

9.1 Chemie des Fliegens

Die antike Sage von Dädalus und Ikarus wird bereits in Kapitel 1 erwähnt: Zwei Männer, Vater und Sohn, die fliegen wollten und sich dazu Flügel aus Vogelfedern bauten, die sie mit Wachs verklebten. Als Ikarus sich in seinem Übermut der Sonne näherte, schmolz das Wachs. Mit anderen Worten: Das Material hielt der (Temperatur-)Belastung nicht stand, so dass es zum ersten „Flugzeugabsturz“ der Menschheitsgeschichte kam. Obwohl dies zur Mythologie gehört, ist in der Sage doch ein großes Korn Wahrheit enthalten: Für die Sicherheit, Leistungsfähigkeit und den Komfort jedes Fluggeräts spielt die Verwendung des richtigen Materials – vom Treibstoff bis zur Tragfläche – eine entscheidende Rolle. Dieses Material zu entwickeln und bereitzustellen ist Aufgabe der Chemie. Was bedeutet das konkret?

Stichwort Gewichtseinsparung

Jedes Gramm Masse, das in der Luft gehalten werden soll, kostet teures Kerosin. Kann man Flugzeuigrümpfe entwickeln, die maximale Leichtigkeit mit maximaler Stabilität verbinden? Welchen Beitrag kann hierzu die Kunststoffchemie, welchen die Metallurgie leisten? Kann der Chemiker bei seinen Entwicklungsaufgaben von der Natur lernen, etwa von dem seit Jahrmillionen bewährten Material der Vogelfeder?

Stichwort Umweltschutz

Wie sieht es mit der CO_2 -Belastung beim Fliegen aus? Gibt es CO_2 -neutrale Treibstoffe? Welche Rolle könnte der Wasserstoff spielen, welche das Helium? Was hat ausgerechnet der Harnstoff mit der Enteisung von Flugzeugen auf dem Rollfeld zu tun?

Zu diesen und ähnlichen Fragen werden in diesem Kapitel sowie im Kapitel 12 Versuche angeboten, aus denen sich Antworten dazu ableiten lassen.

Sicherheitshinweis

Alle chemischen Experimente dürfen nur unter Aufsicht eines Fachlehrers durchgeführt werden!

In den Versuchsbeschreibungen wird auf die Verwendung von Schutzbrillen, Handschuhen und Abzügen nur in besonders sicherheitsrelevanten Fällen hingewiesen. Grundsätzlich ist eine solche Prävention natürlich auch für andere Versuche sinnvoll!



Dädalus warnt Ikarus vor der Sonne. Von Carlo Saraceni, 1579–1620



Schutzbrille und andere Sicherheitsausrüstung sind für alle Versuche sinnvoll.

9.2 Federn: Leichtgewichte mit Potenzial



Vogelfeder

Schaut man einem Zugvogel hinterher, der sich auf eine Flugreise von vielen tausend Kilometern begibt, so stellt sich, wie bei einem Flugzeug auch, fast von selbst die Frage nach dem Material, das diese Leistung ermöglicht. Tatsächlich vereint eine Vogelfeder drei für die Luftfahrt wichtige Konstruktionsprinzipien:

- Leichtigkeit
- Festigkeit
- Flexibilität (s. auch Lerneinheit 6.2)

Beschäftigt man sich analytisch mit dem Material, dem die Feder ihre Eigenschaften verdankt, so macht man (k)eine überraschende Entdeckung: Moderne Kunststoffe, die auch im Flugzeugbau verwendet werden, besitzen in ihrem Aufbau große Übereinstimmungen mit der Substanz, aus der die Feder besteht.

Aufgabe 9.2.1

Erhitzen von Materialproben • Material: Reagenzgläser, Bunsenbrenner, Tropfpipette, zerkleinerte Proben von Federn, Haaren, Baumwolle und Nylon, verdünnte Natronlauge, Lackmuspapier neutral

Durchführung 1: Die vier Materialproben (maximal 0,5g) werden auf die Reagenzgläser verteilt. Feuchte Lackmuspapierstreifen werden jeweils geknickt und über den Rand der Reagenzgläser gehangen. Man erhitzt über der Brennerflamme (Abzug!).

