Die Zeitmessung beginnt, nachdem die komplette Murmel die erste Fallstreckengrenze überschritten hat.
- Die Zeitmessung endet, nachdem die komplette Murmel die zweite Fallstreckengrenze durchlaufen hat.
- Es werden pro Substanz fünf Zeitmessungen durchgeführt. → konstanter Mittelwert!
- Bitte tragen Sie in folgender Tabelle Ihre Messergebnisse ein:

Flüssigkeit	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Mittelwert
Rapsöl						
Biodiesel						
Mineralöldiesel						

### Aufgabe

Nehmen Sie Stellung zu Ihrem Ergebnis. Hätten Sie ein solches Ergebnis nach dem Informationstext erwartet?

---



---

<sup>20</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Kugelfallviskosimeter> (letzter Zugriff 26.05.2014)

---

---

---

---

---

---

---

### 17.3 V2 Heizwertbestimmung

Neben der Viskosität spielt auch der Heizwert (der Heizwert ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge)<sup>21</sup> eine wichtige Rolle.

Da Biodiesel einen etwa 8% geringeren volumetrischen Heizwert (also kJ/l) hat als Mineralöldiesel, steigt theoretisch auch der Verbrauch dementsprechend, was wiederum eine Steigerung der Rapsproduktion bedeutet. Raps muss in einem Fruchtwechsel angebaut werden. Das heißt, ein Anbau von Raps ist auf demselben Feld nur alle 3 bis 5 Jahre möglich. Um den deutschen



Abbildung 33

Mineralöldieserverbrauch durch Biodiesel zu ersetzen, müssten rund 300.000 Quadratkilometer Ackerland ausschließlich mit Raps-Monokulturen bepflanzt werden, das entspricht 84% Deutschlands. Bei dieser Rechnung ist der Fruchtwechsel noch nicht einmal bedacht. Somit führt eine Verlagerung ins Ausland zu einer ähnlichen Import-Abhängigkeit wie beim Mineralöl.<sup>22</sup> Außerdem führt der Anstieg der Rapsproduktion zu Umweltproblemen, da vermehrt Pflanzenschutzmittel beim Rapsanbau verwendet werden. Forschungen zur Genveränderung von Raps, um Resistenzen gegen Schädlinge wie den Rapsglanzkäfer und Pflanzenkrankheiten wie der Kohlhernie zu erreichen, sind ebenfalls umstritten. Des Weiteren stellen großflächige Monokulturen eine Bedrohung für Tierarten, insbesondere bodenbrütende Vögel dar. Durch die intensive Nutzung von Stickstoffdüngern kommt es zu einer Überdüngung der Gewässer und einer Übersäuerung des Bodens. Zudem wird Stickstoffoxid (Lachgas) freigesetzt ein (310-fach stärkeres Treibhausgas als CO<sub>2</sub>). Biodiesel produziert zudem mehr ozonfördernde Abgase als aus Erdöl gewonnener Treibstoff.<sup>23 24</sup>

Wie man sieht, hat dieser 8% geringere volumetrische Heizwert erhebliche Folgen. Zur Verdeutlichung wird der Heizwert von Biodiesel und Mineralöldiesel ermittelt.

#### Geräte

- Kerzendocht (7,5 cm)
- Stopfen + Schnappdeckelglas (2 mL)
- Hebebühne
- Erlenmeyerkolben (200 mL)

#### Chemikalien

- Biodiesel
- Mineralöldiesel
- Wasser

<sup>21</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert> (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>22</sup> <http://www.nicht-fossil.de/17/biodiesel.html> (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>23</sup> <http://www.may-industrie.com/deutsch/kndatabase/Biodiesel.pdf> (letzter Zugriff 26.05.2014)

<sup>24</sup> <http://nibis.ni.schule.de/~gybe/BIODIESE.HTML> (letzter Zugriff 26.05.2014)

- Stativ + Stativmaterial
- Glasstab
- Temperaturfühler
- Computer

### Sicherheitshinweise

Biodiesel:   **Gefahr!**

Mineralöldiesel:   **Gefahr!**

### Durchführung

- Ein 7,5 cm langer Kerzendocht wird in das Schnapdeckelglas gegeben, mit Biodiesel befüllt und auf die Hebebühne gestellt.
- Oberhalb der Hebebühne wird ein mit 150 mL Wasser befüllter 200-mL Erlenmeyerkolben an einem Stativ befestigt.
- In den Erlenmeyerkolben werden ein Glasstab sowie ein Temperaturfühler gegeben.
- Nun wird der Docht angezündet und so unter dem Kolben positioniert, dass die Spitze der Flamme gerade eben die Unterseite des Erlenmeyerkolbens berührt. **Darauf ist immer zu achten!** Gegebenenfalls muss die Hebebühne verstellt werden.
- Mit dem Glasstab wird während der ganzen Messzeit (15 Minuten) das Wasser im Erlenmeyerkolben durchmischt.
- Gleichzeitig wird die Temperaturmessung am Computer wie folgt gestartet:
- Wenn die Messung fertig ist, wird mit Mineraldieselöl ebenso verfahren.

Messeinstellungen des Computerprogramms Phywe measure 4:

- Die wichtigen Parameter sollten zwar schon eingestellt sein, müssen aber noch einmal überprüft werden:
  - Messung wird automatisch alle 5 s durchgeführt
  - Diagramm wird dem Sensor zugeordnet
  - Temperaturfühler: PHYCON 1



