

Lehrerinformationen Modul 3

Das dritte Modul vertieft gezielt die Inhalte der Aerodynamik. Die Aerodynamik selber ist in der Physik anzusiedeln, da sie schwerpunktmäßig auf die Gesetze der Strömungslehre und die Formgebung entsprechender Körper eingeht. Die Technik bedient sich im Sinne einer Produktoptimierung der Aerodynamik, um z. B. durch Formgebung sparsame oder schnelle Fahrzeuge zu entwickeln.

Neben der Erarbeitung der physikalischen Grundlagen der Strömungslehre werden die verschiedenen Nutzungsaspekte bei Fahrzeugen aufgezeigt, die diesen Erkenntnissen häufig entgegenstehen. Ein erster Schwerpunkt des Moduls liegt in den breit angelegten Versuchen zur Strömungslehre. Ein weiterer Schwerpunkt befasst sich mit dem Bau eines Windkanals, den die SuS mit einer eigens dafür konstruierten Styroporschneidemaschine selbst herstellen. Mit dem Windkanal sind die entstehenden Strömungen an den eigenen Fahrzeugmodellen der SuS darstellbar. Durch entsprechende Experimente lassen sich ein möglicher Strömungsabriss und entstehende Verwirbelungen sichtbar machen und mit der Optimierung der Fahrzeugmodelle verringern. Dabei wird zur Vereinfachung auf die räumliche Dimension der Fahrzeugmodelle verzichtet.

Das Modul endet mit der Erarbeitung der Grenzen des aerodynamischen Gestaltens. Dabei werden die Randbereiche der Aerodynamik insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten und durch den unverhältnismäßigen Energieanstieg diskutiert. Optimierungsaspekte aus der Bionik schlagen einen Bogen zu dem bereits bearbeiteten Thema.

Zu den einzelnen Arbeitsblättern

AB 10 „Wie sich Form und Funktion beeinflussen“

Designer unterscheiden bei Automobilen in One-Box-, Two-Box- und Three-Box-Fahrzeuge. Die Unterscheidung kann den Musterantworten in den Lösungen entnommen werden. Thematisiert werden könnte in diesem Zusammenhang auch ein nachgeordneter (Un-)Sicherheitsaspekt früherer One-Box-Autos: „Das Knie ist deine Knautschzone.“ Neben den Schwachpunkten der Modelle werden die Baukastensysteme im Fahrzeugbau diskutiert, die mittlerweile nahezu jeder Fahrzeughersteller verwendet.

AB 11 „Grundlagen der Strömungslehre“

Dieses Arbeitsblatt knüpft zunächst an die Erfahrungen der SuS beim Fahrradfahren an. Darauf aufbauend werden verschiedene Radfahrtsituationen diskutiert und unabhängig von abstrakten physikalischen Herleitungen der Zusammenhang von Luftwiderstand zu Angriffsfläche und Geschwindigkeit qualitativ erfasst. Der quadratische Zusammenhang zwischen Luftwiderstandskraft F_w und Geschwindigkeit v wird qualitativ und im Diagramm halb quantitativ erarbeitet.

Praxistipp

Zur Vertiefung und mit geeigneten Schülergruppen lassen sich die Diagramme („Wie hoch ist die Dauerleistung?“) diskutieren, die auf der USB-Karte als Folie abgelegt sind.



AB 12 „Versuche zur Strömungslehre“

Die Versuche sind bewusst umfangreich gehalten worden. Durch eigene technische Experimente sollen die SuS ein möglichst umfassendes und breites Wissen zur Thematik aufbauen. Bei allen praktischen Arbeiten müssen die SuS eine Einweisung an den benötigten Werkzeugen und Maschinen erhalten. Die jeweils benötigten Materialien werden in den Stücklisten der Versuche beschrieben.

Praxistipp

Es wird – so weit es die Zeit zulässt – empfohlen, alle technischen Experimente zu behandeln. AB 12 eignet sich dabei besonders gut für eine Binnendifferenzierung. Sie können beispielsweise die technischen Experimente gruppendifferenziert durchführen lassen und die Ergebnisse hinterher in Form eines Vortrages dem Plenum zugänglich machen.



Luftwiderstandskraft bzw. Strömungswiderstandskraft F_w

Der Strömungswiderstand ist von der Querschnittsfläche A des Körpers, seiner Form und der Geschwindigkeit v abhängig. Damit ergibt sich für die Kraft F_w , die den Körper bremst: Luftwiderstandskraft: $F_w = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho_L \cdot A \cdot v^2$ (ρ_L : Dichte der Luft)

Der sogenannte c_w -Wert hängt von der Form des Körpers ab. Er ist umso größer, je höher die Kraft ist, die die Luft auf den Körper ausübt, wenn sie um diesen herumfließt.

