

12.1 Fliegen und Umwelt – ein Widerspruch in sich?



Flugziel CO₂-Reduktion:
Moderner Flugzeugbau
und optimierte Routen
machen es möglich.

Die mehr als 25.000 Verkehrsmaschinen, die weltweit im Einsatz sind, tragen etwa 2 Prozent zu den Treibhausgasen bei, die als Hauptverursacher des Klimawandels gelten. Das ist zwar nur zirka ein Sechstel dessen, was Autos weltweit in die Luft blasen, diese Zahl lässt sich dennoch weiter verbessern.

Die Hersteller, vor allem die Marktführer Airbus und Boeing, arbeiten deshalb schon lange daran, ihre Flugzeuge leichter und effizienter zu machen. Und das nicht ohne Erfolg, denn vor 40 Jahren verbrauchte ein Linienflugzeug noch mehr als doppelt so viel Kerosin wie heute. Auch die Fluggesellschaften sind an neuen, sparsameren Maschinen interessiert, weil der Treibstoffverbrauch ein großer Kostenfaktor für sie ist.

Ein anderer Umweltaspekt ist der Fluglärm. Vor allem in Flughafennähe, wo die startenden und landenden Maschinen eine geringe Flughöhe haben, fühlen sich Anwohner vom Lärm belästigt. Lärmschutz oder Klimaschutz? Die Abwägung ist immer ein Kompromiss. Die Zwickmühle besteht darin, dass sich die Auswirkungen des Fluglärms auf den Menschen nur reduzieren lassen, indem möglichst viele Orte umflogen werden. Das führt zwangsläufig zu Umwegen. Sie machen die Routen nicht nur länger und damit weniger wirtschaftlich, sondern verursachen auch einen größeren Treibstoffverbrauch – und damit einen zusätzlichen CO₂-Ausstoß, der sich negativ auf das Klima auswirkt.

Die folgenden Lerneinheiten führen mit Übungen und Beobachtungen in die vielfältigen Umweltaspekte des Fliegens ein.



Zum Greifen nah: Bei Start und Landung steigt die Lärmbelastung am Boden durch die geringe Flughöhe.

12.2 Zero Emission – Wasserstoff im Tank

Obwohl Wasserstoff ein Gas ist, könnte er bei emissionsfreien Antrieben so etwas wie der berühmte Stein der Weisen sein. So ist es folgerichtig, dass auch Flugzeughersteller in diese Richtung forschen. Für eine im wahrsten Sinne des Wortes saubere Umweltbilanz sollte die zur Produktion des Wasserstoffs benötigte Energie aus regenerativen Quellen, bevorzugt Wind und Sonne, stammen. Im Flugzeug selbst wäre sowohl eine thermische Nutzung des Wasserstoffs (analog zum Kerosin) als auch eine elektroenergetische Nutzung über eine Brennstoffzelle denkbar. Die Forschung konzentriert sich derzeit auf die zweite Möglichkeit.

Zu Beginn der folgenden Versuchsreihe wird veranschaulicht, dass Wasserstoff nicht nur ein Energieträger ist, sondern dass diese Energie auch genauso gut kontrollierbar ist wie z. B. die Flamme eines Gasherds. Diese Demonstration ist wichtig, weil das energetische Potenzial des Wasserstoffs häufig nur aus unkontrollierter Freisetzung, der Knallgasexplosion, bekannt ist.

Der nächste Versuch zeigt am Beispiel Lichtquelle – Solarzelle – Elektromotor, dass (Sonnen-)Licht in elektrischen Strom umgewandelt werden kann. Dieser sorgt im dritten Experiment für die elektrolytische Produktion von Wasserstoff, der dann entweder verbrannt wird oder mittels einer Brennstoffzelle (Versuch 12.2.4) wiederum elektrischen Strom z. B. zum Antrieb eines Propellers erzeugt. Damit wäre das Öko-Flugzeug vom Prinzip her startbereit.

Aufgabe 12.2.1

„Gezähmter“ Wasserstoff • Material: Wasserstoffflasche, Waschflasche, Winkelrohr mit Spitze (Düse), Reagenzglas, Schlauch- und Stativmaterial, Streichhölzer
Durchführung: Die Waschflasche wird zu vier Fünfteln mit Wasser gefüllt. Der lange Schenkel ist mit der Gasflasche, der kurze mit dem Winkelrohr zu verbinden. Als Rückschlagsicherung wird ein lockerer Kupfer- oder Stahlwollebausch in das Rohr eingebracht. Anschließend ist ein schwacher Wasserstoffstrom einzustellen, dessen Stärke anhand der Blasenbildung in der Waschflasche kontrolliert werden kann. Nach etwa zehn Sekunden, in denen die Restluft verdrängt wird, hält man ein brennendes Streichholz an die Düse. Über die Wasserstoffflamme wird kurz ein möglichst kaltes Reagenzglas gestülpt.

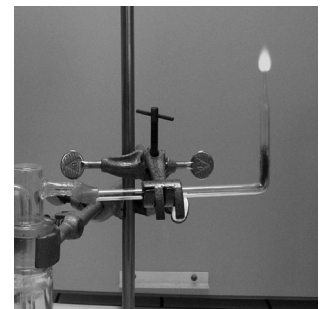
- Geben Sie die Reaktionsgleichung an und stellen Sie den Zusammenhang zu den Veränderungen am Reagenzglas her.
- Vergleichen Sie den Brennwert pro kg von Wasserstoff mit dem von Erdgas (vereinfacht: Methan) und Benzin. Begründen Sie, warum sich aus dem Brennwert noch nicht die Eignung eines Stoffs als (Flugzeug-)Treibstoff ableiten lässt.