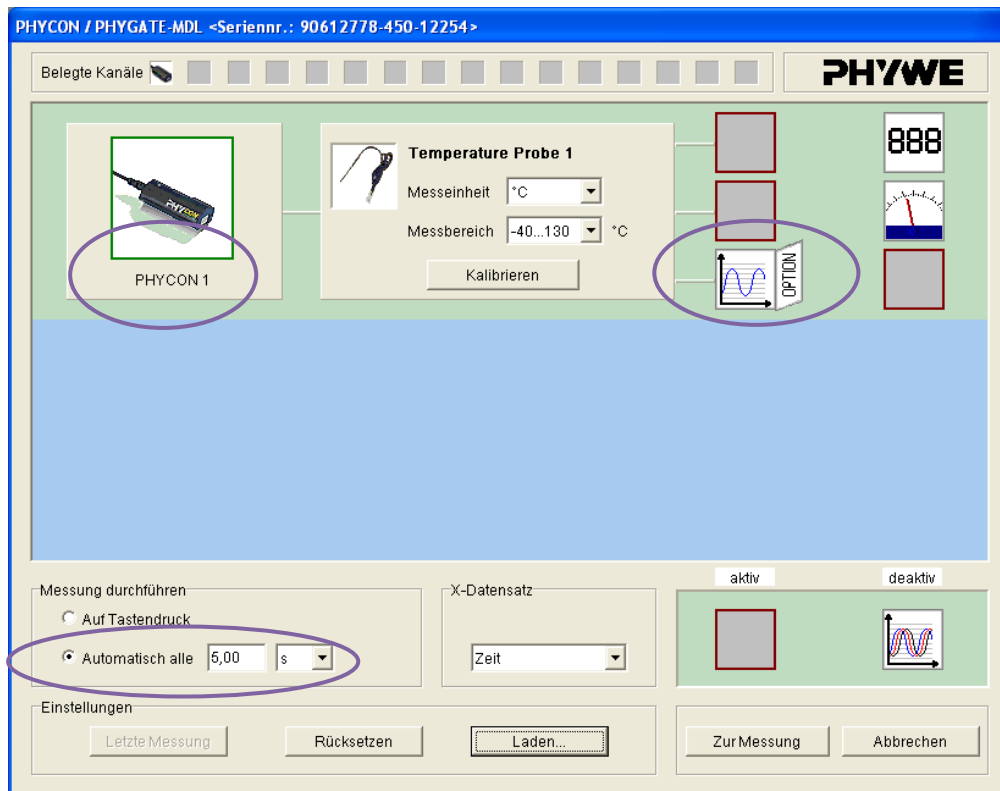


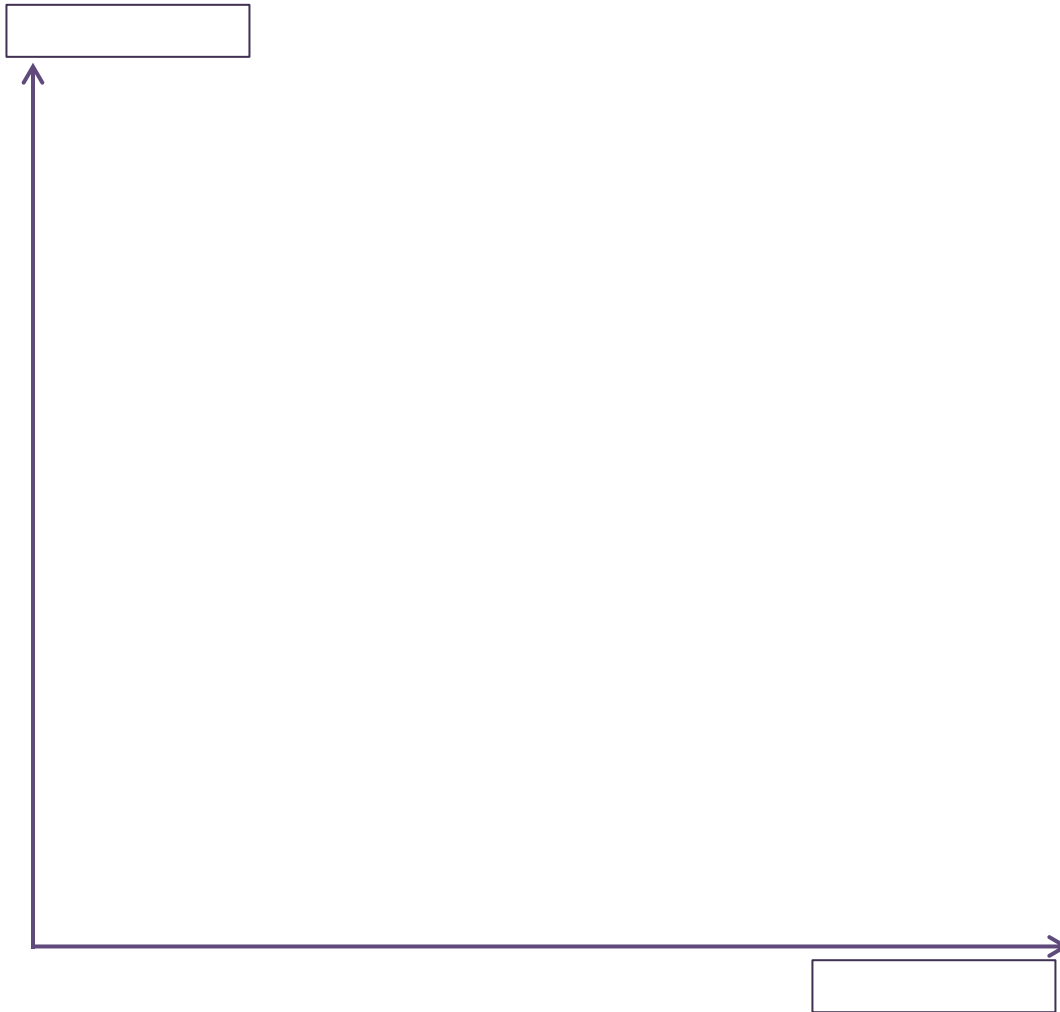
Abbildung 34: Screenshot des Computerprogramms Phywe measure 4.

#### Start der Messung:

- Klicken Sie auf **Zur Messung**, um die Messung zu starten.
  - Im nächsten Schritt **Messung starten**.
  - Sie können erkennen wie in den folgenden 15 Minuten parallel zur Messung ein Diagramm gezeichnet wird.
  - Um nach 15 Minuten die Messung zu beenden klicken Sie auf **Messung beenden**.
- Wenn die Messung abgeschlossen ist, wird auf die gleiche Weise mit Mineraldieselöl verfahren.

**Aufgabe**

Übertragen Sie eine Skizze des Verlaufs der gemessenen Kurven in das vorgegebene Koordinatensystem.  
Achten Sie dabei auch auf die Achsenbeschriftung!



**Entsorgung**

Biodiesel- und Mineralöldiesel-Reste werden in den Behälter für organische Lösemittel gegeben.

## 18. Quellenverzeichnis der Abbildungen

---

Abbildung 1: <http://web.cals.uidaho.edu/biodiesel/files/2012/10/BIO-1011.jpg> (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 2: Skript Arzneimittel & Analytik Goethe-Universität Frankfurt

Abbildung 3: [http://mhstatic.de/fm/1/thumbnails/sh\\_raps%C3%B6l.jpg.2528795.jpg](http://mhstatic.de/fm/1/thumbnails/sh_raps%C3%B6l.jpg.2528795.jpg) (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 4: erstellt mit Chems sketch

Abbildung 5: erstellt mit Chems sketch

Abbildung 6: erstellt mit Chems sketch

Abbildung 7: erstellt mit Chems sketch

Abbildung 8: eigene Fotografie

Abbildung 9: eigene Fotografie

Abbildung 10: <http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/gp/laborpraxis/refraktometer.pdf> (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 11: <http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/gp/laborpraxis/refraktometer.pdf> (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 12: [http://www.analytik.ethz.ch/vorlesungen/Spektroskopie\\_Schmid/03\\_Proben.pdf](http://www.analytik.ethz.ch/vorlesungen/Spektroskopie_Schmid/03_Proben.pdf) (letzter Zugriff Juni 2014) + eigene Fotografie

Abbildung 13: eigene Fotografie

Abbildung 14: eigene Fotografie

Abbildung 15: Screenshot

Abbildung 16: erstellt mit Microsoft Excel 2007

Abbildung 17: Skript Schülerkongress 2012 lfbz Goethe-Universität Ffm

Abbildung 18: Skript Schülerkongress 2012 lfbz Goethe-Universität Ffm

Abbildung 19: [http://biodieselproject.de/images/allgemeine\\_reaktion\\_der\\_umesterung\\_von\\_fett\\_zu\\_biodiesel.gif](http://biodieselproject.de/images/allgemeine_reaktion_der_umesterung_von_fett_zu_biodiesel.gif) (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 20: <http://www.auri.org/assets/2012/06/CAR.jpg> (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 21: eigene Fotografie