Durchführung 2: Wie 1, aber ohne Lackmus, dafür mit Zugabe von drei Tropfen Natronlauge. Man prüft den Geruch der Dämpfe (Abzug, Fächeln, Schutzbrille!).

a| Werten Sie die Beobachtungen (Indikator, Geruch) aus und benennen Sie die Funktion der Natronlauge.

b| Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der elementaren Zusammensetzung der vier untersuchten Stoffe.

Aufgabe 9.2.2

Federn als Proteine • Material: Reagenzgläser, Becherglas 100 ml, Pipetten, Heizplatte, Federn, Eiweißlösung (oder Milch), Harnstoff, Natronlauge (10%), Kupfersulfatlösung (Fehling 1)

Durchführung 1: Die Eiweißlösung wird im Reagenzglas mit je 1 ml Natronlauge und Kupfersulfatlösung versetzt.

Durchführung 2: Die Feder wird zerkleinert und im Becherglas mit 20 ml Natronlauge versetzt (Schutzbrille!). Das Gemisch wird solange erhitzt (nicht gekocht), bis sich Teile der Feder auflösen. Nach dem Abkühlen werden 5 ml Kupfersulfatlösung hinzugegeben.

Durchführung 3: Zwei Spatelspitzen Harnstoff werden im Reagenzglas über der Brennerflamme vorsichtig bis zur Schmelze und Gasentwicklung erhitzt

Harnstoff
 $(\text{H}_2\text{N})_2\text{-C=O}$

(Abzug, Schutzbrille!). Die Schmelze wird zügig in ein zweites Reagenzglas gegossen, das ein Gemisch aus 1 ml Natronlauge und 1 ml Kupfersulfatlösung enthält.

- a) Entwickeln Sie unter Verwendung von Strukturformeln die Gleichung für die Kondensation zweier Harnstoffmoleküle. Markieren Sie die Atomgruppe, die beide Moleküle verbindet.
- b) Stellen Sie den Zusammenhang zwischen den Versuchsbeobachtungen und der Struktur der getesteten Stoffe her.
- c) Begründen Sie, warum Proteine sowohl lösliche Substanzen als auch Faserstoffe sein können.

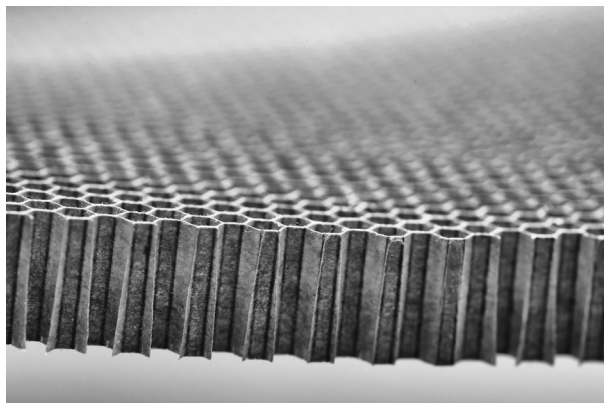
Aufgabe 9.2.3

Herstellung von Nylon • Vorbemerkung: Nylon selbst ist für die Luftfahrt von eher untergeordneter Bedeutung (z. B. Verwendung in Fallschirmen). Es ist jedoch leicht zu synthetisieren und steht hier stellvertretend für alle Polyamide, die das Bauprinzip des Proteins aufgreifen – vor allem Aramide – die im Flugzeug sogar im Triebwerk Verwendung finden.

Material: Reagenzglas, Bunsenbrenner, Glasstab, Waage, AH-Salz (fertige Mischung aus Adipinsäure und 1,6-Diaminohexan)

Durchführung: In einem Reagenzglas sind 3 g AH-Salz langsam bis zum Schmelzen zu erhitzen. Mit dem Glasstab lassen sich nach dem Umrühren aus der Schmelze Nylonfäden ziehen.

