Bioenergie – Thermodynamische Aspekte

Entwickelt im Rahmen des Projektes

Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor

von

Johannes Huwer

Rolf Hempelmann

gefördert durch

DBU

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Inhalt

1 Fachliche Grundlagen 2

1.1 Regenerative Energieträger 2

1.2 Biokraftstoffe 2

1.3 Bioethanol der ersten Generation 3

1.4 Bioethanol der zweiten Generation – Perspektive für die Zukunft? 4

1.5 Thermodynamik 6

2 Experimente 8

2.1 Versuch 1: Verbrennung von Flüssigkeiten. 8

Beobachtung und Auswertung 9

2.2 Versuch 2: Verbrennung von Feststoffen 11

Beobachtung und Auswertung 11

3 Vorraussetzungen der Lerngruppe 12

4 Quellen und weiterführende Literatur 13

4.1 Versuchsvorschriften 17

Arbeitsblätter mit Vorversuch 17

Arbeitsblätter zur Vor- und Nachbereitung des Schülerlaborbesuchs 19

Anleitung zum Bau eines Verbrennungskalorimeters 22

1 Fachliche Grundlagen

1.1 Regenerative Energieträger

Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle für unseren Planeten. Die auf der Erde verfügbare Energie stammt fast vollständig von ihr. Ein Teil der Energie des Sonnenlichtes wird von Pflanzen durch die Photosynthese in chemische Energie umgewandelt und in Energieträgern gespeichert. Hierbei unterscheidet man zwischen nicht erneuerbaren und erneuerbaren (regenerativen) Energieträgern. Nicht erneuerbare Energieträger sind beispielweise die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas, da deren Entstehungszeit mehrere Millionen Jahre beträgt. Biomasse wie Holz, Stroh und diverse Pflanzenstängel, aber auch Biokraftstoffe wie Ethanol und Butanol zählen zu den regenerativen Energieträgern. In Photovoltaikanlagen kann die Strahlungsenergie der Sonne auch direkt in elektrische Energie umgewandelt werden.

Ebenso kann die Energie, die in fließendem Wasser und Wind gespeichert ist, mit Hilfe von Wasserkraftwerken und Windrädern in elektrische Energie umgewandelt werden.

Unter nachhaltiger Energie versteht man nach dem Drei-Säulen-Konzept die ökonomische, ökologische und sozialverträgliche Nutzung von Energieträgern.

1.2 Biokraftstoffe

Biokraftstoffe sind regenerative Energieträger. Es handelt sich also um erneuerbare (regenerative) Energieträger aus der Natur. Von ihrer Verwendung verspricht man sich, Problemen, wie knapper werdende Ressourcen an fossilen Brennstoffen, Umweltverschmutzung, Klimaerwärmung und steigender Energiepreise, begegnen zu können (Kaltschmitt & Hartmann, 2002), (Henke, 2005). Deshalb setzt man große Hoffnung in die Entwicklung auf Biomasse basierten Kraftstoffen, da man sich nicht nur die Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen, sondern auch eine nachhaltige Entwicklung verspricht.

Dabei müssen Kraftstoffe zur Wärme- und Stromerzeugung im Sinne der Nachhaltigkeit und der nachhaltigen Entwicklung verschiedene Forderungen erfüllen: (Karafyllis, 2000)

- Minimierung und Schließen von Stoffströmen
- Erhaltung der Produktivkraft der Natur (z.B. auf dem Gebiet des Ackerbaus)
- Bewahren eines konkreten Status (z.B. von Natur)
- Gerechte Ressourcenverteilung

Verschiedene Verfahren und Technologien, wie man die Biokraftstoffe erschließen kann, wurden entwickelt. Man unterscheidet hier zwischen Biokraftstoffen der ersten und der zweiten Generation (vgl. Abbildung 1.1). Doch nicht alle erfüllen die Forderungen an die Nachhaltigkeit.

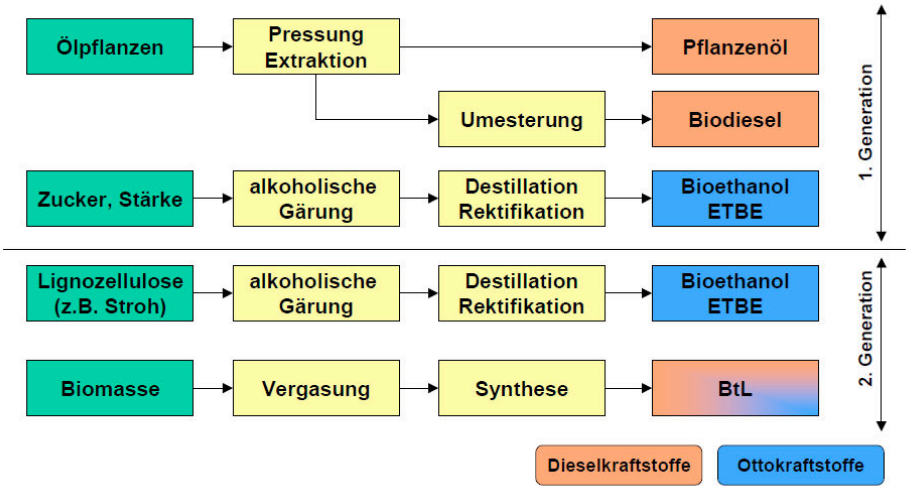


Abbildung 1.1. Systematik der Biokraftstoffe[1]

Im Folgenden wird am Beispiel des Ethanols verdeutlicht, welche Probleme aufgetreten sind und welche Innovationen die Chemie hervorgebracht hat, um diesen zu begegnen. Etymologisch ist die Bezeichnung „BIO-Ethanol“ problematisch. Chemisch betrachtet sind „Bioethanol“ und industriell hergestellter Ethanol identisch. Die Vorsilbe „BIO-“ drückt vielmehr die Herkunft aus Biomasse aus. Doch genau diese Herkunft lässt Bioethanol nicht gleich Bioethanol sein. Die Herstellungsmethoden und die eingesetzten Biomassen sowie deren Bedeutung hinsichtlich Nachhaltigkeit sind regional verschieden.

1.3 Bioethanol der ersten Generation

Bioethanol der ersten Generation wird vorwiegend aus zucker- oder stärkehaltigen Pflanzen hergestellt. Deswegen treten in Diskussionen über die Bioethanolherstellung verstärkt Neologismen wie „Energiepflanzen“ auf. Hierzu z.B. (Lindemann, 2007).

Zuckerhaltige Pflanzen als Edukte

Die wichtigsten zuckerhaltigen „Energiepflanzen“ sind Zuckerrüben in Europa und Zuckerrohr in Südamerika. Vorteil dieser Pflanzen ist, dass diese Ausgangsstoffe direkt als Edukte für die Produktion verwendet werden. Lediglich eine mechanische Aufarbeitung ist nötig, damit ein zuckerhaltiger Rohsaft gewonnen und für einen Fermentationsprozess eingesetzt werden kann. Bei diesem werden die Edukte durch Hefe, hauptsächlich durch *Saccharomyces cerevisiae*, zu Ethanol vergoren. Im ersten Fermentationsschritt wächst die Hefe unter anaeroben Bedingungen. Dabei werden pro kg Glucose rund 0,51 kg Bioethanol und 0,49 kg Kohlenstoffdioxid erzeugt (Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Innovative Verfahren zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse, 2002). Anschließend wird die Maische zunächst destilliert und danach absolutiert, wodurch eine Reinheit von bis zu 99,8 Vol-% erreicht werden kann.

[1] Entnommen aus (Bohlmann, 2006)

Stärkehaltige Pflanzen als Edukte

Nutzt man hingegen stärkehaltige Pflanzen zur Herstellung von Bioethanol, so muss ein deutlich aufwendigeres Verfahren gewählt werden. Stärke ist ein Polymer aus α-D-Glucose Einheiten. Sie besteht dabei aus Amylose (lineare Ketten von α-D-Glucose, die über eine α-1,4-glykosidische Bindung verknüpft sind, vgl. Abbildung 1.2) und Amylopektin (verzweigte Ketten von α-D-Glucose, die sowohl über α-1,4-glykosidische Bindungen als auch über α-1,6-glykosidische Bindungen verknüpft sind, vgl. Abbildung 1.3) (Schmid & Hammelehle, 2006).

