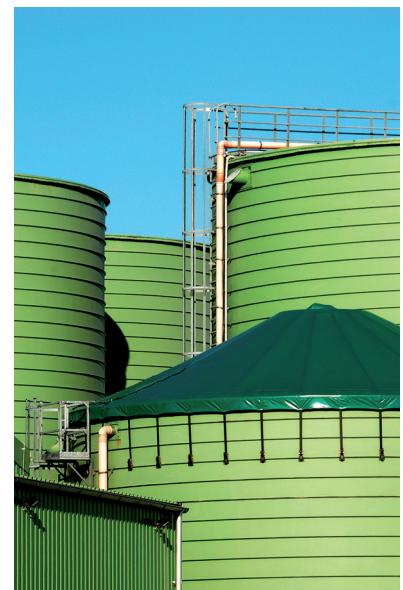


# leXsolar-BioFuel Large



Lehrerheft

## Layout diagram leXsolar-BioFuel Large

Item-No.1702

### Bestückungsplan leXsolar-BioFuel Large

Art.-Nr.1702



- 1** L2-06-079 Areometer  
L2-06-079 Dichtemessspindel
- 2** 3xL2-06-085 Pasteur pipette  
3xL2-06-085 Pasteurpipette
- 3** L2-06-072 Alcoholometer  
L2-06-072 Alkoholmeter
- 4** L2-06-070 Distilling head  
L2-06-070 Destillieraufsatz

- 5** L2-06-076 Airlock  
L2-06-076 Gärspund
- 6** L2-06-084 Grip stopper  
L2-06-084 Lamellen Stopfen
- 7** L2-06-087 Syringe 2 ml  
L2-06-087 Spritze 2 ml
- 8** 3xL2-06-083 Test tubes  
3xL2-06-083 Reagenzgläser