- a) Formulieren Sie mit Strukturformeln die Reaktionsgleichung.
- b) Stellen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Molekülstrukturen des Nylons und eines Proteins heraus.
- c) Stellen Sie Informationen zur Kunststoffgruppe der Aramide zusammen. Nennen Sie Einsatzgebiete von Aramiden im Flugzeugbau und begründen Sie, warum diese Stoffe trotz ähnlicher Grundstruktur die Proteine im Hinblick auf mechanische und thermische Belastbarkeit weit übertreffen.

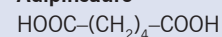


Waben aus Aramid sind leicht und trotzdem extrem fest und beständig.

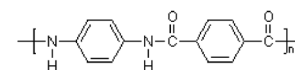
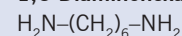


Fallschirm

Adipinsäure



1,6-Diaminohexan



Ausschnitt aus einem Aramid-Makromolekül

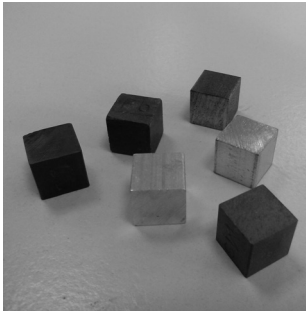
9.3 Der Stoff, aus dem die Flügel sind

Reichte zur Zeit Otto Lilienthals noch eine Konstruktion aus Holz und Baumwollgewebe, um den Menschen mehr oder weniger zuverlässig in die Lüfte zu befördern, so werden an das Material eines modernen Passagierflugzeugs ganz andere Anforderungen gestellt: Es soll in kurzer Zeit Beschleunigungen von 0 auf 800 km/h, Temperaturdifferenzen von -50°C bis $+50^{\circ}\text{C}$, gewaltige Druckunterschiede, harte UV-Strahlung, Sturmböen und Hagelkörner aushalten.

Kein Wunder, dass schon zur Zeit des ersten Weltkriegs die ersten Metallflugzeuge auftauchten und das anfangs verwendete Stahlblech nach und nach durch Aluminium ersetzt wurde. Stichwort: Gewichtseinsparung. Aus diesem Grund gewinnen auch die Leichtmetalle Lithium und Magnesium – z. B. als Legierungsbestandteile – für den Flugzeugbau zunehmend an Bedeutung.

Aufgabe 9.3.1

Vergleich der Dichten verschiedener Stoffe • Material: Dichtewürfel (1 cm^3) von Eisen, Aluminium, Magnesium, Holz, Kunststoff; Waage
Durchführung: Die Massen der Würfel werden mit der Waage bestimmt.



Dichtewürfel (1 cm^3)
verschiedener Materialien

- Stellen Sie die Ergebnisse in Form eines Säulendiagramms dar.
- Berechnen Sie die Masse eines zylindrischen Rumpfes von 60 m Länge und 5 m Durchmesser aus Eisenblech und aus Aluminiumblech von jeweils 2 mm Stärke.
- Informieren Sie sich über die Zugfestigkeit von Aluminium und Stahl und relativieren Sie mit dieser Information das Ergebnis aus b.

Aufgabe 9.3.2

Untersuchung des Korrosionsrisikos • Material: Aluminium-, Magnesium- und Kunststoffgranulat; sechs Reagenzgläser, Wasser, verdünnte Salzsäure, Phenolphthalein

Durchführung: Von jedem Stoff wird je eine Spatelspitze in zwei Reagenzgläser gegeben. Das eine Glas wird mit 5 ml Wasser und einem Tropfen Phenolphthalein, das andere mit 5 ml verdünnter Salzsäure gefüllt.

- Stellen Sie für die chemischen Vorgänge, die Sie beobachten, die Reaktionsgleichungen auf.
- Beurteilen Sie die drei Materialien im Hinblick auf ihre Korrosionsanfälligkeit in Anwesenheit von Wasser und Säure.