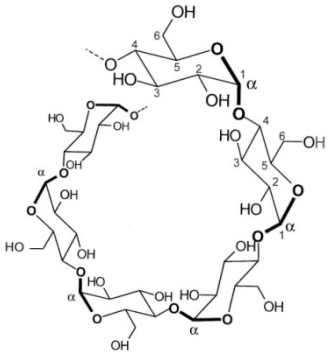


Abbildung 1.2 Ausschnitt aus einer Amylose-Kette[2]

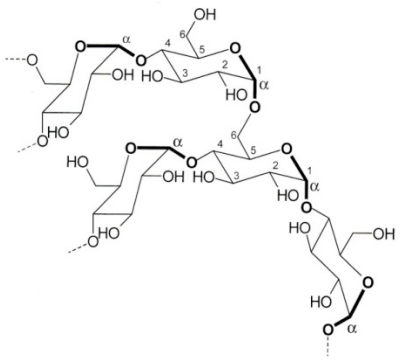


Abbildung 1.3 Ausschnitt aus einer Amylopektin-Kette[3]

Diese müssen in einem mehrstufigen Prozess über Oligosaccharide zu Glucose abgebaut werden, die wiederum in einem anschließenden Fermentationsprozess zu Ethanol vergoren wird (Olsen & Schäfer, 2006).

Als stärkehaltige Pflanzen können Mais (hauptsächlich Amerika), Tobinambur, Kartoffel und Getreide(hauptsächlich Europa) genutzt werden. (Olsen & Schäfer, 2006).

Trotz intensiver Forschungen hinsichtlich Ausbeute an produziertem Bioethanol bei Verwendung der genannten Pflanzen (Schmitz, 2005) (Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Symposium Energiepflanzen, 2007) genügen diese Verbesserungen nicht, um allen Forderungen einer nachhaltigen Entwicklung zu erfüllen; beispielsweise eine gerechte Ressourcenverteilung. Auch ethische Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung sind nicht erfüllt, denn sämtliche zucker- und stärkehaltigen Pflanzen sind zugleich Lebensmittel (Karafyllis, 2000). Der Anbau der Pflanzen als reine Energielieferanten führt deshalb zur Verteuerung von Grundnahrungsmitteln in den Anbauregionen. Zudem werden große Anbauflächen benötigt, um den Bedarf an „Energiepflanzen“ zu decken, welche für die Lebensmittelproduktion nicht mehr zur Verfügung stehen.

1.4 Bioethanol der zweiten Generation – Perspektive für die Zukunft?

Große Hoffnungen werden in die Entwicklung von Verfahren zur Gewinnung von Ethanol aus Lignocellulose-haltigen Pflanzen gesetzt. Dabei unterscheiden sich diese Verfahren von denen der ersten Generation, weil nun die Pflanzenteile genutzt werden, die für die menschliche Ernährung keine Rolle spielen.

Lignocellulose besteht aus den drei Bestandteilen Cellulose (faserartige Verbindung von ca. 10000 Glucosemolekülen, welche über eine β-1,4-glycosidische Bindung verknüpft sind, vgl. Abbildung 1.4),

[2] Entnommen aus (Latscha, Kazmaier, & Klein, 2008)

[3] Entnommen aus (Latscha, Kazmaier, & Klein, 2008)

Hemicellulose (ca. 100-200 aus den Hexosen Glucose, Galactose und Mannose und den Pentosen Xylose und Arabinose) und Lignin (phenolisches Makromolekül) (Schmid & Hammelehle, 2006).

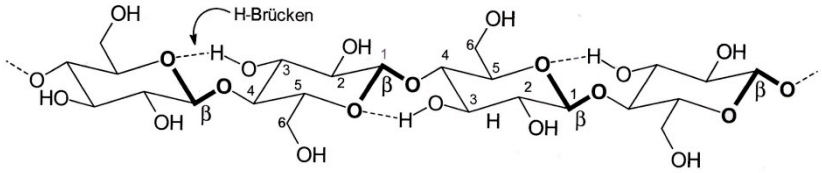


Abbildung 1.4 Ausschnitt aus einer Cellulose-Kette[4]

Lignocellulose bietet den Vorteil, dass es in großer Menge, in Form von Holz, Stroh, oder anderem pflanzlichem Material, zur Verfügung steht und somit nicht mit Lebensmitteln konkurriert. Im Falle von Lebensmittelpflanzen, z.B. Mais, hat man bei diesem Konzept den Vorteil, dass der Mais als Nahrungsmittel und der Rest der Pflanze für die Ethanol Produktion genutzt werden kann. Die Maisstängel bestehen dabei aus 38% Cellulose, 32 % Hemicellulose, 17 % Lignin und 13 % anderer Polymere (Olsen & Schäfer, 2006).

Allerdings steht man bei der Verwendung der Lignocellulose vor dem Problem, dass Cellulose und Hemicellulose aufgrund ihrer Struktur den Zugang von Enzymen oder Katalysatoren erschweren und dass Lignin die beiden Bestandteile vor einem enzymatischen Abbau schützt (Olsen & Schäfer, 2006).

Ebenso problematisch sind die bei einem enzymatischen Abbau entstehenden Pentosen. Diese können von den bisher eingesetzten Industriehefen schlechter zu Ethanol vergoren werden als Hexosen. Hierfür bedarf es eines eigenen speziellen Enzymsystems, an welchem aktuell noch geforscht wird (Sell, Puls, & Ulber, 2007).

Die technische Nutzung der Lignocellulose erfordert ebenfalls spezielle Enzyme, welche die Cellulose in ihre Glucosebestandteile aufspaltet und diese für den Vergärungsprozess nutzbar machen. Doch gerade dieser Schritt stellt derzeit noch eine technische wie wirtschaftliche Herausforderung an die Forschung dar. Diese beschäftigt sich seit ca. 30 Jahren unter Berücksichtigung von Forderungen der Nachhaltigkeit mit der Entwicklung von großtechnisch nutzbaren Aufschlussverfahren (Syldatk & Chmiel, 2011). Eine besondere Rolle kommt dabei der Biotechnologie zu. Diese kann dazu verhelfen, diese kritischen und energieaufwendigen Schritte bei der Produktion von Biokraftstoff aus Biomasse zu verbessern. KOHSE-HÖINGHAUS stellt heraus, dass die Suche nach aktiven Enzymen und passenden Mikroorganismen von elementarer Wichtigkeit ist (Kohse-Höinghaus, et al., 2010).

So untersuchen zum Beispiel Institute, wie das IFP in Paris, Département de Biotechnologie, Methoden zur Herstellung von Enzymen für die Produktion von Bioethanol der zweiten Generation (Billard, Faraj, Ferreira, & Heiss-Blanquet, 2012).

Ebenso finden sich schon einige Ansätze in Nordamerika, Skandinavien und Spanien. In Babilafuente (Spanien) entsteht eine Anlage der Firma Abengoa zur Produktion von Ethanol aus Stroh, die ca. 6300t/a produzieren soll (Bohlmann, 2006) (Abengoa Bioenergy, 2011). Ebenso finden sich Anlagen in den USA, beispielsweise in Kansas, oder auch in Schweden. Darüber hinaus gibt es inzwischen einen signifikanten Anteil an „Flexible-Fuel-Vehicles“, welche mit E85 Kraftsoff betrieben werden können (Balat M., Balat H., & Cahide , 2008).

Allerdings sind die erwähnten Produktionsanlagen bisweilen Pilotprojekte, ebenso wie der Einsatz von Kraftsoff, welcher zu 85% aus Bioethanol besteht. In den meisten Ländern, darunter auch Deutschland, ist der Einsatz eines solchen Kraftstoffes noch weit entfernt. Bisher werden lediglich 10% des fossilen Kraftstoffes durch Ethanol ersetzt. Damit werden immer noch 90% des Kraftstoffbedarfs mit fossilen Brennstoffen abdeckt.

[4] Entnommen aus (Latscha, Kazmaier, & Klein, 2008)

1.5 Thermodynamik

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Bereits 1842 gelang es Julius Robert MAYER, grundlegende Zusammenhänge zwischen den Begriffen der Thermodynamik Energie, Wärme und Arbeit zu klären. Dieser postulierte erstmals, dass Energie weder vernichtet noch aus dem Nichts geschaffen werden kann. Jedoch kann man die verschiedenen Formen der Energie ineinander umwandeln. Dabei bleibt die Gesamtmenge der Energie in einem isolierten System gleich. Dies bezeichnet man als Energieerhaltungssatz. Daran schlossen sich 1843 – 1849 die Arbeiten von JOULE an, der feststellte, dass bei Erwärmung von 1 kg Wasser von 14 °C auf 15 °C stets die Arbeit von 4,18 kJ aufgebracht werden muss.
Man kann Energie auf ein abgeschlossenes System übertragen, indem man Volumenarbeit verrichtet oder Wärme zuführt, wodurch sich Volumen, Druck oder Temperatur ändern. Komprimiert man beispielsweise ein Gas, so wird Arbeit in Form von geordneter Teilchenbewegung verrichtet. „Der Effekt dieses Vorgangs ist […] eine Beschleunigung der Gasmoleküle (also eine Druckerhöhung)“ (Atkins, 2010).
Die Summe der kinetischen und potentiellen Energie der Moleküle eines Systems nennt man *Innere Energie U*.
Die Thermodynamik ist die Lehre der Umwandlung von Energie. Das bedeutet, dass man in diesem Fall die *Änderung der Inneren Energie ΔU* betrachtet.
Die Änderung der Inneren Energie ΔU ist gleich der Differenz der Inneren Energie im Endzustand U_E und der Inneren Energie im Anfangszustand U_A:

$$\Delta U = U_E - U_A \tag{1-1}$$

Ausgehend davon, dass Wärme Q und Arbeit W gleichwertige Wege sind, die Innere Energie eines Systems zu beeinflussen, lässt sich der erste Hauptsatz der Thermodynamik formulieren:

