

## LÖSUNGEN

### Aufgabe 9.2.1

- a) Außer bei der Baumwolle verfärbt sich das Indikatorpapier blau. Die Natronlauge (Durchführung 2) setzt das für die Blaufärbung verantwortliche Gas frei, welches durch eine Geruchssprobe als Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) identifiziert wird.  
Die alkalische Reaktion beruht auf folgender Gleichung:  
$$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HNH}_4\text{OH} \text{ (Ammoniumhydroxid, dissoziiert)}$$
  
Durch Zugabe von Natronlauge ( $\text{OH}^-$ -Ionen) wird das Gleichgewicht der Reaktion zu den Edukten verschoben, so dass Ammoniak freigesetzt (und gerochen!) wird.

- b) Der Ammoniakgeruch ( $\text{NH}_3$ ) ist der Nachweis des Elements Stickstoff in Haaren, Federn und Nylon, nicht aber in Baumwolle.

### Aufgabe 9.2.2

Die sogenannte Biuretreaktion weist durch eine Violettfärbung das Vorhandensein von Peptidbindungen nach, wie sie z.B. in Eiweißen vorkommen. Bei Durchführung 1, 2 und 3 tritt eine Violettfärbung in unterschiedlicher Intensität auf.

- a)  $2 \text{H}_2\text{N-CO-NH}_2 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{N-CO-NH-CO-NH}_2$  (Biuret)  
Die Peptidgruppe (-bindung) ist fett gedruckt.

- b) Alle drei getesteten Substanzen besitzen Peptidgruppen.

- c) Durch die unterschiedlichen Substituenten der Aminosäuren (Eiweißbausteine) ergeben sich unterschiedliche physikalische und chemische Eigenschaften der Proteine. So sind die Proteine des Eiklars überwiegend wasserlöslich, während die Faserproteine der Haare und Federn aufgrund ihres starken intermolekularen Zusammenhalts nicht wasserlöslich, dafür aber mechanisch umso belastbarer sind.

### Aufgabe 9.2.3

- a)  $n \text{H}_2\text{N-(CH}_2)_6\text{NH}_2 + n \text{HOOC-(CH}_2)_4\text{COOH} \rightarrow$   
 $[\text{H}_2\text{N-(CH}_2)_6\text{NHCO-(CH}_2)_4\text{CO}]_n + 2n-1 \text{H}_2\text{O}$

- b) Gemeinsamkeiten: In beiden Fällen sind bifunktionale Monomere durch Peptidgruppen miteinander verbunden. Bifunktional bedeutet, dass jedes Monomer zwei für die Verkettung relevante funktionelle Gruppen (hier: Carboxyl- und/oder Aminogruppen) besitzt.  
Unterschiede: Beim Eiweiß gibt es 20 mögliche Monomere, d. h. natürlich vorkommende Aminosäuren, die sowohl mindestens eine Carboxyl- als auch Aminogruppe besitzen. Beim Nylon werden nur zwei Arten von Monomeren verwendet, die ihrerseits entweder nur Carboxyl- oder Aminogruppen enthalten. Durch diese Abfolge ergibt sich eine sehr regelmäßige Struktur der Makromoleküle  $\rightarrow$  Nylonfasern.

- c) Amide bauen sich aus aromatischen Monomeren auf, die über Peptidbindungen miteinander verknüpft sind. Durch die aromatischen Ringe ergeben sich Parallelstrukturen zwischen benachbarten Ketten, wodurch die Wirkung intermolekularer Anziehungskräfte optimiert wird. Das Resultat sind kristalline Bereiche zwischen den Makromolekülen, die zu enormer Kettensteifigkeit, Abriebfestigkeit und thermischer Stabilität führen.

### Aufgabe 9.3.1

Dichte von Materialien in  $\text{g/cm}^3$

|            |      |
|------------|------|
| Eisen:     | 7,9  |
| Aluminium: | 2,7  |
| Magnesium: | 1,74 |
| Lithium:   | 0,53 |

Zum Vergleich:

|              |         |
|--------------|---------|
| Holz:        | ca. 0,7 |
| Carbonfaser: | ca. 1,7 |
| Kunststoffe: | ca. 0,9 |

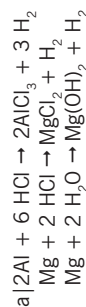
- a) Das Säulendiagramm visualisiert eindrücklich die Dichteunterschiede der im Flugzeugbau verwendeten Metalle. Die extrem niedrige Dichte des Lithiums ist den Schülern meist aus dem Standardversuch „Alkalimetalle und Wasser“ bekannt (Lithium schwimmt auf dem Wasser). Weitere Informationen hierzu siehe Versuch 9.3.3.