Abgas CO₂-frei?

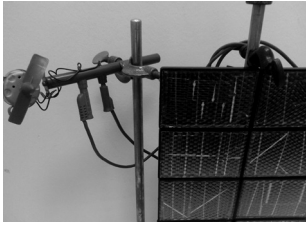
In Lerneinheit 12.3 wird ein Experiment zum CO₂-Nachweis in Abgasen beschrieben.

Sicheres Arbeiten mit Wasserstoff

Schutzscheibe und Schutzbrillen verwenden! Bildung von Knallgasgemisch durch Abzug oder offenes Fenster verhindern!
Vor dem Entzünden Apparatur lange genug mit Wasserstoff „spülen“, um die Restluft vollständig zu verdrängen!



Wasserstoffflamme

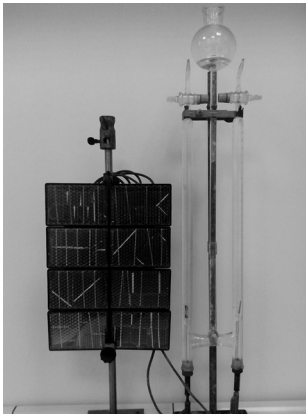


Solarpropeller

Aufgabe 12.2.2

Aus Licht wird Strom • Material: Solarzelle, Kabel, Multimeter oder Solar-Motor mit Propeller, Overheadprojektor falls die Sonne nicht scheint
Durchführung: Die Solarzelle wird zur Lichtquelle hin ausgerichtet und mit zwei Kabeln mit dem Multimeter (mV, mA) bzw. dem Elektromotor verbunden.

- a| Notieren Sie Ihre Beobachtungen und beschreiben Sie die Funktion einer Silicium-Solarzelle.
- b| Stellen Sie Informationen zum Flugzeug „Solar Impulse“ zusammen und nennen Sie Vor- und Nachteile von solarbetriebenen Flugzeugen.



Solarelektrolyse

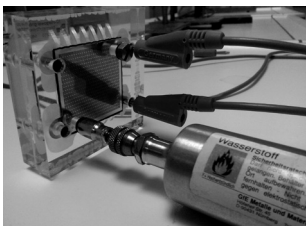
Aufgabe 12.2.3

Wasserstoffgewinnung mit Solarstrom • Definition: Spaltet man mithilfe elektrischer Energie Wasser in seine beiden Bestandteile, so spricht man von einer Elektrolyse.

Material: Hofmannscher Wasserzersetzungsapparat, Solarzelle, Kabel, Lichtquelle, Pipette, verdünnte Schwefelsäure, Wasser

Durchführung: 100 ml Wasser werden mit 5 ml verdünnter Schwefelsäure versetzt und in den Wasserzersetzungsapparat gefüllt. Beide Elektroden werden durch Kabel mit der Solarzelle verbunden, die wie bei Versuch 12.2.2 zur Lichtquelle ausgerichtet ist.

- a| Fertigen Sie eine Versuchsskizze an und notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- b| Ermitteln Sie anhand der Stärke der Gasentwicklung die Polung der Apparatur und begründen Sie Ihre Festlegung.
- c| Führen Sie Nachweise für an Kathode und Anode entstandene Gase durch.



Brennstoffzelle

Aufgabe 12.2.4

Wasserstoff und Brennstoffzelle • Will man den Wasserstoff direkt zur Erzeugung elektrischer Energie nutzen, so benötigt man eine Brennstoffzelle. In dieser findet eine „kalte“ Oxidation statt. Das heißt, die Reaktionsenergie wird nicht in Form von thermischer, sondern von elektrischer Energie abgegeben, die wiederum einen Elektromotor mit Propeller speisen kann.

Material: Brennstoffzelle, Wasserstoffspeicher, Kabel, Elektromotor mit Propeller, Multimeter

Durchführung: Der Wasserstoff des Speichers wird in die Brennstoffzelle eingeleitet. Kurz darauf kann mit dem Messgerät Spannung und Stromstärke ermittelt werden. Die Kabel werden nun an den Motor angeschlossen.

- a| Stellen Sie die Vorgänge in einer Brennstoffzelle dar.
- b| Informieren Sie sich über Möglichkeiten der Wasserstoffspeicherung.

12.3 CO₂ – Das Unsichtbare sichtbar machen

Alle reden von einem Gas, das niemand je gesehen hat, weil es unsichtbar ist: CO₂. Der Wasserdampf, den ein Triebwerk ausstößt, lässt sich wenigstens erahnen, kristallisiert er doch zu den feinen Eispartikeln der Kondensstreifen. Zwar kann auch Kohlenstoffdioxid gefrieren (Trockeneis), aber nur bei so tiefen Temperaturen, dass ein Flugzeug keinen Trockeneisnebel hinter sich her zieht.

Zwei Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes gehen auf den Luftverkehr zurück. Diese Zahl lässt sich verbessern: Organisationen wie die DFS leisten zwar, wo möglich, ihren Beitrag zum klima- und umweltgerechten Handeln, der Luftverkehr muss aber trotzdem pünktlich und vor allem sicher abgewickelt werden.