Aufgabe 9.3.3

Gewinnung von Leichtmetallen am Beispiel Lithium • Material: schwer schmelzbares Reagenzglas, Becherglas 250 ml, Bunsenbrenner, zwei Eisenelektroden (Stricknadeln), Stativmaterial, Gleichstromquelle, Lithiumchlorid, Phenolphthalein, Wasser

Durchführung: Das Reagenzglas wird über dem Brenner schräg ins Stativ eingespannt und 2 cm hoch mit Lithiumchlorid gefüllt. Die Eisenelektroden werden so im Reagenzglas fixiert, dass sie fast den Boden berühren und über Krokodilklemmen und Kabel mit der Gleichstromquelle verbunden sind. Sobald das Lithiumchlorid geschmolzen ist, wird mit einer Stromstärke von 2 A etwa drei Minuten lang elektrolysiert. Danach werden Brenner und Strom abgeschaltet und die Elektroden vorsichtig (Handschuhe, Schutzbrille!) aus der Schmelze herausgezogen. Lithium scheidet sich am Minuspol als Metallkügelchen ab. Solange dieses nicht größer als ca. 3 mm ist, kann es samt Elektrode in das wassergefüllte Becherglas getaucht und die entstehende Lösung mit Phenolphthalein geprüft werden.

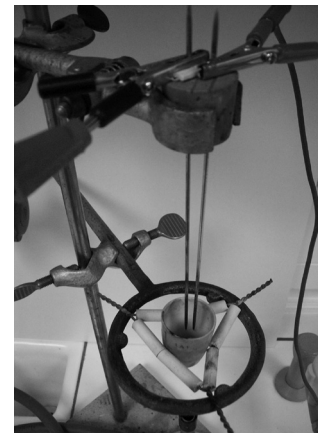
- Formulieren Sie für die Vorgänge im Reagenz- und Becherglas die Bruttogleichungen und die Redoxgleichungen mit Elektronenübergängen.
- Begründen Sie, warum die Leichtmetalle Lithium, Magnesium und Aluminium im Gegensatz zum Eisen nicht im Hochofen gewonnen werden können.
- Stellen Sie Informationen zur Gewinnung von Aluminium aus Bauxit und über den Stromverbrauch bei der Herstellung einer Tonne Reinaluminium zusammen. Beschreiben Sie das Recycling von Aluminium.

Aufgabe 9.3.4

Eloxieren von Aluminium • Material: Zwei Alubleche (ca. 10x1 cm), Becherglas 100 ml (schmale Form), zwei Bechergläser 50 ml; 2 M Schwefelsäure, 0,1 M Salzsäure, Krokodilklemmen, Kabel, Glühlampe, Gleichstromquelle

Durchführung: Die Bleche werden durch Umbiegen am Rand des Becherglases fixiert, so dass sie in die Säure eintauchen. Über die Klemmen und Kabel werden sie mit der Gleichstromquelle verbunden. Die Polung (+/-) wird mit wasserfestem Stift auf den Blechen notiert. Es wird zehn Minuten bei einer Spannung von 5 V und einer Stromstärke von 1–2 A elektrolysiert. Die Bleche werden danach abgespült, getrocknet und mithilfe der Glühlampe einem Leitfähigkeitsvergleich unterzogen. Anschließend werden die Bleche für eine Minute in die kleinen Bechergläser mit je 10 ml Salzsäure gestellt.

- Nennen Sie die Gleichungen für die Redoxvorgänge an Kathode und Anode.
- Vergleichen Sie Leitfähigkeit und Säureresistenz beider Bleche und begründen Sie die Ergebnisse.
- Stellen Sie Informationen zum Eloxieren als Korrosionsschutz und Anwendung des Verfahrens im Flugzeugbau zusammen.



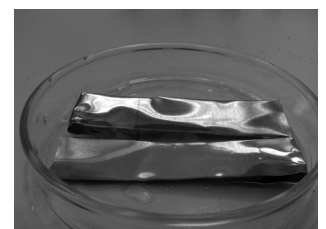
Apparatur zur Durchführung einer Schmelzflusselektrolyse

Sicherheitstipp

Auch wenn Lithium die schwächste Reaktivität aller Alkalimetalle besitzt, ist es – vor allem in größerer Menge – immer noch ein brisanter Stoff, der nur mit Pinzette oder Tiegelfzange angefasst werden darf. Wegen der starken alkalischen Reaktion (Laugenspritzer!) ist unbedingt eine Schutzbrille zu tragen!