Der c_W -Wert wird experimentell über Windkanalmessungen bestimmt oder über Computersimulationen berechnet. Im Windkanal wird die Luftwiderstandskraft gemessen; bei bekannter Querschnittsfläche (Stirnfläche) A , der Luftdichte ρ_L und der im Windkanal eingestellten Luftgeschwindigkeit lässt sich die Formel nach dem c_W -Wert auflösen.

(1) Teilversuch: Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Fläche

In diesem technischen Experiment soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand bei gleicher Anströmgeschwindigkeit mit Luft von der Fläche eines Körpers abhängt. In Absprache mit anderen MINT-Fächern, z. B. Mathematik/ Informatik, wird eine Excel-Tabelle zur Erfassung und Protokollierung der Fläche und zur Erstellung des Diagramms empfohlen. Bei der Umsetzung der Messanordnung ist auf die möglichst reibungsarme Drehung des Stabes und die Einhaltung der rechten Winkel zu achten.

(2) Teilversuch: Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Form

In diesem technischen Experiment soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand bei gleichbleibender Antriebskraft durch die Form eines Gegenstands im Wasser beeinflusst wird. Da bei den Versuchen mit den vorgegebenen geometrischen Formen die Form bzw. die Querschnittsfläche nicht exakt konstant bleibt, lassen sich in allen Schülerexperimenten nur qualitative Aussagen ableiten. Auch in diesem Versuch empfiehlt sich die Auswertung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm.

(3) Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung I

Um den Zusammenhang von Luftwiderstand und Beschleunigung an einfachen Körpern zu messen, wird ein leichter Ball aus unterschiedlichen Höhen fallengelassen. Die Fallzeit wird jeweils mit der Stoppuhr oder einer Filmsequenz dokumentiert. Durch den Versuch und die Auswertung des entstandenen Graphen wird die Beschleunigung eines Körpers im freien Fall verdeutlicht.

(4) Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung II

Mit technischen Hilfsmitteln soll in Teamarbeit der c_W -Wert für einige einfache geometrische Grundformen bestimmt werden. Lichtschranken oder Videokameras können eingesetzt werden, um die Fallzeiten exakt zu bestimmen.

Die Fallexperimente mit und ohne Seilführung führen direkt zum abstrakten, dimensionslosen c_W -Wert. Es ist zu bedenken, dass die SuS mehr Zeit benötigen, das technische Experiment zu durchdringen als es durchzuführen.

Mit der Kamera in einem Smartphone kann man beispielsweise entweder aus der Einzelbildfolge oder mithilfe von Videoauswertungssoftware Datenpaare ermitteln.

Die Auswertung der Fallzeiten mit einer Filmsequenz bzw. den entstehenden Einzelbildfolgen (einfacher Handyfilm) lässt sich z. B. mit der Auswertungssoftware „Tracker“ vornehmen: www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker. Die Anleitung des Freeware-Programms befindet sich zum Kopieren auf der USB-Karte.

Im Tutorial wird erklärt, wie man mit dem Programm t - h -Diagramme oder t - v -Diagramme für die Geschwindigkeit erstellen kann. Einfacher ist es, das Programm nur für folgende Punkte zu nutzen:

- um den Film des Fallexperiments zu laden,
- um die Anzeige für das Bild auf die Zeit umzustellen (Bild 1: links unten auf dem Bildschirm mit der Maus auf die rote 000 klicken, dann auf Display und dann auf Zeit),

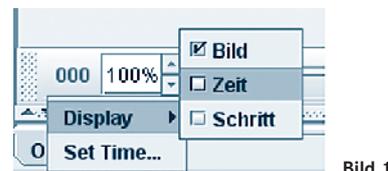


Bild 1

- um mit den Pfeiltasten die Bilder durchzugehen und die Zeiten in das Diagramm zu übertragen, zu denen der Körper eine der Markierungen passiert,
- um den Nullpunkt der Zeit auf das Bild des Films zu setzen, bei dem der Körper losgelassen wird (Bild 2: das schwarze Dreieck unter der Zeitleiste verschieben).