„Die von einem System mit seiner Umgebung ausgetauschte Summe von Arbeit und Wärme ist gleich der Änderung der Inneren Energie des Systems. Die Innere Energie ist, wie z.B. das Volumen, eine Zustandsgröße.“ (Wedler, 2004)

$$\Delta U = W + Q \tag{1-2}$$

Isochore und Isobare Zustandsänderungen

Wird bei einem System außer der Volumenarbeit keine andere Arbeit mit der Umgebung ausgetauscht, so erhält man für die Innere Energie:

$$\mathrm{d}U = \delta Q_{rev} - p\mathrm{d}V \tag{1-3}$$

Bei *isobaren* Prozessen gilt wegen dp = 0:

$$\mathrm{d}U = \delta Q_p - p\mathrm{d}V \tag{1-4}$$

Daraus folgt für den Übergang von Zustand I in Zustand II für die Innere Energie:
Die Änderung der Energie bei isobaren Prozessen in geschlossenen Systemen ist gleich der Änderung einer Größe, die durch die Summe von $U + pV$ gegeben ist (Wedler, 2004).

Enthalpie

Die *Enthalpie H* beschreibt genau diesen Umstand und ist somit definiert:

$$H = U + pV \tag{1-5}$$

Wärmekapazitäten

Die Wärmekapazität ist diejenige Wärmemenge, die benötigt wird, um ein System um ein Grad zu erhöhen.

1) Für ein isochores System ist die molare Wärmekapazität identisch mit dem partiellen Differentialquotienten der Inneren Energie.

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \tag{1-6}$$

2) Für ein isobares System ist die molare Wärmekapazität identisch mit dem partiellen Differentialquotienten der Inneren Energie.

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p \tag{1-7}$$

Für die spezifischen Wärmekapazitäten ergeben sich damit:

$$c_V = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_V = \frac{1}{n}\, C_V \qquad \text{mit} \qquad u = \frac{U}{n} \tag{1-8}$$

$$c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_V = \frac{1}{n}\, C_p \qquad \text{mit} \qquad h = \frac{H}{n} \tag{1-9}$$

2 Experimente

Mit dem Verbrennnungskalorimeter lassen sich zahlreiche Schülerexperimente mit Bezug zu den Bildungs- und Rahmenplänen realisieren. In Tabelle X.1 werden 3 Experimente dargestellt, die in unterschiedliche Szenarien eingebunden den schulischen Chemieunterricht bereichern können. Die Versuche fokussieren dabei die Untersuchung verschiedener Fragestellungen.

Tabelle X.1: Experimente zum Modul *„Treibstoffe aus Biomasse“*

Nr. auf der CD	Anspuch	Experiment (Dauer)	Inhalt/ Anmerkung
1		Brennwertbestimmung von flüssigen Brennstoffen (je 25 min)	Kalorimetrische Messung zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie (am Beispiel von Ethanol, Propanol und Butanol)
2		Brennwertbestimmung von festen Brennstoffen (20 Min.)	Kalorimetrische Messung zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie (am Beispiel von Holz)
3		Brennwertbestimmung von Lebensmitteln (je 25 Min.)	Kalorimetrische Messung zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie (am Beispiel von Kartoffeln und Schokolade)

2.1 Versuch 1: Verbrennung von Flüssigkeiten.

Versuchsaufbau:

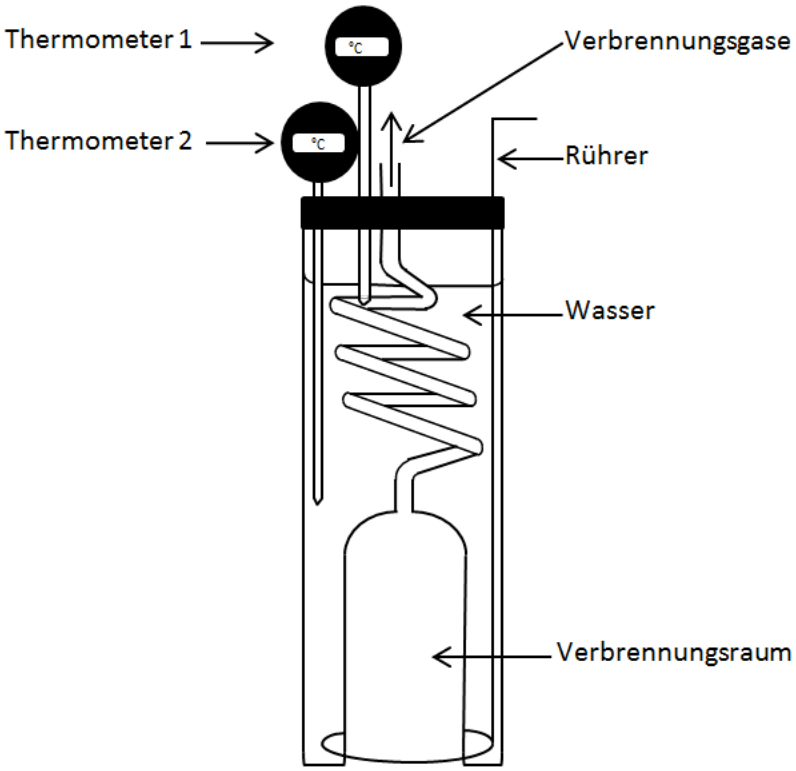


Abbildung 2.1 Adiabatisches Verbrennungskalorimeter[5]

[5] Abbildung selbst erstellt.

Benötigte Geräte

Pro Arbeitsplatz werden folgende Geräte benötigt.

Geräte	Menge pro Arbeitsplatz
Kalorimeter Glasgefäß	1
Thermometer	2
Tiegelvorrichtung	1
Brennlampe	3
Rührdraht	1
Vakuumpumpe	1
Gaswaschflasche	1
Feuerzeug	1
gebogenes Sauerstoffzugaberohr	1
Millimeterpapier	6

Tabelle 2.2 Benötigte Geräte

Benötigte Chemikalien

Folgende Chemikalien werden für die Durchführung der Versuche benötigt.

Chemikalien	Menge pro Arbeitsplatz
Ethanol	ca. 1 mL
1-Propanol	ca. 1 mL
1-Butanol	ca. 1 mL
Kartoffeln	1
Holz	1
Schokolade	ca. 1 g

Tabelle 2.3 Benötigte Chemikalien

Durchführung

Vor Versuchsbeginn werden Kalorimetergefäß und Kupferrührdraht gewogen. Anschließend werden 400 mL ± 1 mL Wasser in das Gefäß eingefüllt.

Nach dem Zünden der Probe wird unter gleichmäßigem Umrühren die Temperatur des Wassers, für fünf Minuten in regelmäßigen Abständen von je 30 Sekunden, bestimmt. Nach dem Erlöschen der Flamme wird unter ebenfalls gleichmäßigem Umrühren noch mindestens so lange weiter gemessen, bis ein deutlicher Temperaturabfall erfolgt. Erst dann wird die Pumpe abgestellt.

Die Masse des Verbrennungslämpchens inklusive Brennstoff wird vor Beginn der Messung bestimmt. Das Verbrennungslämpchen wird anschließend in den Verbrennungsraum eingeführt und angezündet sowie die Vakuumpumpe eingeschaltet. Nach ca. fünf Minuten wird die Flamme der Lampe gelöscht. Die Masse des verbrauchten Brennstoffs ergibt sich aus einer weiteren Wägung.

Beobachtung und Auswertung

Eines der Verbrennungsprodukte flüssiger und fester Brennstoffen ist Wasser. Dieses kondensiert an den Wänden des Verbrennungsraumes und die Temperatur steigt.[6] In der anschließenden Messphase fällt die Temperatur wieder.

Feststoffe verbrennen unter grellem Glühen vollständig, während Flüssigkeiten aufgrund der eingesetzten Menge in der vorgegebenen Zeit dies nicht tun.

[6] Alternativ kann man auch zwischen Vakuumpumpe und Verbrennungsraum noch eine weitere Gaswaschflasche mit Kalkwasser einbauen, so dass die Bildung von Kohlenstoffdioxid beobachtet werden kann.

