

**ENTWURF FÜR DEN PRÜFUNGSUNTERRICHT II**  
**IM FACH CHEMIE**

<b>Schule:</b>	Musterschule	<b>Prüfungskommission:</b>	
<b>Lerngruppe:</b>	GK 12 Chemie (1ch1)	<b>Prüfungsvorsitzender:</b>	Herr Liebig
<b>Datum:</b>	31. 12. 2012	<b>Schulleiter:</b>	Herr Wöhler
<b>Zeit:</b>	3. Stunde (9.55-10.40h)	<b>Pädagogischer Leiter:</b>	Herr Avogadro
<b>Raum:</b>	1003	<b>Fachleiter Chemie:</b>	Herr Faraday
<b>Fachlehrerin:</b>	Frau Meitner	<b>Fachleiter Französisch:</b>	Herr Lavoisier

**Thema der Unterrichtsreihe:**

**ENERGETIK CHEMISCHER REAKTIONEN**

**Thema der Unterrichtsstunde:**

**TREIBSTOFFE IM ENERGETISCHEN VERGLEICH**

## 1. Unterrichtsvoraussetzungen

### 1.1. Bild der Lerngruppe

Nach drei Stunden Hospitation habe ich Anfang September mit 3 Stunden pro Woche den Unterricht im Chemie-Grundkurs 12 von Frau Siede übernommen. Die Lerngruppe setzt sich aus 9 Schülerinnen und 9 Schülern<sup>1</sup> zusammen, zeigt insgesamt ein angenehmes, zielorientiertes Arbeits- und Sozialverhalten und verhält sich mir gegenüber kooperativ, aufgeschlossen und freundlich. Wie eine Befragung zu Schuljahresbeginn ergab, schneidet das Fach Chemie mit einem Platz im oberen Mittelfeld auf der Beliebtheitskala der Schüler im Kursdurchschnitt ungewöhnlich gut ab und etwa die Hälfte der Schüler gab an, es als Prüfungsfach im Abitur wählen zu wollen. Unterrichtsgespräche verlaufen konstruktiv, wobei ich versuche, die Dominanz der leistungsstärkeren Schüler (Laura, Christopher, Paula, teilweise auch Ricarda) in problemlösenden Phasen durch Einbeziehung zurückhaltenderer oder leistungsschwächerer Schüler (Nicole, Olivia, Jessica, Ingo) in reproduktiven Phasen auszugleichen. In Partner- oder Kleingruppenarbeitsphasen kooperieren die Schüler in der Regel gut und gehen bei der Diskussion von Lösungsansätzen aufeinander ein.

*Sehr differenziertes  
Bild der Lerngruppe*

Negativ fallen Guido und vor allem Henning durch ihre arrogante Art und häufige Abgelenktheit auf, die bei Henning mit extrem lückenhaften Vorkenntnissen und mangelhaftem Sachverständnis einhergehen. Die übrigen Schüler empfinden dieses Verhalten zunehmend als Störung der ansonsten in der Regel freundlich-entspannten, dabei sachorientierten Lernatmosphäre, akzeptieren es ebenso wenig wie ich und haben mich mit Zurechtweisungen der beiden unterstützt. Auch die aufgrund von krankheitsbedingter Abwesenheit, des Ausscheidens eines Schülers und eines verspäteten Neuzugangs anfangs noch variierende Sitzordnung spiegelt inzwischen die beginnende Isolierung der beiden Schüler innerhalb des Kurses wider<sup>2</sup>.

### 1.2. Themenrelevante Lernvoraussetzungen

In der Mittelstufe und in Jahrgang 11 hatten die Schüler bei verschiedenen Lehrern Chemieunterricht, die Vorkenntnisse sind daher und aufgrund individuell unterschiedlicher Begabungen und Interessen sehr heterogen, wie sich beim Aufstellen und Ausgleichen von Reaktionsgleichungen, beim Umgang mit Größengleichungen (Zusammenhang zwischen Stoffmenge und Konzentration bzw. molarer Masse) und bei der Unterscheidung verschiedener Arten von Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen) zeigt. Die beim Thema Energetik häufig notwendigen Berechnungen sind erwartungsgemäß bei einem Teil der Schüler eher unbeliebt, andererseits ermöglichten sie bei mehrmaligem Üben auch leistungsschwächeren Schülern Erfolgserlebnisse und insgesamt eine breitere Schüleraktivität. Vor allem Julia, Hannah, Emmy, Madlen und Baki scheinen weniger gute mathematische Voraussetzungen zu haben, die sich bei jeweils neuen Fragestellungen zunächst nachteilig auswirken.

*Die themenrelevanten  
Lernvoraussetzungen  
sind deutlich  
beschrieben*

Zur Vor- und Nachbereitung steht den Schülern das Lehrbuch „Elemente Chemie II“ von 1989 zur Verfügung, zu dessen Benutzung ich sie gelegentlich ausdrücklich auffordere. Die Rechenwege sind darin allerdings ziemlich unübersichtlich und kompliziert dargestellt.

---

<sup>1</sup> Im Folgenden wird zur besseren Lesbarkeit jeweils die maskuline Form auch für weibliche Personen verwendet.