Auch das Abwägen zwischen Lärmschutz und Klimaschutz ist immer ein Kompromiss. Fluglärm lässt sich nur reduzieren, wenn möglichst viele Orte umflogen werden. Das führt zwangsläufig zu Umwegen mit zusätzlichem CO₂-Ausstoß, der sich negativ auf das Klima auswirkt.

Aufgabe 12.3.1

CO₂-Nachweis in Verbrennungsgasen

Material: Porzellanschale, feuerfester Glastrichter, Stativmaterial, Waschflasche, Wasserstrahlpumpe, Trockenschrank, Benzin, Kalziumhydroxidlösung, verdünnte Salzsäure, Wasserstoffflasche

Durchführung: Der Trichterschafft wird über einen Schlauch mit der Waschflasche und diese mit der Wasserstrahlpumpe verbunden. Die Waschflasche zur Hälfte mit Kalziumhydroxidlösung füllen. In die Porzellanschale gibt man 1 ml Benzin, das bei laufender Pumpe entzündet wird. Den Niederschlag abfiltrieren und bei 100 °C trocknen. Anschließend in einem Reagenzglas mit einigen Tropfen Salzsäure versetzen. Man hält ein brennendes Streichholz in das Glas. Erweiterung: Statt Benzin wird Wasserstoff verbrannt. Der Trichter wird hier über der Düse mit der Flamme angebracht.

- Formulieren Sie die Gleichungen für die Verbrennung des Benzins (hier: Heptan, C₇H₁₆) und die Reaktion in der Waschflasche.
- Geben Sie auch die Gleichung für die Reaktion der Salzsäure mit dem Niederschlag an und begründen Sie Ihre Beobachtungen im Hinblick auf die Streichholzflamme unter Berücksichtigung der Molmassen (M_{Luft} = 29 g/mol, M_{CO₂} = 44 g/mol).
- Diskutieren Sie, inwieweit Kalziumhydroxid großtechnisch als CO₂-Absorber geeignet ist. Informieren Sie sich hierfür über seine Herstellung.
- Das Trockeneis-Reinigungsverfahren kann auf dem Flugfeld ganzjährig angewendet werden. Welche Vorteile hat es gegenüber einem Hochdruckreiniger auf Wasserbasis?

CO₂ kontra CO₂

Ausgerechnet mithilfe von CO₂ soll der CO₂-Ausstoß von Triebwerken vermindert werden. Die Idee: Man bläst Trockeneispartikel mit hohem Druck in ein Triebwerk und reinigt es so von Verbrennungsrückständen. Dadurch sinkt der Verbrauch und die CO₂-Emission.



Trockeneis mit Nebel



Bei der Verbrennung von Benzin entsteht in der Waschflasche ein weißer Niederschlag. Im Hintergrund die Wasserstrahlpumpe.

Aufgabe 12.3.2

CO₂ lässt Pflanzen wachsen • Material: Petrischalen, Alufolie, Quarzsand oder Glaswolle, Kressesamen, Trockenschrank, Waage

Durchführung: Ansatz 1: 25 Kressesamen werden auf einer Alufolie verteilt, gewogen und dann bei 180°C für zwei Stunden in den Trockenschrank gegeben. Danach erfolgt die zweite Wägung.

Ansatz 2: Man lässt Kressesamen mit der gleichen Masse wie bei Ansatz 1 über Nacht in Wasser vorquellen. Dann in einer offenen Petrischale auf einem Substrat aus feuchtem Quarzsand oder feuchter Glaswolle verteilen. Wenn die Pflanzen eine Höhe von ca. 10cm erreichen, vollständig entnehmen, Sandkörner und Fasern abspülen und auf Alufolie wie bei Ansatz 1 in den Trockenschrank überführen. Auch hier wird anschließend gewogen.



Kressekeime

- a| Interpretieren Sie die stofflichen Veränderungen, die sich unter den Bedingungen des Trockenschanks ergeben haben.
- b| Vergleichen Sie die Massen beider Ansätze nach der Entnahme aus dem Trockenschrank. Begründen Sie mögliche Differenzen.
- c| Sammeln Sie Informationen zum Ablauf der Fotosynthese im Allgemeinen und zur Funktion des Kohlenstoffdioxids im Besonderen. Stellen Sie Zusammenhänge zu Ihren Versuchsergebnissen her.

Aufgabe 12.3.3

CO₂ unter Wasser • Material: zwei hohe Bechergläser oder Glaszylinder, zwei Reagenzgläser, zwei Glastrichter (die Trichter dürfen umgestülpt nicht aus dem Glasgefäß herausragen), Sprudelwasser, abgekochtes Leitungswasser, Wasserpest-Pflanzen, Lampe

Durchführung: Man füllt das Sprudel- bzw. Leitungswasser separat in die Bechergläser und wartet, bis aus dem Sprudelwasser keine Gasblasen mehr aufsteigen. Jeweils eine Wasserpest-Pflanze wird unter den umgedrehten Trichter im Becherglas geschoben. Der Trichter muss vollständig vom Wasser bedeckt sein. Man stülpt bei jedem Ansatz ein wassergefülltes Reagenzglas über den Trichterhals, so dass austretendes Gas pneumatisch aufgefangen werden kann. Beide Ansätze sind gleichstark zu belichten, dürfen sich durch die Lampe aber nicht erwärmen.

