

SCHOOL-SCOUT.DE



Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Stationenlernen: Der Luftwiderstand bei Velomobilen

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](https://www.school-scout.de)



V.8

Energie nutzen

Stationenlernen: Der Luftwiderstand bei Velomobilen

Ein Beitrag von Just Baun



Im Zuge der Verkehrswende aufgrund von Klimawandel und steigender Brennstoffpreise sind alternative Fortbewegungsmittel immer wichtiger. Neben dem klassischen Fahrrad zählt zum Beispiel das Velomobil für die persönliche Fortbewegung, das durch sein aerodynamisches Karosseriewerkzeug einen wesentlich geringeren Luftwiderstand im Vergleich zu Fahrrädern und Lastgeräten aufzuweisen ist. Die Fortbewegung ermöglicht Effizienz in der Fortbewegung, ermöglicht Einhalten der mit der Klasse in Stationen den Zusammenhang zwischen Luftwiderstand und dem Strömungswiderstandskoeffizient c_w „bietet einen Überblick“.

KOMPETENZPROFIL

Klassifizierung:

Dauer:

Kompetenzen:

Thematische Bereiche:

1-10
2-3 Identifizieren (Merkmalen 1-3)
Die Lernenden... 1. können die Bedeutung von verschiedenen... 2. verstehen die Bedeutung des c_w -Wertes für die... 3. beschreiben den Luftwiderstand und den entsprechenden...
Erfahrung in den Luftwiderstand, Strömungswiderstand, Strömungswiderstandskoeffizient, Widerstand

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 aufgrund 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 mit Ihrer Klasse 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)
Kompetenzen:	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

Rund um die Reihe

Warum wir das Thema behandeln

Alternative Fortbewegungsmittel werden immer wichtiger. Gerade der Klimawandel und die steigenden Preise für Öl rücken das Thema Verkehrswende in den Vordergrund. Als erste Alternative fällt einem hierbei das Fahrrad ein. Doch wenn es um effiziente Geschwindigkeit geht, kommt man am Velomobil nicht vorbei. Bei gleichbleibender Muskelkraft für den Antrieb sind sie wesentlich schneller als ein Fahrrad. Das liegt an ihrer Bauweise. Velomobile haben sich aus den Liegerädern der 80er- und 90er-Jahre des 19. Jahrhunderts entwickelt. Im Prinzip handelt es sich also bei einem Velomobil um ein Liegerad mit Vollverkleidung. Durch ihre äußere **stromlinienförmige** Karosserie weisen sie einen wesentlich **geringeren Luftwiderstand** im Vergleich zu Fahrrädern und Liegerädern auf. Angegeben werden kann die Stromlinienförmigkeit durch den **Strömungswiderstandskoeffizient (c_w -Wert)**, der in Abhängigkeit der Form des Körpers, bzw. wie in diesem Fall der Karosserie, steht. Alltags-Velomobile sind in der Regel Liegerad-Trikes, haben also drei Räder, um Kippsicherheit zu gewährleisten. Zudem erleichtert das dritte Rad Ein- und Aussteigen, Losfahren und Anhalten. Die Karosserie des Velomobils besteht häufig aus glasfaserverstärktem oder **carbonfaserverstärktem Kunststoff** (GFK oder CFK), seltener aus Aluminium. Zu Beginn der Entwicklung bestand die Karosserie aus Sperrholz. Der Innenraum beherbergt, je nach Ausführung, mehrere Sitze, die Pedalsätze und den Lenker. Meistens verfügt ein Velomobil über Scheiben- oder Trommelbremsen, die Schaltung entspricht der eines herkömmlichen Fahrrades. Ein Velomobil mit Straßenzulassung ist rechtlich dem Fahrrad gleichgestellt und verfügt natürlich über eine entsprechende Ausstattung. Festzuhalten ist, dass bei der Entwicklung des Velomobils der Beachtung des **Luftwiderstands** eine entscheidende Bedeutung zukam. Durch die Berücksichtigung von Form und Materialwahl wurde die Entwicklung von alternativen Fortbewegungsmitteln wie dem Velomobil wesentlich vorangetrieben. Anhand des anschaulichen Beispiels des Velomobils wird der Zusammenhang von wissenschaftlicher Erkenntnis und dessen Nutzen in der Entwicklung von Alltagsgegenständen den Lernenden verdeutlicht.