Abbildung 22: [http://www.analytik.ethz.ch/vorlesungen/Spektroskopie\\_Schmid/03\\_Proben.pdf](http://www.analytik.ethz.ch/vorlesungen/Spektroskopie_Schmid/03_Proben.pdf) (letzter Zugriff Juni 2014) + aufgenommenes Foto

Abbildung 23: eigene Fotografie

Abbildung 24: eigene Fotografie

Abbildung 25: Screenshot

Abbildung 26: erstellt mit Microsoft Excel 2007

Abbildung 27: Skript Schülerkongress 2012 lfbz Goethe-Universität Ffm

Abbildung 28: Skript Schülerkongress 2012 lfbz Goethe-Universität Ffm

Abbildung 29: erstellt mit Microsoft PowerPoint 2007

Abbildung 30: <http://www.zahnprofis.com/508258a3190b16d07/index.html> (letzter Zugriff Juni 2014)+ erstellt mit Microsoft PowerPoint 2007

Abbildung 31: eigene Fotografie

Abbildung 32: [http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/chemie2000/experiments/oszillationen/katalytische\\_oxidation/index.html](http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/chemie2000/experiments/oszillationen/katalytische_oxidation/index.html) (letzter Zugriff Juni 2014) + erstellt mit Microsoft PowerPoint

Abbildung 33: eigene Fotografie

Abbildung 34: <https://www.lmr.tu-berlin.de/fileadmin/fg78/Demoversuche/kugelfall/kugelfall.html> (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 35: <http://occupydenkfabrikwannfrieden.wordpress.com/2012/08/03/ruckschlag-fur-biodieselbranche-die-deutsche-nationalakademie-leopoldina-empfiehltder-politik-eine-abkehr-von-der-forderung-der-biokraftstoffe-diese-seien-langst-nicht-soumweltfreundlich-und-ene/> (letzter Zugriff Juni 2014)

Abbildung 36: Screenshot

*Teil III:*

## **Biotreibstoffe - eine vernetzte Sicht**

Team:  
Geographiedidaktik  
Goethe-Universität Frankfurt  
Campus Westend  
Theodor-W. Adorno-Platz 6  
60629 Frankfurt a.M.

Johanna Lippert | Tamara Postelt

Link zum Material:

<http://foc.geomedienlabor.de/doku.php?id=courses:sus:biosprit:description>

---

## 19.LE 02: Weltweiter Flächenverbrauch und regionale Unterschiede hinsichtlich Produktion und Konsumtion von Bioethanol

---

Die weltweite Nachfrage nach Bioethanol hat im Kern zwei Ursachen. Dies ist zum einen, dass die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringert und zum anderen, dass durch die Verwendung von Bioethanol die Umweltbelastung reduziert werden soll. Das Argument bezüglich des Klimaschutzes geht von der Annahme aus, dass beim Verbrennen der Biotreibstoffe nur die Menge an Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, welche die Pflanzen im Rahmen des Wachstums in einer relativ kurzen Zeitphase zuvor aus der Atmosphäre aufgenommen haben. Diese Annahme ist aber umstritten, da oftmals nicht die Gesamtbilanz, wie z.B. der Energieinput bezüglich der landwirtschaftlichen Produktion und der Energieumwandlung, in die Berechnung einfließt. Diese Berechnungen variieren zudem je nach geographischem Standort und Nutzpflanze. Insgesamt ist festzustellen, dass „hinsichtlich der Ökobilanz von Bioethanol und anderen Biokraftstoffen noch ein großer Forschungsbedarf“ (BERNHARDT, 2006, S. 27) besteht. Auch der WBGU (2009) kommt zu einer ähnlichen Einschätzung: „Aufgrund der großen Komplexität und Dynamik des Themas, des hohen Maßes an wissenschaftlicher Unsicherheit und der Vielzahl von Interessen ist es bisher nicht gelungen, eine integrierte Einschätzung der Bioenergie als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung vorzunehmen“ (WBGU, 2009, S. 1). Nichtsdestotrotz hat der Anbau von Biokraftstoffen seit den 2000er Jahren massiv zugenommen. Dies hängt damit zusammen, dass der Erdölpreis gestiegen ist und somit nachwachsende Rohstoffe für die Ethanol-Herstellung wettbewerbsfähig geworden sind. Zu dieser Entwicklung gesellten sich noch seit Ende der 1990er Jahre veränderte politische Rahmenbedingungen. Die Europäische Kommission hat sich damals zum Ziel gesetzt, den Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Energieverbrauch zu steigern. Im Zuge dieser Maßnahmen wurden dann auch Richtlinien zu einer Steigerung des Mindestanteils von Biokraftstoffen an allen verbrauchten Kraftstoffen erlassen. In Deutschland hat dies 2006 zur Einführung des Biokraftstoffquotengesetzes geführt, das seit 2007 eine Mindestverwendung von Biokraftstoffen vorsieht. Im Zuge dieser politischen und marktwirtschaftlichen Entwicklungen hat der landwirtschaftliche Flächenverbrauch für die Herstellung von Bio-Sprit in den letzten Jahren massiv zugenommen.

### Literatur:

BERNHARDT, D. (2006). Ökobilanz von Bioethanol. Eine Literaturstudie. Herausgegeben von Germanwatch e. V. Berlin. Online (12.10.2015): <http://germanwatch.org/de/2688>

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat für globale Umweltfragen) (2009). Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Berlin. Online (12.10.2015):

[http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2008/wbgu\\_jg2008.pdf](http://www.wbgu.de/fileadmin/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2008/wbgu_jg2008.pdf)

## 19.1 A02-1: Produktion und Konsumtion von Biotreibstoffen im zeitlichen Verlauf

Im Rahmen dieser Lerneinheit verschaffen Sie sich einen Überblick über die Entwicklung der Produktion und Konsumtion von Biotreibstoffen zwischen den Jahren 1990 und 2012. Sie analysieren hierbei unterschiedliche Maßstabsebenen (z.B. national, international und weltweit). Darüber hinaus analysieren Sie die potentiellen Risiken, die durch die Expansion des Anbaus von Energiepflanzen auf den Zugang zu Land für die Bevölkerung eines Landes bestehen. Als Informationsquelle dient Ihnen hierbei insbesondere das Internetportal der U.S. Energy Information Administration (EIA).

### Materialien:

M02-1: Arbeit mit dem Internetportal der U.S. Energy Information Administration

M02-2: Anbau von Energiepflanzen und Zugang zu Land

### Aufgabenstellung:

1. Analysieren Sie auf der Homepage der U.S. Energy Information Administration (EIA) die Entwicklung der Produktion sowie der Konsumtion von Biotreibstoffen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (weltweit, Weltregionen oder auch einzelne Länder) für den Zeitraum zwischen 1990 und 2012. Notieren Sie die wichtigsten Ergebnisse Ihrer Analyse. **Hinweis:** Machen Sie sich zunächst mit den unterschiedlichen Möglichkeiten der Datenanalyse auf dem Internetportal der U.S. Energy Information Administration vertraut (siehe M02-1).
2. Erläutern Sie die Ursachen für den weltweiten Anstieg der Produktion und Konsumtion von Biotreibstoffen. Nutzen Sie hierfür auch die Informationen aus LE02.
3. Die Expansion des Anbaus von Energiepflanzen birgt unterschiedliche Risiken bezüglich des Zugangs zu landwirtschaftlichen Flächen für die Bevölkerung eines Landes. Erläutern und bewerten Sie diese Risiken mit Hilfe von M02-2.