<sup>2</sup> Weitere Angaben zu den einzelnen Schülern sind dem Sitzplan im Anhang zu entnehmen.

## 2. Vorüberlegungen zur Didaktik und Methodik

### 2.1. Einordnung der Stunde in den Unterrichtszusammenhang

Im Verlauf der Unterrichtsreihe zur Energetik chemischer Reaktionen haben die Schüler durch Messung der Temperaturänderung im Schülerexperiment die jeweilige Reaktionswärme  $Q$  und daraus die molare Reaktionsenthalpie  $\Delta H_R$ <sup>3</sup> ermittelt und am Beispiel der Neutralisationsreaktion den Satz von Hess (Unabhängigkeit der Reaktionsenthalpie vom Reaktionsweg) erarbeitet. Die Berechnung von Reaktionsenthalpien aus Standard-Bildungsenthalpien ( $\Delta H_f^0$ ) oder anderen geeigneten Reaktionsenthalpien wurde u.a. an verschiedenen Beispielen für Verbrennungsreaktionen geübt. Mit Hilfe eines Verbrennungskalorimeters und Messwerterfassung per Rechner wurde im Lehreremonstrationsexperiment die Verbrennungsenthalpie  $\Delta H_c$  von Holzkohle bestimmt, Wärmekapazität und Wasserwert des Kalorimeters wurden errechnet. Die anschließend erfolgte Einführung der thermodynamischen Größen freie Reaktionsenthalpie  $\Delta G_R$  und Reaktionsentropie  $\Delta S_R$  sowie der Gibbs-Helmholtz-Gleichung (als Funktion der Temperatur) und die hierdurch mögliche Klassifizierung chemischer Reaktionen nach ihrer Triebkraft spielen für die heutige Stunde eine untergeordnete Rolle, da der Alltags- und Anwendungsbezug der Verbrennungsenthalpie  $\Delta H_c$  im Mittelpunkt stehen soll. In der letzten Stunde wurde kurz der Brennwert von Lebensmitteln als weitere lebensweltlich relevante Anwendung energetischer Betrachtungen thematisiert.

*Die Einordnung der Stunde in den Unterrichtszusammenhang ist klar*

### 2.2. Sachanalyse

Die Endlichkeit der fossilen Brennstoffreserven, der krisenanfällige Erdölmarkt und der durch Kohlenstoffdioxidemissionen entscheidend mitverursachte Treibhauseffekt erzeugen die Notwendigkeit, zunehmend alternative, d.h. umweltverträglichere und möglichst regenerative Energieträger zu nutzen. Im Verkehrsbereich hat die VES (Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie), eine Initiative des Bundes-Verkehrsministeriums sowie mehrerer Automobil- und Energieunternehmen, vor einigen Jahren die drei Kraftstoffe Erdgas, Methanol und Wasserstoff zur weiteren Prüfung ausgewählt<sup>4</sup>. Langfristig werden dem derzeit noch sehr teuren Wasserstoff die besten Chancen eingeräumt, mittel- und kurzfristig wird aufgrund der hohen Verfügbarkeit und des relativ niedrigen Preises Erdgas für PKW mit Verbrennungsmotoren empfohlen. In Hamburg fahren im Rahmen des Großversuchs „Clean Urban Transport for Europe“ (CUTE) seit 2001 wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen-Busse, in Lüneburg betreibt die Avacon Busse mit Erdgas und neben den herkömmlichen PKW-Treibstoffen können auch Erdgas, Autogas und Biodiesel getankt werden.

Erdgas besteht bis zu 99% aus Methan (Nebenbestandteile: Stickstoff, Kohlenstoffdioxid), es wird an Tankstellen als CNG (Compressed Natural Gas) mit 200 bar Druck angeboten und für ca. 70-80

---

<sup>3</sup> In Absprache mit der Fachlehrerin wird diese einfachere Symbolschreibweise anstelle der genaueren  $\Delta_R H_m^0$  verwendet; die Schüler kennen beide Symbole in identischer Bedeutung. Entsprechendes gilt für die anderen Größen.

<sup>4</sup> S. [www.bmvbw.de](http://www.bmvbw.de).

<sup>5</sup> weitere s.u. und [www.aral-forschung.de](http://www.aral-forschung.de).

<sup>6</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>.

<sup>7</sup> RRL S. 5.

Cent pro Kilogramm verkauft. Bei Autogas oder LPG (Liquid Petroleum Gas) handelt es sich um Propan oder ein Propan-Butan-Gemisch, das bei 8 bis 10 bar als Flüssiggas getankt wird und ca. 60-65 Cent/Liter kostet. „Biodiesel“ (Rapsölmethylester, RME) wird durch Umesterung mit Methanol aus Rapsöl gewonnen.