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:

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

Mit:

- **FLR:** Luftwiderstand (Luftreibung)
- **A:** Fläche (Querschnitt des Körpers)
 c_w -Wert: Der Strömungswiderstandskoeffizient, Widerstandsbeiwert, Widerstandskoeffizient, Stirnwiderstand oder c_w -Wert (nach dem üblichen Formelzeichen c_w) ist ein dimensionsloses Maß (Koeffizient) für den Strömungswiderstand eines von einem Fluid (Gas, Flüssigkeit) umströmten Körpers. Er wurde durch ein Experiment im Windkanal ermittelt. Der Wert berücksichtigt die Form und die Oberflächenbeschaffenheit des Körpers.
- **ρ_{Luft} :** Einheitsgewicht der Luft, bezogen auf einen Luftdruck von 726 mm Quecksilbersäule und 10° Celsius. Er beträgt $1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- **v^2 :** Strömungsgeschwindigkeit des Fluidstroms (hier Luft)

Vorschläge für die Unterrichtsgestaltung

Voraussetzungen der Lerngruppe

Die Schülerinnen und Schüler sollten für die Station 2 und 7 die Begriffe Energie, Energie- und Verkehrende sowie den Zusammenhang zwischen $W = E = F \cdot s$ kennen. Weiterhin sollten die die Lernenden Einheitengleichungen aufstellen können.

Aufbau der Reihe

Die vorgelegten Stationen können entsprechend ihrer Reihenfolge sowohl im Präsenzunterricht als auch im Onlinekurs erarbeitet werden.

Einstieg

Station 1 (**M 1**) dient dem Einstieg in die Thematik des Luftwiderstands. Hier werden anhand eines leicht überspitzten Beispiels den Schülerinnen und Schülern der Luftwiderstand und dessen Faktoren, die ihn beeinflussen können, vorgestellt. Dadurch soll den Lernenden die Thematik anhand nachvollziehbarer Alltagssituationen vergegenwärtigt werden.

Tipp: Alternativ kann auch das folgende Video zur Veranschaulichung des Luftwiderstands zum Einstieg verwendet werden:

<https://raabe.click/Luftwiderstand>



Erarbeitung

Die nachfolgenden Stationen können zur Erarbeitung der Thematik des Luftwiderstands anhand des Velomobils eingesetzt werden.

Die Stationen teilen sich inhaltlich wie folgt auf:








- Berechnung Luftwiderstand (FLR) und Arbeit (W) (**M 2**)
- Vom Kettenantrieb zum Liegerad (**M 3**)
- Historische Bedeutung des Velomobils (**M 4**)
- Technische Entwicklung des Velomobils (**M 5**)
- Modern Velomobile (**M 6**)

Übung und Ergebnissicherung





Nutzen Sie Station 7 (**M 7**), um das neu erlernte Wissen zur Berechnung des Luftwiderstands anzuwenden und zu festigen. **M 7** ist dreifach differenziert, die ersten beiden Niveaustufen können auch direkt nach der Einführung verwendet werden.

Tipps zur Differenzierung

Da die einzelnen Stationen unterschiedliche Schwierigkeitsgrade aufweisen, können die Stufen je nach Schulform und Klassenstufe eingesetzt werden.

Stationennummer	Bewertung	Inhalt
1		Einführung des c_w -Wertes
2		Berechnung Luftwiderstand (FLR) und Arbeit (W)
2		Berechnung Luftwiderstand (FLR) und Arbeit (W)
3		Vom Kettenantrieb zum Liegerad
4		Historische Bedeutung des Velomobils
5		Technische Entwicklung des Velomobils
6		Moderne Velomobile
7a		Berechnungen des Luftwiderstands und der notwendigen Energie zur Überwindung
7b		Berechnungen des Luftwiderstands und der notwendigen Energie zur Überwindung
7c		Berechnungen des Luftwiderstands und der notwendigen Energie zur Überwindung

Erklärung zu den Symbolen

	Dieses Symbol markiert differenziertes Material. Wenn nicht anders ausgewiesen, befinden sich die Materialien auf mittlerem Niveau.				
	einfaches Niveau		mittleres Niveau		schwieriges Niveau

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_w:** Strömungswiderstandskoeffizient; **ρ_{Luft}:** Luftdichte; **v²:** 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.