- b) Für die Rechnung wird Eisenblech statt Stahlblech gewählt, da Stahl neben dem Eisen noch weitere Elemente enthält, die hier aber nicht in den Dichtevergleich einbezogen werden sollen.  
Fläche des Blechs =  $60 \text{ m} \cdot 2\pi \cdot 2,5 \text{ m} = 942 \text{ m}^2$   
Volumen des Blechs = Fläche  $\cdot$  Dicke =  $942 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ m} = 1,884 \text{ m}^3$   
Masse = Dichte  $\cdot$  Volumen  
Masse<sub>Eisenrumpf</sub> =  $7,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,884 \text{ m}^3 = 14,88 \cdot 10^3 \text{ kg} = 14,88 \text{ t}$   
Masse<sub>Aluminiumrumpf</sub> =  $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,884 \text{ m}^3 = 5,09 \cdot 10^3 \text{ kg} = 5,09 \text{ t}$   
Ein vergleichbarer Rumpf aus Lithium würde nur eine Tonne wiegen.

- c) Die Zugfestigkeiten des Stahls übertrifft die des Reinaluminiums um das Zehnfache.  
Verwendet man hingegen Aluminiumlegierungen, so wird dieser Unterschied aufgehoben. Zum Vergleich: Die Zugfestigkeit von Carbonfasern liegt wiederum beim Zehnfachen der Aluminiumlegierungen, wobei es sich jedoch um Laborwerte handelt, die in der Praxis – je nach Art der Belastung – niedriger ausfallen können.  
Tabellen und weitere Informationen hierzu können im Internet z. B. unter folgenden Adressen abgerufen werden:  
[www.alu-verkauf.de/Werkstoffe](http://www.alu-verkauf.de/Werkstoffe)  
[www.maschinenbau-wissen.de](http://www.maschinenbau-wissen.de)  
[www.trenga.de/shop/carbon](http://www.trenga.de/shop/carbon)

### Aufgabe 9.3.2

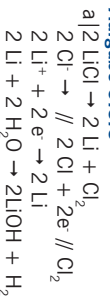
Dieser Versuch dient der Untersuchung des Korrosionsrisikos verschiedener für den Flugzeugbau relevanter Materialien. Aluminium und Magnesium reagieren mit Salzsäure unter Gasentwicklung und Auflösung; Magnesium sogar auch langsam mit Wasser. Die Bildung von Magnesiumhydroxid wird durch die Rotfärbung des Laugenindicators Phenolphthalein angezeigt. Der Wasserstoffnachweis kann über die Knallgasprobe erfolgen. Die Kunststoffe reagieren nicht.



- b) Beide Metalle würden z. B. von saurem Regen angegriffen; Magnesium bereits schon von Wasser. Die Kunststoffe sind hier inert.

## LÖSUNGEN

### Aufgabe 9.3.3



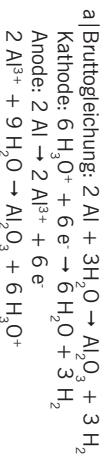
b) Aufgrund ihres unedlen Charakters lassen sich die genannten Metalle, die auf der Erde nur in Form ihrer Verbindungen vorkommen, nicht im Hochofen mithilfe herkömmlicher Reduktionsmittel in reiner (atomarer) Form gewinnen. Die Reduktion erfolgt daher mithilfe des elektrischen Stroms (s. o.). Wegen des damit verbundenen Energieverbrauchs zieht diese Art der Metallgewinnung hohe Produktionskosten nach sich.

c) Die Produktion einer Tonne Aluminium verbraucht 15.000 kWh Strom, was dem Fünfjahresverbrauch eines Durchschnittshaushalts entspricht. Ein wiederholtes Recyceln von Aluminium ist ohne Qualitätsseinbußen möglich, was die Verwendung des Metalls wirtschaftlicher macht.

Einführender Artikel: „Wie Strom zu Blech wird“ in [www.geo.de/GEO/reisen/europa/587.html](http://www.geo.de/GEO/reisen/europa/587.html)  
Weitere Informationen unter: [www.aluinfo.de](http://www.aluinfo.de)

### Aufgabe 9.3.4

„Zwei Fliegen mit einer Klappe“: Lagert man in die Poren der durch das Eloxieren verstärkten Oxidschicht Farbpigmente ein, erhält man im gleichen Arbeitsgang sowohl eine dekorative und dauerhafte farbige Beschichtung als auch einen noch weiter verbesserten Korrosionsschutz.



b) Die Leitfähigkeit des eloxierten Blechs ist geringer, seine Säureresistenz hingegen besser (erkennbar an der schwächeren Wasserstoffentwicklung).