Eines der Kriterien<sup>5</sup> für eine vergleichende Bewertung von Treibstoffen ist ihr „Energiegehalt“, d.h. die bei ihrer Verbrennung frei werdende Wärme (Q), die über die Temperaturerhöhung ( $\Delta T$ ) des Verbrennungskalorimeters experimentell zugänglich ist:  $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$  (mit  $c_p$  = spezifische Wärmekapazität,  $m$  = Masse des Kalorimeters). Bezogen auf die Stoffmenge (n) handelt es sich dabei um den Betrag der molaren Verbrennungsenthalpie  $\Delta H_c$ , der für Reinstoffe auch aus molaren Standardbildungsenthalpien  $\Delta H_f^0$  berechnet werden kann. In Alltag und Industrie gilt ein anderer Maßstab: Der Heizwert  $H_i$  (früher  $H_u$ ) ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge (Q), bei der es nicht zu einer Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt, bezogen auf die Masse (m) oder das Volumen (V) des eingesetzten Brennstoffs (Angabe z.B. in kJ/kg, MJ/kg bzw. in kJ/L oder kJ/m<sup>3</sup>). Der für Lebensmittel relevante Brennwert  $H_s$  (auch als oberer Heizwert bezeichnet) ist um die Kondensationswärme des bei der Verbrennung gebildeten Wassers höher als der (untere) Heizwert.<sup>6</sup>

Es bestehen folgende Zusammenhänge:

Heizwert  $H_i$  [MJ/kg]

$$H_i = \frac{Q}{m} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m} = \frac{-\Delta H_c}{M}$$

Heizwert  $H_V$  [MJ/L]

$$H_V = \frac{Q}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m/\rho} = \frac{-\Delta H_c \cdot \rho}{M} = H_i \cdot \rho$$

Verbrennt man gleiche Volumina Methan und Propan/Butan (und damit gleiche Stoffmengen, da diese Größen über das allgemeine Gasgesetz in proportionaler Beziehung stehen), so wird im 2. Fall mehr Wärme frei; die molare Verbrennungsenthalpie  $\Delta H_c$  nimmt bei Kohlenwasserstoffen mit steigender molarer Masse (M) (d.h. zunehmender Anzahl energiereicher Bindungen) zu. Wegen der geringen Dichte des Methans ist dessen Stoffmenge bei einer bestimmten Masse jedoch erheblich größer als die von Propan oder Butan derselben Masse, so dass der spezifische (massenbezogene) Heizwert  $H_i$  von Methan über Propan, Butan (und Cyclohexan) zum Octan und darüber hinaus abnimmt. Octan kann als Modellsubstanz für Benzin dienen (ebenso Cyclohexan für Diesel).

Im Verbrennungsmotor kann ein Teil der bei der Zündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches freigesetzten Verbrennungswärme durch die damit verbundene starke und plötzliche Volumenzunahme in mechanische Arbeit umgesetzt werden und so das Fahrzeug antreiben.

### 2.3. Didaktische Vorüberlegungen

Zur Herstellung eines Alltagsbezuges bei dem ansonsten eher theoretisch-abstrakten Thema der Energetik chemischer Reaktionen eignet sich neben dem Brennwert von Lebensmitteln besonders gut die Energie- und vor allem die Treibstoffdiskussion: Einige Schüler haben bereits einen Führerschein, andere sind dabei ihn zu erwerben. Durch den enormen Anstieg des Benzinpreises in den letzten Wochen erhält dieser Inhalt zusätzliche Aktualität. Auch in den niedersächsischen Rahmenrichtlinien werden bei den anzugehenden „ökologischen, ökonomischen und sozialen Problemen der Gegenwart und der Zukunft“ u.a. „Energie- und Rohstoffversorgung“ sowie

*Die Sachanalyse ist wegen der Begriffsvielfalt recht umfangreich; sie ist sachlich korrekt,*

*allerdings könnte Cetan (anstelle von Cyclohexan) die Modellsubstanz für Diesel sein.*

„Umweltschutz“ genannt<sup>7</sup>. Das Thema Treibstoffe bietet die Möglichkeit, Schüler für solche Fragen zu sensibilisieren und ihre Urteils- und Entscheidungsfähigkeit zu fördern – damit sie idealerweise beim zukünftigen Autokauf auch Umweltaspekte in ihre Überlegungen einbeziehen. Es kann neben dem Themenbereich 1c) „Energetik chemischer Reaktionen“ auch dem Stichwort „Energieträger und Energieumwandlung“ des Themenbereichs 3a) „Stoffe und Verfahren in der Technik“ zugeordnet werden. Eine ausführlichere Behandlung, auch der Problematik der Gewinnung von Treibstoffen und der schädigenden Auswirkungen von Emissionen, wäre sicher wünschenswert, ist jedoch aus zeitlichen Gründen in diesem Zusammenhang nicht möglich, da das Thema Energetik in der Woche nach den Herbstferien mit einer Klausur abgeschlossen werden soll und zumal es in den thematischen Schwerpunkten für das Zentralabitur 2007 überhaupt nicht auftaucht. Dennoch ist der energetische Aspekt ein wichtiger Bestandteil der Untersuchung chemischer Reaktionen im Chemieunterricht der gymnasialen Oberstufe, da er den Schülern die Frage nach der Triebkraft chemischer Reaktionen beantwortet.

