

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 Flugzeugrumpfe 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 0,5 g) 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.

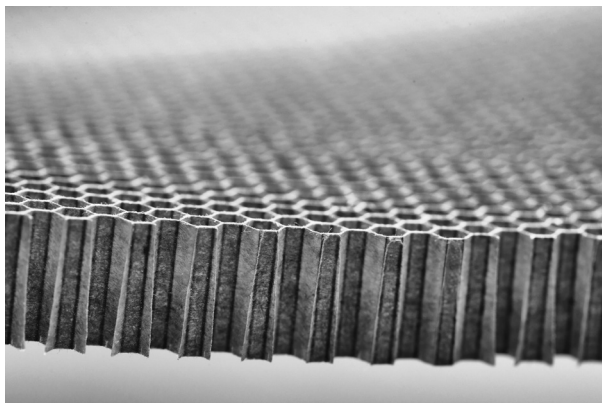
Aufgabe 9.2.3

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.

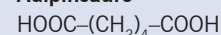


Waben aus Aramid sind leicht und trotzdem extrem fest und beständig.

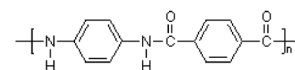
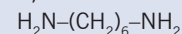


Fallschirm

Adipinsäure



1,6-Diaminohexan



Ausschnitt aus einem Aramid-Makromolekül

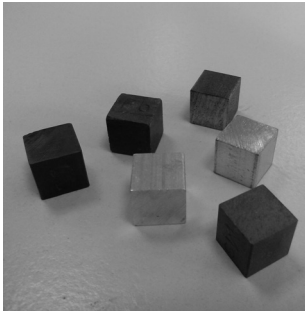
9.3 Der Stoff, aus dem die Flügel sind

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

- a| Stellen Sie die Ergebnisse in Form eines Säulendiagramms dar.
- b| 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.
- c| 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.

- a| Stellen Sie für die chemischen Vorgänge, die Sie beobachten, die Reaktionsgleichungen auf.
- b| 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.

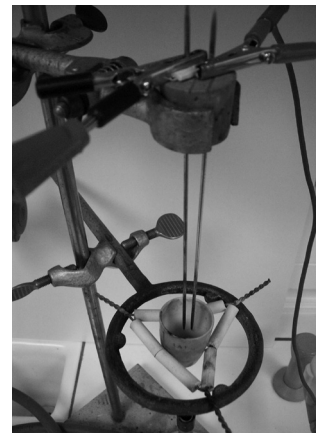
- a) Formulieren Sie für die Vorgänge im Reagenz- und Becherglas die Bruttogleichungen und die Redoxgleichungen mit Elektronenübergängen.
- b) Begründen Sie, warum die Leichtmetalle Lithium, Magnesium und Aluminium im Gegensatz zum Eisen nicht im Hochofen gewonnen werden können.
- c) Stellen Sie Informationen 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. 10 x 1 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.

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



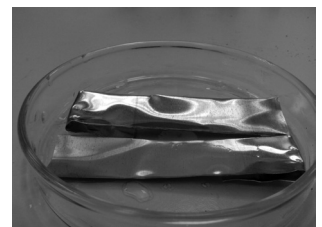
Apparatur zur Durchführung einer Schmelzflusselektrolyse

Sicherheitstipp

Auch wenn Lithium die schwächste Reaktivität aller Alkalimetalle besitzt, ist es – vor allem in größerer Menge – immer noch ein brennender Stoff, der nur mit Pinzette oder Tiegelfange 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 Ableitungsrühr, 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.



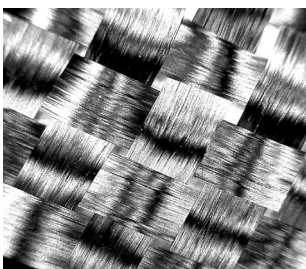
Carbonfaser unter dem Mikroskop

- a| Beschreiben Sie die Veränderungen der Pflanzenteile und stellen Sie eine Vermutung über den Reaktionsablauf auf.
- b| 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; Einwegschiene, 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.



Carbonfasergewebe unter dem Mikroskop

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

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.



Ballon der
Gebrüder Montgolfier

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.

- a| 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.
- b| 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.

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

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



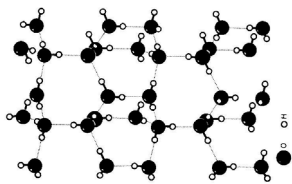
Flugzeugenteisung
auf dem Rollfeld

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.



Molekülgitter von Eis

- 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).

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).