Sicherheitstipp

Schutzbrille tragen!
Schwefelsäure frisst Löcher in die Kleidung!
Bei Hautkontakt sofort abspülen!



Eloxiertes Aluminium (vorne) mit matt-grauer Oberfläche. Zum Vergleich dahinter unbehandeltes Aluminium.

9.4 High Tech – Low Weight



Rohre aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK, links) und carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK, rechts)

Wer in eine Boeing 787 oder einen Airbus A350 steigt, der betritt eine riesige Kunststoffröhre. Was man beim legendären Trabi noch belächelte, nämlich Karosserieteile aus Plastik, mag bei manchem Fluggast unangenehme Gefühle auslösen. Schließlich geht es nicht um Modellflugzeuge, sondern um Maschinen, die 400 und mehr Passagiere sicher von Kontinent zu Kontinent befördern sollen. Schon die Überschrift deutet an, dass man mit High-Tech-Kunststoffen Gewicht und damit letztlich auch Treibstoff einsparen kann. Wenn die Stabilität darunter nicht leidet, steht dem Einsatz von carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) nichts mehr im Wege.

Aufgabe 9.4.1

Gewinnung von Carbonfasern • Material: Reagenzglas, Stopfen mit Ableitungsrohr, Stativ, Bunsenbrenner, faserhaltige Pflanzenteile (z.B. Bast, Bambus, Palmbblätter), Mikroskop

Durchführung: Arbeiten Sie im Abzug. Das Reagenzglas mit den Pflanzenteilen wird mit dem durchbohrten Stopfen samt Glasrohr verschlossen, ins Stativ eingespannt und erhitzt, bis die Dampfbildung nachlässt. Nach dem Abkühlen betrachtet man die Produkte bei kleinster Vergrößerung unter dem Mikroskop, ggf. auch mit einer Lupe.

- Beschreiben Sie die Veränderungen der Pflanzenteile und stellen Sie eine Vermutung über den Reaktionsablauf auf.
- Begründen Sie, warum bei o.g. Vorgang kein Luftzutritt erfolgen kann und darf.

Aufgabe 9.4.2

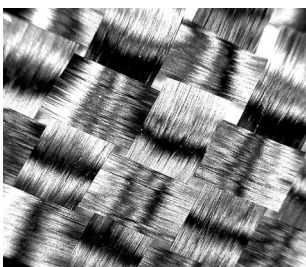
Herstellung eines glasfaserverstärkten Kunststoffs • Material: handelsüblicher Reparatur-Kit mit Polyester, Härter und Glasfasergewebe; Metall- und PVC-Rohr von ca. 4cm Durchmesser und 10cm Länge; Einwegschale, Einweghandschuhe, Folie, Pinsel, Waage, Öl

Durchführung: Das Arbeiten mit Flüssigpolyester und Härter sollte im Freien oder unter dem Abzug geschehen! Eines der Rohre wird mit wenig Öl eingerieben und mit Folie umwickelt. Auf diese wird die Glaswolle gewickelt. Man vermischt in der Schale eine löffelgroße Menge Polyester mit 2–5% Härter und trinkt die Glaswolle mit dem Gemisch (Pinsel). Nach dem Antrocknen können – auch über Kreuz – weitere Lagen Glaswolle aufgewickelt und getränkt werden. Nach dem Aushärten der letzten Lage schiebt man das entstandene Rohr herunter. Man vergleicht die Massen der drei Rohre (Metall, PVC, Glasfaser). Ist Carbonfasergewebe verfügbar, kann es wie Glasfaser verarbeitet werden.

- Beschreiben Sie die Funktion der Faser, des Polyesters und des Härters.
- Stellen Sie Informationen zur Verwendung von Mehrkomponenten-Kunststoffen im Flugzeugbau zusammen.