## 19.2 M02-1: Arbeiten mit dem Internetportal der U.S. Energy Information Administration

Das Internetportal der U.S. Energy Information Administration liefert eine Fülle von Informationen rund um den Energiesektor. Für die Aufgabenstellung gehen Sie bitte folgendermaßen vor:

1. Rufen sie die Seite der U.S. Energy Information Administration (EIA) auf.
2. Oben rechts finden Sie die Kategorie „**Geography**“. Wenn Sie mit der Maus auf „**Geography**“ gehen, öffnet sich ein kleines Fenster. Klicken Sie hier die Rubrik „**International**“ an.
3. Sie werden nun weitergeleitet auf eine Seite, die kartographische, tabellarische und graphische Informationen zur Produktion und Konsumption von Energiere Ressourcen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen bereitstellt. Je nach Internetverbindung und Rechnerkapazitäten kann diese Weiterleitung mitunter ein paar Momente dauern.
4. Auf der Seite finden Sie oben links die Kategorien **Overview**, **Data** und **Analysis**. Klicken Sie auf die Kategorie **Data**. Scrollen Sie unter die dargestellte Karte. Hier finden Sie die beiden Punkte **Select Data** und **Select Countries**. Klicken Sie auf **Select Data** und wählen Sie unter **1. View by Source** aus. Wählen Sie **2. Biofuels** aus, dann eine entsprechende **Unit (Schritt 3)** und abschließend die **Source Production (Schritt 4)**. Klicken Sie nun auf **View Data**. Sie können sich nun die Daten zum Thema „**Total Biofuels Production - World**“ anschauen. Hierbei haben Sie die Möglichkeit zwischen unterschiedlichen Visualisierungsmöglichkeiten zu wählen: **Bubble Map, Heat Map, Column und Time Series**. Wenn Sie auf der Seite runterscrollen finden Sie die Daten in Tabellenform.
5. Nachdem Sie sich nun mit der Funktionsweise der Datenanalyse auf dem Internetportal vertraut gemacht haben, bearbeiten Sie die Aufgabe 1 aus dem A02-1. Beachten Sie, dass Sie Ihre ausgewählten Daten auch in unterschiedlichen Varianten runterladen können: Siehe „**Download**“ (befindet sich auf einer Ebene mit **Select Data** und **Select Countries**)



### 19.3 M02-2: Anbau von Energiepflanzen und Zugang zu Land

Im Zuge der politischen und marktwirtschaftlichen Entwicklungen (vgl. LE03) hat der landwirtschaftliche Flächenverbrauch für die Herstellung von Bio-Spirit in den letzten Jahren massiv zugenommen (vgl. A03-1). Dies kann verschiedene Auswirkungen haben, die in der untenstehenden Abbildung dargestellt sind.

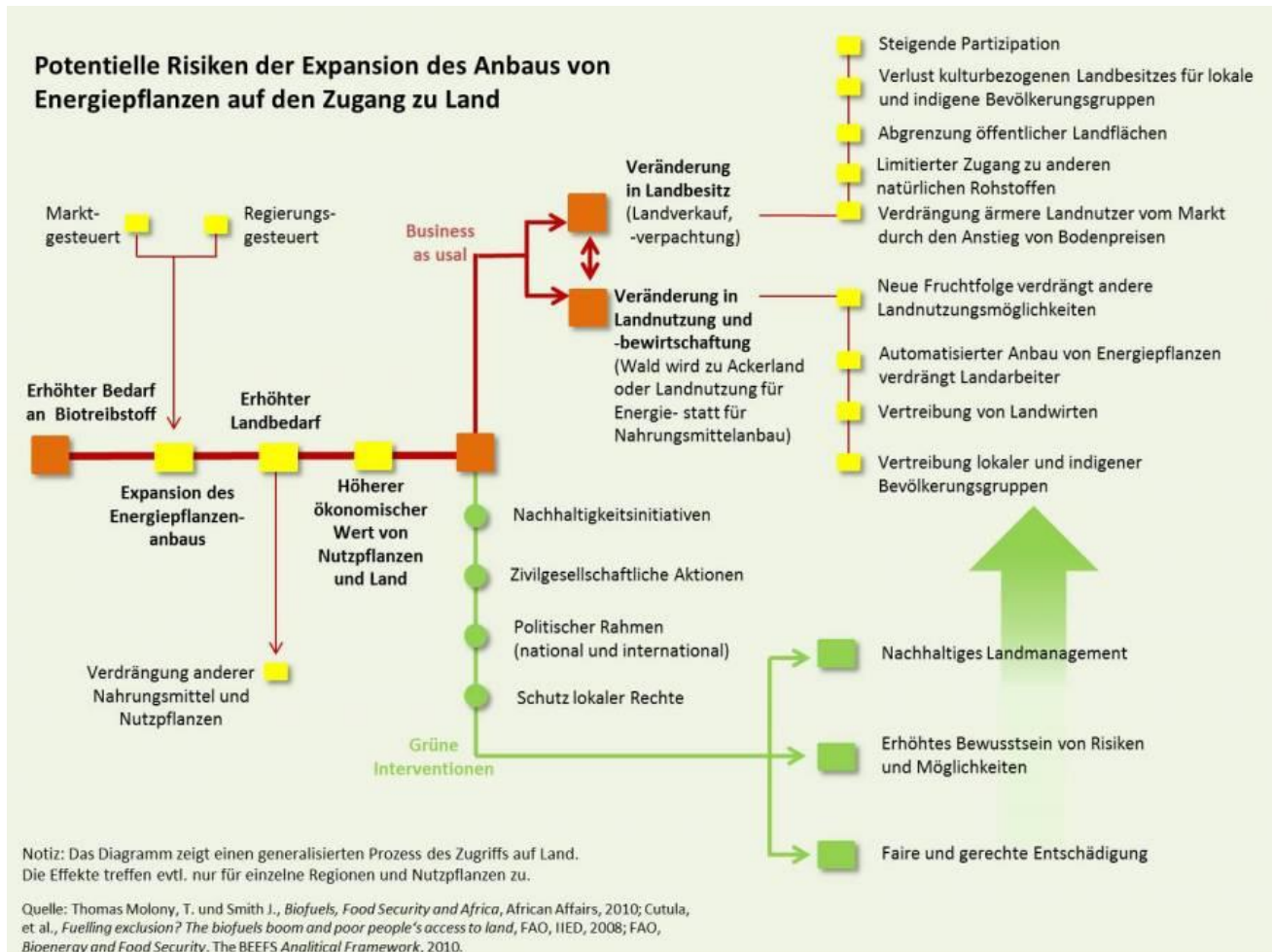


Abbildung: Potentielle Risiken der Expansion des Anbaus von Energiepflanzen auf den Zugang zu Land (Quelle: GRID-Arendal, [http://www.grida.no/graphicslib/detail/potential-risks-of-energy-crop-expansion-on-land-access\\_5e74#](http://www.grida.no/graphicslib/detail/potential-risks-of-energy-crop-expansion-on-land-access_5e74#) (Übers. JOHANNA LIPPERT).