Wenn sich ein Reagenzglas wenigstens zur Hälfte mit Gas gefüllt hat, wird es mit der Glimmspanprobe geprüft.

- a| Vergleichen und interpretieren Sie die Ergebnisse beider Ansätze.
- b| Stellen Sie Informationen über die Nutzungsmöglichkeiten von Wasserpflanzen zur CO₂-Absorption zusammen.

12.4 Bio-Kerosin – Aufwind durch Rapsfelder?

Beim Segelflug stehen Felder nicht gerade im Verdacht, Aufwind zu erzeugen. Wie aber sieht es bei der kommerziellen Luftfahrt aus? Hier könnten Raps und andere Ölfrüchte im übertragenen Sinne durchaus für Aufwind sorgen: in Form von nachhaltig erzeugtem Bio-Kerosin. Die Lufthansa hat im Sommer 2011 bereits den Probetrieb mit einem entsprechend betankten Airbus aufgenommen und inzwischen erfolgreich beendet. Grund genug, die wichtigsten Produktionsschritte im Experiment nachzuvollziehen.

Aufgabe 12.4.1

Teil 1: Gewinnung von Pflanzenöl aus Samen

Material: Raps- oder Sonnenblumensamen, Mörser, Pistill, Seesand, Filterpapier, Benzin

Durchführung: Die Samen werden mit Sand vermisch und in der Mörserschale homogenisiert. Das Filterpapier wird auf die Oberfläche des Breis gedrückt.

Beobachtungen: Auf dem Filterpapier entsteht ein dauerhafter, transparenter Fleck (einfacher Fettnachweis).

Erweiterung: Der Brei wird in einem Reagenzglas mit Benzin vermischt und mindestens eine Stunde stehen gelassen. Die Flüssigkeit wird in eine Petrischale gegossen, damit das Benzin verdunstet (Abzug). Der viskose Rückstand wird mit einem Glasfaserbausch (Docht) aufgenommen und entzündet.

Teil 2: Aus Pflanzenöl wird Bio-Kerosin

Material: Rückflusskühler mit Heizplatte/Rührer, Thermometer, Liebigkühler, Destillierkolben 100 ml, Erlenmeyerkolben 50 ml, Scheidetrichter, Rapsöl, Natriumhydroxid, Methanol, Universalindikator

Durchführung (unter dem Abzug): Eine Spatelspitze Natriumhydroxid wird unter Rühren in 25 ml Methanol gelöst. Die entstandene Lösung wird mit dem gleichen Volumen Rapsöl im Destillierkolben mindestens eine Stunde auf ca. 60 °C erhitzt (Rückflusskühler). Nach dem Abkühlen wird mit Salzsäure neutralisiert und noch vorhandenes Methanol (Siedepunkt 65 °C) abdestilliert. Das im Rückstand vorhandene Glycerin und Kochsalz wird durch Waschen mit Wasser entfernt und im Scheidetrichter von einer nur noch sehr schwach viskosen Flüssigkeit (Bio-Kerosin) abgetrennt.

- Führen Sie den Versuch wie angegeben durch (Schutzbrille!) und protokollieren Sie ihn (mit beschrifteter Zeichnung).
- Vergleichen Sie die Viskosität des Rapsöls und des Reaktionsprodukts und testen Sie außerdem dessen Brennbarkeit.
- Stellen Sie die Bruttogleichung für die Reaktion des Methanols mit dem Rapsöl auf.
- Stellen Sie nach Anfertigung einer Stichwortsammlung Pro- und Contra-Argumente für folgende Aspekte der Bio-Kerosin-Herstellung einander gegenüber: Nachhaltigkeit, CO₂-Bilanz, Energiebilanz, Flächennutzung



Auch Sonnenblumensamen lassen sich zur Bio-Kerosin-Herstellung nutzen.

Recycling

Das Benzin lässt sich zurückgewinnen, wenn man die Lösung unter Verwendung eines Liebigkühlers destilliert.

Problem:

Sprit zu zähflüssig

Die Viskosität (Zähflüssigkeit) des reinen Pflanzenöls ist für ein Triebwerk um den Faktor 10 zu hoch. Deshalb muss das Öl chemisch verändert werden.

Tipp zur Viskosität

Geben Sie in zwei Reagenzgläser je 0,1 ml der zu vergleichenden Flüssigkeiten und neigen Sie dann die Gläser um den gleichen Winkel nach unten. Am Fließverhalten lässt sich ein Viskositätsunterschied deutlich erkennen.

12.5 Billigflieger – Vom Monopol zur Marktwirtschaft

Der Flugverkehr und die daran beteiligten Fluggesellschaften haben sich in den letzten Jahrzehnten strukturell und technisch erheblich geändert. Aus einer recht exklusiven Reise- und Transportmöglichkeit wurde ein Massentransportmittel. Die Super Constellation, die erste Boeing 707 mit Düsentriebwerken oder der A380 können als Meilensteine dieser Entwicklung genannt werden.



