

## V.8

### Energie nutzen

# Stationenlernen: Der Luftwiderstand bei Velomobilen

Ein Beitrag von Jost Baum



© Wikimedia Commons/CC-BY-SA 4.0/Caronna

Im Zuge der Verkehrswende und von Klimawandel und steigender Rohölpreise sind alternative Fortbewegungsmittel immer wichtiger. Neben dem klassischen Fahrrad stellt auch das Velomobil eine Alternative für die persönliche Fortbewegung dar. Durch ihre äußere stromlinienförmige Karosserie weisen sie einen wesentlich geringeren Luftwiderstand im Vergleich zu Fahrrädern und Liegerädern auf und können so die Antriebsenergie wesentlich effizienter in die Fortbewegung umsetzen. Erarbeiten Sie in der Kleingruppe in Stationen den Zusammenhang zwischen Luftwiderstand und dem Strömungswiderstandskoeffizient ( $c_w$ -Wert) anhand des Velomobils.

#### KOMPETENZPROFIL

**Klassenstufe:** 7–10

**Dauer:** 2–3 Unterrichtsstunden (Minimalplan 1–2)

**Leistungsbezug:** Die Lernenden ... 1. lernen die historische Entwicklung von Velomobilen kennen, 2. verstehen die Bedeutung des  $c_w$ -Wertes für die Konstruktion, 3. berechnen den Luftwiderstand und den entsprechenden Energieaufwand

**Thematische Bereiche:** Einführung in den Luftwiderstand, Energieaufwand, Strömungswiderstandskoeffizient, Verkehrswende

## Ihr Unterrichtsassistent – Formeln, Fakten, Fachbegriffe

### Was Sie zum Thema wissen müssen

Unter **Luftwiderstand** versteht man in der Physik die hemmende Kraft, wenn sich ein Körper in der Luft bewegt oder wenn ein ruhender Körper strömender Luft ausgesetzt wird. Der Luftwiderstand ist dabei von folgenden Faktoren abhängig:

1. von der Größe des Körpers
2. von seiner Form
3. von der Oberflächenbeschaffenheit
4. von der Geschwindigkeit der Strömung oder der Bewegung des Körpers in der Luft

Hierbei gilt bei Luft folgende Formel:

$$FLR = \frac{1}{2} \cdot A \cdot c_w \cdot \rho_{Luft} \cdot v^2$$

**FLR:** Luftwiderstand; **A:** Fläche (Querschnitt des Körpers); **c<sub>w</sub>:** Strömungswiderstandskoeffizient; **ρ<sub>Luft</sub>:** Luftdichte; **v<sup>2</sup>:** Quadrat der Geschwindigkeit

Mechanische **Arbeit** ist definiert als das Produkt aus der Kraft (F), die auf einen Körper wirkt, und der Strecke (s), die der Körper in dieser Richtung zurücklegt.

$$W = F \cdot s$$

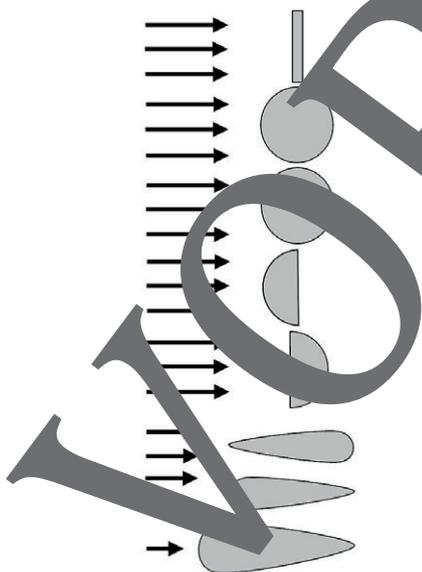
**Verrichtete Arbeit** ist eine Form von Energie, daher gilt:

$$E = W = \text{verrichtete Arbeit} = \text{Nm} = \text{J}$$

**E:** Energie; **S:** Weg

### Luftwiderstände bei unterschiedlichen Formen

Geometrische Form	c <sub>w</sub> -Wert
Platte	1,1–1,3
Langer Zylinder	0,35–1,2
Kugel	0,18–0,45
Halbkugel	Mit Boden 0,4 Ohne Boden 0,3
Halbkugel	Mit Boden 1,2 Ohne Boden 1,3
Kegel mit Halbkugel	0,16–0,2
Kegel mit Halbkugel	0,07–0,09
Stromlinienkörper	0,055



## Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Tx = Infotext, Zm = Zusatzmaterial

### 1. Stunde

<b>Thema:</b>	Einführung des $c_w$ -Wertes
<b>M 1 (Tx, Ab)</b>	<b>Station 1 – Felix ist spät dran ...</b>
<b>Thema:</b>	Berechnung FLR und W
<b>M 2 (Ab)</b>	<b>Station 2 – Berechnen des Luftwiderstands</b>



### 2./3. Stunde

<b>Thema:</b>	Die Entwicklung des Liegerads
<b>M 3</b>	<b>Station 3 – Vom Kettenantrieb zum Liegerad</b>
<b>Thema:</b>	Historische Bedeutung des Velomobils
<b>M 4 (Tx, Ab)</b>	<b>Station 4 – Velomobile in der Krieges- und Nachkriegszeit</b>
<b>Thema:</b>	Technische Entwicklung des Velomobils
<b>M 5 (Tx, Ab)</b>	<b>Station 5 – Das Velomobil entwickelt sich</b>
<b>Thema:</b>	Modern Velomobile
<b>M 6 (Tx, Ab)</b>	<b>Station 6 – Das wie ein EVELO</b>
<b>Thema:</b>	Berechnungen des Luftwiderstands und der notwendigen Energie
<b>M 7 (Ab)</b>	<b>Station 7 – Wir berechnen den Luftwiderstand</b>
<b>M 8 (Zm)</b>	<b>Luftwiderstände bei unterschiedlichen Formen</b>



### Minimalplan

Bei Zeitmangel kann nach dem Einstieg mit **M 1** und der Übung von **M 2** direkt mit **M 5** und **M 7** die Thematik behandelt werden.

## M 1

## Station 1 – Felix ist spät dran ...



Verändert nach: lukai photographer

Felix hatte den Rucksack mit den Schulsachen am Abend vorher schon gepackt, und das war auch gut so, denn es war bereits Viertel vor acht und er ist fast schon zu spät, um den Physikunterricht von Herrn Drögemüller rechtzeitig zu erreichen. Er muss sich beeilen, denn eins war sicher, Unpünktlichkeit konnte Herr Drögemüller beim besten Willen nicht abhaken, und seine Physiknote war alles andere als berauschend. Grund genug, um sich zu beeilen, ohne ein Stück das Haus zu verlassen und in die Pedale zu treten, was das Zeit hält. Zu allem Überfluss hatte er in der Eile seinen Fahrradhelm vergessen und seine Haare flatterten im Wind, genau wie seine Regenjacke, deren Reißverschluss klemmte, als er sie angezogen hatte. Das Fahrrad, das er von seinem älteren Bruder geerbt hatte, besaß keine Gangschaltung und einen hohen Lenker, sodass er aufrecht sitzen musste, als er sich gegen den Wind stemmte. Dann setzte der leichte Nieselregen ein, der seine Brille beschlagen ließ, und er wäre fast in einer Kreuzung gefahren, bei der die Ampel kurz vor ihm von Gelb auf Rot sprang. Als dann neben ihm auch noch das stromlinienförmige Velomobil von Herrn Drögemüller vorbeischoss, war es endgültig um seine Laune geschehen. Viel später saß er ausgelaugt und klammertmassig als Letzter auf seinem Stuhl und rieb seine Brille trocken, während Herr Drögemüller folgendes Szenario auf den Overheadprojektor legte:

$c_w$ : Luftwiderstandskoeffizient

© colourbox

Mein Gott, was war das?  
Schon wieder ein Buch mit sieben Siegeln!