Version number  
Versionsnummer

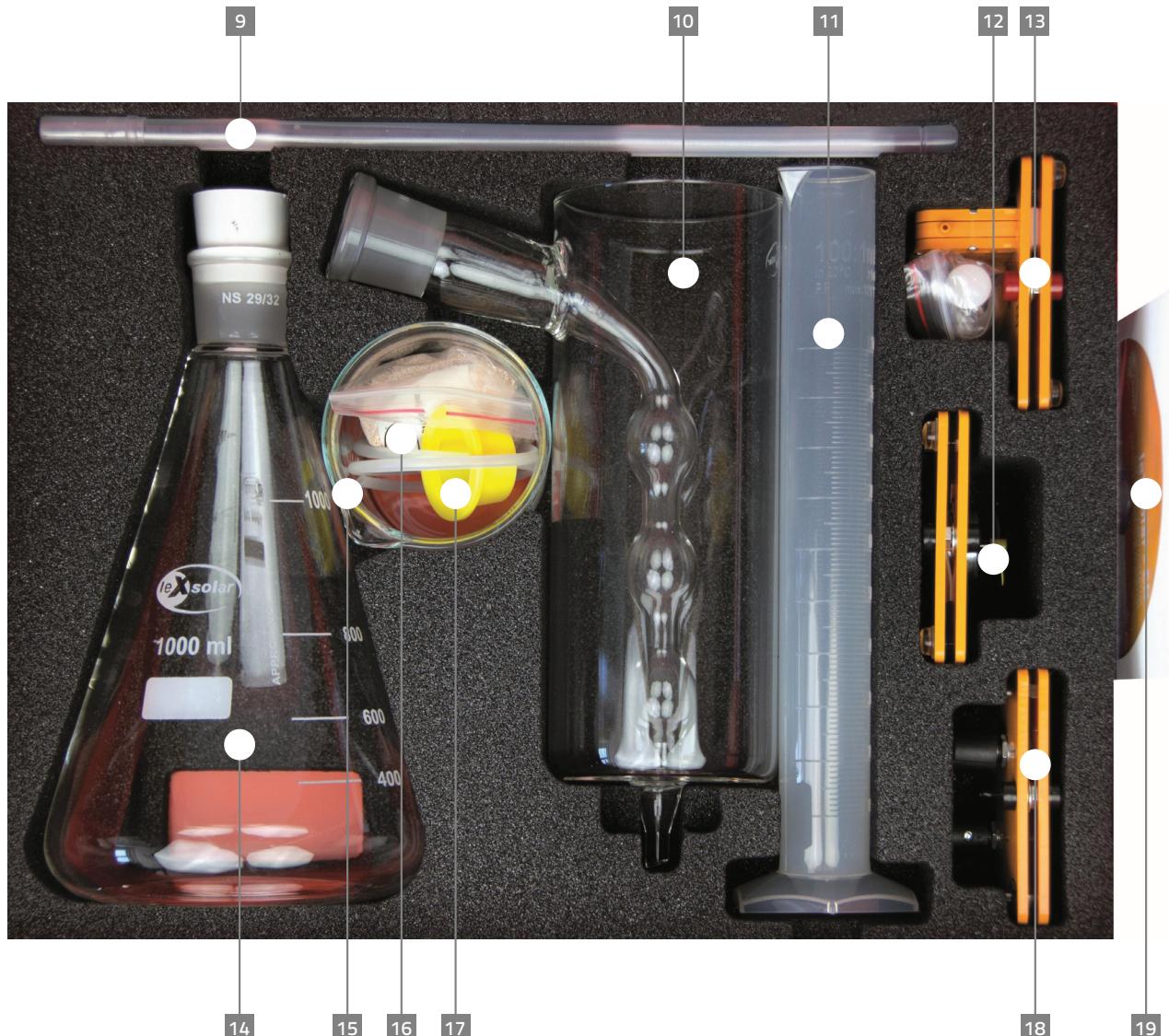
L3-03-142\_06.05.2015

## Layout diagram leXsolar-BioFuel Large

Item-No.1702

## Bestückungsplan leXsolar-BioFuel Large

Art.-Nr.1702



- |   |   |
|---|---|
| <b>9</b><br>L2-06-016 Laboratory thermometer<br>L2-06-016 Laborthermometer  | <b>14</b><br>L2-06-075 Erlenmeyer flask 1000 ml<br>L2-06-075 Erlenmeyerkolben 1000 ml |
| <b>10</b><br>L2-06-071 Condenser<br>L2-06-071 Kühler  | <b>15</b><br>L2-06-082 Beaker 250 ml<br>L2-06-082 Becherglas 250 ml                   |
| <b>11</b><br>L2-06-086 Measuring cylinder 100 ml<br>L2-06-086 Messzylinder 100 ml   | <b>16</b><br>1702-02 Yeast<br>1702-02 Hefe  |
| <b>12</b><br>1100-27 Motor module without gear<br>with L2-02-017 Propeller<br>1100-27 Motormodul ohne Getriebe<br>mit L2-02-017 Propeller | <b>17</b><br>1702-01 Plug with hose<br>1702-01 Stopfen mit Schlauch                   |
| <b>13</b><br>1700-01 Ethanol fuel cell module<br>1700-01 Ethanol-Brennstoffzellenmodul  | <b>18</b><br>1100-23 Potentiometer module<br>1100-23 Potentiometermodul               |
|   | <b>19</b><br>L3-03-016 leXsolar-CD<br>L3-03-016 leXsolar-CD                           |

# leXsolar-Bio Fuel Large

## Lehrerheft

### Inhalt

Theoretische Vorberachtungen.....	4
1.1 Herstellung von BioDiesel (FAME) aus Fetten & Ölen.....	19
1.2 Extraktion von Fetten aus Lebensmitteln oder Ölplanzen .....	22
1.3 Unterschiede zwischen Speiseöl und FAME .....	24
2.1 Gärung auf Grundlage verschiedener Zucker.....	26
2.2 Nachweis von CO <sub>2</sub> durch eine Calciumhydroxid-Lösung .....	29
2.3 Zusammenhang zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur .....	31
3 Destillation der vergorenen Maische .....	33
4.1 Funktionsweise einer Brennstoffzelle .....	40
4.2 Aufnahme der Kennlinie einer 15%igen Lösung .....	41
4.3 Temperaturabhängigkeit der Leistung .....	43
4.4 Konzentrationsabhängigkeit von Kennlinie und Leistung .....	46

## **Definition BioFuels**

BioFuels sind Treibstoffe / Träger für Verbrennungsmotoren und Treibstoffzellen, die aus Biomasse hergestellt wurden. Diese können sowohl gasförmig, flüssig als auch fest sein (Biodiesel, Bioethanol, Methan, Holzschnitzel...). Ausgangsstoffe sind nachwachsende Rohstoffe und können zum Beispiel Ölpflanzen wie Raps und Ölpalmen, oder Getreidearten wie Weizen oder Mais bzw. kohlenhydratreiche Pflanzen wie Zuckerrohr sein.

## **Einteilung**

Die BioFuels werden abhängig von der verwendeten Biomasse in Generationen eingeteilt. Dabei unterscheidet man, ob eine partielle Verwendung von Pflanzenteilen (1. Generation) stattfindet oder eine komplette Verwertung (2. Generation). Je nach Generation unterscheiden sich auch die Herstellungsverfahren maßgeblich.

1. Generation - Pflanzenöle, Biodiesel, Bioethanol
2. Generation - Bioerdgas (Biomethan), BtL Kraftstoffe (Biomass to liquid), Cellulose-Ethanol,

## **Biodiesel**

Biodiesel ist ein in der Verwendung dem mineralischen Dieselkraftstoff ähnlicher biosynthetischer Kraftstoff. In Europa wird er meistens durch Umesterung von Rapsöl mit Methanol gewonnen (Rapsmethylester). Die Alternative Ethanol wird wegen anderer Verwendung selten genutzt. Biodiesel kann in geeigneten Motoren in reiner Form – als B100 bezeichnet – oder als Mischung mit Mineralöldiesel in beliebigem Mischungsverhältnis verwendet werden (da chemisch ähnlich). Das Präfix *Bio* weist auf den pflanzlichen Ursprung im Gegensatz zu Mineralöl hin. Die Klimaneutralität und ökologische Vorteilhaftigkeit von Biodiesel sind umstritten (Stichwort Monokulturen, „Essen in den Tank“...).

