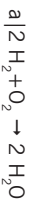


LÖSUNGEN

Aufgabe 12.2.1

Nach dem Entzünden entsteht eine gelblich-blaue Flamme, die ruhig brennt. Ihre Größe lässt sich mit dem Feinregulierventil der Wasserstoffflasche vorsichtig regulieren. Wasserstoff hat zwar die höchste Energiedichte der drei Brennstoffe, ist aber wie Methan bei 25 °C gasförmig. Bei einer Dichte von 0,75 g/cm³ nimmt 1 kg Benzin ein Volumen von 1,3 l ein, während 1 kg gasförmiger Wasserstoff aufgrund seiner geringen Dichte bei derselben Temperatur einen Raumbedarf von über 12 m³ hätte. Deshalb muss man Wasserstoff zur effizienten Nutzung komprimieren (verflüssigen), was wiederum niedrige Temperaturen und druckfeste Speichermaterialien erfordert.



Der entstandene Wasserdampf kondensiert am kalten Reagenzglas zu feinen Wassertropfen.

b) Brennwerte in MJ/kg bei 25 °C (gerundet, Quelle: de.wikipedia.org/wiki/Heizwert):

Wasserstoff:	142
Methan:	55
Benzin:	44

Aufgabe 12.2.2

a) Bei guter Belichtung der Solarzelle beginnt sich der Propeller zu drehen. Sein Elektromotor wird hier durch Solarstrom betrieben.

b) Z.B.: Tragflächen mit 12.000 Solarzellen, Akkus als Stromspeicher. www.solarflugzeuge.de

Aufgabe 12.2.3

a) – c) Gasentwicklung bei Belichtung: am Minuspol ist das Gasvolumen etwa doppelt so hoch wie am Pluspol. Minuspol: Wasserstoff (Knallgasprobe); Pluspol Sauerstoff (Glimmspanprobe). Wasserstoffkationen und Hydroxidationen werden an der Kathode bzw. Anode entladen.

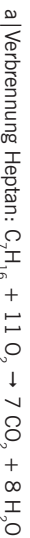
Aufgabe 12.2.4

a) Am Minuspol wird der Wasserstoff oxidiert, d.h., er gibt Elektronen ab, die letztendlich zur Reduktion des Luftsauerstoffs dienen. Als Endprodukt entsteht Wasser. Die Reaktionsenergie wird als elektrische Energie freigesetzt. Eine genauere Beschreibung der Brennstoffzelle findet sich in den meisten Chemie-Oberstufenbüchern.

b) Z.B. www.innovations-report.de/html/schlagwort/Wasserstofftank-1-17857.html

Aufgabe 12.3.1

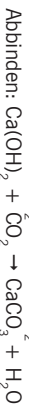
Es handelt sich hier um den „klassischen“ CO₂-Nachweis. Lässt man die Pumpe lange genug laufen, kann man auch in der Raumluft durch Trübung der Kalziumhydroxidlösung CO₂ nachweisen. Verbrennt man Wasserstoff statt Benzin, so ergibt sich keine Trübung. Ein Wasserstoffantrieb ist also im Hinblick auf Kohlenstoffdioxid emissionsfrei.



CO₂ reagiert mit gelöstem Kalziumhydroxid zu schwerlöslichem Kalziumcarbonat (Kalk).



Man beobachtet die Entstehung von Gasblasen. Die Streichholzflamme erlischt beim Hineinhalten in das Reagenzglas. Der Versuch lässt sich mehrfach auch nach Abschluss der Gasentwicklung wiederholen, was darauf hindeutet, dass das entstandene Gas erstreckend und nicht flüchtig ist. Dies wiederum ist auf eine hohe Molmasse zurückzuführen, die bei den hier theoretisch infrage kommenden Gasen nur das CO₂ besitzt (Molmasse M = 44 g/mol; im Vergleich dazu M_{N₂} = 28 g/mol).