Die Konzentration des Experiments auf die Gase erscheint mir einerseits durch die Präsenz dieser Kraftstoffe in Lüneburg und Umgebung, vor allem des Erdgases auch in der Lebenswelt der Schüler (Busse), andererseits durch die gute Vergleichbarkeit gerechtfertigt, die bei Einbeziehung eines flüssigen Treibstoffes nicht mehr gegeben wäre. Bei den anschließenden exakten Berechnungen der Heizwerte aus tabellierten Daten darf das altbekannte Benzin (bzw. hier Octan) als Bezugspunkt nicht fehlen, zudem wird Wasserstoff (evtl. auch Diesel bzw. Cyclohexan) in die theoretischen Betrachtungen aufgenommen.

#### **2.4. Methodische Vorüberlegungen**

Die Einstiegsphase – Sammlung von Alternativen zum teuren Benzin und von Kriterien zu deren Bewertung – dient der Klärung des themenspezifischen Vorwissens der Schüler sowie zur Schaffung eines gesellschaftsrelevanten Kontextes und bietet auch weniger mathematisch-naturwissenschaftlich begabten Schülern die Möglichkeit sich einzubringen.

Laut den niedersächsischen Rahmenrichtlinien für die Sek. II soll der Chemieunterricht den „Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung“ einbeziehen, wobei der empirischen Methode eine besondere Bedeutung zukommt. Dementsprechend soll auch in der heutigen Stunde ein Experiment durchgeführt werden, das in diesem Fall allerdings mehr der Veranschaulichung und der Erleichterung eines auch affektiven Zugangs zum Thema dient. An seiner Planung sollen die Schüler insofern beteiligt werden, als dass sie den Vergleich des Energiegehalts der Gase Methan und Propan/Butan mit der aus dem Vorunterricht bekannten Ermittlung der Reaktionswärme durch Messung des Temperaturverlaufs in Verbindung bringen. Das zur Kohleverbrennung verwendete Kalorimeter ist zur Verbrennung von Gasen nicht ohne weiteres geeignet, auch habe ich mich aus zeitökonomischen Gründen gegen eine exakte Messwerterfassung entschieden, welche die Schüler am Beispiel Kohle bereits kennengelernt haben. Zudem bietet die Verwendung von MedTech-Spritzen den Vorteil, dass beide Gase von 2 Schülern gleichzeitig verbrannt werden können und die parallele Beobachtung der unterschiedlich starken Erwärmung der beiden wassergefüllten Reagenzgläser durch die Flammen eindrucksvoller wirkt, als es eine Temperaturerhöhung von einigen Grad Celsius sonst könnte. Als weitere Alternative wären arbeitsteilige Schülerexperimente zur Bestimmung der Verbrennungsenthalpien und der Heizwerte möglich, wenn noch mehr Zeit zur

*In den didaktischen Vorüberlegungen wird das umfangreiche und komplexe Thema auf die Möglichkeiten der Lerngruppe und der Einzelstunde zugeschnitten ...*

*...und unter Beachtung von Alternativen auf relevante und umsetzbare Ziele fokussiert.*

Verfügung stünde; so aber müssen innerhalb einer Einzelstunde Ergebnisse erhalten und noch verglichen und diskutiert werden

Die zunächst logisch erscheinende Schlussfolgerung der Schüler, dass der Energiegehalt von Methan also geringer ist, führt zur Frage der Bezugsgröße – Volumen und Stoffmenge oder Masse? Letztere könnte von den Schülern selbst vorgeschlagen werden, da sie den spezifischen Brennwert von Lebensmitteln bereits kennengelernt haben. Die Größengleichung zur Berechnung des Heizwertes wird gemeinsam erarbeitet, um eine solide Basis für die Gruppenarbeitsphase sicherzustellen.

*Die methodische Umsetzung ist abwechslungsreich und interessant gestaltet.*

Die folgende arbeitsteilige Gruppenarbeit ermöglicht einen Methodenwechsel, soll die Verantwortlichkeit der Schüler für den eigenen Lernprozess und auch den der Mitschüler stärken und ihre Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit fördern. Möglichkeiten zur Differenzierung bieten sich durch den unterschiedlichen Schwierigkeitsgrad der geforderten Reaktionsgleichungen sowie dadurch, dass schnellere Schüler nach erfolgreicher Bestimmung „ihres“ Heizwertes bereits Überlegungen und Berechnungen zum Vergleich der Preise und des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes anstellen und so die anschließende Diskussion vorbereiten können (vgl. Aufgaben für die folgende Stunde). Alternativ können Schüler bei verbleibender Zeit zur Übung und (Selbst-)Kontrolle weitere Heizwerte anderer Treibstoffe berechnen.

*Die besondere Funktion und Durchführung der Experimente wird dargestellt,*

*Alternativen werden begründet abgelehnt.*

Die abschließende Diskussion im Plenum soll – neben dem für manche Schüler wahrscheinlich erstaunlichen Ergebnis der Heizwertberechnungen – nochmals Aspekte der Bewertung von Treibstoffen vom Stundenbeginn thematisieren und den Schülern so die Multidimensionalität der Frage nach „dem“ richtigen Kraftstoff deutlich machen. In der anschließenden Stunde führen sie den Vergleich unter den beiden Gesichtspunkten Preis und Kohlenstoffdioxid-Ausstoß selbstständig weiter.

