LEHRERINFO ZUM VIDEO

Strömungsmechanik – Flüssigkeiten und Gase in Bewegung

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur)	15 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- den Schweredruck $p = \rho \cdot g \cdot h$ herleiten und den Auftrieb aus dem Druckunterschied begründen,
- Volumenstrom $Q = A \cdot v$ und Kontinuitätsgleichung $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$ anwenden,
- die Bernoulli-Gleichung als Energieerhaltung verstehen und auf Venturi-Düse, Zerstäuber und Prandtl-Rohr anwenden,
- Ausflussgeschwindigkeiten mit Torricelli berechnen,
- den Auftrieb am Flügel physikalisch korrekt erklären (Umlenkung der Luft, Unterdruck) und den Mythos der „gleichen Laufzeit“ widerlegen,
- Grenzen des Modells nennen (Viskosität, Turbulenz) und den Luftwiderstand $F = \frac{1}{2} \cdot c_W \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ berechnen.

02 Voraussetzungen

Folge 6 Grundlagen („Druck“): $p = F/A$, Pascal/bar, Dichte, Schweredruck qualitativ. Folge 5 Advanced: Energieerhaltung, Arbeit. Folge 2 Advanced: drittes Axiom. Mathematisch: Kreisfläche, Quadratwurzel, Zehnerpotenzen, Einheiten umrechnen (L/min → m^3/s).

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT UND PRAXISBEISPIEL
0:00	Einstieg	Zwei Papierblätter klatschen zusammen · Ident · Serien-Fahrplan (Mini-Wasserturbine)
0:45	Was du brauchst	Wiederholung: $p = F/A$, $\rho = m/V$ (06G), Energieerhaltung (05A)

1:22	Hydrostatik exakt	Wassersäule → $\boldsymbol{p} = \rho \cdot \boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{h}$ · 10 m ≈ 98 000 Pa · Staumauer 285 m ≈ 28 bar · Paradoxon · Auftrieb $\boldsymbol{F}_A = \rho_{Fl} \cdot \boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{V}$
2:35	Volumenstrom	$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{v}$ · Kontinuität · Gartenschlauch 0,88 m/s → Düse 12,7 m/s · Einheiten PAUSE-FRAGE Wasserhahn → 1 m/s
4:16	Bernoulli	Herleitung aus der Arbeit des Drucks · statischer Druck, Staudruck, Schweredruck · Merksatz · Sturm 470 Pa · Venturi: $\Delta\boldsymbol{p}$ = 7500 Pa
5:46	Torricelli	$\boldsymbol{v} = \sqrt{(2 \cdot \boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{h})}$ · Merksatz · Flasche mit Löchern · 1,25 m → 5 m/s PAUSE-FRAGE 5 m → 9,9 m/s
6:59	Anwendungen	Papierblätter, Duschvorhang, Zerstäuber, Prandtl-Rohr · Experiment: Ball im Föhnstrahl
7:58	Wie Flugzeuge fliegen	Mythos „gleiche Laufzeit“ · Umlenkung nach unten + Unterdruck · Airbus: $\Delta\boldsymbol{p} \approx$ 5600 Pa · Formel 1: Abtrieb
9:05	Grenzen und Luftwiderstand	Viskosität, laminar/turbulent · $\boldsymbol{F} = \frac{1}{2} \cdot \boldsymbol{c}_W \cdot \rho \cdot \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{v}^2$ · Velofahrer 24 N / 240 W, Leistung ~ $\boldsymbol{v}^3$ · Windschatten
10:17	Turbinen-Baustein 6	Düse: ideal 6,26 m/s, gemessen 5,7 m/s → ≈ 18 % Verlust
11:11	Prüfungsfallen	vier typische Fallen (siehe 04)
11:53	Zusammenfassung	fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs
12:29	Quiz	4 Fragen · Endkarte Folge 8 Advanced

04 Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- $\boldsymbol{A} = \pi \cdot \boldsymbol{d}^2$ statt $\pi \cdot \boldsymbol{d}^2/4$ (Kapitel 3, 10).
- „Schnellere Strömung, höherer Druck.“ – umgekehrt (Kapitel 4, 10, Quiz).
- Bernoulli überall angewandt – nur ideal: reibungsfrei, stationär, inkompressibel (Kapitel 8, 10).
- L/min direkt eingesetzt – in m^3/s umrechnen (Kapitel 3, 10).
- „Gleiche Laufzeit“ als Erklärung für den Auftrieb (Kapitel 7).
- „Die Ausflussgeschwindigkeit hängt von der Dichte ab.“ – Sie kürzt sich (Kapitel 5, Quiz).

