LEHRERINFO ZUM VIDEO

# Wir konstruieren eine Mini-Wasserturbine!

| FACH | STUFE | DAUER | VIDEO |
|---|---|---|---|
| Physik | Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur) | 13 min | youtube.com/@Erklaerbaer |

## 01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- eine Pelton-Turbine aus einfachen Materialien planen und bauen,
- die hydraulische Leistung aus Volumenstrom und Strahlgeschwindigkeit bestimmen ($\boldsymbol{P} = \frac{1}{2}\cdot\rho\cdot\boldsymbol{Q}\cdot\boldsymbol{v}^2$, Vergleich mit $\rho\cdot\boldsymbol{g}\cdot\boldsymbol{h}\cdot\boldsymbol{Q}$),
- die mechanische Leistung mit einem gehobenen Gewicht messen und mit $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{M}\cdot\omega$ überprüfen,
- den Wirkungsgrad mit Messunsicherheit angeben und die grösste Fehlerquelle benennen,
- die Turbine gezielt optimieren (Schaufelgeschwindigkeit nahe $\boldsymbol{v}/2$) und ihre Grenzen erklären.

## 02 Voraussetzungen

Die Turbinen-Bausteine der Advanced-Folgen: Drehzahl (1), Kraft des Strahls (2), Drehmoment und Leistung (3), Impuls und Pelton-Prinzip (5), Düse und Torricelli (6), Wirkungsgrad (8), Resonanz (9). Mathematisch: Potenzen, Umformen, relative Unsicherheiten.

## 03 Ablauf des Videos

| ZEIT | KAPITEL | INHALT UND PRAXISBEISPIEL |
|---|---|---|
| 0:00 | Einstieg | Wasserkraft: ≈ 60 % in der Schweiz, ≈ 1/7 weltweit · Ident · Serien-Fahrplan · Plan |
| 0:46 | Der Bauplan | Pelton-Rad R = 5 cm, 8 Löffel, Welle r = 1 cm, Kanister 2,0 m, Düse 4 mm · Sicherheit |
| 1:36 | Bauen Schritt für Schritt | Scheibe, Löffel halbieren, Schaufeln im 45°-Abstand, Welle in Kugellagern, Düse, Handtest |

| | | |
|---|---|---|
| 2:30 | Hydraulische Leistung | $\boldsymbol{Q}$ = 7,1·10⁻⁵ m³/s · $\boldsymbol{A}$ = 1,26·10⁻⁵ m² · $\boldsymbol{v}$ ≈ 5,7 m/s (ideal 6,26) · 1,15 W · 1,40 W PAUSE-FRAGE 82 % |
| 4:00 | Mechanische Leistung | 200 g, 1 m in 4 s → 0,49 W · $\boldsymbol{M}$ = 0,020 N·m · $\omega$ = 25 rad/s ≈ 240 U/min · Kontrolle mit Zeitlupe |
| 5:04 | Wirkungsgrad mit Unsicherheit | $\eta$ ≈ 43 % · Düse ±2,5 % → Strahlleistung ±10 % · (43 ± 4) % · Anlage 35 % · Merksatz |
| 6:10 | Optimieren | Kurve $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{u})$, Optimum $\boldsymbol{v}/2$ · 100 g statt 200 g PAUSE-FRAGE 0,61 W, 53 % · Bautipps · Merksatz |
| 7:48 | Grenzen | Leerlauf ≈ 114 rad/s · Resonanz ≈ 480 U/min · grosse Turbinen ≈ 90 % · Bieudron |
| 8:52 | Ausblick | Generator (Elektronik Folge 5) · Rückblick auf alle Bausteine |
| 9:36 | Prüfungsfallen | vier Fallen (siehe 04) |
| 10:22 | Zusammenfassung | fünf Kernaussagen · Energie letztlich von der Sonne |
| 10:59 | Quiz | 4 Fragen · Endkarte Folge 14 Grundlagen |

## 04 Typische Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- Leistung ohne Zeitbezug – $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{W}/\boldsymbol{t}$; Zeiten mehrfach messen und mitteln (Kapitel 4, 9).
- U/min direkt in $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{M}\cdot\omega$ – $\omega$ in rad/s, 240 U/min ≈ 25 rad/s (Kapitel 4, 9).
- Durchmesser statt Radius in der Kreisfläche – $\boldsymbol{A} = \pi\cdot\boldsymbol{d}^2/4$ (Kapitel 3, 9).
- Wirkungsgrad über 100 % – Messfehler, meist die Düsenfläche (Kapitel 5, 9).
- „Je schwerer die Last, desto mehr Leistung." – Die Leistung ist bei der Schaufelgeschwindigkeit $\boldsymbol{v}/2$ am grössten (Kapitel 6).