Boeing 707



Airbus A380



Super Constellation

Doch nicht nur die technische Entwicklung, auch eine strukturelle Änderung prägten den Markt. Während früher entsprechend dem nationalstaatlichen Gedanken fast jedes Land „seine“ Fluggesellschaft hatte, wurde von den USA ausgehend der Markt zunehmend liberalisiert und wesentlich größer. Entscheidende Faktoren hierfür waren die Wettbewerbsvorstellungen in den USA und in Europa, die zunehmende Kaufkraft der Bevölkerung, die europäische Integration der Volkswirtschaften sowie zeitlich folgend die ökonomische Globalisierung vieler Wirtschaftsbereiche. Dazu kam die Öffnung vieler neuer Märkte in Osteuropa durch den Zusammenbruch der UdSSR.

Neben den klassischen Airlines wie Aeroflot, Lufthansa, Swissair, Austrian Airlines oder Air France entstanden nun neue Fluggesellschaften wie Ryanair, Sun Air u. a., die als wesentliches Marketinginstrument einen Niedrigpreis für das Flugticket einsetzten. Anfangs belächelt entwickelten sie sich zu wichtigen Marktteilnehmern. Durch die Konkurrenz der Markteinsteiger untereinander sowie mit den etablierten Platzhirschen kam es zu regelrechten Preisschlachten. Ein Berliner Politiker beschrieb die Situation in einer TV-Sendung damit,

dass die Taxifahrt zum Flughafen teurer war als der Preis für das Flugticket von Berlin nach London. Der Begriff Billigflieger steht für diese Gruppe der Anbieter am Markt.

Billigflieger

Billigflieger (Low-Cost Airlines) können mit folgenden Eigenschaften beschrieben werden:

- niedriger Preis für das Flugticket
- Direktflüge von Stadt zu Stadt
- Flughafen meist außerhalb großer Zentren
- Buchung per Internet
- Verpflegungsservice in der Kabine nur gegen Aufpreis
- keine First Class oder Business Class
- keine Kundenbindungsprogramme
- keine Allianzen mit anderen Fluggesellschaften

Weitere Kostensenkungsmaßnahmen

Niedrigere Löhne für Pilotinnen und Piloten sowie Begleitpersonal werden in Tarifverträgen vereinbart. Bei manchen Fluggesellschaften müssen die Flugbegleiter auch die Kabine nach der Landung reinigen, um mit neuen Passagieren möglichst schnell wieder in die Luft zu kommen. Während die großen Flughäfen wie Frankfurt oder München nicht genügend Lande- oder Startmöglichkeiten (Slots) für alle Airlines anbieten können, sind kleine Flughäfen wie Nürnberg oder Augsburg dankbar für die zusätzliche Nachfrage. Damit können wesentlich günstigere Lande- und Servicegebühren ausgehandelt werden.

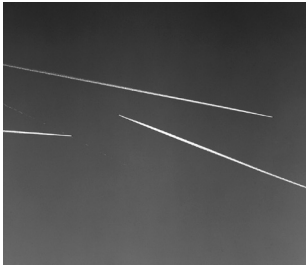
Während anfangs die Unterschiede zwischen der klassischen Airline und einem Billigflieger primär über den Preis und den minimalen Service klar erkennbar waren, lassen sich zwischenzeitlich aufgrund des Wettbewerbs die Grenzen nicht mehr eindeutig festlegen. So haben die großen Fluggesellschaften ebenfalls Billig-Airlines als Töchter gegründet.

Manche Airlines in Deutschland versuchen mit Zeitarbeitskräften die tariflich vereinbarten Lohnkosten zu senken.

Aufgabe 12.5.1

Vergleichen Sie durch Internetrecherche die Kosten für einen Hin- und Rückflug von Berlin nach Moskau/Domodevodo mit unterschiedlichen Fluggesellschaften. Ist ein westeuropäischer Billigflieger aufgrund niedriger Preise erkennbar?

12.6 Greenwashing – Ökomeilen statt Bonusmeilen?



Kondensstreifen am Himmel



Greenwashing: Aufforstung als „Ablasszahlung“

Alle Abgas-Komponenten eines Triebwerks – sogar das Wasser in Form von Kondensstreifen – haben klimatische Auswirkungen. Am stärksten im Fokus steht hierbei das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid. Dessen Einfluss auf die Erderwärmung ist in der oberen Atmosphäre, in der sich Jets nun einmal bewegen, noch stärker, als wenn es am Boden emittiert wird. Also belastet jeder Flug, sofern es kein Gleitflug ist, die Umwelt.

Für Passagiere, die nicht mit schlechtem Gewissen fliegen wollen, wurde das Greenwashing erfunden – ein boomender Markt. Grundidee ist die Wiedergutmachung der Umweltbelastung durch Geldzahlung an ein Projekt, z. B. zur Aufforstung von entwaldeten Hängen oder für die Bereitstellung von Solar Kochern in Entwicklungsländern. So sollen entweder CO_2 -Emissionen in gleicher Höhe, wie durch den Flug verursacht, vermieden (Beispiel Solarkocher statt Feuer) oder die gleiche Menge CO_2 absorbiert werden (Beispiel Aufforstung). Per Emissionsrechner kann sich jeder Passagier online seinen persönlichen CO_2 -Ausstoß und die Höhe seiner „Ablasszahlung“ ausrechnen lassen. Namhafte Airlines unterstützen diese Form der Kompensation z. B. in Form von „Greenmiles[®]“, die bezahlt werden – das Gegenteil der viel beworbenen Bonusmeilen für Vielflieger.