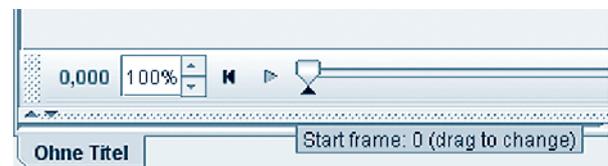


Bild 2

Bild 3 zeigt, wie der Bildschirm bei der Auswertung eines Films aussehen könnte. Links unten sieht man die Zeit, auf der Zeitleiste ist der Nullpunkt der Zeit mit dem kleinen schwarzen Dreieck nach rechts verschoben, das aktuelle Bild zeigt die Fallstrecke nach ca. einer halben Sekunde.

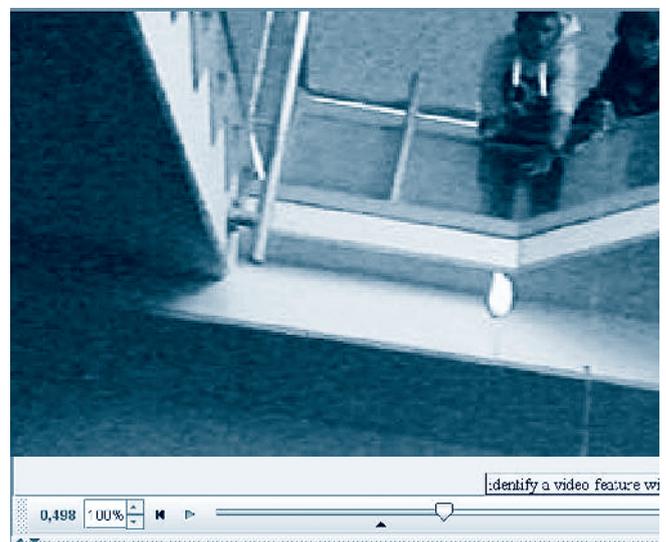


Bild 3

AB 13 „Strömungswiderstände“

Mit dem Arbeitsblatt werden die Grundlagen für das Erfassen der Strömungswiderstände von Körpern gelegt. Zu Beginn erarbeiten die SuS den Zusammenhang von Druck und Energie. Danach folgen einfache Versuche (Versuch mit verschiedenen Luftballongrößen, Versuche mit einer Lufrakete und ein Auftriebsversuch mit einem Papierstreifen).

Energie ist im Gegensatz zum Druck eine Erhaltungsgröße. Daher ist es günstig, bei Vergleichen, Veränderungen oder Prozessen die Energiebilanz zu betrachten. Die SuS sollten den Energieerhaltungssatz aus der Physik kennen (im Vorfeld abklären), jedoch kennen sie noch nicht viele Energieformen und deren Berechnung.

Zusätzlicher Versuch zum Strömungswiderstand („Formen der Natur“)

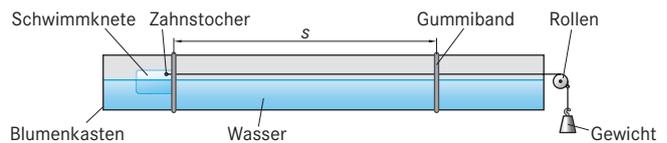
Die Überlegungen für Fahrzeuge nach dem One-, Two-, Three-Box-System und die Analogien aus dem Tierreich können im „Blumenkastenversuch“ unterstützt werden. Dazu werden verschiedene Tierformen (Kofferschiff, Wal, Hai) aus Schwimmknete geformt und mit einem gleichbleibenden Gewicht durch ein Wasserbad gezogen. Die Ermittlung der zugehörigen Zeiten zum Durchlaufen der Strecke ermöglichen eine Aussage über die Stromlinienform der Körper. Es ist darauf zu achten, dass bei allen Versuchskörpern die Masse/das Volumen der Schwimmknete gleichbleibt. Der größte Anteil des Druckwiderstands bei stumpfen Körpern (z. B. Automobil) liegt jedoch auf der „Rückseite“ des Körpers, entsteht also durch Überdruck!

Benötigte Materialien: Schwimmknete (ca. 200 ml), Hakengewicht (10 g bis 20 g), Blumenkasten aus Kunststoff (80 cm bis 100 cm), Bindfaden, Akkubohrschrauber, Bohrer (4 mm), 2 Zahnstocher, 2 Rollen, Stativ, Stoppuhr, 2 Gummibänder, Tischklemmen, Gießkanne, Schlauch, Eimer.