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg: Papierblatt-Versuch mit der ganzen Klasse; Vermutungen vor dem Video sammeln.

Experiment: Ausflussversuch (PET-Flasche, Loch, Lineal): Wurfweite messen und mit Torricelli vergleichen; Ball im Föhnstrahl; Volumenstrom des Wasserhahns mit Messbecher und Stoppuhr.

Vertiefung: Aufgaben 4–9; Prandtl-Rohr und Venturi-Rohr mit Wasserkolonnen als Manometer.

Prüfungsvorbereitung: Kapitel 10 und das Arbeitsblatt (Aufgaben im Stil von Matura-/Abiturprüfungen mit Operatoren).

Hinweis: Die Flügel-Erklärung folgt der heute üblichen Darstellung (Umlenkung + Druckverteilung, beides gleichwertig); die „Gleiche-Laufzeit-Theorie“ ist widerlegt. Föhn nur mit Kaltstufe verwenden.

06 Quellen

- Staumauer Grande Dixence (VS): Höhe 285 m – grande-dixence.ch
- NASA Glenn Research Center: „Incorrect Lift Theory – Equal Transit“ – grc.nasa.gov/www/k-12/airplane
- Airbus A320: maximale Startmasse ≈ 73–79 t, Flügelfläche 122,6 m² – Herstellerangaben
- Luftwiderstand Velofahrer: $c_W \cdot A$ ≈ 0,3–0,5 m²; Windschatten spart ≈ 25–40 %: Wilson, D. G.: Bicycling Science, MIT Press
- Projektwerte der Mini-Wasserturbine: Serienplan Physik, Abschnitt „Roter Faden“ (Lernwerte, beim Bau messen)
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Strömungsmechanik – Flüssigkeiten und Gase in Bewegung

Aufgaben im Stil von Matura- und Abiturprüfungen. Rechne mit $g = 9{,}81\ m/s^2$, $\rho_{Wasser} = 1000\ kg/m^3$, $\rho_{Luft} = 1{,}2\ kg/m^3$. Rechne in SI-Einheiten.

1 Merksätze ergänzen ●○○

Was in ein Rohr hineinfliesst, fliesst auch hinaus: _____ = _____.

Wo die Strömung schneller ist, ist der Druck _____.

Torricelli: Wasser aus der Tiefe *h* fliesst so schnell aus, wie ein _____ nach *h* Fallhöhe ist: *v* = _____.

2 Schweredruck ●○○

Leite *p* = ρ·***g*·*h*** aus einer Wassersäule **her** und **berechne** den Schweredruck am Grund eines 4,0 m tiefen Schwimmbeckens.

3 Auftrieb ●●○

Ein Würfel (Kante 10 cm) liegt vollständig unter Wasser, seine Oberseite 20 cm unter der Oberfläche. **Berechne** die Druckkräfte auf Ober- und Unterseite und daraus die Auftriebskraft. **Vergleiche** mit ρ·***g*·*V***.

4 Kontinuität ●●○

Wasser fliesst mit 0,50 m/s durch ein Rohr mit 4,0 cm Durchmesser, das sich auf 1,0 cm verengt. **Berechne** den Volumenstrom in L/s und die Geschwindigkeit in der Engstelle.

5 Venturi-Rohr ●●●

Im waagrechten Rohr aus Aufgabe 4: **Berechne** mit Bernoulli den Druckunterschied zwischen weitem Teil und Engstelle. Wie gross ist der Höhenunterschied der Wassersäulen in zwei Steigrohren?

6 Torricelli ●●○

Ein Wasserturm ist 30 m höher als ein Hydrant. **Berechne** die ideale Ausflussgeschwindigkeit am Hydranten. **Begründe**, warum die wirkliche Geschwindigkeit kleiner ist.

7 Prandtl-Rohr ●●○

Ein Prandtl-Rohr an einem Kleinflugzeug misst einen Staudruck von 1500 Pa. **Berechne** die Fluggeschwindigkeit in km/h (ρ_{Luft} = 1,2 kg/m³).

8 Flugzeugflügel ●●○

Erkläre den Auftrieb am Flügel mit dem dritten Axiom und mit Bernoulli. **Beurteile** die Aussage: „Die Luft oben muss schneller sein, weil sie gleichzeitig mit der Luft unten an der Hinterkante ankommen muss."