## 20. LE03: Die "Tank-oder-Teller-Diskussion"

---

### LE03: Die "Tank-oder-Teller-Diskussion"

In dieser Lerneinheit werden Sie sich mit der Flächenkonkurrenz zwischen dem Anbau von Energiepflanzen zur Erzeugung von Bioenergie und dem Anbau von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, die im Zuge der Nahrungsmittelpreiskrise 2007–2008 in Mexiko z.B. zur "Tortilla-Krise" geführt hat, auseinandersetzen.

#### Inhalte:

Sie werden in dieser Lerneinheit die „Bushel-Barrel-Korrelation“, d.h. die Kopplung des Agrarpreises an den Erdölpreis, und die damit einhergehende Debatte um „Tank oder Teller“ aus gesellschaftlicher Perspektive bewerten. Hierfür werden Sie einen Zeitungsartikel mittels eines Fragenkatalogs analysieren und abschließend die Pro- und Contra-Argumente für „Tank“ und „Teller“ diskutieren.

## 20.1 A03-1: Die „Tank-oder-Teller-Diskussion“

Dieses Arbeitsblatt eröffnet Ihnen einen vertiefenden Einblick in das gesellschaftlich und ökonomisch komplexe Thema Biotreibstoffe. Neben der Erläuterung zentraler Begriffe und gesetzlicher Hintergründe werden Sie sich im Verlaufe der Arbeit eine eigene Meinung zur „Tank-oder-Teller-Diskussion“ bilden.

### Materialien:

M03-1: Paraphrasierung von Schlüsselsätzen

### Aufgabenstellung:

1. Lesen Sie den Artikel "Die Hungertreiber. Ist Biosprit aus essbaren Pflanzen das ökologische Patentrezept?" von HANS SCHUH aus der Wochenzeitschrift »Die Zeit« vom 23. August 2012 und paraphrasieren Sie den Text abschnittsweise in Schlüsselsätze.

**Hinweis:** Machen Sie sich zunächst mit der Erstellung von Paraphrasen vertraut (siehe M03-1).

**Hinweis:** Der Text ist in 6 Abschnitte untergliedert, die zur Gruppeneinteilung dienen. Diese sind z.B. mit [1] gekennzeichnet. Achtung in Gruppe 2: ein Abschnitt ist im Beispiel paraphrasiert. Dieser Abschnitt ist mit [...] gekennzeichnet und kann beim Bearbeiten der Aufgabe ausgelassen werden.

2. Nachdem Sie den Artikel paraphrasiert haben, beantworten Sie mit Hilfe Ihrer Paraphrasen aus Aufgabe 1 die folgenden Fragen:
  - Welche Vorteile werden bzgl. der Produktion von Biotreibstoffen genannt?
  - Welche Nachteile werden bzgl. der Produktion von Biotreibstoffen genannt?
  - Was ist die „Bushel-Barrel-Korrelation“?
  - Wie verändern sich weltweit die landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen durch die Herstellung von Biotreibstoffen?
  - Welche Maßstabsebenen müssen bei der Analyse des Problems berücksichtigt werden?
  - Welche Akteure handeln in diesem Problemfeld?
  - Was sind die jeweiligen Interessen und Motive des Handelns?
  - Wer verfügt über welche Form von Macht?
  - Unter welchen Gesetzen wird gehandelt?
  - Unter welchen soziokulturellen, ökonomischen und ökologischen Bedingungen wird gehandelt?
  - Welche Lösungsmöglichkeiten gibt es?

3. Erstellen Sie vor dem Hintergrund der Ergebnisse aus Aufgabe 1 und Aufgabe 2 eine Vierfelder-Tabelle in der Sie jeweils die Pro-Argumente und Contra-Argumente für „Tank“ und „Teller“ eintragen.
4. Bewerten Sie abschließend die Chancen und Risiken, die mit der Produktion und Konsumption von Biotreibstoffen einhergehen.

## 20.2 M03-1: Paraphrasierung von Schlüsselsätzen

Um die vielfältigen Informationen aus dem Artikel "Die Hungertreiber" zu reduzieren, paraphrasieren Sie die einzelnen Abschnitte des Textes in Schlüsselsätze. Eine Paraphrase ist die sinngemäße Wiedergabe eines Gedankens.

Im Folgenden wird beispielhaft an einem Textausschnitt aus dem Artikel "Die Hungertreiber" aufgezeigt, wie solch eine Paraphrasierung in diesem Fall aussehen sollte.

### **Beispielhafter Textausschnitt:**

„Aus leidiger Erfahrung warnt die Welternährungsorganisation FAO vor einer neuen Nahrungsmittelkrise. Ihr Chef José Graziano da Silva hat die US-Regierung aufgefordert, angesichts der Dürre im Mittleren Westen und der Rekordpreise für Mais die Ethanolproduktion für Biosprit auszusetzen. Bisher werden vierzig Prozent der US-Maisernte zu Treibstoff vergoren, sie fehlen als Nahrungsmittel und Tierfutter. Bereits 2007/2008 war es in Mexiko (Tortilla-Krise), Afrika und Asien zu Hungerrevolten gekommen, weil Millionen armer Menschen die Rekordpreise für Mais und Getreide nicht zahlen konnten und darben mussten. Nun droht, nach einem weiteren Konflikt 2011, bereits eine dritte Krise, vor der auch das World Food Programme der Vereinten Nationen warnt: »Hohe Nahrungsmittelpreise hindern nicht nur Arme daran, ausreichend Nahrung zu kaufen, sondern erschweren ebenfalls die Ernährungshilfe«“ (SCHUH, 2012, S. 2).

### **Paraphrasierung in Schlüsselsätze:**

- Die FAO (Welternährungsorganisation) warnt vor erneuter Nahrungsmittelkrise
- Chef der FAO fordert US-Regierung auf wegen Dürre und Rekordpreis für Mais die Produktion von Biotreibstoff auszusetzen.
- 40% der US-Maisernte werden zu Treibstoff verarbeitet, deswegen fehlen Nahrungsmittel und Tierfutter
- Hohe Preise für Mais und Getreide führen zu Hungerrevolten z.B. in Mexiko

### 20.3 M03-2: Die Hungertreiber

Ist Biosprit aus essbaren Pflanzen das ökologische Patentrezept? Die Lobby behauptet es – um sich Milliardensubventionen zu sichern.

von HANS SCHUH

**[1]** Ethanol ist eine klare Flüssigkeit, die seit Urzeiten Verwirrung stiftet. Der Stoff mit der Formel  $C_2H_5OH$  verdankt seine berauschende Wirkung dem Bestandteil OH, der Alkoholgruppe. Hauptproblem ist seine Dosierung. Schon wenige Promille vernebeln das Gehirn.

Gegenwärtig sorgt Ethanol für globale Verwirrung. Seit einigen Jahren gelangt der Alkohol in historisch nie gesehenen Mengen auf den Markt – als Biosprit, wörtlich: Lebensgeist. Mal höher, mal niedriger dosiert, wird er weltweit an Tankstellen verkauft, unter Kürzeln wie »E5«, »E10«, »E85«, je nachdem, ob der Sprit 5, 10 oder 85 Prozent Ethanol enthält. Neben dem Alkohol beflügelt auch pflanzliches Öl die neue, angeblich nachhaltige Mobilität. Biodiesel aus Raps, Soja oder Palmfrüchten soll die Ökobilanzen verbessern.