Kalziumhydroxid wird durch Reaktion von Kalziumoxid (Brantkalk) mit Wasser gewonnen. Brantkalk entsteht – daher der Name – beim Erhitzen (Brennen) von Kalziumcarbonat unter Luftabschluss. Hierbei wird aus dem Carbonat die gleiche Menge CO₂ freigesetzt, die das Kalziumhydroxid seinerseits binden kann. Die technische Eignung als Absorber ist also vorhanden, jedoch ohne Nutzen für die CO₂-Bilanz.

d) Beim traditionellen Hochdruckreiniger könnten sich im Winter Eiskristalle im Triebwerk absetzen. Die Trockeneispartikel hingegen verdampfen auch bei winterlichen Temperaturen zu gasförmigem CO₂, so dass keine Schäden am Triebwerk entstehen können.

Aufgabe 12.3.2

Das Substrat (hier: Sand oder Glaswolle) darf keinen Kohlenstoff enthalten, damit die Massenzunahme der Pflanze nicht darauf zurückzuführen sein kann.

a) Es findet sowohl eine Trocknung als auch Verkohlung der Samen bzw. Keimlinge statt.

b) Die Masse der verkohlten Keimlinge ist höher als die der ebenso behandelten Samen. Der Massenzuwachs ist hauptsächlich auf Kohlenstoff zurückzuführen. Da dieser nicht aus dem Substrat stammen kann, muss er (in Form von CO₂) aus der Luft aufgenommen worden sein.

Aufgabe 12.3.3

Abgekochtes Leitungswasser ist CO₂-frei, während auch abgestandenes Sprudelwasser noch genug Kohlenstoffdioxid enthält. Dieses darf aber nicht mehr sprudeln, da es sonst den Sauerstoffnachweis (Gasentwicklung) stört. Der Nachweis lässt sich auch mit Leuko-Indigo-Lösung durchführen, die durch den entstehenden Sauerstoff zum Indigo oxidiert wird. Dieser bildet im Wasser blaue Farbwolken. Die Stärke der Sauerstoffentwicklung kann als Maß für die Fotosyntheseleistung gesehen werden.

a) Wenn der Glimmspan hell aufleuchtet, ist Sauerstoff nachgewiesen. Bei abgekochtem Wasser findet im Gegensatz zum Sprudelwasser keine Sauerstoffentwicklung statt. Das Vorhandensein von CO₂ ist offenbar eine Voraussetzung für die Fotosynthese.

b) Die Internetrecherche informiert über viel versprechende Forschungsansätze. Suchbegriff „Algen als CO₂-Killer“, z.B. www.prozesstechnik-online.de

Aufgabe 12.4.1

Teil 1: Der Seesand dient als „Reibmittel“, um die Samen schneller aufzuschließen. Da Fette (zu denen auch Pflanzendöl gehört) unpolar sind, lösen sie sich in unpolaren Lösungsmitteln wie z.B. Benzin. Ein Glasfaserdocht ist nicht brennbar, verfälscht das Ergebnis der Brennprobe also nicht.

Hinweise zur Sicherheit und Durchführung

Die Natriumhydroxid-Pastillen sind vor dem Versuch von Lehrer in einer Reibschale zu pulverisieren. Beim Abdestillieren übersättigten Methanols darf die Temperatur nicht über 65 °C steigen, da sonst als unerwünschte Nebenreaktion die Bildung von Seifenleim eintritt. Aber auch in diesem Fall lässt sich im Scheidetrichter (obere Phase) meist noch eine ausreichende Menge Bio-Kerosin abtrennen. Alternativ kann das Methanol auch durch Erwärmen auf nur ca. 50 °C bei längerem Stehenlassen (Abzug) entfernt werden.

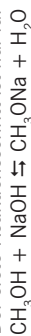
Teil 2: Ursache der hohen Viskosität des Rapsöls sind seine großen Moleküle (Triglyceride), zwischen denen starke Van-der-Waals-Kräfte wirksam sind. Beim Umestern wird der dreiwertige Alkohol Glycerin durch Methanol ersetzt, so dass kleinere Methyl ester-Moleküle entstehen.