Grund: Durch das elektrolytische Oxidieren („Eloxieren“) des Aluminiums wird seine natürliche Oxidschicht um den Faktor 1.000 und mehr verstärkt.

c) Der Korrosionsschutz des Aluminiums im Flugzeugbau wird sowohl durch Legieren als auch durch Eloxieren erreicht. Näheres hierzu z. B. unter: [www.elb.biz](http://www.elb.biz)

### Aufgabe 9.4.1

a) Aus den Pflanzenteilen entweicht Wasserdampf sowie bräunlicher, stark riechender Rauch, der in Form kleiner Teertropfen kondensieren kann. Mit zunehmender Reaktionsdauer nimmt auch die Schwarzfärbung der Pflanzenteile zu.

Fast alle flüchtigen Bestandteile des Pflanzengewebes entweichen, so dass der Rest einen hohen Kohlenstoffanteil (nicht flüchtig) besitzt.

b) Die beim Erhitzen entstehenden Gase verdrängen die im Reagenzglas vorhandene Luft und verhindern gleichzeitig das Eindringen der Außenluft. Deshalb findet eine Verkohlung und keine Oxidation statt.

### Aufgabe 9.4.2

Bezugsquelle z. B. „presto Reparatur-Box“. Mit dem leicht verfügbaren Material können die Schüller auch eigene Verbundwerkstoffe herstellen, indem sie z. B. Verstärkungen aus Metall integrieren.

a) Die Faser dient als Matrix für die erhärtende Kunststoffmasse. Durch diagonales Aufbringen weiterer Wicklungen lässt sich die mechanische Stabilität weiter erhöhen, wobei hier die Carbonfasern der Glasfasern eindeutig überlegen ist. Der Massenvorgleich mit PVC- und Metallrohren zeigt, dass man mit den Verbundwerkstoffen GFK und CFK eine hohe Gewichtsersparnis möglich ist. Der Reaktionsmechanismus ist in den meisten Fällen eine radikalische Polymerisation, die nach der Zugabe des Härters startet. Der Härter – z. B. Dibenzoyleperoxid – zerfällt in reaktionsfreudige Radikale, die eine Kettenreaktion z. B. mit einem ungesättigten Polyester bewirken. Das Resultat ist eine makromolekulare Vernetzung, die in Zusammenwirkung mit der Faser-Matrix zu einem hochwertigen Werkstoff führt.

b) Artikel zu CFK-Werkstoffen im Airbus A380 z. B. unter:  
[www.be.schule/bics/son/verkehr/presse/2005\\_1/v6051\\_36.htm](http://www.be.schule/bics/son/verkehr/presse/2005_1/v6051_36.htm)

### Aufgabe 9.5.1

Die „Leichter-als-Luft-Technologie“ hat sich bisher nicht durchsetzen können – man denke nur an den Brand der „Hindenburg“ oder die Platte der Cargolifter GmbH. Trotzdem ist es möglich, dass diese energiesparende Technologie nicht nur im touristischen Bereich, sondern auch z. B. beim Transport schwerer Lasten nach wie vor Zukunftspotenziale besitzt. Solarzeppeline sind online und im Handel erhältlich.

a) Länge des Solar-Zeppelins etwa 3 m, Durchmesser 1 m  
Volumen =  $\pi \cdot r^2 \cdot h = 2,36 \text{ m}^3$   
 $m_{\text{Luft (293 K)}} = 2,36 \text{ m}^3 / 0,00224 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 28,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 273 \text{ K} / 293 \text{ K} = 2,789 \text{ g}$   
 $m_{\text{Luft (343 K)}} = 2,423 \text{ g}$

Die Dichte der Luft bei o. g. Temperaturen lässt sich leicht errechnen, wenn man o. g. Massen durch das Volumen dividiert. Vernachlässigt man das (tatsächlich sehr geringe) Gewicht der Zeppelinhülle, kommt man auf eine Nutzlast von immerhin 2.789 g – 2.433 g = 356 g. Bei der Berechnung der Luftmassen wird allerdings vereinfachend gleicher Druck außen und innen vorausgesetzt.

b) [www.balloonfahren.com](http://www.balloonfahren.com)

Diese Internetseiten bieten unter den Buttons „Geschichte“ und „Rekorde“ Wissenswerte zur Vergangenheit und Gegenwart des Ballonfliegens.