Carbonfaser unter dem Mikroskop



Carbonfasergewebe unter dem Mikroskop

9.5 Schweben – leichter als Luft

Dieser Menschheitstraum wurde zum ersten Mal mit den bemannten Heißluftballons der Gebrüder Montgolfier im Jahre 1783 verwirklicht. Sie machten sich dabei die Tatsache zunutze, dass jeder Körper in dem ihn umgebenden Medium (hier: Luft) eine Auftriebskraft erfährt, die der Gewichtskraft entgegenwirkt (s. auch Lerneinheit 7.2 Dynamischer Auftrieb). Je größer das Volumen des Körpers, desto größer sein Auftrieb, und je geringer seine Dichte, desto größer wird die Chance, dass die Kraft des Auftriebs die seines Gewichts überkompensiert, z. B. durch ein Gas, das leichter ist als Luft. Fazit: Er steigt nach oben. Der Vorteil: Da die Auftriebskraft statisch erzeugt wird, ist zum Fliegen keine Energiezufuhr notwendig. Allerdings benötigen sowohl das Aufheizen des Heißluftballons als auch die Erzeugung der Horizontalbewegung Energie.

Aufgabe 9.5.1

Heißluftballon • Die Funktionsweise eines nicht ungefährlichen Heißluftballons (s. Info-Kasten) lässt sich auch vergleichsweise risikofrei demonstrieren:

Material: Solar-Zeppelin aus schwarzer Folie, Wärmequelle

Durchführung: Die zu einer Seite hin offene Hülle füllt sich mit Luft, wenn man sie schnell auf dem Schulhof oder Flur hinter sich herzieht. Danach ist das offene Ende sofort zuzubinden. Die Hülle darf in diesem Stadium nicht prall gefüllt sein! Die schwarze Folie absorbiert Sonnenstrahlung, wodurch die Luft im Inneren aufgeheizt wird. Im Winter lässt sich dieser Effekt durch einen Heizkörper erreichen, der die Außenhaut des Zeppelins großflächig berührt. Im Freien muss der Zeppelin unbedingt mit einer Schnur fixiert sein, damit unkontrolliertes Herumfliegen verhindert wird.

- Schätzen Sie mithilfe der Zylinderformel das Volumen des Solar-Zeppelins und berechnen Sie die Stoffmenge der enthaltenen Luft bei 293 K und bei 343 K. Begründen Sie anhand der Differenz die Flugfähigkeit nach dem Erwärmen.
- Stellen Sie Informationen über Bau, Flugleistungen und Funktionsweise kommerziell genutzter Heißluftballons zusammen.

Versuch 9.5.2

Fliegen wie ein Zeppelin • Material: zwei Luftballons, Drachenschnur, Gramm-Gewichte, Waage, Druckgasflaschen mit Wasserstoff und Helium

Durchführung: Die Ballons werden an den Gasflaschen langsam bis zu einem Durchmesser von ca. 15 cm aufgeblasen.

- Ermitteln Sie mithilfe der Gewichte die maximale Nutzlast der Ballons.
- Nennen Sie die physikalische Bedingung, bei der der Ballon schwebt, d. h. weder sinkt noch steigt.
- Stellen Sie Informationen zu den Eigenschaften, zur Verwendung und zur Gewinnung von Helium zusammen.



Ballon der Gebrüder Montgolfier

Sicherheitshinweis

Die Verwendung von unkontrolliert fliegenden Modell-Heißluftballons („fliegende Laternen“) ist in den meisten Bundesländern verboten, da durch sie schon gefährliche Brände ausgelöst worden sind. In der Nähe von Flughäfen kann eine Genehmigung der deutschen Flugsicherung erforderlich sein – die aber in der Regel nicht erteilt wird. Immerhin kann ein Modell-Heißluftballon innerhalb von 20 min bis zu 1.500 m hoch steigen.

Alles „heiße Luft“?