Die gemessenen Wertepaare werden in einem Temperatur-Zeit-Diagramm auf Millimeterpapier per Hand oder mit Hilfe eines Computers aufgetragen. Die maximale Temperaturdifferenz ΔT wird ermittelt, indem die Abkühlkurve mittels linearem Fit auf die Ordinate extrapoliert wird. Der Schnittpunkt mit der Ordinate stellt dabei die maximal zu erreichende Temperatur T_{Ende} dar, während der Schnittpunkte der Messkurve mit der Ordinate die Anfangstemperatur T_{Anfang} darstellt. Unter Berücksichtigung der spezifischen Wärmekapazitäten der eingesetzten Stoffe (Glas, Wasser und Kupfer) wird die freigesetzte Wärmemenge Q berechnet. Die molare Verbrennungsenthalpie ΔH^0 berechnet sich aus der Wärmemenge Q und der Stoffmenge des Brennstoffes (siehe Gliederung) (Jansen & Melle, 2007)

Für die nachfolgende exemplarische Auswertung am Beispiel des Ethanols wurden eigene Messwerte verwendet:

1) gewogene Massen

m (Glas) = 351,99 g
m (H_20) = 400,64 g
m(Kupfer) = 11,77 g
m(Ethanol, vorher) = 26,15 g
m(Ethanol, nachher) = 24,82 g
Δm (Butanol) = 1,33 g

2) Messergebnisse

Zeit [Min]	Temp [°C]	Zeit [Min]	Temp [°C]
0	24.7	**6,0**	41,2
0,5	24,8	**6,5**	41,8
1,0	24,8	**7,0**	41,4
1,5	24,8	**7,5**	41,1
2,0	26,1	**8,0**	40,7
2,5	28,2	**8,5**	40,4
3,0	29,9	**9,0**	40,1
3,5	32,7	**9,5**	39,8
4,0	33,8	**10,0**	39,6
4,5	35,7	**10,5**	39,4
5,0	38,2	**11,0**	39,2
5,5	39,3	**11,5**	39,0

TabelleX.4 Exemplarische Messergebnisse einer Messung der Verbrennungsenthalpie von Ethanol

3) Auftragung der Temperatur gegen die Zeit

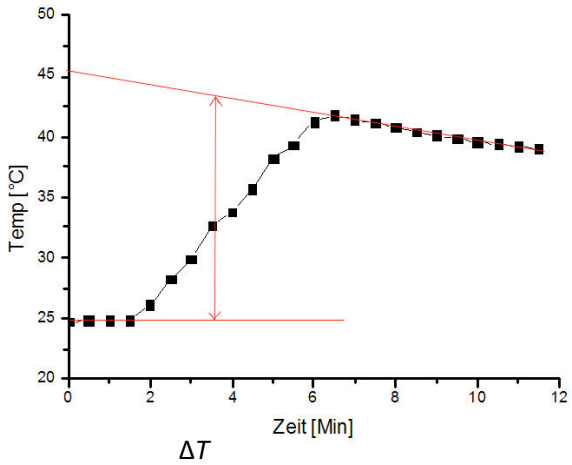


Abbildung 2.2: Exemplarische Auftragung der Messergebnisse einer Messung der Verbrennungsenthalpie von Ethanol

4) Berechnung der ausgetauschten Wärmemenge *Q*

$$\Delta T = T_{Ende} - T_{Anfang} = 43{,}5 - 24{,}8 = 18{,}7\ °C\ \ bzw.\ K \tag{2-1}$$

$$Q = \Delta T * (c_{Wasser} * m_{Wasser} + c_{Kalorimeter} * m_{Kalorimeter} + c_{Kupfer} * m_{Kupfer}) \tag{2-2}$$

$$Q = 18{,}7\ K * (4{,}19 \frac{J}{g * K} * 400{,}64 g + 0{,}85 \frac{J}{g * K} * 351{,}99\ g + 0{,}39 \frac{J}{g * K} * 11{,}77\ g) \tag{2-3}$$

$$Q = 37{,}07\ kJ \tag{2-4}$$

5) Berechnung der molaren Verbrennungsenthalpie ΔH^0:

$$\Delta H^0 = -\frac{Q * M(Ethanol)}{m\ (Ethanol)} \tag{2-5}$$

$$\Delta H^0 = -\frac{37{,}07\ kJ * 46{,}06\ \frac{g}{mol}}{1{,}33\ g} \tag{2-6}$$

$$\Delta H^0 = -1283{,}8\ \frac{kJ}{mol} \tag{2-7}$$

Zum Vergleich: Literaturwert: 1367 $\frac{kJ}{mol}$

2.2 Versuch 2: Verbrennung von Feststoffen

Durchführung

Die Versuchsvorbereitung erfolgt analog zu Versuch 1. Die Masse des festen Brennstoffes wird inklusive Tiegel bestimmt.

Das gebogene Sauerstoffzugaberohr wird über der Tiegelvorrichtung im Verbrennungsraum angebracht. Zwischen dieses Rohr und den Sauerstoffhahn am Laborplatz wird eine Gaswaschflasche geschaltet, um die Sauerstoffzugabe sicht- und kontrollierbar zu machen. Der erforderliche Sauerstoffstrom von 5 mL/s wird mit Hilfe eines Kolbenprobers vor dem Versuchsbeginn eingestellt.

Nachdem die Vakuumpumpe eingeschaltet ist, wird mit Hilfe eines kleinen Dochtes, welcher auf den festen Brennstoff gelegt wird, die Probe gezündet. Die Masse des verbrauchten Brennstoffs ergibt sich aus einer weiteren Wägung.

Beobachtung und Auswertung

Die Beobachtung und Auswertung erfolgt analog zu Versuch 1.

3 Vorraussetzungen der Lerngruppe

Die Versuche sind konzipiert für den Oberstufenunterricht.

Die Schülerinnen und Schüler

- definieren chemische Energie, Wärme, und Arbeit (I, Reproduktion)
- definieren offene, geschlossene und isolierte Systeme (I, Reproduktion)
- formulieren den Energieerhaltungssatz (I, Reproduktion)
- formulieren den ersten Hauptsatz der Thermodynamik (I, Reproduktion)
- definieren den Begriff Enthalpie (I, Reproduktion)
- nennen eine Methode zum Messen von Brennwerten (I, Reproduktion)
- beschreiben den Aufbau eines Kalorimeters (II, Reorganisation)

Alle Bundesländer schreiben die Behandlung des Themengebiete „Chemische Energetik“ zumindest für den Unterricht in der gymnasialen Oberstufe vor. Dieses Thema soll dazu dienen, den aus der Mittelstufe bekannten Energieumsatz bei chemischen Reaktionen zu präzisieren, zu erweitern und zu vertiefen.

In diesem Kapitel werden „Energieformen bei chemischen Reaktionen“, „Reaktion und Umgebung“, der „Energieerhaltungssatz“, die „Enthalpie (H)“, die „Entropie (S)“ und die „Freie Enthalpie (G)“ behandelt.

Das Schülerpraktikum ist nach Behandeln der Unterthemen „Energieformen bei chemischen Reaktionen“, „Reaktion und Umgebung“, „der Energieerhaltungssatz“, die „Enthalpie (H)“ durchzuführen. Der Lehrplan des Saarlandes schlägt an dieser Stelle lediglich das „Verbrennen von Nährstoffen im Kalorimeter“ vor. Allerdings lässt sich problemlos auch die Bestimmung der Brennwerte von Lebensmitteln und nachwachsenden Rohstoffen durchführen.

4 Quellen und weiterführende Literatur

Energieagentur SAENA GmbH. (2013). Abgerufen am 05. 01 2013 von http://www.abwaermeatlas-sachsen.de/Technologien/Technologien/Stromerzeugung/Stromerzeugungsmethoden/Stirlingmotoren.html

Abengoa Bioenergy. (2011). *Abengoa Bioenergy*. Abgerufen am 27. 06 2012 von www.abengoabioenergy.com

Anastas, P., & Warner, J. (2000). *Green Chesmitry: Theory and Practice.* Oxford: Oxford University Press.

Asselborn, W., Jäckel, M., & Risch, K. (2007). *Chemie heute - Sekundarbereich I.* Braunschweig.

Asselborn, W., Jäckel, M., & Risch, K. (2009). *Chemie heute - Sekundarbereich II.* Braunschweig.

Atkins, P. (2010). *Physikalische Chemie.* Weinheim.

Bader, E., Braun, M., & Göttel, W. (1977). Physikalische Chemie I. (F. Bukatsch, & W. Glöckner, Hrsg.) *Experimentelle Schulchemie, 5*.