➔ Experimente „Herstellung von Biodiesel & Fettkennzahlen“

## **Bioethanol**

Herstellung durch Vergärung organischer Materie (Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben) mit anschließender Destillation zur besseren Verwertung (und damit steigende Energiedichte je Volumen). Gebräuchliche Kraftstoffe mit Ethanol Beimischungen Normal „Super Benzin“ (E5), E10 (10%Ethanol, 90% reines Super Benzin), E85 (85%Ethanol, 15% reines Super Benzin)

➔ Experimente „Herstellung von Bioethanol“

## **Weitere Bio-Treibstoffe**

Bioerdgas (Biomethan) – Durch Vergärung (biogene Prozesse) von Biomasse gewonnene Faulgase (~75% Methan, Rest: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, ...)

Cellulose-Ethanol – Identischer Kraftstoff wie Bioethanol, einzige Herstellung geschieht aus Cellulose (Holz, Papier, Pappe). Chemische oder enzymatische Spaltung von Zellulose in Einfachzucker, die analog wie bei der Bioethanolherstellung vergärt werden.

**Hinweis für den Lehrer:** Holzspaltprodukte Xylose und Arabinose Zucker bedürfen spezieller Hefen, die diese Zucker vergären können. Weiterführendes Experiment möglich. Aufwand wegen Spaltung und Hefen hoch!

**BtL Kraftstoffe** (Biomass-to-liquid) – Verarbeitung von Restbiomasse (Stroh, Abfälle etc.) durch verschiedene Pyrolyseverfahren.

**Hinweis für den Lehrer:** Weiterführende Experimente möglich: Pyrolyse, auch trockene Destillation genannt, oder Brenzen. Aufwand relativ gering! Trockene Destillation von Holz im Reagenzglas. Die dabei entstehenden „Crackgase“ können direkt angezündet werden. Wenn man die Gase vorher durch ein Kühlrohr führt, können weitere Pyrolysegase kondensiert werden. Unter anderem ungesättigte KWS, Napthalin, Toluol, Athracen, Methanol, Ammoniak, Formaldehyd, Essigsäure Phenol etc.

→ Experimente „Pyrolyse - trockene Destillation von Materie“

## **Geschichte**

### **Biodiesel**

Die Herstellung von Biodiesel durch Umesterung von pflanzlichen Ölen mit Methanol wurde bereits 1853 von E. Duffy und J. Patrick beschrieben, Jahre bevor der Dieselmotor entwickelt wurde. Den Einsatz von Kraftstoff für Diesel-Motoren auf Basis von reinen Pflanzenölen (Pflanzenölkraftstoff) testete Rudolf Diesel im Rahmen der Weltausstellung im Jahr 1900. Er berichtete darüber in einem Vortrag vor der *Institution of Mechanical Engineers of Great Britain*: „..auf der Pariser Weltausstellung 1900 wurde ein kleiner Diesel-Motor des Herstellers Otto gezeigt, der auf Anforderung der französischen Regierung auf Arachidöl (einem aus Erdnüssen gewonnenen Öl) lief, und er arbeitete so problemlos, dass nur sehr wenige Leute darauf aufmerksam wurden. Der Motor war für den Gebrauch von Mineralöl konstruiert und arbeitete dann ohne Änderungen mit Pflanzenöl.“ Auslöser für die Nutzung von Biodiesel waren die Arbeiten des Belgiers G. Chavanne, der am 31. August 1937 ein Patent zur Umesterung von Pflanzenölen mit Ethanol und Methanol anmeldete, um deren Eigenschaften zur Nutzung als Motorenkraftstoff zu verbessern. Der Einsatz eines nach diesem Verfahren erzeugten Biodiesels auf Palmölbasis wurde schon 1938 auf einer Buslinie zwischen Brüssel und Leuven erfolgreich getestet. Weitere Untersuchungen fanden in den 1970er Jahren in Brasilien und Südafrika statt. Im Jahr 1983 wurde der Prozess für die Produktion von Biodiesel in Kraftstoffqualität international veröffentlicht.

### **BioEthanol**

Nikolaus August Otto verwendete 1860 Äthylalkohol (Ethanol) als Kraftstoff in den Prototypen seines Verbrennungsmotors. Der Automobilhersteller Henry Ford konzipierte sein ab 1908 gebautes T-Modell, auf der Grundlage, dass Agraralkohol (Bioethanol) der eigentliche Kraftstoff für dieses „Volks-Auto“ sei. Ford glaubte, dass Ethanol der Treibstoff der Zukunft sei. Aufgrund der Versorgungslage bei Benzin gab es in Deutschland mit der 1925 gegründeten Reichskraftsprit (RKS) einen Hersteller von *Spiritus* (Kartoffelschnaps) zur Verwendung als Ottokraftstoff.