Ein Gas dehnt sich bei einer Temperaturerhöhung von 1 K um $1/273$ seines Volumens aus. Bei einem Ballon mit nicht elastischer Hülle hat das einen Druckausgleich durch Ausströmen des „überschüssigen“ Gases zur Folge. Es befinden sich nun weniger Gasmoleküle im gleichen Volumen. Ist die Hülle elastisch und der Ballon verschlossen, vergrößert sich das Volumen bei gleicher Teilchenzahl. In beiden Fällen sinkt die Dichte des Gases.



Ein Zeppelin Anfang des 20. Jahrhunderts

9.6 Kein Eis auf Rumpf und Piste



Flugzeugenteisung
auf dem Rollfeld

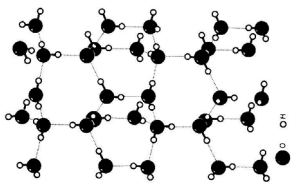
Kein Fluggast möchte, dass seine Maschine mit vereistem Leitwerk startet oder auf einer spiegelglatten Piste landet. Trotzdem soll sie auch an kalten Wintertagen pünktlich ans Ziel kommen. Die Chemie hilft ihm dabei, indem sie die Mittel bereitstellt, welche gefährliches (Glatt-)Eis auch bei Minusgraden verflüssigen. Allerdings kann das – wie im Falle des Streusalzes – mit unerwünschten Nebenwirkungen sowohl für die Natur als auch für das Material verbunden sein. Die chemische Industrie bemüht sich deshalb um die Produktion von Enteisungsmitteln, die möglichst umweltneutral sind und auch keine Korrosionsschäden hervorrufen.

Aufgabe 9.6.1

Wirkung von Enteisungsmitteln • Material: fünf Petrischalen aus Kunststoff; Natriumchlorid, Natriumacetat, Harnstoff, Ethanol (Brennspiritus), Glykol; Leitfähigkeitsmessgerät, Kühlschrank

Durchführung: Die Petrischalen sind ca. 3 mm hoch mit destilliertem Wasser zu befüllen und anschließend zusammen mit o. g. Chemikalien im Gefrierfach zu lagern. Sobald das Wasser gefroren ist, werden die Enteisungsmittel einzeln hinzugegeben (Feststoffe je zwei Spatelspitzen, Flüssigkeiten je 1 ml). Nach fünf Minuten ist die elektrische Leitfähigkeit der einzelnen Ansätze zu prüfen.

- Geben Sie die Formeln (bei organischen Substanzen: Strukturformeln) der Enteisungsmittel an und stellen Sie mit ihrer Hilfe die physikalisch-chemischen Ursachen der Enteisungswirkung dar.
- Begründen Sie unter Verwendung der Formeln die Ursachen der elektrischen Leitfähigkeit von Lösungen und deren Einfluss auf Korrosionsvorgänge.
- Erläutern Sie problematische Nebenwirkungen organischer Enteisungsmittel. Nennen und begründen Sie Alternativen (s. auch Lerneinheit 8.2).



Molekülgitter von Eis

Aufgabe 9.6.2

Nachhaltigkeit der Enteisung • Material: Glas- oder Kunststoffplatte, Glykol, Brennspiritus

Durchführung: Verstreichen Sie je 1 ml Spiritus und Glycerin nebeneinander auf einer schräg stehenden Platte. Prüfen Sie nach einer und fünf Minuten das Vorhandensein der beiden aufgetragenen Substanzen.

- Werten Sie Ihre Beobachtungen aus und leiten Sie daraus ein Qualitätskriterium für Enteisungsmittel ab.
- Stellen Sie in einer tabellarischen Übersicht die Zusammensetzung, Anwendungsschwerpunkte, Kosten und den Mengenbedarf von Enteisungsmitteln für Flugzeuge und Pisten dar (s. auch Lerneinheit 8.2).

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 Geruchsprobe als Ammoniak (NH_3) identifiziert wird. Die alkalische Reaktion beruht auf folgender Gleichung:
$$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{NH}_4^+ \text{OH}^- \text{ (Ammoniumhydroxid, dissoziiert)}$$
Durch Zugabe von Natronlauge (OH^- -Ionen) wird das Gleichgewicht der Reaktion zu den Edukten verschoben, so dass Ammoniak freigesetzt (und gerochen!) wird.