Befürworter preisen den Biotreibstoff als ökologisches Wunder: Er sichere Bauern verlässliche Einkommen, beseitige Überschussproduktionen, mache unabhängiger vom teuren Erdöl und schütze obendrein das Klima. Seine Kritiker bezweifeln all das und monieren, die Biospritproduktion zerstöre die Artenvielfalt und die sozialen Strukturen. Vor allem treibe sie die Nahrungsmittelpreise in die Höhe und raube so Millionen armen Menschen das Essen.

Angesichts der aktuellen Ernteausfälle wegen Dürren in den USA und Russland spitzt sich die Debatte zu. »Weg mit dem Biosprit«, »Vermaisung der Landschaft«, »Tank gegen Teller«, so lauten derzeit die Parolen. In dem wachsenden Kritikerchor bilden sich ungewöhnliche Allianzen: FDP-Politiker wie Generalsekretär Patrick Döring und Entwicklungsminister Dirk Niebel kämpfen zusammen mit BUND, Brot für die Welt und Greenpeace gegen die Bioenergielobby. Die wiederum findet Unterstützung bei Bundesumweltminister Peter Altmaier. Wer hat in diesem verwirrenden Spritdisput recht, wer zieht die Strippen?

**[2]** Schon das Stichwort Hunger provoziert widersprüchliche Aussagen. »Biokraftstoffe führen entgegen vielfach geäußelter Annahmen nicht zu vermehrtem Hunger in Entwicklungsländern«, behauptet der Bundesverband Bioenergie. »Die Ursachen für Mangelernährung sind vielmehr Armut, schlechte Regierungsführung, Korruption, Bürgerkriege und Wetterextreme.« Auch der Biogasrat verdeutlicht: »Weder die Lebensmittelpreise noch der Hunger in manchen Ländern haben irgendetwas mit Bioenergien zu tun.«

Es ist zwar richtig, dass Hunger viele politische und soziale Ursachen hat, aber der umfassende Freispruch, den sich die Bioenergielobby erteilt, geht an der Realität vorbei. Sachkundige argumentieren deshalb differenzierter.

[Aus leidiger Erfahrung warnt die Welternährungsorganisation FAO vor einer neuen Nahrungsmittelkrise. Ihr Chef José Graziano da Silva hat die US-Regierung aufgefordert, angesichts der Dürre im Mittleren Westen und der Rekordpreise für Mais die Ethanolproduktion für Biosprit auszusetzen. Bisher werden vierzig Prozent der US-Maisenernte zu Treibstoff vergoren, sie fehlen als Nahrungsmittel und Tierfutter. Bereits 2007/2008 war es in Mexiko (Tortilla-Krise), Afrika und Asien zu Hungerrevolten gekommen, weil Millionen armer Menschen die Rekordpreise für Mais und Getreide nicht zahlen konnten und darben mussten. Nun droht, nach einem weiteren Konflikt 2011, bereits eine dritte Krise, vor der auch das World Food Programme der Vereinten Nationen warnt: »Hohe Nahrungsmittelpreise hindern nicht nur Arme daran, ausreichend Nahrung zu kaufen, sondern erschweren ebenfalls die Ernährungshilfe.«]

Auf billigere Nahrungsmittel ausweichen können die Armen kaum noch. Die Börsenkurse für wichtige Nahrungs- und Futtermittel wie Weizen, Soja, Mais und neuerdings auch Reis ziehen bereits an. Zunehmend sind die Preise der Nahrungsmittel aneinander gekoppelt – wird das eine knapp, wird auch das andere teuer. Und die Konkurrenz um die begrenzten Landflächen bindet die Nahrungsmittel- zudem noch an die Energiepreise.

Denn auf vielen Wegen drängt Biosprit als Konkurrent ins Spiel. Ethanol wird bisher hauptsächlich aus Mais, Weizen und Zuckerrohr oder Zuckerrüben hergestellt, vorzugsweise aus dem regional jeweils billigsten Rohstoff. Aber auch aus Maniok lässt sich Ethanol gewinnen. Sogar Reis kommt künftig in die Tanks, drei große Reisschnapsanlagen sind in Brasilien bereits geplant.

### **Die Getreide-Ölpreis-Kopplung**

Die Brasilianer führen vor, wohin die Biospritreise geht – in eine immer direktere Verbindung und Konkurrenz zwischen Energie- und Nahrungsmittelmarkt. In Rio oder São Paulo fahren Flex-Fuel-Autos, die zwischen reinem Benzin und reinem Schnaps hin- und herschalten können, je nachdem, welcher Treibstoff gerade der billigste ist. Etwa 27 Milliarden Liter Ethanol produziert das Land jährlich, sein Biosprit ist bei den gegenwärtigen Erdölpreisen um 100 Dollar pro Barrel (159 Liter) rentabel.

[3] So folgen quasi automatisch Agrarpreise den steigenden Erdölpreisen. »Bushel-Barrel-Korrelation« heißt das in der Fachsprache, Fass koppelt an Scheffel (*bushel*). Die Getreide-Ölpreis-Kopplung beruht auf einem einfachen Prinzip: Steigen die Spritpreise, wird mehr Ackerfläche für die Ethanolproduktion genutzt. Diese Fläche fehlt für die Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln, die sich infolge der Flächenkonkurrenz ihrerseits verteuern. Denn Farmer produzieren bevorzugt das, was ihnen pro Hektar den größten Gewinn verheißt.

## Sprit aus Lebensmitteln

So viel Prozent der Weltermerte werden für die Herstellung von Biosprit verwendet



Jahre sind Vermarktungs-, keine Kalenderjahre. Von 2011 bis 2021: vorläufige Daten bzw. Prognosen

<sup>1</sup> Grobkorn: Getreide mit Ausnahme von Weizen und Reis

Quelle: FAO

© ZEIT ONLINE

Die Bushel-Barrel-Korrelation trifft die Armen doppelt: Steigt der Ölpreis, müssen sie gleich für zwei Grundbedürfnisse, Nahrung und Energie, tiefer in die Tasche greifen. Und diese Kopplung wird sich verstärken. Denn nicht nur die Deutschen, auch die EU und die USA wollen ihre Biospritanteile in Zukunft drastisch erhöhen. Spätestens dann sind Hungerrevolten programmiert.

**[4]** Aber ist die Tankfüllung vom Acker dann wenigstens aus ökologischer Sicht sinnvoll? Auch hier mehren sich die kritischen Stimmen – mit guten Argumenten. Denn die Expansion wird riesige Flächen beanspruchen. Für Deutschland ist das Projekt besonders heikel: Es müsste seinen Zusatzbedarf weitgehend über Importe abdecken.