In den folgenden Jahrzehnten wurde Erdöl zur vorrangigen Energiequelle. Erst mit den Ölkrisen der 1970er-Jahre fand Ethanol als Kraftstoff neues Interesse. Ausgehend von Brasilien und den Vereinigten Staaten wurde die Nutzung von Ethanol aus Zuckerröhr und Getreide als Treibstoff für Autos ebenso wie andere alternative Kraftstoffe auf der Basis Nachwachsender Rohstoffe zunehmend durch Regierungsprogramme unterstützt. Eine globale Ausweitung dieser Bestrebungen entstand infolge des Kyoto-Protokolls.



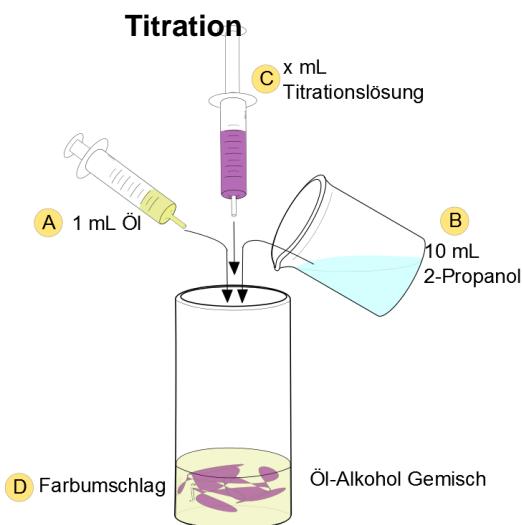
## 1.1 Herstellung von BioDiesel (FAME) aus Fetten & Ölen

**Hinweis für den Lehrer:** Es ist ratsam, erst den Versuch anzusetzen und dann die Theorie abzuhandeln, da es ca. eine halbe Stunde dauert, bis das FAME sich vom Glycerin bzw. das FAME sich vom Wasser getrennt hat. Bei der Titration kann auch eine wässrige KOH Lösung anstelle von NaOH verwendet werden (dann 1,4 g KOH auf 1 L Wasser). Die Phenolphthaleinlösung ist langzeitstabil und sollte vorher hergestellt oder fertig bestellt werden.

### Aufgabe

Ermitteln Sie durch Titration des Öls mit NaOH Stammlösung ( $c = 1\text{g/L}$ ) die Menge an KOH, die zur FAME-Herstellung benötigt wird und trennen Sie das Öl in die zwei Bestandteile Glycerin und Biodiesel (FAME).

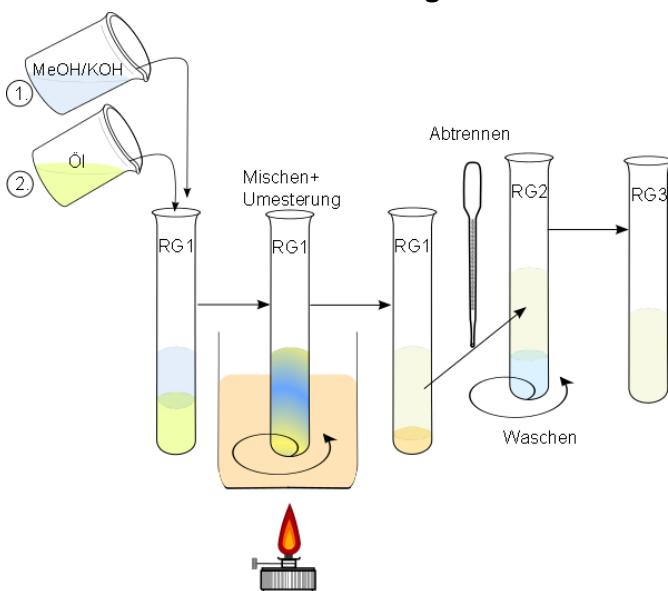
### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Becherglas
- Reagenzgläser
- 10 ml Isopropylalkohol 99%
- mind. 1 ml Öl (45°C – für Titration)  
~10 ml für Umesterung
- Phenolphthalein Lösung (~0,3%)
- Wasser
- NaOH Stammlösung ( $c = 1\text{g/L}$ )
- 2 x Einwegspritzen a 5 ml
- Pipette
- KOH Stammlösung wässrig (1g/L)
- Bunsenbrenner/andere Wärmequelle
- Thermometer
- Gummiseptum / Reagenzglasstöpsel
- Waage (nur bei frischer Herstellung der KOH Lösung)

### FAME-Herstellung





## 1.1 Herstellung von BioDiesel (FAME) aus Fetten & Ölen

**Hinweis** für den Lehrer: Anstelle von KOH kann auch NaOH verwendet werden, hier wird allerdings die Trennung von Wasser und Biodiesel später fast unmöglich und wird daher nicht empfohlen.

