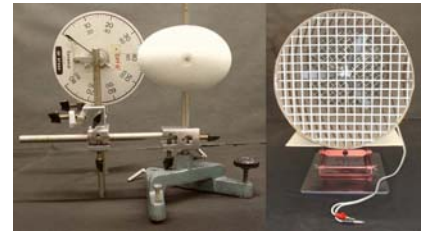


Der Strömungswiderstand



Einleitung

Wenn du im Schwimmbecken rennen willst, schaffst du das nicht. Der Widerstand des Wassers ist zu groß. Bei starkem Wind kommst du mit dem Fahrrad nur noch schwer oder sogar gar nicht mehr voran. Auch hierbei ist der Widerstand der Luft zu groß. In beiden Fällen spricht man vom **Strömungswiderstand** F_w . Das ist eine Kraft, deshalb bezeichnet man diesen mit F (englisch: force) und das kleine W steht für Widerstand.

Du kannst dir merken:

Der Strömungswiderstand F_w ist die Kraft, die in Anströmungsrichtung auf einen umströmten Körper wirkt.

Mit den folgenden Versuchen wollen wir herausbekommen, wovon der Strömungswiderstand F_w abhängt.

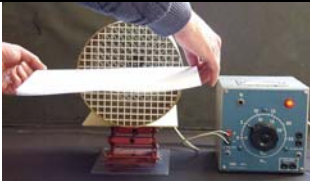
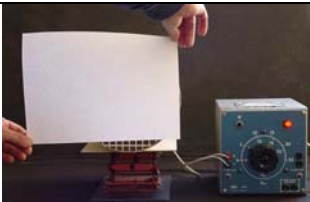

Aufgabe 1

Material: Windkanal, regelbares Netzgerät 12 V_~, DIN A4-Blatt



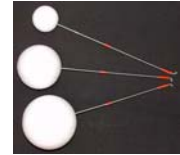
Arbeitsauftrag: Schalte das Netzgerät ein und stelle den Regler auf 5V Gleichspannung. Halte nun das DIN A4-Blatt, wie unten beschrieben in den Luftstrom. Dabei spürst du die Stärke des Strömungswiderstands F_w jeweils daran, wie viel Kraft du aufwenden musst, um das Papier im Luftstrom zu halten.

Mache in der folgenden Tabelle an der entsprechenden Stelle ein Kreuz!

Papierhaltung	Stärke des Strömungswiderstands F_w		
	schwach	mittelstark	stark
parallel zum Luftstrom 			
senkrecht zum Luftstrom 			
zusammengeknäult 			

Aufgabe 2

Material: Windkanal, regelbares Netzgerät 12 V, drehbare Aufhängung mit Torsionskraftmesser, drei Styroporkugeln



Arbeitsauftrag: An jeder Stange mit einer Styroporkugel ist genau in der Mitte Klebeband gewickelt. Nimm zuerst die Stange mit der kleinsten Styroporkugel und befestige die Mitte der Stange an der drehbaren Aufhängung. Hake nun die Schlaufe des Torsionskraftmessers am Ende der Stange fest. Schalte das Netzgerät ein und stelle den Regler auf 10V Gleichspannung. Warte 30 Sekunden und lies dann den Strömungswiderstand F_W am Torsionskraftmesser ab. Schreibe anschließend die abgelesenen Werte in Tabelle 1 vom Arbeitsblatt 2. Wiederhole das Experiment mit der mittleren und der großen Styroporkugel (Netzgerät jeweils auf 10V einstellen!) und trage den Strömungswiderstand F_W in die gleiche Tabelle ein.

Arbeitsauftrag: Nachdem du den Strömungswiderstand gemessen hast, miss nun den **Umfang** U von jeder Kugel. Lege dazu einen Faden um die dickste Stelle einer Kugel und miss anschließend die Länge des Fadens. Trage auch diese Ergebnisse in die Tabelle 1, in die du die Werte des Strömungswiderstands geschrieben hast, ein.

Freiwilliger

Zusatz: Du hast nun gesehen, dass der Strömungswiderstand von der Größe der Kugel abhängt. Es ist aber nur die Fläche der Kugel, gegen die der Wind bläst, entscheidend. Diese Fläche nennt man **Anströmfläche** A (englisch: area). Wenn du den Zusammenhang zwischen der Anströmfläche A und dem Strömungswiderstand F_W herausbekommen möchtest, dann rechne zuerst die Anströmfläche A für jede Kugel aus. Den vorhin gemessenen Strömungswiderstand F_W musst du dann durch die eben ausgerechnete Anströmfläche teilen.