Aufgabe 12.6.1

Wie viel CO_2 -Ausstoß verursacht mein Mallorca-Flug? • Die folgenden Angaben basieren auf vereinfachten Durchschnittswerten:

Flugstrecke nach Mallorca, einfach: 2.000 km

Flugzeug: Boeing 747 (Jumbo-Jet)

Kerosinverbrauch: 26.000 l

Zahl der Passagiere: 300

Summenformel Kerosin: $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$

Dichte Kerosin = $0,8 \text{ g/cm}^3$

- a| Stellen Sie die Gleichung für die vollständige Verbrennung des Kerosins auf.
- b| Berechnen Sie für den Hin- und Rückflug die Masse und Stoffmenge des verbrannten Kerosins und des dabei entstandenen Kohlenstoffdioxids.
- c| Rechnen Sie den Kerosinverbrauch in Liter pro Passagier und die CO_2 -Emission in Kilogramm pro Passagier um.
- d| Stellen Sie Informationen zum Kerosinverbrauch nach folgenden Kriterien zusammen: Flugzeugtyp, Beladung, Flugstrecke

Wie viel CO₂ schluckt eine Pflanze?

Die Antwort ist nicht einfach, weil z. B. die Eiche, die man heute pflanzt, erst in 250 Jahren ausgewachsen und damit zur optimalen CO₂-Assimilation in der Lage ist. Deswegen arbeitet man mit Durchschnittswerten. Verwendet man zur Berechnung einjährige Pflanzen, z. B. Kartoffeln, lässt sich die CO₂-Assimilationsleistung besser veranschaulichen.

Beispiel 1: Eine 90-jährige Buche von 25m Höhe und 35cm Stammdurchmesser in Brusthöhe hat eine Trockenmasse von 750kg aufgebaut. Dazu musste sie 1,25t CO₂ aufnehmen. In einem Buchenwald stehen pro Hektar 60 Bäume. Eine ausgewachsene Buche von 150 Jahren bindet pro Jahr etwa 200 kg CO₂.

Beispiel 2: Die Kartoffel bindet pro Quadratmeter Anbaufläche und Jahr etwa 2,4 kg CO₂.



Je dichter ein Wald ist, desto mehr CO₂ schluckt er.

Aufgabe 12.6.2

- a| Berechnen Sie die durchschnittlich pro Jahr gebundene Masse an CO₂ der Buche aus dem Beispiel 1 und setzen Sie diesen Wert in Relation zur CO₂-Emission pro Passagier des Mallorca-Flugs.
- b| Vergleichen Sie die jährliche Assimilationsleistung einer 90-jährigen Buche und der Kartoffel pro Hektar.
- c| Beurteilen Sie die ökologische Relevanz von Kompensationsangeboten, die sich auf den Anbau einjähriger Nutzpflanzen beziehen würden.
- d| Stellen Sie Angebote und Bewertungen von Anbietern zusammen, die CO₂-Kompensationen für Flugreisen verkaufen.

12.7 Fliegen und Lärm – der Kampf um die Dezibels (dB)

Immer wieder berichten die Medien von Demonstrationen wegen des Fluglärms. Die Anwohner von Gebieten in Flughäfen­nähe fordern leisere Flugzeuge und ein Nachtflugverbot. Dass das Thema nicht nur eine kleine Gruppe von Bürgern betrifft, zeigt eine Studie des Umweltbundesamts, die von fünf Millionen hochgradig belastigten Bürgern in Deutschland spricht.

Wie Flugrouten entwickelt werden

Wird ein Flughafen neu gebaut oder um eine Piste erweitert, müssen neue Routen geplant werden, um die zusätzliche Landebahn an das europäische Streckennetz anzubinden. In Deutschland macht das die deutsche Flugsicherung. Sie hat dabei keine eigenen Interessen, sondern ist lediglich Planungsträger, der per Luftverkehrsgesetz verpflichtet ist, einen sicheren, geordneten und flüssigen Luftverkehr zu gewährleisten. Neben strengen nationalen Vorgaben ist die DFS an internationale Richtlinien bei der Planung von Flugrouten gebunden – das gilt auch für den Aspekt der Lärm­minderung, der von Anfang an in die Planung einfließt.



Die Lärmbelästigung bei Start und Landung kann vorab berechnet werden.

Die Entwicklung neuer Flugrouten und deren Verfahren lässt sich in mehrere Phasen gliedern: Zunächst erarbeitet die DFS nach flugbetrieblichen Aspekten und Sicherheitskriterien Routen, deren Basis die ICAO-Richtlinien (s. auch Lerneinheit 1.2) sind und die genau auf die Bedingungen am jeweiligen Flughafen zugeschnitten werden. Daraus ergeben sich dann verschiedene Routenvarianten, die im nächsten Schritt auf ihre Lärmauswirkung, die Länge der Flugwege und den damit verbundenen CO₂-Ausstoß (s. auch Lerneinheit 12.3) überprüft werden.

Ein von der DFS speziell entwickeltes Simulationsprogramm berechnet dazu mithilfe eines physikalischen Modells die jeweilige Schallbelastung am Boden. Ein wichtiges Maß für die Gesamtbelastung der Bevölkerung durch Fluglärm ist die Bevölkerungsdichte eines Gebiets: Je mehr Menschen von einer Route betroffen sind, desto höher ist bei gleichem Schallpegel die Belastung durch die entsprechende Routenvariante. Auf diese Weise kann die Lärmbelastung verschiedener Varianten simuliert und in die Abwägung eingebunden werden.