## LÖSUNGEN

### Aufgabe 9.5.2

Das Befüllen eines Wasserstoffballons muss vom Lehrer durchgeführt werden. Schutzbrille- oder Scheibe sind obligatorisch! Beim Umgang mit Gasdruckflaschen sind die gängigen Vorschriften zu beachten. Es empfiehlt sich, das Befüllen im Chemieraum vorzunehmen.

a) Die auf den Wasserstoffballon einwirkende Gewichtskraft ist geringer als bei einem gleichartigen Heliumballon, da aus der niedrigen Molmasse des molekularen Wasserstoffs eine im Vergleich zum Helium geringere Dichte resultiert. Das bedeutet, dass der Wasserstoffballon bei gleicher Größe und gleichem Material eine höhere Tragkraft besitzt.

Molmassen von Gasen bzw. Gasgemischen (g/mol)

|                  |      |
|------------------|------|
| H <sub>2</sub> : | 1    |
| H <sub>2</sub> : | 2    |
| He:              | 4    |
| Luft:            | 28,9 |

Molvolumen von Gasen bei 273 K und Normaldruck: 22,4 l/mol

Dichten (g/cm<sup>3</sup>) von Gasen bei 273 K:

|                  |         |
|------------------|---------|
| H <sub>2</sub> : | 0,00009 |
| He:              | 0,00018 |
| Luft:            | 0,00128 |

Bei einem Ballast des Ballons von 2g zeigt die Waage nur 1,61 g an. Die Tragfähigkeit des Ballons (zusätzlich zur Masse der Hülle und der Schnur) beträgt also 0,39g.

b) Gewichtskraft = Auftriebskraft

c) [www.chengapedia.de](http://www.chengapedia.de)

### Aufgabe 9.6.1

Die Chemikalien sind im Kühlschrank zu lagern, damit ihre Enteisungswirkung nicht fälschlicherweise auf ihre sonst höhere Temperatur zurückgeführt werden kann!  
Alle fünf Substanzen sorgen dafür, dass das Eis in den Petrischalen schmilzt. Elektrische Leitfähigkeit zeigen nur die entstandenen Flüssigkeiten, die Natriumchlorid bzw. -acetat enthalten.

a) Natriumchlorid: NaCl  
Natriumacetat: CH<sub>3</sub>COONa

Beide Stoffe sind Salze (Ionenverbindungen), deren Kationen und Anionen sich mit Wassermolekülen umgeben (Hydrathülle). Dadurch wird die Gitterstruktur des Eises zerstört; es schmilzt.

Harnstoff: (H<sub>2</sub>N)<sub>2</sub>C=O

Glykol: HO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-OH

Ethanol: CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH

Die Wirkung ähnelt der der beiden Natriumsalze: Auch hier gibt es aufgrund der polaren Gruppen (C=O, -NH<sub>2</sub> und -OH) Anziehungskräfte zu den Wassermolekülen des Eises, was ebenfalls zur Hydratation und damit zur Auflösung des Eisgitters führt. Wichtig ist, dass der Gefrierpunkt aller fünf entstandenen Lösungen (abhängig von ihrer Konzentration) deutlich unter dem des Wassers liegt, so dass erneutes Anfrieren vorerst verhindert wird.

b) Ionen der Salzlösungen: Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> bzw. Na<sup>+</sup>, CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>

Durch die frei beweglichen Ionen entsteht ein Elektrolyt, bei dem nach Anlegen einer Spannung Ladungstransport erfolgt, s. elektrische Leitfähigkeit. Da die Korrosion von Metallen auf elektrochemischen Vorgängen beruht, wird sie durch Vorliegen eines Elektrolyten (Salzlösung, s. o.) beschleunigt. Das Chloridanion wirkt hierbei noch stärker als das Acetatanion.

c) Glykol und Ethanol sind toxisch, während Harnstoff aufgrund seines Stickstoffanteils zur Überdüngung führen kann. Glycerin hat ähnliche Enteisungswirkung, ist ungiftig, dafür teurer. Durch optimierte Dosierung und Mischung verschiedener Komponenten lassen sich sowohl der Verbrauch als auch die Umweltbelastung verringern, aber nicht aufheben.

### Aufgabe 9.6.2

a) Hohe Viskosität (Glycerin) erhöht die Einwirkungsdauer auf geneigten oder gerundeten Flächen (z. B. Flugzeugrümpfen).

b) Allgemeine Informationen zum Thema Enteisungsmittel:

[www.wien.gv.at/umweltschutz/oekokauf/pdf/staubbelastung.pdf](http://www.wien.gv.at/umweltschutz/oekokauf/pdf/staubbelastung.pdf)

[www.munich-airport.de/de/micro/efm/dienstleistungen](http://www.munich-airport.de/de/micro/efm/dienstleistungen)