Weil Biosprit oft keine positive Treibhausbilanz aufweisen kann und zudem die Umwelt schädigt, urteilte kürzlich die Nationale Akademie der Wissenschaften (Leopoldina) nach einer gründlichen Analyse, Bioenergie könne für Deutschland keinen nachhaltigen Beitrag zur Energiewende leisten. Daher sei kein weiterer Ausbau anzustreben. Die EU solle ihren Plan überdenken, bis 2020 zehn Prozent aller Treibstoffe auf Biomasse umzustellen. Konkret heißt es in der Studie zu den neuen Kraftstoffen: »Die Produktion von Bioethanol aus Zuckern und Stärke sowie von Biodiesel aus Pflanzenölen konkurriert lokal und global mit der Produktion von Nahrungsmitteln.« Deshalb seien »diese Verfahren in dicht besiedelten Gegenden wie Mitteleuropa oder China ethisch schwer zu rechtfertigen«. Darum habe China die Ethanolproduktion aus essbaren Pflanzen bereits verboten.



Man sollte meinen, dass das Urteil der ranghöchsten deutschen Wissenschaftsinstitution auch die Energiestrategen in Brüssel zum Nachdenken bringt. Eine Anfrage an den zuständigen Energiekommissar Günther Oettinger, was er zur Kritik der Leopoldina sage, beantwortete seine Presseabteilung so: »Verschiedene Studien kommen zu verschiedenen Ergebnissen, abhängig von den Annahmen.« Immerhin arbeite die EU-Kommission »derzeit an einer Folgenabschätzung zum Thema Biokraftstoffe unter Einbeziehung der indirekten Landnutzungsänderung«. Die federführenden Kommissare Oettinger und Hedegaard würden »baldmöglichst ihre Vorschläge vorlegen«.

Das Versprechen, »baldmöglichst« Vorschläge zu liefern, ist viele Monate alt. Dahinter steckt ein ungelöster Streit, wie die Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen generell zu beurteilen sei.

Die Biokraftstofflobby beruft sich auf Nachhaltigkeitszertifikate. Doch die Scheine sind wenig wert. Sie berücksichtigen nicht, dass die Produktion von Biomasse zu indirekten Landnutzungsänderungen (ILUC, Indirect Land Use Change) führen kann. Mag der Acker in Brasilien oder Indonesien, auf dem nun Soja, Mais oder Ölpalmen für den Spritdurst deutscher Autos wachsen, auch schon vorher existiert haben. An anderer Stelle wurden Regenwälder gerodet, Sümpfe trockengelegt, wurde Grasland umbrochen, um Ersatz für die Ackerfläche zu schaffen, die nun der Energieproduktion dient.

Solche indirekten Änderungen sind notorisch schwierig einzuschätzen, weil eine Produktionsumstellung in Brasilien oder Indonesien auch dazu führen kann, dass nun im fernen Afrika verstärkt Land unter den Pflug kommt, um den Nahrungsmittelbedarf von Südamerikanern oder Ostasiaten zu stillen. In Afrika haben seit dem Jahr 2000 mehr als 130 Millionen Hektar Land den Besitzer gewechselt – das entspricht gut dreieinhalb Mal der Fläche Deutschlands. Riesengebiete wurden von Investoren aufgekauft oder für Jahrzehnte gepachtet, ohne dass wichtige Rahmenbedingungen wie Umweltauflagen (falls vorhanden) oder Konzepte der Wassernutzung offengelegt wurden.

### ***Energiepflanzen für Teller, Trog und Tank***

**Soja** ist die weltweit bedeutendste Ölsaart. Zwei Prozent der Ernte dienen menschlicher Ernährung.

**Raps** ist unser wichtigster Biodiesel-Lieferant. Die heimische Anbaufläche hat sich in 30 Jahren fast ver Hundertfacht.

**Palmöl** kommt meist aus Asien, dient großteils der Ernährung. Als Biodiesel ist es stark umstritten.

**Mais** nährt Menschen und Tiere. Das Süßgras dient zunehmend auch als Quelle für Ethanol und Biogas.

**Zuckerrübe** wird als Industriezucker oft vergoren zu Ethanol. Liefert Viehfutter und zunehmend Biogas.

**Weizen** ist wichtig als Brotgetreide und für die Tiermast. Wird auch zu Ethanol vergoren.

**Zuckerrohr** liefert Haushaltszucker und zunehmend Ethanol; hat hierbei die beste Klimabilanz.

[5] Mehrere Studien, von der EU in Auftrag gegeben, warnen davor, dass ILUC-Effekte massiv sein können. So könnte Europas expansive Biospritnutzung bis 2020 weltweit Flächen zerstören, deren Größe die von halb Belgien übertrifft. Vor allem für Biodiesel aus Palmöl, Soja und Raps würden die Treibhausgasbilanzen nicht mehr den Anforderungen entsprechen, der Effekt läge nahe bei null oder würde gar negativ.

Zieht man in Betracht, dass eine Ökobilanz nicht nur den Klimaschutz, sondern auch den Arten-, Boden- und Gewässerschutz sowie den Wasserverbrauch in ariden Ländern berücksichtigen müsste, wird klar: Eine seriöse Zertifizierung ist eine *mission impossible*. Deshalb sollte die EU ihre bioenergetischen Expansionspläne an den Nagel hängen und im Zweifel der Nahrungsproduktion den Vortritt lassen, nach dem Vorbild chinesischer Ethik.

### **Die Automobilindustrie schönt die Klimabilanz**

Doch was ökologisch naheliegt, ist politisch nicht durchsetzbar. Eine von ihren eigenen Subventionen gefesselte Politik ist zum vorweisbaren Erfolg verurteilt und hält dabei krampfhaft an überholten Konzepten fest.

Ausgerechnet die Klimaschutzschwächen des Biospritkonzepts erzürnen schon jetzt die Autolobby. Sie hatte darauf gesetzt, dass ihre verbrauchsintensiven Produkte mit einem Sprit gefüttert werden, der weniger CO<sub>2</sub> ausstößt. Auch dank dieser indirekten Klimahilfe konnten die Autohersteller aushandeln, dass ihre Fahrzeuge bis 2015 im Durchschnitt 130 Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilometer ausstoßen dürfen – ursprünglich waren strengere 120 Gramm pro Kilometer gefordert. Wer gegen diese Auflagen verstößt, muss hohe Strafen bezahlen. Erweist sich nun der Biosprit als Klimaflop, müsste neu gerechnet werden.

Ohnehin muss eine unrühmliche Geschichte neu aufgerollt werden. Als die EU im April 2009 ihre Richtlinie für erneuerbare Energien und damit die expansive Biospritpolitik verabschiedete, hatte die erste große Hungerrevolte bereits stattgefunden. Es hatte viele Diskussionen gegeben, wie das Problem der wachsenden Konkurrenz zwischen Tank und Teller zu umgehen sei. Als Lösung des Dilemmas galten neben strengen Vorschriften zur Nachhaltigkeit der Produktion Biotreibstoffe der zweiten Generation. Diese sollten nicht aus essbaren Feldfrüchten, sondern aus Abfallstoffen wie Stroh oder Holzresten entstehen.

Ein Vorzeigeprojekt der Biomasseverflüssigung war die Anlage der Firma Choren im sächsischen Freiberg, an der VW, Daimler und Shell beteiligt waren. Das Projekt wurde 2008 mit hoch dotierten Umweltpreisen ausgezeichnet, verschlang viele Fördermillionen – und ging 2011 pleite.