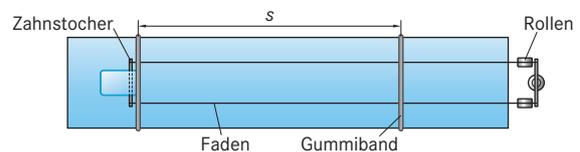
Der Versuch lässt sich folgendermaßen durchführen:

- In mittlerer Höhe werden seitlich zwei Löcher in den Blumenkasten gebohrt, welche ca. 2 cm weniger Abstand haben, als der Zahnstocher lang ist.
- Vor dem Blumenkasten werden mittels Tischklemmen zwei Rollen befestigt, welche den gleichen Abstand wie die Bohrungen haben und parallel zum Kasten verlaufen.
- Über beide Rollen läuft ein Bindfaden, welcher im Kasten und hinter den Rollen an den Enden des Zahnstochers befestigt ist.
- Innen wird der Zahnstocher fest an die Schwimmknete gedrückt und außen wird bifilar ein kleines Gewicht angehängt, um die Knete zu ziehen.
- Die beiden Gummibänder werden über den Kasten gespannt. Sie kennzeichnen die zurückzulegende Strecke s vom „Bug“ des Schwimmkörpers aus gemessen.

Seitenansicht



Draufsicht



- Der Kasten wird bis kurz unter die Lochhöhe aufgefüllt und nach der Versuchsdurchführung mit den verschiedenen Körperformen durch einen Schlauch wieder sicher geleert.

AB 14 „Herstellung und Gebrauch eines Styroporschneiders“

Styropor ist ein preiswerter sowie einfach und schnell zu bearbeitender Werkstoff, der sich gut im Unterricht einsetzen lässt. Oftmals aber lösen sich beim Schneiden einzelne Teilchen vom Styropor, was zu unschönen Ergebnissen führt. Daher eignet sich ein Styroporschneider mit einem heißen Draht besser. Professionelle Geräte sind in der Regel teuer und können immer nur von einer Person gleichzeitig bedient werden. Mit einfachen Mitteln lässt sich jedoch ein funktionstüchtiger Styroporschneider selber herstellen.

Der Bau des Styroporschneiders gliedert sich in zwei Teile: der Herstellung des Gestells und der Herstellung des Schneiddrahts. Die entsprechende Materialliste steht auf dem Arbeitsblatt. Einzelne Materialien können kostengünstig im Handel, z. B. bei Conrad Electronic (www.conrad.de) bezogen werden; komplette Bausätze bei PCuS (pcus@stefan-kruse.de). Der benötigte Schmelzdraht für 2 AA-Zellen sollte 0,1 mm Durchmesser haben.

Beim Arbeiten mit dem Styroporschneider ist darauf zu achten, dass die SuS sich am Styroporschneider nicht verbrennen und keine Dämpfe einatmen (Räume gut lüften)!



Praxistipp

Lassen Sie die SuS einfache Übungen mit dem Schneider durchführen. Hier wird als Beispiel vorgeschlagen, die eigenen Initialen aus Styropor zu schneiden, aber auch andere Beispiele – je nach Vorliebe der SuS – sind denkbar.

AB 15 „Bau eines Windkanalmodells“

Um die Aerodynamik von Körpern im Unterricht auch praktisch zu behandeln, werden u. a. Wassereperimente oder Strömungseinrichtungen mit Bindfäden verwendet. Möglich ist auch die Nutzung eines virtuellen Windkanals mit entsprechender Software (CFD-Software, siehe Exkurs). Professionelle Anlagen mit eingebrachtem Rauch sind groß und zu teuer. Mit wenigen Bauteilen lässt sich jedoch ein funktionierender Windkanal im Unterricht selber bauen. Die Materialliste dafür befindet sich auf dem Arbeitsblatt. Der komplette Bausatz kann bei PCuS (pcus@stefan-kruse.de) bezogen werden.

Styropor dient als Basis für den Kanal. Für eine gleichmäßige Strömungsrichtung des eingebrachten Rauchs wird eine lamellenartige Luftschleuse aus Trinkhalmen gefertigt. Um die Luftströmungen sichtbar zu machen, benötigt man Rauch. Zigarettenrauch ist nicht unterrichtsgesund und Rauch aus einer Nebelmaschine ist zu aufwendig in der Herstellung, außerdem zu heiß. Als ideales Medium hat sich Trockeneis erwiesen. Dieses ist recht günstig im Internet, z. B. über Ebay, zu erwerben. Bitte beachten Sie: 5 kg Trockeneis sind trotz Isolierbox nur 2–3 Tage lagerfähig, weil das Material verdampft. Trockeneis ist festes Kohlenstoffdioxid (CO₂), das unter normalem Luftdruck bei -78 °C sublimiert. Es ist schwerer als Luft und sammelt sich deshalb am Boden. In Konzentrationen von >5% wirkt es auch bei noch ausreichendem Sauerstoffgehalt der Atemluft erstickend. Deshalb auf gut belüftete Räume achten! Außerdem darf es nicht in direkten Kontakt mit Haut kommen (Kälteverbrennung!).