### 3. Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen ...

1. die Relevanz des Themenkomplexes Treibstoffe für Gesellschaft und Umwelt erfassen und ihr Alltagswissen anwenden, indem sie alternative Treibstoffe nennen, selbst Kriterien für deren Bewertung vorschlagen und weitere kennenlernen (II),
2. ihre Kenntnisse über die experimentelle Bestimmung von Verbrennungsenthalpien anwenden, indem sie Vorschläge für ein Experiment zum Vergleich der Heizwerte von Methan und Propan/Butan äußern (II),
3. ihre Kenntnis naturwissenschaftlicher Arbeitsweise sowie (teilweise) ihr experimentelles Geschick unter Beweis stellen, indem sie das halbquantitative Experiment durchführen bzw. ihre Beobachtungen formulieren und deuten (I-II),
4. ihre Fähigkeit zu Abstraktion und Transfer zeigen und erweitern, indem sie mit Hilfe ihrer Kenntnis des Brennwertes und der Definition des spezifischen Heizwertes eine Größengleichung zur Berechnung des letzteren aufstellen und in arbeitsteiliger Gruppenarbeit anwenden (II-III),
5. ihre Fähigkeit zum vergleichend-wertenden Umgang mit Daten demonstrieren und schulen, indem sie die Ergebnisse der Gruppenarbeit im Hinblick auf die genannten Kriterien diskutieren und begründet Stellung beziehen (II-III).

*Die Lernziele ergeben sich aus den Vorüberlegungen.*

### 4. Hausaufgaben zur Stunde

Berechnung der bei Verzehr von 100 g Chips aufgenommenen Energie sowie des Brennwertes von Kohlenhydraten und Fett

## 5. Geplanter Verlauf

Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten / Bemerkungen, Methoden / Medien
<p><b>I. Einstieg und Problemstellung: Alternativen zum teuren und umweltschädlichen Benzin?</b></p> <p>L fordert nochmals dazu auf, die Lösung der Hausaufgabe im Lehrerzimmer abzugeben. L spielt einen kurzen Ausschnitt des TV-Duells vor: Frage nach dem Preis von 1 Liter Superbenzin stummer Impuls HI: Benzinpreis Problem von nationaler Wichtigkeit (s. TV-Duell); Lösungsansätze? L projiziert zur Illustration Abbildungen zu den genannten Alternativen. HI: L ergänzt ggf. die Äußerungen. L: Kriterien für Bewertung von Treibstoffen?</p> <p>L präsentiert ergänzend die Bewertungskriterien der Aral-Forschung.</p>	<p>EA: TV-Duell vor der Wahl, es geht um den hohen Benzinpreis ES: S wissen mit dem Einstieg nichts anzufangen, sehen keinen Zusammenhang zum Unterricht. EA: alternative Treibstoffe – Erdgas, Autogas, Biodiesel, Wasserstoff/Brennstoffzellen ES: S kennen nicht alle Alternativen (z.B. Autogas). EA: Preis, langfristige Verfügbarkeit (fossile vs. erneuerbare Energieträger) Energiegehalt, Tankstellennetz, Umweltverträglichkeit ...</p>
<b>LZ 1</b>	
<p><b>II. Experiment: Verbrennung von Erdgas und Autogas</b></p> <p>L: noch viele Optimierungsmöglichkeiten im technischen/logistischen Bereich, aber Energiegehalt und CO<sub>2</sub>-Entstehung stoffspezifisch; zunächst Beschränkung auf Erdgas und Autogas (bereits im Einsatz): Experiment zum Vergleich von deren Energiegehalt? HI: Hinweis auf Vorunterricht L bestätigt Vorschläge, erläutert vereinfachten Versuchsablauf und bittet 2 S um Durchführung, die anderen um Beobachtung/Deutung des Exp.</p>	<p>EA: Verbrennen, dabei Wasser erhitzen, dessen Temperaturerhöhung messen (wie bei der Holzkohle, Verbrennungskalorimeter) ES: S kommen nicht auf den Zusammenhang mit der Kohleverbrennung.</p> <p>SDE (vgl. Anlage), doppelte Temperaturanzeige für die anderen Schüler sichtbar EA: Verbrennungswärme/-enthalpie von Autogas größer als von Erdgas</p>
<b>LZ 2/3</b>	
<p><b>III. Berechnung der Heizwerte verschiedener Treibstoffe</b></p> <p>L: durch Berechnung überprüfbar? L: <math>\Delta H_c</math> bezogen auf 1 Mol Brennstoff; im Alltag?</p> <p>L: Definition Heizwert (s. <i>Tafelbild</i>) L fordert zur genauen Formulierung der Aufgabenstellung auf, fragt nach benötigten Informationen.</p> <p>L: Größengleichung (= Formel) zur Berechnung der Heizwerte?</p>	<p>EA: <math>\Delta H_c</math> (= <math>\Delta H_R</math> der Verbrennung) aus <math>\Delta H_f^0</math> berechnen EA: Energiegehalt bezogen auf die Masse / das Volumen (vgl. Brennwert von Lebensmitteln)</p> <p>EA: Aufstellen der Reaktionsgleichung, Berechnung von <math>\Delta H_c</math>, Berechnung von <math>H_i</math>; benötigt: <math>\Delta H_f^0</math>, M EA: s. <i>Tafelbild</i></p>
<p>L verteilt Arbeitsblätter mit Daten zu den verschiedenen Treibstoffen.</p> <p>L geht von Gruppe zu Gruppe und hilft bei</p>	<p>arbeitsteilige GA ES: Das Aufstellen einiger Reaktionsgleichungen bereitet den S Schwierigkeiten, vor allem die sich für 1 Mol</p>