Die KOH Stammlösung sollte vor dem Versuch angesetzt werden und ist längere Zeit haltbar. Es werden pro Versuch nur wenige ml der Stammlösung benötigt, je nachdem wie hochwertig das Öl ist. Verwenden Sie die Spritzen immer für die gleichen Flüssigkeiten. Ansonsten kommt es durch Kontamination zu Titrierfehlern. Anstelle von Isopropylalkohol (2-Propanol) kann auch Aceton verwendet werden oder Ethanol, wobei sich dieses nur schwer mit dem Öl mischt und gut erwärmt bzw. geschüttelt werden muss.

### Durchführung

#### Titration:

1. Messen Sie mit der Einwegspritze/Pasteurpipette genau 1 ml Öl ab und geben Sie ca. 10 ml Isopropylalkohol zum Öl in das Becherglas.
2. Erwärmen Sie das Gemisch kurz bis es ca. 40 Grad hat. Nicht zum Sieden erhitzen!
3. Geben Sie 3 Tropfen der Phenolphthalein dem Gemisch hinzu.
4. Geben Sie nun über eine 5 ml Einwegspritze die NaOH Maßlösung unter leichtem Schwenken so lange hinzu, bis sich ein dauerhafter (min 30 Sek.) pinker Farbton im Becherglas einstellt. Notieren sie die benötigte Menge.

Benötigte NaOH-Maßlösung in ml: \_\_\_\_\_

**Hinweis:** Dies markiert den Punkt an dem alle freien Fettsäuren von der Natronlauge in ihre Salze überführt wurden und der pH Wert aufgrund der frei vorliegenden OH<sup>-</sup> Ionen auf 8,5 angestiegen ist. Der Verbrauch in ml KOH Stammlösung wird nun entsprechend der Tabelle/Formel auf die benötigte Menge KOH umgerechnet. Die Titration kann zur Sicherstellung genauer Ergebnisse mehrfach durchgeführt werden.

Als Faustregel lassen sich die Ölqualitäten entsprechend des Verbrauches wie folgt ausdrücken:

0 – 3 ml ausgezeichnete Qualität des Öls, geeignet zur FAME Herstellung

3 – 6 ml mittlere Qualität, immer noch geeignet für die FAME Herstellung

> 6 ml mindere Ölqualität, ungeeignet für die FAME Herstellung

**Hinweis** für den Lehrer: Sind im Fett zu viele freie Carbonsäuren enthalten, kommt es während der Umesterung zu FAME zu einem erhöhten Gehalt an Seifen, den Kaliumsalzen der freien Carbonsäuren, was eine Emulsion bewirkt und eine Trennung äußerst erschwert. Die benötigte Menge KOH lässt sich bei ungenauen Waagen nur schwer genau einhalten. Am besten nach der Titration für alle Schüler eine einzige adäquate KOH/MeOH Stammlösung ansetzen wenn alle Schüler das gleiche Öl benutzen.

5. Bestimmen Sie nun die zusätzlich benötigte Menge an KOH bei einem 1 Liter FAME Ansatz mit der Tabelle.

Bestimmung der zusätzlich benötigten Menge an NaOH bei einem 1 Liter FAME Ansatz

Verbrauch Stammlösung bei Titration in ml	Zusätzlich benötigte Menge an KOH in g	Gesamtmenge an KOH 5 g + X in g	Säurezahl mg/g Öl (Dichteangaben für die verschiedenen Öle s. Unterscheidung FAME <-> Speiseöl, Hier: 0,92kg/l)
1,0	1	6	6,5
2,0	2	7	7,6
4,5	4,5	9,5	10,3



## 1.1 Herstellung von BioDiesel (FAME) aus Fetten & Ölen

6. Füllen Sie die benötigte Menge Methanol und die berechnete Menge KOH in das erste Reagenzglas (RG1) und lösen es durch wiederholtes Schütteln auf. Da in ein Reagenzglas ca. 20 ml passen, ist es ratsam, den Ansatz auf ca. 16 ml Öl zu berechnen, da dann genügend FAME für alle Folgeversuche entsteht. Die Berechnung der Anteile erfolgt nach folgender Tabelle:

	Ansatz für 1000 ml Öl	Ansatz für 16ml Öl
<b>Öl</b>	1000 ml	16 ml
<b>KOH</b>	5 g+X g (z.B. X=1 g)	0,1 g + X g
<b>Methanol</b>	220 ml	3,5 ml

7. Füllen Sie nun in das Reagenzglas 1 (RG1) die gewünschte Menge Öl die umgeestert werden soll.
8. Erwärmen Sie das Gemisch in einem Wasserbad auf ca. 50°C für ca. 20 min. und schütteln Sie das Reagenzglas mittels Stopfen gelegentlich.
9. Das Gemisch abkühlen lassen und die Phasentrennung abwarten (kann bis zu einer Stunde dauern).

**Hinweis:** Das schwerere bräunliche Glycerin (Dichte 1,2) setzt sich am Boden ab, der gelbliche Biodiesel (Dichte 0,9) schwimmt oben auf.