Sobald die DFS ihre interne Vorplanung abgeschlossen hat, beginnt der Genehmigungsprozess: Als erstes werden die Routenvarianten der örtlichen Fluglärmkommission vorgestellt. Diese Kommission besteht in der Regel aus Vertretern der betroffenen Gemeinden, der Fluggesellschaften und des Flughafenbetreibers. Sie berät die Flugsicherung und kann Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen gegen Fluglärm und gegen Luftverunreinigungen durch Flugzeuge aussprechen, die anschließend von der DFS geprüft werden. Unter

Abwägung aller Argumente spricht sich die Flugsicherung dann für eine Route aus. Sie folgt dabei vier Prinzipien:

- Die Flugroute muss mit den hohen Standards zur Sicherheit im Flugverkehr vereinbar sein.
- Sie muss die ordnungsgemäße und flüssige Betriebsdurchführung sicherstellen.
- Sie muss die Interessen der vom Fluglärm betroffenen Bevölkerung angemessen berücksichtigen.
- Sie muss im Hinblick auf die Flugroutenlänge vertretbar sein.

Das Ergebnis wird dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung zur Genehmigung vorgelegt und dort nochmals geprüft. Auch dem Umweltbundesamt wird Gelegenheit zu einer Stellungnahme gegeben.

Lärm – Wellen in der Luft

Lärm ist physikalisch gesehen das Eintreffen von mechanischen Wellen auf den menschlichen Körper. Dabei wird Schallenergie durch die Schwingungen der Luftmoleküle auf den menschlichen Körper übertragen.

Der Schalldruck wird in Bel (nach Alexander Graham Bell) und in der logarithmischen Dimension Dezibel gemessen. Eine Verdopplung des Schalldruckpegels entspricht daher 10 dB. Zwei vorbeifahrende Autos mit je 80 dB bewirken also eine Steigerung auf 90 dB, nicht etwa auf 160 dB. Neben der Intensität (dB) ist auch die Häufigkeit und Dauer eines Lärmereignisses wichtig. Daraus kann man den äquivalenten Dauerschallpegel berechnen. Er wird in dB(A) angegeben.

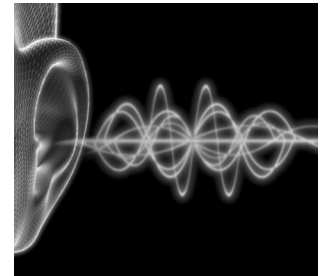
Aufgabe 12.7.1

Warum gibt es im Weltall keine Geräusche?

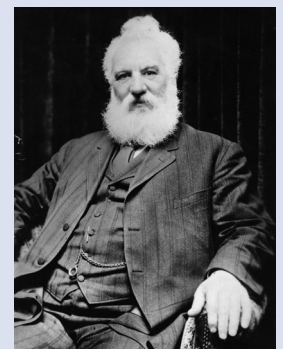
Aufgabe 12.7.2

Gegenüber den Düsenjets der 1960er Jahre sind die neuen Maschinen etwa 30 dB leiser. Berechnen Sie den Prozentsatz der Lärmreduzierung, wenn der angenommene Wert für die 1960er Jahre 100 Prozent sei.

Unabhängig von physikalischen Berechnungen hängt die Bewertung des Schalls entscheidend von der Tages- oder Nachtzeit sowie der persönlichen Situation ab. Ein Flughafenmitarbeiter wird die Geräusche, die ein Flughafen erzeugt, anders bewerten als die Leiterin eines Kindergartens, der in der Ein- oder Abflugschneise liegt.



Lärm: Schallwellen hoher Amplitude treffen auf das Ohr.



Alexander Graham Bell,
1847–1922

Geräuschquellen an einem Flugzeug

Während Verkehrsflugzeuge in den meisten Flugphasen kaum zu hören sind, sind sie insbesondere im Abflugkorridor wegen der vollen Triebwerkleistung ein starker Schallproduzent und werden von den Anwohnern als störende Lärmquelle angesehen.

Aufgabe 12.7.3

Der Landeanflug einer Maschine erfolgt nahezu im Leerlauf der Triebwerke, so dass diese als Lärmquelle weitgehend ausfallen. Dennoch entsteht Lärm. Überlegen Sie, welche neuen Lärmquellen im Landeanflug, insbesondere in der Endphase, entstehen.

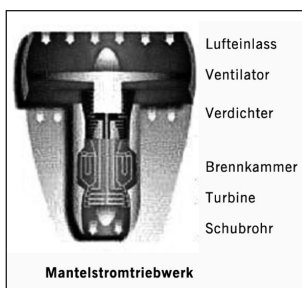
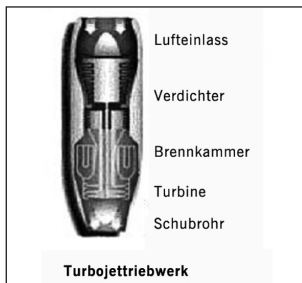
Da die Zahl der Flugbewegungen trotz erheblicher Vergrößerung der Flugzeuge wegen der steigenden Nachfrage nach Luftfracht- und Passagierkapazität zunimmt, befassen sich viele Unternehmen, Flugplatzbetreiber und die Wissenschaft mit der Problematik der Lärmreduzierung. Verschiedene Maßnahmen wurden ergriffen:

Steilerer Abflug

Aufgrund der gestiegenen Triebwerksleistung können die Winkel, mit denen die Flugzeuge abheben, vergrößert werden. Damit wird der Lärmteppich kleiner.