Bader, H., & Horn, S. (2003). Ökobilanzen - Grundlagen der praktischen Umsetzung im Chemieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie 8/52*, S. 20 - 28.

Balat, M., Balat H., & Cahide , Ö. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*(34), S. 551–573.

Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik - Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen.* Berlin.

Beasley, W. (1991). Matching Laboratory Learning Goals to Evaluation of student Performance: A Standards-Based Approach. *Journal of Chemical Education* , S. 590 - 591.

Behringer, R. (2012). *Stirlingmotor WIRO 1.0 - Montageanleitung.* Freiburg.

Billard, H., Faraj, A., Ferreira, N., & Heiss-Blanquet, S. (2012). Optimization of a synthetic mixture composed of major Trichoderma reesei enzymes for the hydrolysis of steam-exploded wheat straw. *Biotechnology for Biofuels, 5*.

BnE. (2012). *UNO Weltdekade zur Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Abgerufen am 26. 05 2012 von http://www.bne-portal.de/

Bohlmann, J. (2006). *Biokraftstoffe der zweiten Generation: Herstellungsoptionen, Stand der Technik, Effizienz, Kosten.* Stuttgart.

Brandt, C. (2002). Sustainable Development und Responsible Care - Die chemische Industrie auf dem Weg in eine grüne Zukunft. *Chemie in unserer Zeit 4/36*, S. 214 - 224.

Brennholz-Check.de. (2011). *Brennholz-Check.de*. Abgerufen am 30. 05 2012 von http://www.brennholz-check.de/brennwerte.php

Burmeister, M., Jokimin, S., & Eilks, I. (2011). Bildung für nachhaltige Entwicklung und Green Chemistryi m Chemieunterricht. *Chemie Konkret (3), 18*, S. 123 - 128.

Büttner, D. (2011). Verbrennungswärme einer Kerze. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 121*(1), S. 8-9.

Demuth, R., Parchmann, I., & Ralle, B. (2008). *Chemie im Kontext - Sekundarstufe II.* Berlin.

Deters, K. M. (2005). Student Opinions Regarding Inquiry-Based Labs. *Journal of Chemical Education 8/82*, S. 1178 - 1180.

Deutsches.Institut.für.Normung.e.V. (2009). *Norm DIN 51605 "Kraftstoffe für pflanzenöltaugliche Motoren - Rapsölkraftstoff - Anforderungen und Prüfverfahren".* Berlin: Beuth-Verlag.

Eilks, I. (2000). *Biodiesel - Herstellung, Nutzung und ökologische Bewertung im Chemieunterricht. Konzept und Unterrichtsmedien für einen gesellschaftskritisch-problemorientierten Unterricht.* Oldenburg: ZpB (2.Auflage).

Eilks, I. (2005). Produktbezogene Ökobilanzen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) 1/58*, S. 37 - 39.

Eilks, I., & Klinkebiel, G. (1998). Biodiesel - Ökobilanzen im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie 9/45*, S. 32 - 34.

Eilks, I., Ralle, B., Krahl, J., Ondruschka, B., & Bahadir, M. (2003). Biodiesel - eine technische Betrachtung aus technisch-chemischer Sicht - . In H. Bader, M. Bahadir, D. Lenoir, & B. Ralle, *Green Chemistry - Nachhaltige Chemie in der Chemie* (S. 39 - 54). Weinheim: Wiley-VCH.

Eisner, W., Gietz, P., & Justus, A. (2000). *Elemente Chemie. Unterrichtswerk für Chemie an Gymnasien.* Stuttgart.

Engel, T., & Reid, P. (2006). *Physikalische Chemie.* München.

Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (2002). Innovative Verfahren zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse. (Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Hrsg.) *Nachwachsende Rohstoffe, 20*.

Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V. (2007). Symposium Energiepflanzen. *Nachwachsende Rohstoffe, 31*.

Feierabend, T., & Eilke, I. (2009). Bioethanol - Bewertungs- und Kommunikationskompetenz schulen in einem gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterricht. *Der mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*(62), S. 92-97.

Flesch-Reiss, S. (2005). Biodiesel - Der neue Boom vom Biodiesel. *The Epoch Times Deutschland*.

Fonds der Chemischen Industrie (FCI). (2012). *Informationsserie Nachwachsende Rohstoffe*. Abgerufen am 26. 05 2012 von http://fonds.vci.de

Freienberg, J., & Weiß, S. (2009). Biodiesel - eine echte Alternative? *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 113*(5), S. 35-39.

Grün, M. (2012). *Kraft-Wärme-Kopplung am Beispiel des Stirling-Motors.* Saarbrücken: Universität.

Haucke, K., & Parchmann, I. (2011). Energie im Kontext - Eine Grundlage zur Vernetzung von Schule, Gesellschaft und Berufsorientierung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 121*(1), S. 16-21.

Häusler, K., Rampf, H., & Reichelt, R. (1995). *Experimente für den Chemieunterricht.* München.

Henke, J. (2005). Biokraftstoffe - Eine weltwirtschaftliche Perspektive. (Institut für Weltwirtschaft, Hrsg.) *Kieler Arbeitspapier Nr. 1236*.

Hofsein, A., & Lunetta, V. (1982). The Role of the Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research, 52*, S. 201-217.

Hopp, V. (2009). Von der Fotosynthese über die alkoholische Gärung zum Missbrauch des (Bio-)Ethanols - Teil 1. *Chemie und Schule*(2), S. 8-13.

Hopp, V. (2009). Von der Fotosynthese über die alkoholische Gärung zum Missbrauch des (Bio-)Ethanols - Teil 2. *Chemie und Schule*(3), S. 10-15.

Jaeckel, M., & Parchmann, I. (2010). Bioenergieträger der zweiten Generation - Schulexperimentelle Erarbeitung und konzeptionelle Einbettung am Beispiel Biogas und hydrothermale Karbonisierung. *Chemie Konkret*(17), S. 117-123.

Jansen, W., & Melle, I. (2007). Grundlegende Experimente zur Chemischen Energetik. In W. Jansen, & I. Melle, *Handbuch der experimentellen Chemie - Band 7 Chemische Energetik* (S. 77-236). Köln.

Kaltschmitt, M., & Hartmann, H. (2002). Biomasse als erneuerbarer Energieträger. (Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Hrsg.) *Nachwachsende Rohstoffe, 3*.

Karafyllis, N. (2000). Nachwachsende Rohstoffe - Technikbewertung zwischen den Leitbildern Wachstum und Nachhaltigkeit. (K.-W. Brand, & E. Hildebrandt, Hrsg.) *Soziologie und Öknomie, 5*.

Keeling, R. (2012). *Scripps CO2 Program*. Abgerufen am 20. 06 2012 von http://scrippsco2.ucsd.edu/graphics_gallery/other_stations.html

Kirsch, W. (2006). *Bildungsstandards im Fach Chemie Mittlerer Schulabschluss (MSA) - Kompetenzbereiche des Faches Chemie.* Saarbrücken.

Koenig, B., & Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.). (2010). *Mikroreaktionstechnik in der Organischen Synthese.* Osnabrück: Steinbacher Druck.

Kohse-Höinghaus, K., Oßwald, P., Cool, T., Kasper, T., Hansen, N., Qi, F., et al. (2010). Biofuel Combustion Chemistry: From Ethanol to Biodiesel. *Angewandte Chemie*(49), S. 3572–3597.

Latscha, H., Kazmaier, U., & Klein, H. A. (2008). *Organische Chemie.* Berlin.

Leitner, W., & Hölscher, M. (2011). Kraftstoffe aus Biomasse. Aktueller Stand und Herausforderungen einer alternativen Treibstoffversorgung. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*(4), S. 21-28.

Lindemann, G. (2007). Energiepflanzen - Beitrag zu Ressourcen- und Klimaschutz sowie zur Einkommenssicherung in der Landwirtschaft. (Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Hrsg.) *Nachwachsende Rohstoffe, 31*.

Lühken, A., & Bader, H. (2010). Biokraftstoffe der zweiten Generation - Zukunftsvision >>Biomass to Liquids<< - Teil I: Grundlagen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*(03), S. 132-138.

Lunetta, V. N., Hofstein, A., & Clough, M. P. (2007). Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory and Practice. In S. K. Abell, & N. G. Lerderman, *Handbook of Research on science Education* (S. 393 - 442). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Maier, J. (21. April 2012). *Nahhaltige Mode bei H&M. "Es hilft keinen Trockner zu benutzen"*. Abgerufen am 04. Juni 2012 von Berliner Zeitung: www.berliner-zeitung.de

Melle, I., & Jansen, W. (1993). Einfaches Kalorimeter zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpie von Kohlenstoff. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*(2), S. 20-22.