LÖSUNGEN

a) Zwei Skizzen (Rückflusskühler und Destillationsapparat). Die beiden anfangs vorhandenen Flüssigkeitsphasen werden beim Erwärmen und Rühren langsam zu einer Phase. Bleibt diese auch nach dem Abdestillieren überschüssigen Methanols erhalten, ist das Bio-Kerosin „fertig“ und muss nicht mithilfe eines Scheidetrichters abgetrennt werden.

b) Zur Viskosität: Der viskose Stoff ist schwerer entzündlich als der dünnflüssige.

c) Der erste Reaktionsschritt ist nur für chemisch versierte Schüler von Interesse:



Das entstandene Natriummethanolat ist eine Ionenverbindung und wirkt bei der Umesterung katalytisch.

d) Recherchehinweis z.B.: www.rohstoffmarkttheute.de/speisolmarkt-p3?sort=size

Aufgabe 12.5.1

Nein. Lufthansa als klassische Airline bietet auch sehr günstige Tarife an. Viele Airlines weichen auf die anderen Moskauer Flugplätze aus. Dies sind Sheremetjevo (Norden) und Vuknowo (Westen).

Aufgabe 12.6.1

Die Berechnung von CO_2 -Kompensationen ist komplexer, als es auf den ersten Blick aussieht. Da es außerhalb der Wälder, Polar- und Hochgebirgsregionen (und Städte) eigentlich keine vegetationsfreien Landflächen gibt, müsste man deren Assimilationsleistung vor einer geplanten Aufforstung in die Bilanz einbeziehen und käme dann beim Vergleich Buchensetzlinge – Kartoffel anfangs sogar zu einem Negativsaldo. Der zur Buchenplantation umfunktionierte Kartoffelacker hätte also mehr CO_2 absorbiert als die Nachfolgekultur. Aber: Auch die dauerhafte CO_2 -Fixierung in Form des Holzes ist zu berücksichtigen: Es geht nicht nur um den absoluten Wert der jährlichen CO_2 -Bindung pro Hektar, sondern auch darum, wann das Gas wieder freigesetzt wird. Das wäre bei der Kartoffel über die Nahrungskette schnell der Fall. Alternativen sind z.B. der Anbau von Chinaschilf (fixiert jährlich bis zu 40 t CO_2 pro ha). Diese Bilanz ist aber nur nachhaltig, wenn das Schilf für dauerhafte Produkte – z.B. Dämmmaterial – genutzt wird. In einer Diskussionsrunde können diese Gesichtspunkte thematisiert werden.

Die für die Schüler verständlichste CO_2 -Kompensation ist die Verhinderung zusätzlicher Emissionen. In Afrika gibt es hierzu das Beispiel von Solarcochern, die Holzverbrauch und CO_2 -Emission verringern, sowie Solarleuchten, mit denen sich ganz konkret das sonst zur Hüttenbeleuchtung verwendete Kerosin einsparen lässt.

a) Das Kerosin ist wie Benzin und Petroleum ein Stoffgemisch von Kohlenwasserstoffen unterschiedlicher Kettenlänge. Zur Vereinfachung wird hier von Molekülen der Zusammensetzung $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ ausgegangen.



b) Distanz Hin- und Rückflug = $2 \times 2.000 \text{ km} = 4.000 \text{ km}$

Kerosinverbrauch in l = $2 \times 26.000 \text{ l} = 52.000 \text{ l}$

Masse_{Kerosin} = Dichtex Volumen = $8 \times 10^{-1} \text{ g/cm}^3 \times 5,2 \times 10^7 \text{ cm}^3$

Masse_{Kerosin} = $m = 4,1 \times 10^7 \text{ g} = 41.000 \text{ kg}$

Stoffmenge Kerosin = $n = m/M$ M = Molmasse in g/mol

$M_{\text{Kerosin}} = 15 \times 12 \text{ g/mol} + 32 \times 1 \text{ g/mol} = 212 \text{ g/mol}$

$n_{\text{Kerosin}} = 4,1 \times 10^7 \text{ g} / 2,12 \times 10^2 \text{ g/mol} = 193.396 \text{ mol}$

$n_{\text{CO}_2} = 15 \times n_{\text{C}_{15}\text{H}_{32}}$ (s. Reaktionsgleichung) = $2,9 \times 10^6 \text{ mol}$

$m_{\text{CO}_2} = M_{\text{CO}_2} \times n_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g/mol}$