Konstruktive Veränderung der Triebwerke

Nach Newton gilt $actio = reactio$. Je kleiner der Durchmesser eines Triebwerks ist, wie bei den ersten Boeing 707, desto stärker muss die Luft beschleunigt werden, um mit der $reactio$ das Flugzeug in die Luft zu bringen. Dies bewirkt einen entsprechend starken Lärm. Gelingt es, den Durchmesser der Triebwerke zu vergrößern, so muss dieselbe Luftmasse wesentlich langsamer beschleunigt werden, um dieselbe $reactio$ zu erzeugen. Die Schallmessung ergibt wesentlich weniger Dezibel. Durch eine aerodynamische Veränderung der Triebwerkschaufeln sowie durch die Fertigung von lückenlosen Verkleidungen bzw. Lufteinläufen erreicht man ebenfalls positive Effekte.



Altes Turbojettriebwerk im Vergleich zum modernen Mantelstromtriebwerk

Aufgabe 12.7.4

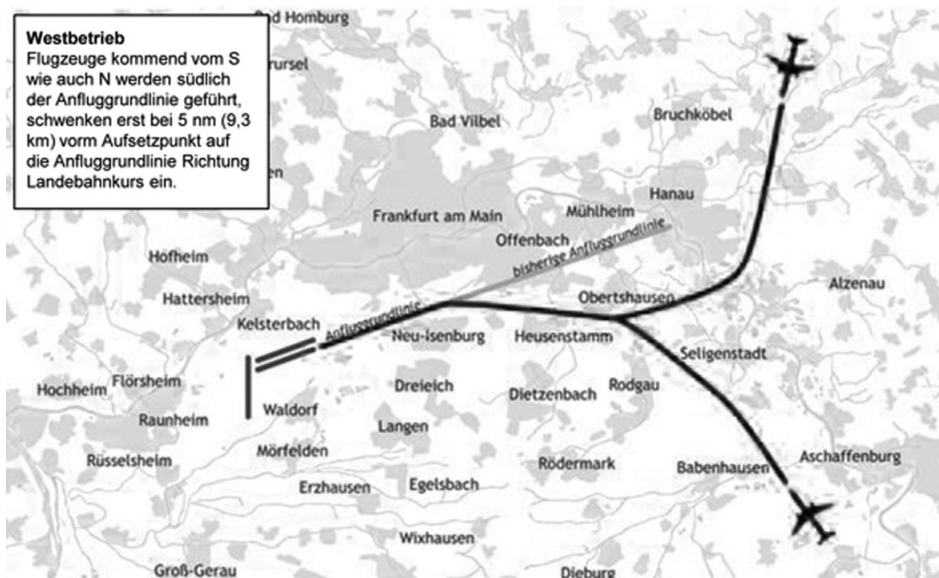
Wie kann man bei Propellerantrieben die Lärmentwicklung reduzieren?

Steilere Anflugwinkel

Ein steiler Anflugwinkel bewirkt, dass die Flugzeuge in größerer Höhe ihre Klappen ausfahren und damit am Boden einen kleineren Lärmteppich erzeugen. Bei einer Erhöhung des Anstellwinkels von 3° auf $5,5^\circ$ erhofft man sich eine Reduzierung der Lärmbelästigung um 4,6 dB (knapp 25 Prozent).

Späteres Einkurven in den Landepfad

Dadurch können Städte oder Gebiete mit dichter Besiedlung im Anflugbereich umflogen werden. Voraussetzung ist eine sehr gute Navigationshilfe am Flughafen und im Flugzeug. Dieses Verfahren wird als „Segmented Approach“ bezeichnet und wurde am Flughafen Frankfurt im Jahre 2011 erprobt. Das Einkurven in die Anfluggrundlinie erfolgt nicht schon 21 km, sondern erst 9,3 km vor der Landebahn. Mit dieser Methode können die Städte Mainz (bei Ostwind) oder Hanau und Offenbach (bei Westwind) umflogen werden.



Neues Anflugverfahren bei Westwind am Flughafen Frankfurt

Gebührendifferenzierung

Flugzeuge mit alten und lauten Triebwerken zahlen eine höhere Landegebühr. Das führt zu Nachrüstungen bzw. Neuanschaffungen durch die Fluggesellschaften.

Lärmmonitoring

Auf dem Flughafen und im Umkreis werden viele automatische Lärmmessstationen betrieben, deren Ergebnisse für wissenschaftliche Untersuchungen und politische Entscheidungen verwendet werden.

Drehung der Start- und Landebahn

Bei kleineren Flugplätzen kann man sogar die Richtung der Lande- und Startbahn verändern, um möglichst wenige Anwohner zu stören. Diese Variante hat man z. B. am Adolf Würth Airport in Schwäbisch Hall gewählt.

Unter www.edty.de/de/airport/fluglaerm.php findet sich eine ausführliche Beschreibung von Maßnahmen zur Lärmreduzierung.



Mikrofon-Feld im Anflugbereich