© colourbox

## M 2a



## Station 2 – Berechnen des Luftwiderstands



© Egor Shabanov/Stock/Getty Images

Hier siehst du eine Formel, die die Kraft berechnet, die Felix überwinden muss, um gegen den Luftwiderstand anzukommen:

$$FLR = \frac{1}{2} \cdot A \cdot c_w \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot v^2$$

Wobei:

- **FLR:** Luftwiderstand
- **A:** Fläche (Querschnitt des Körpers)
- **c<sub>w</sub>:** Strömungswiderstandskoeffizient
- **ρ<sub>Luft</sub>:** Luftdichte
- **v<sup>2</sup>:** Quadrat der Geschwindigkeit

Mechanische **Arbeit** ist definiert als das Produkt aus der Kraft (F), die auf einen Körper wirkt, und der Strecke (s), die der Körper in dieser Richtung zurücklegt.

$$W = F \cdot s$$

Verrichtete Arbeit ist eine Form von Energie, daher gilt:

$$E = W = \text{verrichtete Arbeit} = \text{Nm} = \text{J}$$

- **E:** Energie
- **S:** Weg

**Aufgabe**

1. **Berechnen** den Luftwiderstand für  $c_w = 0,35$ ,  $A = 0,9 \text{ m}^2$ ,  $9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ,  $\rho_{\text{Luft}}: 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

a) **Rechne**  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  in  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  **um**, bevor du den Wert in die Gleichung einsetzt.

b) **Forme** eine Einheitsgleichung **durch**.

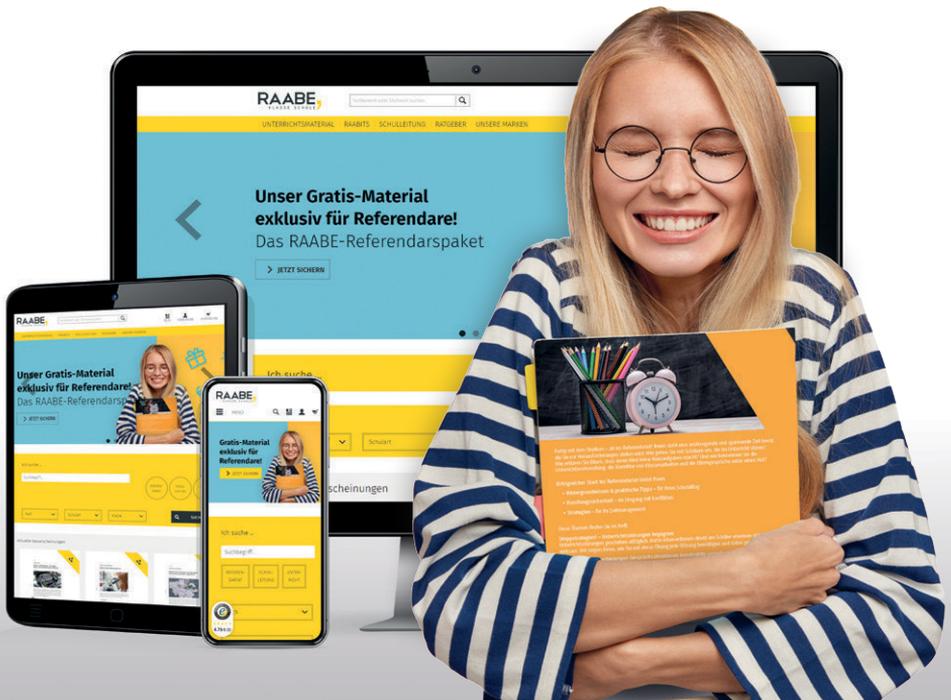
**Tipp:** Newton (Kraft);  $N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$  !

**Berechne** die dafür notwendige Energie  $E = W$ . Der Schulweg beträgt 5 km.



# Sie wollen mehr für Ihr Fach?

## Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



**Über 5.000 Unterrichtseinheiten**  
sofort zum Download verfügbar



**Webinare und Videos**  
für Ihre fachliche und  
persönliche Weiterbildung



**Attraktive Vergünstigungen**  
für Referendar:innen mit  
bis zu 15% Rabatt



**Käuferschutz**  
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:  
**www.raabe.de**