10. Warten Sie die Phasentrennung ab und Pipettieren Sie den aufschwimmenden Biodiesel mit einer Pipette vorsichtig in ein neues Reagenzglas (RG2) ab. Dem Biodiesel in RG2 soviel Wasser zusetzen, bis das Reagenzglas fast voll ist. Das RG vorsichtig mehrmals um 180° kopfüber drehen sodass überschüssiges Methanol und Katalysatorreste ausgewaschen werden können. Es kann auch vorsichtig geschüttelt werden.

**Hinweis:** Wird hierbei zu heftig geschüttelt dauert die Trennung der beiden Phasen unter Umständen sehr lange. Wird der Biodiesel während des Waschens nicht sehr viel klarer, kann es nützlich sein das FAME/Wasser-Gemisch zusätzlich zu filtrieren, um feste Anteile abzutrennen.

**Hinweis für den Lehrer:** Sollte sich das FAME trotz Waschen und Filtrieren nicht aufklaren bzw. sogar eintrüben, kann es nützlich sein, etwas (festes) Natriumsulfat zuzugeben und umzurühren. Wenn man dann ca. 10 Minuten wartet klart die Lösung auf und das Natriumsulfat setzt sich am Boden ab und kann abgetrennt werden.

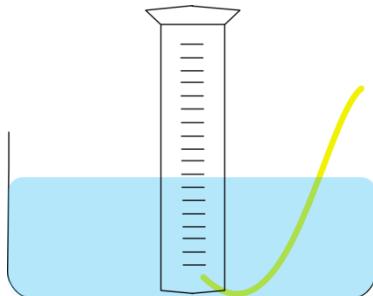


## 2.3 Zusammenhang zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur

### Aufgabe

Überprüfen Sie den Zusammenhang zwischen der Reaktionsgeschwindigkeit und der Temperatur!

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Messzylinder
- Thermometer
- Schlauch
- Gefäß für Wasserbad

### Durchführung

1. Überprüfen Sie die RGT-Regel anhand des Gärungsexperimentes, indem Sie Volumen an entstehendem CO<sub>2</sub> in einem bestimmten Zeitintervall einmal bei 20°C und einmal bei 30°C (der Ansatz muss bereits gut 1h vorher tempuriert werden, damit die Reaktion nachweislich schneller verläuft). Füllen Sie dazu den mitgelieferten Messzylinder mit Wasser und stülpen Sie ihn dann um in ein Wasserbad, so dass keine Luft eintreten kann.
2. Fädeln Sie dann den Schlauch für den CO<sub>2</sub> – Nachweis von unten in den Messzylinder und messen Sie das CO<sub>2</sub> – Volumen in einem bestimmten Zeitintervall.
3. Berechnen Sie daraus die Masse an Zucker, die pro Minute umgesetzt wird.

Hinweis für den Lehrer: CO<sub>2</sub> ist sehr gut wasserlöslich (siehe vorheriges Experiment), wodurch das gemessene Volumen in dem Experiment verfälscht werden kann. Es ist daher ratsam, warmes Wasser zu verwenden, da die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser mit steigender Temperatur abnimmt. Alternativ kann das Gas auch in einen Kolbenprober eingeleitet werden und damit das Volumen gemessen werden.