Mit diesen Formeln kannst du rechnen:

$$A = \frac{U^2}{4\pi} \left[\text{m}^2 \right] \quad \text{und} \quad \frac{F_W}{A} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Trage deine Ergebnisse in die Tabellen 2 vom Arbeitsblatt 2 ein.

Für $\frac{F_W}{A}$ sollte bei allen Kugeln nahezu derselbe Wert herauskommen.

In einem solchen Fall sagt man:

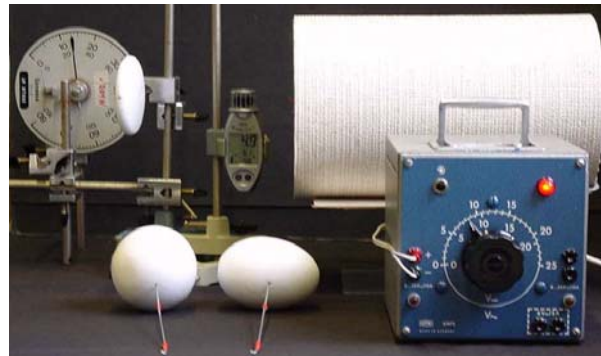
Der Strömungswiderstand F_W ist proportional der Anströmfläche A | $F_W \sim A$

Arbeitsauftrag: Überleg dir, wovon der Strömungswiderstand F_W noch abhängen kann. Ein Tipp: Denk daran, was du beim Fahrrad fahren spürst, wenn du eine Hand vom Lenker löst und hochstreckst. Überlege auch, ob du Unterschiedliches spürst, wenn du unterschiedlich schnell fährst. Notiere deine Ideen auf dem zweiten Arbeitsblatt.

Aufgabe 3

Wie du eben durch die Messungen festgestellt hast, hängt der Strömungswiderstand von der Anströmfläche A ab. Durch die nächsten Versuche kannst du herausbekommen, wie der Strömungswiderstand F_w von der **Windgeschwindigkeit v** (englisch: velocity) beeinflusst wird.

Material: Windkanal, regelbares Netzgerät 12 V_~, drehbare Aufhängung mit Torsionskraftmesser, Styroporscheibe, Styroporei, mittelgroße Styroporkugel, Windgeschwindigkeitsmesser



Arbeitsauftrag: Befestige die Mitte der Stange mit der mittleren Styroporkugel an der drehbaren Aufhängung. Befestige nun die Schlaufe des Torsionskraftmessers am Ende der Stange. Stelle das Stativ mit dem Windgeschwindigkeitsmesser zwischen den Windkanal und die Scheibe und schalte den Windgeschwindigkeitsmesser ein. Schalte das Netzgerät ein und stelle den Regler nacheinander auf 6V, 7V, 8V, 9V und 10V Gleichspannung. Warte immer erst 30 Sekunden und lies dann jeweils den Strömungswiderstand F_w am Torsionskraftmesser und die Windgeschwindigkeit v am Windgeschwindigkeitsmesser ab.

Trage die Werte in die Tabelle 1 vom Arbeitsblatt 3 ein.

Freiwilliger

Zusatz: Wie du gesehen hast, hängt der Strömungswiderstand F_w auch von der Windgeschwindigkeit v ab. Wenn du den Zusammenhang zwischen beiden Größen erfahren willst, dann rechne jeweils das Quadrat der Windgeschwindigkeit v aus. Danach musst du wieder den Strömungswiderstand F_w durch die jeweilige Windgeschwindigkeit v^2 teilen.

Mit diesen Formeln kannst du rechnen und schreibe deine Ergebnisse in die Tabelle 2 vom Arbeitsblatt 3:

$$v^2 \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] \quad \text{und} \quad \frac{F_w}{v^2} \left[\frac{\text{N} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^2} \right]$$

In der letzten Spalte $\left(\frac{F_w}{v^2} \right)$ sollte auch hier jeweils nahezu derselbe Wert herauskommen.

Es gilt also:

Der Strömungswiderstand ist dem Quadrat der Windgeschwindigkeit proportional	$F_w \sim v^2$
--	----------------

Den Zusammenhang zwischen dem Strömungswiderstand F_w und dem Quadrat der Windgeschwindigkeit v^2 bezeichnet man auch als Proportionalitätsfaktor.

Aufgabe 4

In den Aufgaben 2 und 3 hast du herausbekommen, dass der Strömungswiderstand F_W proportional der Anströmfläche A und dem Quadrat der Geschwindigkeit v^2 ist. Diese Tatsache kann man mit folgender Proportionalität zusammenfassen:

$$F_W \sim v^2 \cdot A$$

Arbeitsauftrag: Als nächstes kannst du deine Ideen, die du am Ende des zweiten Arbeitsauftrags aufgeschrieben hast, überprüfen. Nimm dazu drei verschiedene Styroporfiguren, stelle den Regler auf 8V und miss den Strömungswiderstand F_W , die Windgeschwindigkeit v und die Anströmfläche A . Notiere alle Werte in der Tabelle 1 vom vierten Arbeitsblatt.