[6] Zertifizierung umstritten, technische Lösungen in weiter Ferne – wie konnte es überhaupt zu jenem politischen Boom der Biotreibstoffe kommen? Der angeblich umweltfreundliche Biosprit war

die Basis einer Vision, die bereits 1998 entstand. Ihr Ziel lautete, ähnlich wie mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz im Strombereich, auch den Mobilitätssektor ökologisch zu modernisieren.

Dass das prinzipiell möglich ist, schien zunächst vor allem der Biodiesel zu zeigen: Dank hoher Steuerprivilegien hatte sich ein mittelständisch geprägter Markt für den regional angebauten und verarbeiteten Ökotreibstoff gebildet. Weil davon an den wenigen Tankstellen mit reinem Biodiesel hauptsächlich Fuhrunternehmen profitierten, entstand Reformbedarf, auch aus Steuergründen. Ein Ziel war, möglichst alle an den Segnungen der Ökotreibstoffe teilhaben zu lassen und diese flächendeckend dem Benzin und Diesel beizumischen – ganz im Sinn der Mineralöl- und Autoindustrie. Der Stoff wird zwar dezentral verteilt, die Macht darüber aber zentralisiert und globalisiert. Das hat Folgen.

Zunehmend fluten Argentinien und Indonesien mit günstigem Biodiesel den Markt und verhageln damit den verbliebenen 22 heimischen Produktionsstätten das Geschäft. Die Argentinier haben mit staatlicher Unterstützung riesige Weideflächen umgepflügt und bauen Soja an. Statt die Bohnen zu exportieren, gewinnen sie daraus Diesel, das erhöht die Wertschöpfung im Land.

Der europäischen Mineralölindustrie ist die Herkunft des Treibstoffs eher gleichgültig, sie kauft billigen Importsprit, egal, ob aus Argentinien oder Indonesien. Für sie spielt es keine Rolle, ob der Kraftstoff aus Soja- oder Palmöl, aus Raps, Weizen, Mais, Zuckerrohr oder -rüben stammt.

Schon ist ein Biodieselskrieg entbrannt. Spanien hat ein Importverbot für argentinischen Biodiesel verhängt. Auch die Deutschen drohen die Konkurrenz unter Verweis auf die zweifelhafte Nachhaltigkeit und die staatlichen Subventionen juristisch auszuhebeln. Die Südamerikaner klagen bereits vor der Welthandelsorganisation WTO.

Wie auch immer das interkontinentale Gerangel ausgeht, die miserable Ökobilanz ihres Produkts und ihr Ruf als Hungertreiber könnte für die ganze Branche den Genickbruch bedeuten. Dann müsste die Autoindustrie die Ökologie in ihre Fahrzeuge einbauen, statt sie vermeintlich in den Tank zu füllen. Dirk Niebel hat offenbar begriffen, warum die Chinesen Biosprit verboten haben. Er fordert, »ethisch zu entscheiden, was wichtiger ist: die Ernährung der Weltbevölkerung oder das schnelle Autofahren in Deutschland«.

**Siehe: <http://www.zeit.de/2012/35/Oekologie-Biosprit-Lobby-Subvention/komplettansicht> (Zugriff: 03.07.2016).**

## 21. LE04: Wirklichkeiten sind vielfältig- die finale Synopse

---

Nachdem Sie sich in den anderen Lerneinheiten sowohl mit den biochemischen wie auch mit den humangeographischen Aspekten der Biotreibstoffproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen auseinandergesetzt haben, geht es in dieser finalen Lerneinheit darum, die unterschiedlichen Fachperspektiven in einen Zusammenhang zu stellen, um fächerverbindende Anschlüsse zu erkennen.

### Inhalte

Sie werden in dieser Lerneinheit ein Beziehungsgeflecht erarbeiten, das die thematischen und begrifflichen Schwerpunkte aus den unterschiedlichen anderen Lerneinheiten darstellt und die unterschiedlichen fachübergreifenden Beziehungen aufzeigt. Mittels des Beziehungsgeflechtes werden Sie zum einen Beziehungen eruieren, die sich für eine Vertiefung des Themas anbieten. Zum anderen werden sie mittels des Beziehungsgeflechtes die Relevanz interdisziplinärer Zusammenarbeit erkennen.

## 21.1 A04-1: „Erstellung eines Beziehungsgeflechts“

Dieses Arbeitsblatt leitet Sie dazu an, ein Beziehungsgeflecht zu entwickeln, um die vielfältigen Aspekte zum Thema Biotreibstoffe zusammenfassend miteinander zu verknüpfen. Hierbei wird Ihnen deutlich werden, dass die Problematik Biotreibstoffe aus unterschiedlichen Disziplinen und mit unterschiedlichen Schwerpunkten betrachtet werden kann.

Materialien:

- M04-1: Beispielhaftes Beziehungsgeflecht

Aufgabenstellung:

1. Notieren Sie sich die aus Ihrer Sicht wichtigsten Begriffe aus den vorangegangenen Lerneinheiten, wie z.B. Herstellung von Biodiesel, Verlust von Biodiversität, Biomasse, Flächenhafter Anbau von Energiepflanzen, Klimaschutzziele, steigende Lebensmittelpreise usw.
2. Tragen Sie auf einem Blatt Papier in der Mitte den Begriff „Biotreibstoffe“ ein. In die vier Ecken tragen Sie die Begriffe Chemie, Biologie, Politik und Geographie ein.
3. Tragen Sie die aus Aufgabe 1 aufgelisteten Begriffe auf das Papier ein. Berücksichtigen sie hierbei, dass die Begriffe in räumlicher Nähe zu dem entsprechenden Fach stehen. Herstellung von Biodiesel sollte z.B. in der Nähe von Chemie stehen, Klimaschutzziele in der Nähe von Politik, Verlust von Biodiversität in der Nähe von Biologie, Flächenhafter Anbau von Energiepflanze in der Nähe von Geographie usw.
4. Verbinden Sie nun einzelne Begriffe mit Pfeilen, die Ihrer Ansicht nach in einem Zusammenhang stehen.
5. Beschriften Sie die Pfeile mit einer kurzen Erläuterung, wie z.B. flächenhafter Anbau von Energiepflanzen kann zu einem Verlust von Biodiversität führen.

**Beachten Sie:** Es muss nicht zwischen allen Begriffen eine Verbindung geben. Zudem ist es auch so, dass die Verbindungen zwischen den einzelnen Begriffen nicht immer zu einem bestimmten Ergebnis führen müssen. Der flächenhafte Anbau von Energiepflanzen kann zu einem Verlust von Biodiversität führen, es muss aber nicht zwangsläufig so sein. Es ist nur der Fall, wenn bestimmte Faktoren zusammentreffen. Also formulieren Sie Ihre Pfeilbeschriftungen achtsam.

**Hinweis:** Hier finden Sie ein beispielhaftes Beziehungsgeflecht (siehe M04-1).

6. Diskutieren Sie abschließend, welche Verbindung in Ihrem Beziehungsgeflecht aus Ihrer Sicht besonders wichtig ist und welche Verbindungen Sie eventuell gar nicht eingezeichnet haben.

## 21.2 M04-1: Beispielhaftes Beziehungsgeflecht