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

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) Aramide 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 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_{Eisenrumpf} = $7,9 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,884 \text{ m}^3 = 14,88 \cdot 10^3 \text{ kg} = 14,88 \text{ t}$
Masse_{Aluminiumrumpf} = $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1,884 \text{ m}^3 = 5,09 \cdot 10^3 \text{ kg} = 5,09 \text{ t}$
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
www.maschinenbau-wissen.de

Aufgabe 9.3.2

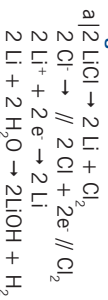
Dieser Versuch dient der Untersuchung des Korrosionsrisikos verschiedener für den Flugzeugbau relevanter Materialien. Aluminium und Magnesium reagieren mit Salzsäure unter Gasentwicklung und Auflösung; Magnesium sogar auch langsam mit Wasser. Die Bildung von Magnesiumhydroxid wird durch die Rotfärbung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

a) $2\text{Al} + 6 \text{HCl} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3 \text{H}_2$
 $\text{Mg} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$
 $\text{Mg} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 + \text{H}_2$

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



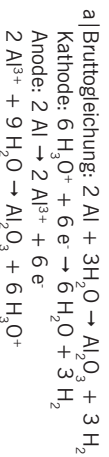
b) Aufgrund ihres unedlen Charakters lassen sich die genannten Metalle, die auf der Erde nur in Form ihrer Verbindungen vorkommen, nicht im Hochofen mithilfe herkömmlicher Reduktionsmittel in reiner (atomarer) Form gewinnen. Die Reduktion erfolgt daher mithilfe des elektrischen Stroms (s. o.). Wegen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

Weitere Informationen unter: 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

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

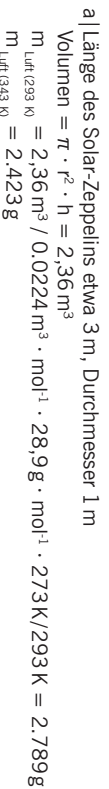
Bezugsquelle z. B. „presto Reparatur-Box“. Mit dem leicht verfügbaren Material können die Schül-ler auch eigene Verbundwerkstoffe herstellen, indem sie z. B. Verstärkungen aus Metall integrieren.

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 Carbonfaser der Glasfaser eindeutig überlegen ist. Der Massenvergleich mit PVC- und Metall-rohren zeigt, dass mit den Verbundwerkstoffen GFK und CFK eine hohe Gewichtssparnis möglich ist. Der Reaktionsmechanismus ist in den meisten Fällen eine radikalische Polymeri-sation, die nach der Zugabe des Härters startet. Der Härter – z. B. Dibenzoylperoxid – 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

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.



Die Dichte der Luft bei 0. g. Temperaturen lässt sich leicht errechnen, wenn man 0. 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.ballonfahrt.org/ratgeber/die-geschichte-der-ballonfahrt/
Diese Internetseiten bieten unter den Buttons „Geschichte“ und „Rekorde“ Wissenswertes 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 ₂ :	1
H ₂ :	2
He:	4
Luft:	28,9

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

Dichten (g/cm³) von Gasen bei 273 K:

H ₂ :	0,00009
He:	0,00018
Luft:	0,00128

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

b) Gewichtskraft = Auftriebskraft

c) www.chemgapedia.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: CH₃COONa

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

Harnstoff: (H₂N)₂C=O

Glykol: HO-CH₂-CH₂-OH

Ethanol: CH₃CH₂OH

Die Wirkung ähnelt der der beiden Natriumsalze: Auch hier gibt es aufgrund der polaren Gruppen (C=O, -NH₂ 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⁺, Cl⁻ bzw. Na⁺, CH₃COO⁻

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 Acetat-anion.

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 Einwirkungs-dauer auf gereinigten oder gerundeten Flächen (z. B. Flugzeugrümpfen).

b) Allgemeine Informationen zum Thema Enteisungsmittel:

www.wien.gv.at/umweltschutz/boekauf/pdf/staubbelastung.pdf