9 Luftwiderstand ●●●

Ein Auto hat $\boldsymbol{c_w}$ = 0,30 und $\boldsymbol{A}$ = 2,2 m². **Berechne** Luftwiderstand und dafür nötige Leistung bei 100 km/h und bei 130 km/h. Um wie viel Prozent steigt die Leistung?

10 Turbine: Düse ●●○

Mit einer kürzeren, glatteren Leitung füllt der Strahl 1 L in 13 s (Düse 4 mm). **Berechne** die Strahlgeschwindigkeit und den Anteil der Energie, der jetzt noch verloren geht (ideal 6,26 m/s).

11 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

a) halber Durchmesser → v ☐ 2 × ☐ 4 × ☐ ½

b) Druck kleiner ☐ schneller Teil ☐ langsamer Teil ☐ gleich

c) Torricelli hängt ab von ☐ Dichte ☐ Lochgrösse ☐ Höhe

d) 2 × v → Luftwiderstand ☐ 2 × ☐ 4 × ☐ 8 ×

Lösungen

1 Merksätze

$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$ · kleiner · Stein, $\sqrt{(2 \cdot g \cdot h)}$

2 Schweredruck

$m = \rho \cdot A \cdot h$, $F_G = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$, $p = F_G / A = \rho \cdot g \cdot h$. 4,0 m: 1000·9,81·4,0 ≈ 39 000 Pa ≈ 0,39 bar (zusätzlich zum Luftdruck).

3 Auftrieb

A = 0,01 m². Oben: p = 1000·9,81·0,20 = 1962 Pa → 19,6 N nach unten. Unten: 1000·9,81·0,30 = 2943 Pa → 29,4 N nach oben. Differenz 9,8 N = $\rho \cdot g \cdot V$ = 1000·9,81·0,001 ✓ (Seitenkräfte heben sich auf).

4 Kontinuität

$A_1 = \pi \cdot 0{,}02^2 \approx 1{,}26 \cdot 10^{-3}$ m²; $Q = 1{,}26 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}50 \approx 6{,}3 \cdot 10^{-4}$ m³/s = 0,63 L/s. Durchmesser ÷ 4 → Fläche ÷ 16 → $v_2 = 16 \cdot 0{,}50 = 8{,}0$ m/s.

5 Venturi

$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (8{,}0^2 - 0{,}50^2) \approx 31\,900$ Pa. Höhenunterschied $\Delta h = \Delta p / (\rho \cdot g) \approx 3{,}25$ m – in der Praxis wählt man eine schwächere Verengung.

6 Torricelli

$v = \sqrt{(2 \cdot 9{,}81 \cdot 30)} \approx 24$ m/s (≈ 87 km/h). Wirklich kleiner: Reibung in den Leitungen, Wirbel, Verengungen.

7 Prandtl-Rohr

$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = 1500$ Pa ⇒ $v = \sqrt{(2 \cdot 1500 / 1{,}2)} = 50$ m/s = 180 km/h.

8 Flügel

Der angestellte, gewölbte Flügel lenkt Luft nach unten; nach dem dritten Axiom wirkt eine Kraft nach oben. Gleichzeitig strömt die Luft oben schneller, nach Bernoulli ist der Druck dort kleiner – beides beschreibt dieselbe Strömung. Die Aussage ist falsch: Es gibt keinen Grund für gleiche Laufzeiten; gemessen kommt die Luft oben sogar früher an.

9 Auto

100 km/h = 27,8 m/s: $F = ½·0{,}30·1{,}2·2{,}2·27{,}8^2 \approx 306$ N, $P \approx 8{,}5$ kW. 130 km/h = 36,1 m/s: $F \approx 516$ N, $P \approx 18{,}6$ kW – rund 120 % mehr (Faktor $(1{,}3)^3 \approx 2{,}2$).

10 Düse

$Q = 0{,}001 : 13 \approx 7{,}7·10^{-5}$ m³/s; $A = \pi·(0{,}002)^2 \approx 1{,}26·10^{-5}$ m²; $v = Q/A \approx 6{,}1$ m/s. $(6{,}1 : 6{,}26)^2 \approx 0{,}95$ → nur noch ≈ 5 % Verlust statt 18 %.

.

11 Quiz

a) 4 × b) schneller Teil c) Höhe d) 4 × (Leistung 8 ×)