*In der Phase II des geplanten Verlaufs könnte alternativ wegen der Zeitknappheit das Experiment vorgegeben werden.*

Bedarf.	Brennstoff ergebenden gebrochenen Koeffizienten beim Sauerstoff.
<b>LZ 4</b>	
<b>IV. Präsentation und Diskussion der Ergebnisse</b> L lässt die Gruppenergebnisse auf Folie projizieren und fordert zu Vergleich (evtl. auch mit Literaturdaten) und Diskussion auf.  L: Bezug zum Experiment? (evtl. Bestätigung durch Waage) (weitere Vergleichsmöglichkeiten, s. übrige Kriterien?)	EA: Von Methan zu Octan (steigende Anzahl C-Atome) wird pro Mol Brennstoff mehr Wärme frei und mehr CO <sub>2</sub> gebildet, der spezifische Heizwert nimmt aber ab (der volumenbezogene wiederum zu); Wasserstoff: hoher spezifischer Heizwert, kein CO <sub>2</sub> EA: Beobachtung stimmt mit ΔH <sub>c</sub> überein; gleiche Stoffmengen, aber unterschiedliche Massen (EA: Preis, CO <sub>2</sub> -Entstehung bezogen auf die frei werdende Energie)
<b>LZ 5</b>	
<b>V. Sicherung und Aufgabenstellung</b> L fordert zur zusammenfassenden Bewertung der Treibstoffe auf. L: weitere Aspekte wie Wirkungsgrad des Motors, Energieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Entstehung bei Treibstoffgewinnung zu berücksichtigen	EA: spezifischer Heizwert von Wasserstoff am höchsten, außerdem keine CO <sub>2</sub> -Emission
<b>Aufgabenstellung und Verabschiedung</b>	

*Die Zwischenergebnisse werden gesichert,*

*die Fortsetzung in der Folgestunde ergibt sich folgerichtig und ist vorgeplant*

## 6. Aufgaben für die folgende Stunde

- Preis pro Energiemenge berechnen
- Menge des entstehenden CO<sub>2</sub> pro Energiemenge berechnen

## 7. Geplantes Tafelbild

### (a) Folie

<u>Treibstoffe im Vergleich – Bewertungskriterien für Alternativ-Kraftstoffe:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Verfügbarkeit</b> der Primärenergie: fossil (vorhandene Menge?) oder erneuerbar? wo?</li> <li>• <b>Umwandlung</b> in Arbeitsenergie: Energieaufwand/Emissionen gering, vorhandene Anlagen nutzbar?</li> <li>• Verteilungs-<b>Infrastruktur</b>: Tankstellennetz ausreichend dicht? vorhandene Tankstellen nutzbar?</li> <li>• <b>Fahrzeugtechnik</b>: hoher Wirkungsgrad? Motor umrüstbar?</li> <li>• <b>Kunden-Zufriedenheit</b>: Fahrleistung/Komfort/Aktionsradius hoch? Wirtschaftlichkeit (Preis)?</li> <li>• <b>Umweltverträglichkeit</b>: CO<sub>2</sub> è Treibhauseffekt (global), Schadstoffe è Smog, saurer Regen (regional), Lärm (lokal)</li> </ul>
--

**(b) Tafel**

Erdgas (Methan, CH<sub>4</sub>) und Autogas (Propan, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> / Butan, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)

im energetischen Vergleich

$$Q = c_p(\text{H}_2\text{O}) \cdot m(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta T \quad \text{è} \quad Q \sim \Delta T$$

$$\Delta T(\text{CH}_4) < \Delta T(\text{C}_3\text{H}_8/\text{C}_4\text{H}_{10}) \quad \text{è} \quad Q(\text{CH}_4) < Q(\text{C}_3\text{H}_8/\text{C}_4\text{H}_{10}) \quad \Delta H_c = \frac{-Q}{n}$$

$$\text{Heizwert } H_i \text{ [MJ/kg]} \quad H_i = \frac{Q}{m} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m} = \frac{-\Delta H_c}{M}$$

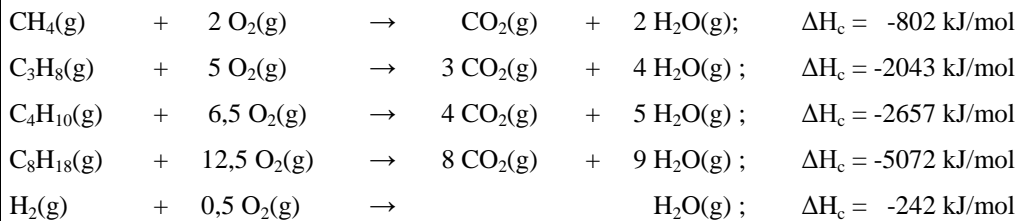
$$\text{(Heizwert } H_v \text{ [MJ/L])} \quad H_v = \frac{Q}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m/\rho} = \frac{-\Delta H_c \cdot \rho}{M} = H_i \cdot \rho$$