Moselpellets. (2012). Abgerufen am 29. 05 2012 von http://www.moselpellets.de/home.html

N24.Gesellschaft.für.Nachrichten.und.Zeitgeschehen. (Dezember 2011). *N24 - Nachrichten* . Abgerufen am 22. März 2012 von www.n24.de

Neber, H. (1994). Training der Wissensnutzung als objektgenerierende Instruktion. In K. Klauer, *Kognitives Training.* Göttingen.

Olsen, H., & Schäfer, T. (2006). Ethanolproduktion aus pflanzlicher Biomasse. In G. Antranikian, *Angewandte Mikrobiologie* (S. 323-341). Berlin.

Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader H.-J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie - Neubearbeitung.* München.

Phywe - Excellence in science. (2012). *Phywe Schriftenreihe - Handbuch Glasmantel.* Göttingen.

Phywe. (2012). Abgerufen am 19. 05 2012 von www.phywe.de

Renn, O., Deuschle, J., Jäger, A., & Weimer-Jehle, W. (2007). *Leitbild Nachhaltigkeit - Eine normativ-funktionale Konzeption und ihre Umsetzung.* Wiesbaden.

Ries, W. (2003). Die Kluft zwischen Umweltwissen und Umwelthandeln als pädagogische Herausforderung - Entwicklung und Erprobung eines Prozessmodels zum "Umwelthandeln in alltäglichen Anforderungssituationen". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*(9), S. 147-159.

Schleder, F. (2002). *Stirlingmotoren.* Würzburg.

Schmid, R. D., & Hammelehle, R. (2006). *Taschenatlas der Biotechnologie und Gentechnik.* Weinheim.

Schmidkunz, H., & Parchmann, I. (2011). Basiskonzept Energie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 121*(1), S. 2-7.

Schmitz, N. (2005). Innovationen bei der Bioethanolerzeugung. (Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Hrsg.) *Nachwachsende Rohstoffe, 26*.

Sell, D., Puls, J., & Ulber, R. (2007). Weiße Biotechnologie - Energielösungen für die Zukunft? *Chemie in unserer Zeit*(2), S. 108-116.

Sievers, A.-C. (03. Mai 2012). *Studie: Großanleger investieren weniger nachhaltig*. Abgerufen am 04. Juni 2012 von Frankfurter Allgemeine: www.faz.net

SusChem. (2012). Abgerufen am 26. 05 2012 von http://www.suschem.org/

Syldatk, C., & Chmiel, H. (2011). Mikrobielle Prozesse. In H. Chmiel , *Angewandte Mikrobiologie* (S. 477 - 506). Heidelberg.

The Chemical Rubber Company. (1973-1974). *Handbook of Chemistry and Physics.* Cleveland.

Wedler, G. (2004). *Lehrbuch der Physikalischen Chemie.* Weinheim.

Weingärtner, D. (2011). Nicht jeder Biodiesel hilft der Natur - Wann ist der Kraftstoff nachhaltig, fragt sich die EU. *Badischen Zeitung*.

Windaus - Labortechnik. (2012). *Versuchsvorschrift des Verbrennungskalorimeters nach Theimann.* Clausthal-Zellerfeld.

Wörgetter, M., Lechner, M., & Rathbauer, J. (1999). *Ökobilanz Biodiesel.* Abgerufen am 04. Juni 2012 von Lehr- und Forschungszentrum Francisco Josephinum Wieselburg: http://blt.josephinum.at/

World.Commission.on.Environment.and.Development. (1987). *Our Common Future.* Ney York: University Press.

Zehren, W. (2009). *Forschendes Experimentieren im Schülerlabor. Dissertation.* Saarbrücken: Universität.

4.1 Versuchsvorschriften

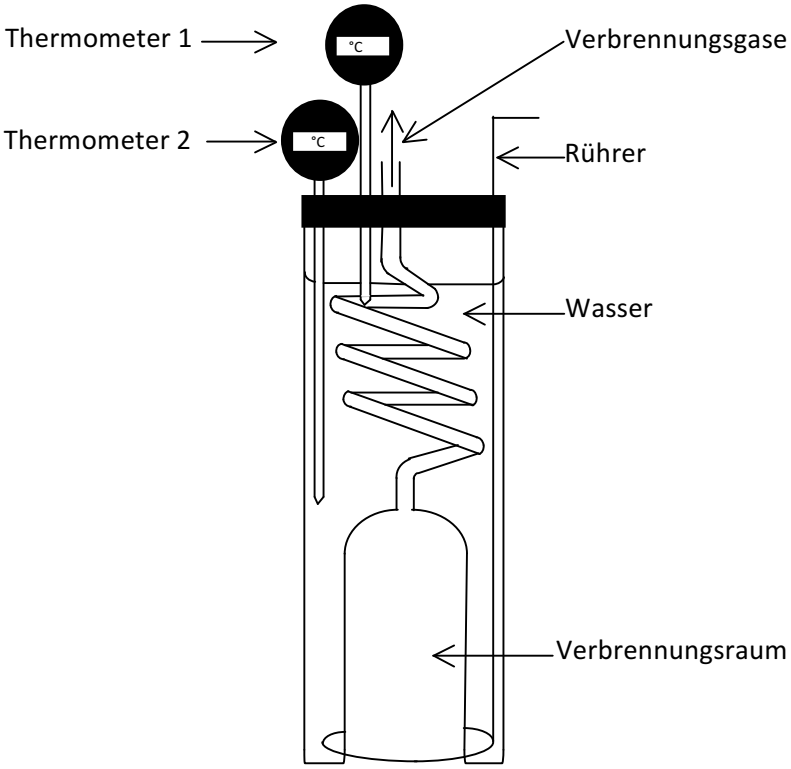
Arbeitsblätter mit Vorversuch

Bioenergie nachwachsender Rohstoffe

- Alternative Brennstoffe aus dem Alltag -

Zur Bestimmung der Wärmemenge, die bei einer chemischen Reaktion freigesetzt wird, muss die Wärme vollständig auf ein anderes Medium (z.B. Wasser) übertragen werden. Dafür stehen verschiedene Kalorimetertypen zur Verfügung. Handelt es sich bei der Reaktion um eine Verbrennung, so verwendet man ein *Verbrennungskalorimeter*.

Aufbau eines Verbrennungskalorimeters:



Die Wärmeübertragung ist nahezu vollständig. Das bedeutet, dass die vom *ganzen* System aufgenommene Wärmemenge betragsgleich mit der Reaktionswärme ist. Die Wärmeaufnahme ist mit einem Temperaturanstieg verbunden, der als Messgröße dient.

Die von einem Stoff aufgenommene Wärmemenge lässt sich mit folgender Gleichung berechnen:

$$Q = \Delta T * m * c_P$$

Q = aufgenommene Wärmemenge

Δ T = Temperaturänderung

m = Masse

Durchführung:

rmittle die Temperaturdifferenz graphisch anhand eines Diagramms, indem du die Temperatur
egen die Zeit aufträgst.

Allgemeine Angaben:

Vor Beginn der Verbrennung misst du ca. 2 min die Temperatur des Wassers.
Nach dem Erlöschen der Flamme misst du mindestens 5 min die Temperatur weiter.

Spezifische Wärmekapazitäten:

c_p(Wasser) = 4,19 J / (g*K)$^{-1}$

c_p(Kupfer) = 0,385 J / (g*K)$^{-1}$

c_p (Glas) = 0,85 J/(g*K) $^{-1}$

Versuch 1:

Bestimme die Verbrennungsenthalpien von:

a) 1-Propanol (Literaturwert: 2018 kJ/mol bzw. 33,56 kJ/g)
b) Holz
c) Kartoffeln

Versuch 2:

Identifiziere

a) Ethanol
b) Butanol

anhand ihrer Verbrennungsenthalpien

Versuch 3:

Vergleiche die Wärmemenge, die bei der Verbrennung von Schokolade freigesetzt wird, mit den Brennwertangaben auf der Verpackung.

Arbeitsblätter zur Vor- und Nachbereitung des Schülerlaborbesuchs

Arbeitsblatt 1: Regenerative Energieträger - Biokraftstoffe

Regenerative Energieträger

Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle für unseren Planeten. Die auf der Erde verfügbare Energie stammt fast vollständig von ihr. Ein Teil der Energie des Sonnenlichtes wird von Pflanzen durch die Photosynthese in chemische Energie umgewandelt und in Energieträgern gespeichert. Hierbei unterscheidet man zwischen nicht erneuerbaren und erneuerbaren (regenerativen) Energieträgern. Nicht erneuerbare Energieträger sind beispielweise die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas, da deren Entstehungszeit mehrere Millionen Jahre beträgt. Biomasse wie Holz, Stroh und diverse Pflanzenstängel, aber auch Biokraftstoffe wie Ethanol und Butanol zählen zu den regenerativen Energieträgern. Unter nachhaltiger Energie versteht man die ökonomische, ökologische und sozialverträgliche Nutzung von Energieträgern.