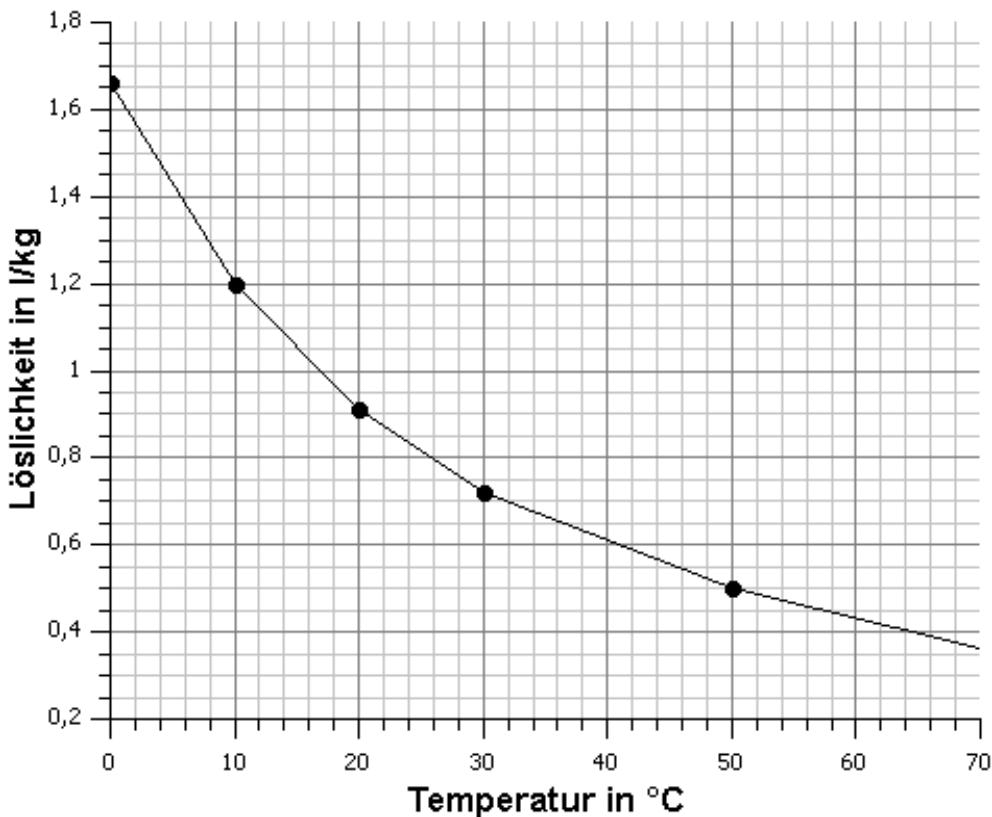
### Auswertung

Temperatur in °C	Löslichkeit in g/kg Wasser	Mol/kg Wasser	Löslichkeit in l/kg Wasser
0	3,26	0,074	1,66
10	2,28	0,052	1,20
20	1,67	0,038	0,91



## 2.3 Zusammenhang zwischen Reaktionsgeschwindigkeit und Temperatur

30	1,28	0,029	0,72
50	0,82	0,019	0,50
70	0,59	0,013	0,36



Berechnung des pro Minute umgesetzten Zuckers (am Beispiel Glukose):

Beispiel: In 1 Minute entstehen 100ml CO<sub>2</sub>, also 100ml/min

Berechnung der Masse über die Zustandsgleichung idealer Gase: pV=nRT

$$P = 101325 \text{ Pa}, R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K} * \text{mol}}, T = 293\text{K} (20^\circ\text{C})$$

$$m(\text{CO}_2) = \frac{pV}{RT} * M(\text{CO}_2)$$

$$m(\text{CO}_2) = (101325 \text{ Pa} * 0,0001\text{m}^3)/(8,314\text{J}/(\text{K} * \text{mol}) * 44 \text{ g/mol}) = 0,176 \text{ g}$$

$$m(\text{Zuckerumsatz}) = \frac{0,176 \text{ g} * 180 \text{ g}}{88} \text{ g} = 0,36 \text{ g}$$

$$n(\text{Zucker}) = \frac{m}{M} = 0,36 \frac{\text{g}}{180,18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,002 \text{ mol} = 2 \text{ mmol}$$

Es werden 0,36 g bzw. 2 mmol Glukose pro Minute umgesetzt. Das entspricht 0,03 mmol/s

Rechnung äquivalent für 30°C. Laut der RGT Regel müsste bei einer Erhöhung um 10K die Reaktion 2-4 mal so schnell ablaufen.

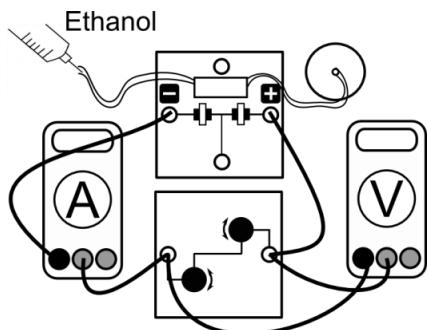


## 4.4 Konzentrationsabhängigkeit von Kennlinie und Leistung

### Aufgabe

Überprüfen Sie die Abhängigkeit von der Kennlinie und der Leistung zur Konzentration.

### Aufbau



### Benötigte Geräte

- Motormodul
- Brennstoffzelle
- 2 Schläuche
- Spritze
- Ethanol
- Strommessgerät
- Spannungsmessgerät

### Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung wie vorgegeben auf.
2. Verdünnen Sie den Ethanol auf 10 % und 20 %.
3. Leiten Sie dann den Ethanol verschiedener Konzentrationen in die Brennstoffzelle ein, wobei unbedingt mit dem Ethanol der niedrigeren Konzentration angefangen werden muss, da sich die Zelle bei umgekehrtem Vorgehen mit Ethanol sättigt und somit verfälschte Werte aufgenommen werden.
4. Zeichnen sie die beiden Kennlinien und die Spannung/Leistungs-Diagramme in jeweils ein Diagramm und erklären sie den erkennbaren Trend!