Damit du sehen kannst, wie der Strömungswiderstand F_W von der Anströmfläche A **und** der Windgeschwindigkeit v abhängt, musst du den Proportionalitätsfaktor mit der nächsten Formel berechnen.

$$\frac{F_W}{v^2 \cdot A}$$

Schreibe deine Ergebnisse ebenfalls in die Tabelle vom Arbeitsblatt 4.

Zusammenfassung:

Du hast durch deine ganzen Versuche gesehen, dass der Strömungswiderstand F_W von der Größe und Form eines Körpers und der Windgeschwindigkeit abhängt. Überlege dir deshalb mal, wie die Autoindustrie diese Erkenntnisse nutzen kann. Schreibe deine Ideen auf das Arbeitsblatt 4. Wenn du aber genau wissen möchtest, nach welchem Wert die Autoindustrie sich richtet, dann bearbeite noch Aufgabe 5.

Aufgabe 5

In der Einleitung hatten wir uns überlegt, dass es sowohl im Wasser als auch in der Luft Strömungswiderstände gibt.

Allgemein taucht ein Strömungswiderstand F_W immer dann auf, wenn Flüssigkeiten oder Gase Festkörper umströmen. Bewegt sich allerdings ein Festkörper (wir zum Beispiel oder ein Fahrrad, Auto etc.), so treten ebenfalls Strömungswiderstände auf.

Beides Mal ist der Strömungswiderstand umso größer, je größer die Dichte ρ der Flüssigkeit oder des Gases ist.

Es gilt also:

Der Strömungswiderstand F_W ist proportional der Dichte ρ der Flüssigkeit / des Gases	$F_W \sim \rho$
--	-----------------

Mit den Ergebnissen der Aufgaben 2-4 können wir also zusammenfassen:

$$F_W \sim \rho \cdot v^2 \cdot A$$

Um aus dieser Proportionalität eine „richtige“ Formel zu machen, brauchen wir einen Proportionalitätsfaktor.

Dieser Proportionalitätsfaktor ist der **Widerstandsbeiwert** c_w (c für Konstante, englisch: constant, W für Widerstand). Er besitzt keine Einheit, weil diese Einheiten

$$[\rho \cdot v^2 \cdot A] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{m}^2 = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N} = [F_W]$$

eben dieselbe sind, wie die Einheit für den Strömungswiderstand F_W .

Damit erhalten wir nun schlussendlich folgende Formel, in der unsere ermittelten Proportionalitäten enthalten sind:

$$F_W = c_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$$









Arbeitsauftrag: Berechne die Widerstandsbeiwerte c_w verschiedener Figuren mit den Daten aus Aufgabe 4.

Für die Dichte von Luft kannst du den folgenden Wert einsetzen:

$$\rho = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Informationen zum Abschluss

Widerstandsbeiwerte für verschiedene Körperformen

Windrichtung ⇒	Körperform	Widerstandsbeiwert c_w
⇒ 	Halbkugel ohne Boden (Fallschirm)	1,33
⇒ 	Halbkugel	0,34
⇒ 	Platte	1,1
⇒ 	Kugel	0,45
⇒ 	Stromlinienkörper $l/d=2$	0,2
⇒ 	Auto	0,3 - 0,6
⇒ 	Hollandrad	0,6
⇒ 	Liegerad	0,13 - 0,49

Vor allem in der Autoindustrie interessiert man sich für den **Widerstandsbeiwert** c_w , da ein niedriger **Widerstandsbeiwert** c_w auch eine geringere Leistung des Autos erfordert und somit auch einen geringeren Benzinverbrauch verursacht.

Schon im Jahre 1920 hat der vom Flugzeugbau kommende Ingenieur Edmund Rumpler den „Rumpler-Tropfenwagen“ konstruiert. Er besitzt einen **Widerstandsbeiwert** von $c_w = 0,28$ und ist im Deutschen Museum in München ausgestellt.



Heute wird jedes zu konstruierende Auto in großen Windkanälen getestet und sein **Widerstandsbeiwert** c_w berechnet.

Die Anströmfläche der Autos wird dabei mit Hilfe der Optik ermittelt: Das Fahrzeug wird mit parallelem Licht beleuchtet und sein Schattenwurf auf einem Schirm festgehalten.



(Foto links: Rumpler-Tropfenwagen, Deutsches Museum München, Januar 2003)