AB 16 „Strömungen sichtbar machen“

Das Arbeitsblatt führt den Begriff des c_W -Werts ein und verdeutlicht die den Strömungswiderstand beeinflussenden Größen. Ein kurzer Exkurs in das Gesetz von Bernoulli macht die Zusammenhänge von Druck und Geschwindigkeit fassbarer. Im weiteren Verlauf des Arbeitsblattes wird beschrieben, wie mit dem selbst gebauten Windkanal (AB 15) Strömungen sichtbar gemacht werden können. Die SuS testen ihre eigenen Fahrzeugmodelle im Styropor-Windkanal und können dabei auch die entstehenden Verwirbelungen beobachten. Erfahrungen aus der Unterrichtspraxis zeigen, dass den SuS viel Zeit zum Experimentieren, Dokumentieren und vor allem Optimieren der eigenen Fahrzeugmodelle eingeräumt werden sollte.

Mit der letzten Aufgabe erfolgt der Bezug zu einer computergestützten Strömungsauswertung an einem Automobil. Die Aufgabe ist auch ohne CFD-Software zu bearbeiten (Computational Fluid Dynamics; dabei werden computergestützt mit Modellgleichungen Windkanalberechnungen simuliert).

Möchten Sie mit Ihren SuS tiefer in das Thema einsteigen ist es sinnvoll, mit einer CFD-Software die später im Modul 4 erstellten virtuellen Fahrzeugmodelle und deren Strömungseigenschaften zu testen. Hierzu bietet sich die kostenfreie Version der Software Caedium an. Diese wird auch im Projekt „Formel 1 in der Schule“ genutzt (www.f1inschools.de).

Exkurs: Arbeiten mit einer CFD-Software

Unter www.symscape.com erhält man für 30 Tage ein kostenloses CFD-Programm mit sehr ausführlichen Tutorials samt Erklärungen. Dazu wählt man das Caedium Professional Gesamtpaket, in dem diverse Add-ons wie Builder, RANS-Flow, Panel-Flow usw. inklusive sind. Zum Registrieren muss man Namen und E-Mail-Adresse angeben und erhält dann per Mail einen Code, der die Software für 30 Tage aktiviert. Das Programm steht für unterschiedliche Betriebssysteme zur Verfügung.

Installationstipps:

- www.symscape.com im Browser öffnen.
- Rechts in der Spalte auf „Free Trials“ klicken.
- Rechts in dem Kasten „Buy Caedium Professional“ unter dem Kalenderzeichen auf „Free Trial“ klicken.
- E-Mail-Adresse und Namen eingeben und im Testfeld die gewünschte Zahl als Ziffer eingeben, nicht mit Buchstaben!
- Das passende Installationspaket downloaden, das File für Windows heißt FullCaedium-Setup.exe (notfalls unter More → Downloads → Caedium Product Downloads, dort liegen dann die Installationspakete).

Die Software von Symscape geht in ihren Möglichkeiten deutlich über den aerodynamischen Hintergrund der Unterrichtseinheit hinaus und bietet sich damit für längerfristige eigenständige Schülerarbeiten an. Im Unterrichtsverlauf empfiehlt es sich dagegen eher, mit den SuS einzelne Tutorials durchzugehen, nachzubauen und das Ergebnis qualitativ zu besprechen. Gute Englischkenntnisse sind für die Tutorials oder die Installationsanleitungen notwendig.

AB 17 „Grenzen des aerodynamischen Gestaltens“

Mit dem letzten Arbeitsblatt in Modul 3 werden die Grenzen der aerodynamischen Optimierung von Fahrzeugen gezeigt. Die beiden ersten Aufgaben fassen das Gelernte zusammen, indem die SuS physikalische Zusammenhänge selbst formulieren. Anschließend wird der Kompromiss zwischen Fahrzeugaussehen und -funktionalität sowie der Größe des Luftwiderstands mithilfe einer modernen Fahrzeugstudie erarbeitet.