**Hinweis:** Die Zelle sollte vor dem Konzentrationswechsel mit Wasser durchgespült werden.

### Auswertung

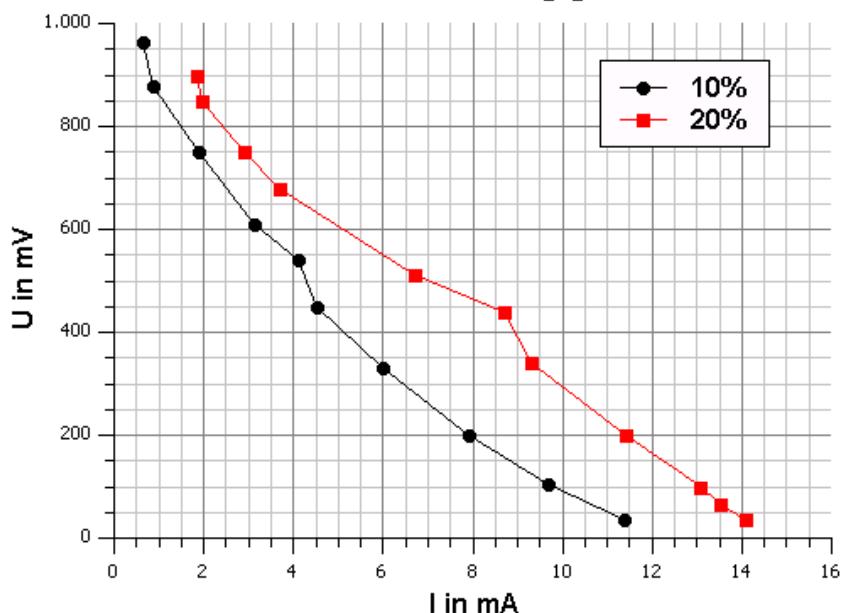
10%			20%		
U in mV	I in mA	P in mW	U in mV	I in mA	P in mW
964	0,64	0,617	900	1,83	1,647
880	0,86	0,757	850	1,97	1,674
750	1,87	1,403	750	2,89	2,168
610	3,13	1,909	680	3,70	2,516
540	4,12	2,225	510	6,70	3,417
450	4,51	2,030	440	8,70	3,828
330	5,98	1,973	340	9,30	3,162



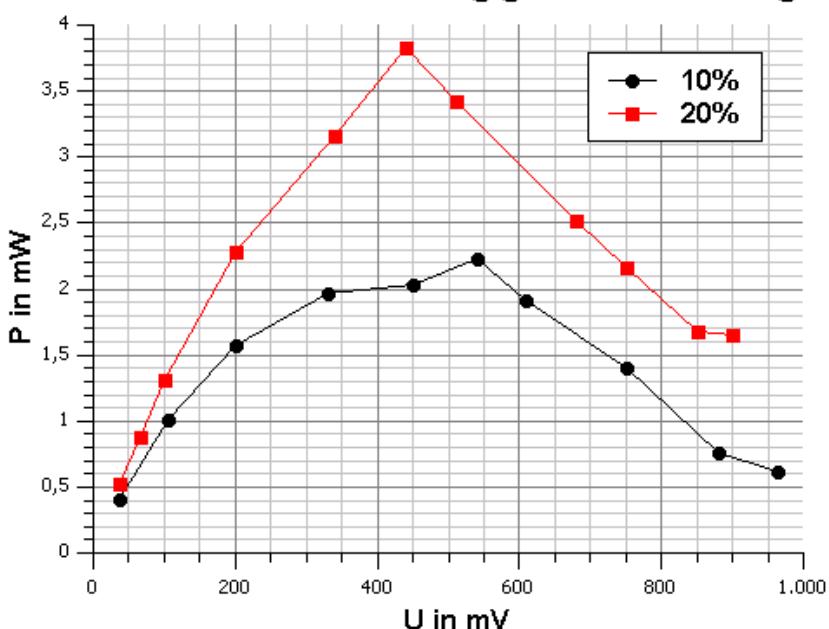
## 4.4 Konzentrationsabhängigkeit von Kennlinie und Leistung

10%			20%		
U in mV	I in mA	P in mW	U in mV	I in mA	P in mW
200	7,89	1,578	200	11,40	2,280
104	9,67	1,006	100	13,06	1,306
36	11,38	0,410	65	13,53	0,879
			37	14,09	0,521

Konzentrationsabhängige Kennline



Konzentrationsabhängigkeit der Leistung





## 4.4 Konzentrationsabhängigkeit von Kennlinie und Leistung

Erklärung:

Es ist erkennbar, dass bei höherer Konzentration auch die Leistung ansteigt. Das liegt daran, dass bei einer höheren Konzentration mehr Ethanolmoleküle vorhanden sind und somit ein erhöhter Elektronen-Fluss zustande kommt. Die Lage des Leistungsmaximums scheint allerdings immer bei der gleichen Spannung zu liegen (ca. 450V). Dieses Wissen ist wichtig für die technische Anwendung der Brennstoffzelle. Bei gleicher Spannung hat die 20%-ige Lösung eine höhere Stromstärke als die 10%-ige Lösung. Das ist damit zu erklären, dass die Stromstärke als Anzahl der Ladungsträger auf einem bestimmten Querschnitt pro Zeit-Einheit definiert ist. Bei einer höheren Ethanolkonzentration sind auch mehr Elektronen vorhanden und so steigt die Stromstärke an.

leXsolar GmbH  
Strehlener Straße 12-14  
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0  
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111  
E-Mail: [info@lexsolar.de](mailto:info@lexsolar.de)  
Web: [www.lexsolar.de](http://www.lexsolar.de)