Biokraftstoffe

Biokraftstoffe sind regenerative Energieträger. Von ihrer Verwendung verspricht man sich, Problemen, wie knapper werdende Ressourcen an fossilen Brennstoffen, Umweltverschmutzung, Klimaerwärmung und steigender Energiepreise, begegnen zu können.

Bioethanol und Biobutanol sind häufig eingesetzte Biokraftstoffe, teilweise als Reinstoff und teilweise als Kraftstoffzusätze, wie im Super E10-Kraftstoff in Deutschland. Chemisch betrachtet sind „Bioethanol“ und industriell hergestellter Ethanol identisch. Die Vorsilbe „BIO-“ drückt vielmehr die Herkunft aus Biomasse aus.

Aufgaben:

1. Erkläre die Notwendigkeit, dass Alternativen zu fossilen Brenn- und Rohstoffen (Erdöl, Erdgas, etc.) gefunden werden. Nutze dazu Argumente aus dem Text und überlege dir weitere.
2. Beschreibe die Vorteile von regenerativen Energieträgern
3. Diskutiere über mögliche Nachteile von Bioethanol

Arbeitsblatt 2: Ist jedes Bioethanol = BIO? , I

Die Vorsilbe „BIO-“ lässt keineswegs einen Rückschluss auf nachhaltige Produktion zu. Man unterscheidet zwischen Bioethanol der ersten und der zweiten Generation.

Bioethanol der ersten Generation

Bioethanol der ersten Generation wird vorwiegend aus zucker- oder stärkehaltigen Pflanzen hergestellt. Deswegen treten in Diskussionen über die Bioethanolherstellung verstärkt Neologismen wie „Energiepflanzen“ auf.

Zuckerhaltige Pflanzen als Edukte:

Die wichtigsten zuckerhaltigen „Energiepflanzen“ sind Zuckerrüben in Europa und Zuckerrohr in Brasilien. Vorteil dieser Pflanzen ist, dass diese Ausgangsstoffe direkt als Edukte für die Produktion verwendet werden. Lediglich eine mechanische Aufarbeitung ist nötig, damit ein zuckerhaltiger Rohsaft gewonnen und für einen Fermentationsprozess eingesetzt werden kann. Bei diesem werden die Edukte durch Hefe, zu Ethanol vergoren.

Stärkehaltige Pflanzen als Edukte:

Nutzt man hingegen stärkehaltige Pflanzen zur Herstellung von Bioethanol, so muss ein deutlich aufwendigeres Verfahren gewählt werden. Stärke ist ein Polymer aus α-D-Glucose Einheiten. Sie besteht dabei aus Amylose und Amylopektin.

Diese müssen in einem mehrstufigen Prozess zu Glucose abgebaut werden, die wiederum in einem anschließenden Fermentationsprozess zu Ethanol vergoren wird.

Als stärkehaltige Pflanzen können Mais, Tobinambur, Kartoffel und Getreide genutzt werden. Vor allem Kartoffeln stellen in Mitteleuropa den am häufigsten genutzten Rohstoff dar. Allerdings ist der Einsatz von Kartoffeln mit einem hohen Transportaufwand, einer eingeschränkten Lagerbarkeit und große Abwassermengen bei der Herstellung verbunden.

Aufgaben:

1. Unterscheide die Produktion von Bioethanol aus zucker- und aus stärkehaltigen Pflanzen.
2. Beschreibe die Vorteile von Bioethanol der ersten Generation.
3. Diskutiere über mögliche Nachteile von Bioethanol der ersten Generation

Arbeitsblatt 3: Ist jedes Bioethanol = BIO?, II

Bioethanol der zweiten Generation

Große Hoffnungen werden in die Entwicklung von Verfahren zur Gewinnung von Ethanol aus Lignocellulose-haltigen Pflanzen gesetzt. Dabei unterscheiden sich diese Verfahren von denen der ersten Generation, weil nun die Pflanzenteile genutzt werden, die für die menschliche Ernährung keine Rolle spielen.

Lignocellulose bietet den Vorteil, dass es in großer Menge, in Form von Holz, Stroh, oder anderem pflanzlichem Material, zur Verfügung steht und somit nicht mit Lebensmitteln konkurriert. Im Falle von Lebensmittelpflanzen, z.B. Mais, hat man bei diesem Konzept den Vorteil, dass der Mais als Nahrungsmittel und der Rest der Pflanze für die Ethanol Produktion genutzt werden kann.

Die technische Nutzung der Lignocellulose erfordert ebenfalls spezielle Enzyme, welche die Cellulose in ihre Glucosebestandteile aufspaltet und diese für den Vergärungsprozess nutzbar machen.

Doch gerade dieser Schritt stellt derzeit noch eine technische wie wirtschaftliche Herausforderung an die Forschung dar.

Erste Pilotprojekte zur Nutzung Bioethanol der zweiten Generation finden sich bereits in Nordamerika, Skandinavien und Spanien.

Aufgaben:

1. Vergleiche die Produktion von Bioethanol der ersten und der zweiten Generation.
2. Beschreibe die Vorteile von Bioethanol der zweiten Generation.
3. Diskutiere über mögliche Nachteile von Bioethanol der zweiten Generation.

Anleitung zum Bau eines Verbrennungskalorimeters

Grundgerüst

Das Verbrennungskalorimeter nach Theimann der Firma WINDAUS – LABORTECHNICK dient als Grundgerüst für den Aufbau des Versuchs, (Windaus - Labortechnik, 2012).

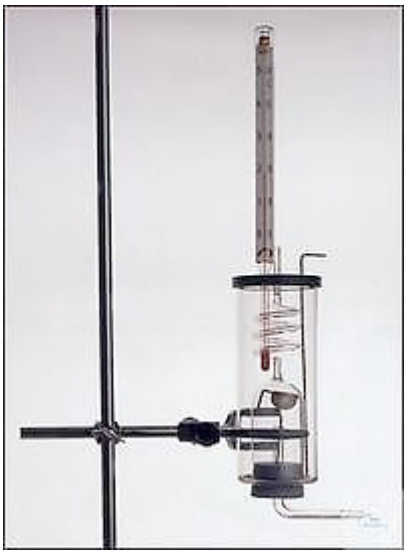


Abbildung 4.1 Versuchsaufbau nach WINDAUS (zur Verbrennung von Feststoffen)[7]

Modifikationen am Kalorimeter

Thermometer

Ein Nachteil bei dieser Konstruktion ist das Thermometer. Dieses ist so angebracht, dass die Temperatur lediglich 2 cm unterhalb des Deckels gemessen werden kann (vgl. Abbildung 4.2). Dies ist von Nachteil, weil die Temperatur so nur an einer Stelle bestimmt werden kann und dies keine qualifizierte Aussage über die Gesamttemperatur im Kalorimetergefäß liefert, da man keinen Vergleichswert von einer anderen Stelle im Gefäß besitzt. Somit erlaubt dieses eine Thermometer nur eine Aussage über eine lokale Temperatur. Ebenso ist es für die Schüler/Innen problematisch abzuschätzen, inwiefern sie das Wasser im Gefäß gleichmäßig durchmischt haben, da sie die Temperatur nur an einer Stelle messen.

Um diese Mängel zu beheben, wurde ein zweites Thermometer verwendet. Dadurch sind die Schüler/Innen nun sowohl in der Lage zu kontrollieren, ob sie das Wasser richtig durchmischt haben, als auch nachzuvollziehen, ob die gemessenen Temperaturen aussagekräftig für das gesamte Wasser im Kalorimetergefäß sind (vgl. Abbildung 4.3).

Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass Stabthermometer, welche Quecksilber enthalten, nicht für den Gebrauch durch Schülern/Innen geeignet sind, da bei einem Bruch das gesundheitsgefährdende

[7] Abbildung entnommen von der Homepage des Herstellers (Windaus - Labortechnik, 2012)

Metall in die Umgebung freigesetzt wird. Deswegen wurde auf den Einsatz dieser Art von Thermometern verzichtet. Stattdessen kommen elektrische Thermometer zum Einsatz.