Gruppenarbeit:

- Reaktionsgleichung (mit H<sub>2</sub>O(g)!)
- Berechnung von ΔH<sub>c</sub>
- Berechnung von H<sub>i</sub> (Größengleichung!)
- (Preis pro 100 MJ)
- (Energie pro 1 Mol CO<sub>2</sub>)

$$\frac{\text{Preis}}{Q} = \frac{\text{Preis}}{m \cdot H_i} = \frac{\text{Preis}/m}{H_i}$$

Reaktionsgleichungen



Gruppenarbeitsergebnisse:

<u>Heizwerte von Treibstoffen</u>							
Treibstoff	M	ρ*	ΔH <sub>f</sub> <sup>0</sup>	ΔH <sub>c</sub>	H <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>	H <sub>v</sub>
	[g/mol]	[kg/L]	[kJ/mol]	[kJ/mol]	[MJ/kg]	[kWh/kg]	[MJ/L]
Methan (Erdgas)	16,0	0,423	-75	-802	50,1	13,9	21,2
Propan (Autogas)	44,1	0,585	-104	-2043	46,3	12,9	27,1
Butan (Autogas)	58,1	0,601	-125	-2657	45,7	12,7	27,5
Octan (Benzin)	114,2	0,698	-250	-5072	44,4	12,3	31,0
Cyclohexan (Diesel)	84,2	0,774	-157	-3653	43,4	12,1	33,6
Wasserstoff	2,0	0,1	0	-242	121,0	33,6	12,1
		* wenn flüssig					

evtl. weitere Berechnungen:

Treibstoff	$\rho^*$ [kg/L]	$H_i$ [MJ/kg]	Preis [€/kg]	Preis in Ct / MJ	$\Delta H_c$ [kJ/mol]	Q [MJ] pro mol CO <sub>2</sub>
Methan (Erdgas)	0,423	50,1	0,749	1,495	-802	-802
Propan (Autogas)	0,585	46,3	0,374	0,807	-2043	-681
Butan (Autogas)	0,601	45,7	0,384	0,840	-2657	-664
Octan (Benzin)	0,698	44,4	0,914	2,058	-5072	-634
Cyclohexan (Diesel)	0,774	43,4	0,882	2,031	-3653	-609
Wasserstoff						

\* wenn flüssig

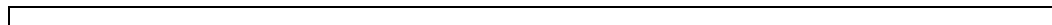
## 8. Literatur und Hilfsmittel

- Niedersächsisches Kultusministerium (Hg.), *Rahmenrichtlinien für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe ... . Chemie*, Schroedel Verlag, Hannover 1997.
- *Elemente Chemie II*, Klett, Stuttgart 1989, Kap. 1.
- Themenheft *Erdgas im Aufwind*, PdN-Ch. **54** (2005), Nr. 6.
- Grofe, Th., *Kleine Tankstellenkunde*, PowerPoint-Präsentation, Lüneburg 2005.
- Engelmann, L. et al., *Formelsammlung bis zum Abitur*, Paetec, Berlin 2003.
- Aylward, G.H. & T.J.V. Findlay, *Datensammlung Chemie in SI-Einheiten*, Wiley-VCH, Weinheim 1999.

## 9. Anhang

- Kommentierter Sitzplan
- Folie/Arbeitsblatt
- Abbildungen

## Kommentierter Sitzplan des GK12 Chemie (1ch1)



Experimentiertisch

<b>Ansgar</b> - / s zurückhaltend, Interesse schwankt	<b>Bernd</b> o / s-m von hinten nach vorne gerückt, zunehmend aktiver	<b>Christopher*</b> + / g engagiert + interes- siert, gute problem- lösende Beiträge	<b>David</b> o+ / g-m lebhaft und meist engagiert beteiligt (Reprod./Transfer)
<b>Jessica</b> - / s Beteiligung nur nach Vorbereitungsphasen mit Hilfestellung,	<b>Enno</b> o / m Beteiligung schwankt, hat etwas nachgelassen	<b>Fabian</b> o / m Beteiligung schwankt, im reproduktiven Bereich recht gut	<b>Kirsten</b> o / m in letzter Zeit aktiver, im reproduktiven Bereich recht gut
will nach der 12. Klasse die Schule verlassen		<b>Guido*</b> - / s oft abgelenkt, gelegentlich brauchbare Beiträge	<b>Henning</b> - / s oft abgelenkt, enorme Lücken und Verständnisprobleme