$m_{\text{CO}_2} = 1,276 \times 10^8 \text{ g} = 1,276 \times 10^5 \text{ kg} = 127.600 \text{ kg} = 127,6 \text{ t}$

Die CO_2 -Emission des Flugzeugs auf Hin- und Rückflug nach Mallorca beträgt 127.600 kg.

c) Kerosinverbrauch pro Passagier = Gesamtverbrauch/Zahl der Passagiere = $52.000 \text{ l} / 300 = 173 \text{ l/Passagier}$
 CO_2 -Emission pro Passagier = Gesamtemission/Zahl der Passagiere = $127.600 \text{ kg} / 300 = 425,3 \text{ kg/Passagier}$

d) Internetrecherche z.B. über www.flugzeugforum.de/forum/showthread.php?37352-Spritzerbrauch-moderner-Verkehrsflugzeuge

Aufgabe 12.6.2

a) Durchschnittliche CO_2 -Assimilation pro Buche und Jahr:

$1.250 \text{ kg/90 Jahre} = 13,89 \text{ kg/Jahr}$

Vergleich zur CO_2 -Emission pro Passagier des Mallorca-Flugs:

Anteil CO_2 -Bindung = $13,89 \text{ kg} / 425,3 \text{ kg} = 0,0326$, entspricht 3,3 Prozent.

Antwort: Durch die Buche konnten nur 3,3 Prozent der CO_2 -Emissionen des Mallorca-Flugs kompensiert werden. Da auf einem halben Hektar 30 Buchen wachsen, wäre diese Waldfläche zur Kompensation pro Passagier notwendig.

b) CO_2 -Assimilation der Buche pro ha und Jahr: $60 \times 13,89 \text{ kg/Jahr (s.o.)} = 833,4 \text{ kg}$

CO_2 -Assimilation der Kartoffel pro ha (= 10.000 m^2) und Jahr:

$2,4 \text{ kg/m}^2 \times 10.000 \text{ m}^2 = 24.000 \text{ kg} = 24 \text{ t}$

Die Kartoffel bindet pro Hektar und Jahr im Vergleich zum Buchenwald (Durchschnittswerte) fast die dreifache CO_2 -Menge.

c) Einjährige Nutzpflanzen haben tatsächlich eine sehr gute CO_2 -Bindungsbilanz. Es müssen jedoch die CO_2 -Emissionen durch Düngerproduktion und Bewirtschaftung abgezogen werden. Betrachtet man zum Vergleich nur ausgewachsene Buchen, kommt man auf eine CO_2 -Bindung von immerhin bis zu 12 t pro ha.

d) Z.B. www.iplantatree.org, www.atmosfair.de, www.klimaaohnegrenzen.de, www.greenmiles.de

Aufgabe 12.7.1

Es gibt im Weltall keine Luftmoleküle, also auch keinen Schalldruckerzeuger.

Aufgabe 12.7.2

Wegen des logarithmischen Maßstabs bedeutet eine Reduzierung um 10 dB einer Halbierung des Lärms. Es bleibt also nur noch ein Restlärm von 12,5 Prozent. Der Fluglärm wurde seit den 60er Jahren um fast 90 Prozent reduziert.

Aufgabe 12.7.3

In dieser Flugphase gibt es zwei Änderungen gegenüber dem Reiseflug:

- Die Flügelfläche wird vergrößert und der Flügelquerschnitt wird durch spezielle Klappen verändert. Dadurch entsteht wesentlich mehr Auftrieb. Das Flugzeug kann damit langsamer fliegen, um eine relativ niedrige Aufsetzgeschwindigkeit zu erreichen.
- Die Fahrwerkschächte werden geöffnet und die Fahrwerke ausgefahren. Ihr Luftwiderstand reduziert ebenfalls die Fluggeschwindigkeit, ist jedoch auch Schallquelle.

Aufgabe 12.7.4

Aufgrund leistungsfähigerer Motoren hat man ursprünglich die Propellerblätter verlängert. Dies hatte jedoch zur Folge, dass man an den Blattspitzen in den Überschallbereich kam. Deshalb wurde die Zahl der Propellerblätter vergrößert.