Abbildung 4.2 Mitgeliefertes Thermometer

Abbildung 4.3 Elektrisches Thermometer

Wasserstrahlpumpe

Die mitgelieferte Versuchsanleitung nennt eine Wasserstrahlpumpe, um entstehende Verbrennungsgase abzusaugen (Windaus - Labortechnik, 2012). Dies ist für die Durchführung eines Schülerpraktikums nicht geeignet. Es ist nicht im Sinne der Nachhaltigkeit, wenn in einem Schülerpraktikum vier Messungen pro Versuchsgruppe durchgeführt werden, die jeweils mindestens zehn Minuten dauern. Der Einsatz von Wasserstrahlpumpen hätte einen sehr hohen Wasserverbrauch zur Folge, welcher durch einfache Maßnahmen vermieden werden kann. Verwendet man eine Membran-Vakuumpumpe, so kann man völlig auf das Wasser verzichten. Die Membran-Vakuumpumpen, welche in jedem gut ausgestatteten Schülerlabor zu finden sind, bieten darüber hinaus noch weitere Vorteile. Zum einen verfügen diese über mehrere Anschlüsse. Das bedeutet, dass mindestens zwei Versuchsgruppen mit einer Vakuumpumpe arbeiten können. Zum anderen ist zu beachten, dass die Saugleistung einer Vakuumpumpe höher ist als die einer Wasserstrahlpumpe. Somit gehen weniger Verbrennungsgase durch die untere Öffnung verloren und die beim Versuch freiwerdende Wärmeenergie wird so nahezu vollständig an das Kalorimeter abgegeben, wodurch eine genauere Bestimmung des Brennwertes des verbrannten Stoffes möglich wird.

Aus Sicherheitsgründen ist jedoch unbedingt darauf zu achten, dass keine mit Öl betriebene Pumpe verwendet wird. Verwendet man eine Öl betriebene Pumpe, so kann diese schon bei geringer Sauerstoffmenge zu unkontrollierbaren Bränden mit Sach- und Personenschaden führen. Dies ist unbedingt zu vermeiden!

Rührdraht

Der mitgelieferte Rührdraht ist für die Durchführung nicht geeignet. Da dieser sehr dünn ist und im Wasser wenig Widerstand bietet, ist das gleichmäßige Durchmischen des Wassers im Kalorimetergefäß nicht möglich.

Durch Hinzufügen von kleinen Klebestreifen erhöht man allerdings die Rührleistung des Drahtes um ein Vielfaches (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Abbildung 4.4 Modifizierter Rührdraht

Verbrennen von Flüssigkeiten

Im Standardlieferumfang ist keine Lampe zum Verbrennen von Flüssigkeiten enthalten. Es wird die Verwendung von kommerziell erhältlichen Spiritusbrennern[8] (vgl. Abbildung 4.5) vorgeschlagen. Diese haben jedoch den Nachteil, dass sie zu breit sind und die Öffnung des Verbrennungsraums fast verschließen und so zu wenig Luft nachströmen kann. Führt man die Spirituslampe nicht in den Verbrennungsraum selbst ein, so kann etwas Wärme an den Seiten entweichen und ist somit nicht messbar, da sie nicht in das Wasser im Kalorimetergefäß übertragen werden und somit gemessen werden kann.

Abbildung 4.5 Handelsüblicher Spiritusbrenner

[8] http://www.phywe.de/51/pid/7229/Spiritusbrenner,-stellbar.html

Mit wenig Aufwand (und deutlich kostengünstiger) lassen sich solche Lampen jedoch selbst herstellen. Hierzu benötigt man ein Reagenzglas, ein Schnappdeckelglas, eine Petrischale (Kunststoff), ein kleines Glasröhrchen und einen Docht (vgl. Abbildung 4.6). Diese selbstgebaute Version (vgl. Abbildung 4.7) bietet den Vorteil, dass sie in das Gefäß selbst eingebracht werden kann, ohne die Öffnung des Verbrennungsraums zu verschließen. Durch die verbaute Petrischale lässt sich die Masse des flüssigen Brennstoffes sehr leicht bestimmen, da die Lampe sauber auf eine Waage gestellt werden kann.

Abbildung 4.6 Einzelne Bestandteile der Brennlampe

Abbildung 4.7 Selbstgebaute Brennlampe

Verbrennen von Feststoffen

Das Verbrennen von Feststoffen bringt ebenso einige Probleme mit sich. Zunächst gilt zu erwähnen, dass nach der Versuchsvorschrift der Firma WINDAUS die Verbrennung von Feststoffen unter Sauerstoffzugabe in dem nach unten mit einem Gummistopfen verschlossenen Verbrennungsraum stattfinden soll (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Abbildung 4.8). Für den Einsatz im Schülerlabor ist diese Vorgehensweise jedoch ungeeignet, da es mehrere Gefahren in sich birgt. Stellen die Schüler/Innen die Sauerstoffzufuhr zu hoch ein, besteht bei der Apparatur Bruch- oder Berstgefahr. Fliegen in dieser Sauerstoffatmosphäre Funken, so könnte der Gummistopfen zu brennen beginnen. Aufgrund dieser Gefahr wird auf den Gummistopfen gänzlich verzichtet.

Abbildung 4.8 Mitgeliefertes Equipment zur Feststoffverbrennung

Ebenso sieht die mitgelieferte Versuchsanleitung die direkte Zugabe von Sauerstoff über das gebogene Glasrohr vor (vgl. Abbildung 4.8). Da Schüler/Innen in der Regel den Umgang mit Gasen nicht gewöhnt sind, erfolgt die Sauerstoffzugabe über eine Gaswaschflasche, welche das Gas für Schüler/Innen sichtbar macht. So können die Schüler/Innen die Menge an Sauerstoff genauer regeln und mit Hilfe eines Kolbenprobers auch quantifizieren. Dadurch ist die Gefahr einer zu hohen Sauerstoffzufuhr bei verantwortungsvollem Umgang seitens der Schüler/Innen nicht gegeben.
Ein weiteres Problem stellt das mitgelieferte Verbrennungskörbchen dar. Die mitgelieferte Versuchsbeschreibung empfiehlt, die Verbrennung in einem Glasschälchen - das im Lieferumfang nicht enthalten ist – durchzuführen, welches in dem Verbrennungskörbchen befestigt wird. Hierbei ergibt sich das Problem, dass Glas nicht hitzebeständig genug ist, um darin eine Feststoffverbrennung mit Sauerstoffzustrom durchzuführen. Selbst hergestellte Glasschälchen sind bei der Verbrennung von Feststoffen im Versuch stets gerissen und stellen somit eine Gefahr für die Schüler/Innen dar, die sich daran schneiden können. Führt man den Versuch ohne Glasschälchen in dem Verbrennungskörbchen durch, so schmilzt dieses nach wenigen Versuchen durch und ist unbrauchbar (vgl. Abbildung 4.9). Dies ist nicht nur eine Verletzungsgefahr für Schüler/Innen, sondern auch kostenintensiv.

Abbildung 4.9 Verbrennungskörbchen vor (links) und nach (rechts) dem Versuch

Um diese Probleme zu umgehen, wurde ein Zirkoniumdioxidtiegel passend für die zu verbrennenden Stoffe zugeschnitten. Dieses Material ist wesentlich hitzestabiler als Glas und erweist sich in der Handhabung weniger problematisch. Das Verbrennungskörbchen wurde durch ein modifiziertes Reagenzglas ersetzt, in das der Tiegel eingesetzt wird (vgl. Abbildung 4.10). Der Tiegel mit der Probe kann vor und nach der Verbrennung auf die Waage zur Massebestimmung gelegt werden. Das Wiegen des Verbrennungsrückstandes im Verbrennungskörbchen ist nämlich aufgrund dessen Form problematisch.

Abbildung 4.10 Zirkoniumoxidtiegel im modifizierten Reagenzglas

Die Zugabe von Sauerstoff erfolgt nicht mehr von unten, sondern über ein gebogenes Glasrohr von oben (vgl. Abbildung 4.12). Ein entsprechendes Glasrohr kann einfach und kostengünstig selbst gebogen werden (vgl. Abbildung 4.11). Erfolgt die Sauerstoffzugabe von unten, so könnten beim Durchschmelzen des Verbrennungskörbchens kleine glühende Stücke der Probe in das mitgelieferte Sauerstoffzugaberohr fallen. Diese könnten sich entzünden und einen Rückschlag auf die Leitung bzw. die Gaswaschflasche geben, was wiederum eine Gefahr für die Schüler/Innen darstellen könnte. Die Sauerstoffzugabe von oben umgeht dieses Problem völlig. Aufgrund der doppelten Biegung ist der Rückschlag eines Funkens in die Flasche unwahrscheinlich.

Abbildung 4.11 Gebogenes Sauerstoffzugaberohr

Abbildung 4.12 Sauerstoffzugabe bei der Feststoffverbrennung

Versuchsaufbau für den Einsatz im Schülerlabor

Somit ergibt sich folgender Versuchsaufbau des Kalorimeters für den Einsatz im Schülerlabor

a) Zur Verbrennung von Flüssigkeiten

Abbildung 4.13 Versuchsaufbau zur Verbrennung von Flüssigkeiten

b) Zur Verbrennung von Feststoffen

Abbildung 4.14 Versuchsaufbau zur Verbrennung von Feststoffen