<b>Laura*</b> ++ / gg sehr interessiert + en- gagiert, mit Abstand leistungsstärkste S.	<b>Maria*</b> o- / m-g zurückhaltend, zuletzt etwas aktiver	<b>Nicole</b> - / s kein(e) Interesse / Begabung für NW, war anfangs krank	<b>Olivia</b> o- / s Beteiligung schwankt, äußert des öfteren Verständnisprobleme
<b>Paula*</b> + / g sehr interessiert und engagiert in allen Bereichen	<b>Ricarda</b> o / m-g Beteiligung anfangs + zuletzt gut, auch pro- blemlösende Beiträge	<b>Sabine</b> o / m-s bemüht sich, in re- produktiven Phasen recht gute Beiträge	<b>Ingo</b> - / s gelegentlich frei- willige Beiträge, nur teilweise richtig
* Leistungskurs Mathematik			

### Mitarbeit:

- + = rege, aktiv
- o = durchschnittlich
- = still

### Leistung:

- g = gut und besser
- m = befriedigend
- s = ausreichend und schlechter

## Bewertungskriterien für Alternativ-Kraftstoffe:

- **Verfügbarkeit** der Primärenergie:  
fossil (vorhandene Menge?) oder erneuerbar? wo?
- **Umwandlung** in Arbeitsenergie:  
Energieaufwand/Emissionen gering, vorhandene Anlagen nutzbar?
- Verteilungs-**Infrastruktur**:  
Tankstellennetz ausreichend dicht? vorhandene Tankstellen nutzbar?
- **Fahrzeugtechnik**:  
hoher Wirkungsgrad? Motor umrüstbar?
- **Kunden-Zufriedenheit**:  
Fahrleistung/Komfort/Aktionsradius hoch? Wirtschaftlichkeit (Preis)?
- **Umweltverträglichkeit**: CO<sub>2</sub> è Treibhauseffekt (global),  
Schadstoffe è Smog, saurer Regen (regional), Lärm (lokal)

## Berechnung von Heizwerten

Der **Heizwert  $H_i$**  (früher  **$H_u$** ) ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, bei der es **nicht** zu einer Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt, bezogen auf die Menge des eingesetzten Brennstoffs  $\dot{e}$  Angabe z.B. in kJ/kg, MJ/kg.

Mit Hilfe der Dichte  $\rho$  des Brennstoffs kann der massenbezogene Heizwert auch in einen volumenbezogenen Heizwert ( **$H_V$** ) umgewandelt werden  $\dot{e}$  Angabe z.B. in kJ/L oder auch kJ/m<sup>3</sup>.

Beim **Brennwert  $H_s$**  (auch als oberer Heizwert bezeichnet) wird die Kondensationswärme des bei der Verbrennung gebildeten Wassers zum Heizwert hinzugezählt.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>)

$$\text{Heizwert } H_i \text{ [MJ/kg]} \quad H_i = \frac{Q}{m} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m} = \frac{-\Delta H_c}{M}$$

$$\text{Heizwert } H_V \text{ [MJ/L]} \quad H_V = \frac{Q}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m / \rho} = \frac{-\Delta H_c \cdot \rho}{M} = H_i \cdot \rho$$

$$H_V = \frac{Q}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m / \rho} = \frac{-\Delta H_c \cdot \rho}{M} = H_i \cdot \rho$$

## Berechnung von Heizwerten

Der **Heizwert  $H_i$**  (früher  **$H_u$** ) ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, bei der es **nicht** zu einer Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt, bezogen auf die Menge des eingesetzten Brennstoffs – Angabe z.B. in kJ/kg, MJ/kg.

Mit Hilfe der Dichte  $\rho$  des Brennstoffs kann der massenbezogene Heizwert auch in einen volumenbezogenen Heizwert ( **$H_v$** ) umgewandelt werden – Angabe z.B. in kJ/L oder auch kJ/m<sup>3</sup>.

Beim **Brennwert  $H_s$**  (auch als oberer Heizwert bezeichnet) wird die Kondensationswärme des bei der Verbrennung gebildeten Wassers zum Heizwert hinzugezählt.

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>)

$$\text{Heizwert } H_i \text{ [MJ/kg]} \quad H_i = \frac{Q}{m} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m} = \frac{-\Delta H_c}{M}$$

$$\text{Heizwert } H_v \text{ [MJ/L]} \quad H_v = \frac{Q}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{V} = \frac{-\Delta H_c \cdot n}{m / \rho} = \frac{-\Delta H_c \cdot \rho}{M} = H_i \cdot \rho$$

Heizwerte von Treibstoffen

Treibstoff	M [g/mol]	$\rho^*$ [kg/L]	$\Delta H_f^0$ [kJ/mol]	$\Delta H_c$ [kJ/mol]	$H_i$ [MJ/kg]	$H_v$ [MJ/L]
Methan (Erdgas)	16,0	0,423	-75			
Propan (Autogas)	44,1	0,585	-104			
Butan (Autogas)	58,1	0,601	-125			
Octan (Benzin)	114,2	0,698	-250			
Cyclohexan (Diesel)	84,2	0,774	-157			
Wasserstoff	2,0	0,1	0			

\* wenn flüssig

Treibstoff						
Methan (Erdgas)						
Propan (Autogas)						
Butan (Autogas)						
Octan (Benzin)						
Cyclohexan (Diesel)						
Wasserstoff						