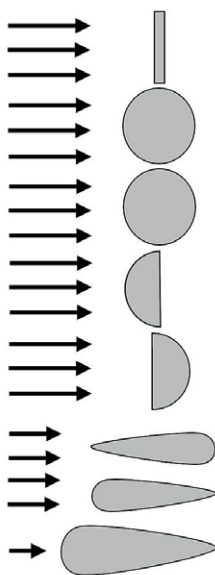
$$W = F \cdot s$$

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 _w -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

Mediathek

- ▶ Gunnar Fehlau: Das Liegerad. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Delius Klasing, Bielefeld 1996, S. 11
- ▶ Gunnar Fehlau: Das Liegerad. 2. Auflage. Moby Dick Verlag, Kiel 1994, S. 10 ff.

Weiterführende Internetseiten

- ▶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Velomobil>
- ▶ Hier ist eine kurze Übersicht zum Thema Velomobil mit weiteren Bildern gegeben.
<https://www.bund-frankfurt.de/service/meldungen/detail/news/mobilitaetswende-jetzt-demo/>
- ▶ Das Velomobil ist auch auf Demonstrationen zur Verkehrswende anzutreffen
<https://www.uni-giessen.de/ueber-uns/pressestelle/pm/pm129-21NachhaltigeVerstaerkungfuer-denFuhrparkderJLU>
- ▶ Hier wird das Velomobil als nachhaltiges Lastenrad für Dienstfahrten vorgestellt.
<https://fairbe.de/>
- ▶ Das Velomobil kann auch eine Lösung für eine barrierefreie Teilhabe am Verkehr sein. Hier können die Baupläne und Informationen zu dem Projekt abgerufen werden.
www.evovelo.com
- ▶ Die vergangenen Krisen habe das Velomobil wieder zum Thema gemacht. Auf dieser Seite ist eine gute Übersicht zu diesem Thema gegeben.
<https://1e9.community/t/das-velomobil-ist-als-reaktion-auf-fruehere-krisen-entstanden-erlebt-es-nun-seinen-durchbruch/4856>

Alle Internetseiten wurden am 24.06.2022 zuletzt abgerufen.

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Tx = Infotext, Zm = Zusatzmaterial

1. Stunde

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



2./3. Stunde

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



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.

SCHOOL-SCOUT.DE



Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Stationenlernen: Der Luftwiderstand bei Velomobilen

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](https://www.school-scout.de)



V.8

Energie nutzen

Stationenlernen: Der Luftwiderstand bei Velomobilen

Ein Beitrag von Just Baun



Im Zuge der Verkehrswende aufgrund von Klimawandel und steigender Brennstoffpreise sind alternative Fortbewegungsmittel immer wichtiger. Neben dem klassischen Fahrrad zählt auch das Velomobil eine Alternative für die persönliche Fortbewegung dar. Durch ihre aerodynamische Karosserie weisen sie einen wesentlich geringeren Luftwiderstand im Vergleich zu Fahrrädern und Lastenrädern auf und können so die Fortbewegung besonders bei Abfahrten oder bei Fortbewegung auf ebenen Straßen mit ihrer Karosserie in Kombination mit dem Zusammenlagern zwischen Luftwiderstand und dem Strömungswiderstandskoeffizient c_w „weit“ unter dem Wasserstand.

KOMPETENZPROFIL

Klassifizierung:

Dauer:

Kompetenzen:

Thematische Bereiche:

1-10

2-2 Identifizieren (Merkmalen 1-2)

Die Lernenden... 1. können die Bedeutung von verschiedenen... 2. verstehen die Bedeutung des c_w -Wertes für die... 3. beschreiben den Luftwiderstand und den entsprechenden Energieverbrauch.

Erfahrung in den Luftwiderstand, Strömungswiderstandskoeffizient, Vorkenntnisse