## 05 Einsatz im Unterricht

**Projekt:** Gruppen bauen je eine Turbine und vergleichen ihre Wirkungsgrade (mit Unsicherheit).

**Messreihe:** Gewichte von 50 g bis 300 g, jeweils Hubzeit messen, $\boldsymbol{P}(\omega)$ auftragen und das Maximum bestimmen.

**Vertiefung:** Aufgaben 2–11; Fehlerfortpflanzung mit relativen Unsicherheiten.

**Prüfungsvorbereitung:** Kapitel 9 und das Arbeitsblatt (Aufgaben im Stil von Matura-/Abiturprüfungen).

**Hinweis:** Die Projektwerte sind Lernwerte; beim eigenen Bau weichen sie ab. Anteil der Wasserkraft an der Schweizer Stromproduktion je nach Jahr etwa 55–65 %, weltweit etwa 14–15 %. **Sicherheit:** Wasser fern von Steckdosen und Ladegeräten; Kanister kippsicher befestigen; Sägen und Heissklebepistole nur unter Aufsicht.

## 06 Quellen


- Bundesamt für Energie (BFE): Schweizerische Elektrizitätsstatistik · IEA / Ember: Global Electricity Review (Anteil Wasserkraft)

- Cleuson-Dixence / Kraftwerk Bieudron: 3 Pelton-Turbinen à 423 MW, Fallhöhe 1883 m – grande-dixence.ch
- Giesecke, J.; Heimerl, S.; Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen – Planung, Bau und Betrieb. Springer Vieweg
- Serie „Physik“, Advanced-Folgen 1–13 (Turbinen-Bausteine und Projektwerte)
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

# Wir konstruieren eine Mini-Wasserturbine!

$g = 9{,}81\ m/s^2$ · $\rho_{Wasser} = 1000\ kg/m^3$ · $1\ L = 10^{-3}\ m^3$ · Rad $R = 5$ cm, Welle $r = 1$ cm.

## 1 Merksätze ergänzen ●○○

**Wirkungsgrad = _____ Leistung : _____ Leistung.**

**Ein Pelton-Rad arbeitet am besten, wenn die Schaufeln _____ so schnell laufen wie der Strahl.**

## 2 Volumenstrom und Strahl ●○○

Mit einer Düse von 5 mm Durchmesser füllt der Strahl 1 L in 9 s. Berechne $Q$, die Düsenfläche $A$ und die Strahlgeschwindigkeit $v$.

## 3 Strahlleistung ●●○

Berechne die Leistung des Strahls aus Aufgabe 2.

## 4 Torricelli ●○○

Wie schnell wäre der Strahl ohne Verluste, wenn der Kanister 3,0 m über der Düse steht?

## 5 Hubleistung ●●○

Die Turbine hebt 300 g in 5,0 s um 1,2 m. Berechne Leistung, Drehmoment, Winkelgeschwindigkeit und Drehzahl in U/min.

### 6 Wirkungsgrad ●○○

Berechne den Wirkungsgrad der Turbine mit den Ergebnissen aus Aufgabe 3 und 5.

### 7 Unsicherheit ●●●

Der Düsendurchmesser in Aufgabe 2 ist nur auf ± 0,1 mm bekannt. Wie gross ist die relative Unsicherheit von $A$, $v$ und der Strahlleistung? Gib den Wirkungsgrad mit Unsicherheit an.

### 8 Beste Drehzahl ●●○

Bei welcher Drehzahl (U/min) läuft das Rad aus Aufgabe 2 optimal?

### 9 Prüfungsfalle ●●○

Lea rechnet $P = M \cdot \omega = 0{,}020\ \text{N·m} \cdot 240 = 4{,}8\ \text{W}$ und erhält einen Wirkungsgrad über 400 %. Finde den Fehler und rechne richtig.

### 10 Bieudron ●●○

Im Kraftwerk Bieudron fällt das Wasser 1883 m tief. Wie schnell wäre der Strahl ohne Verluste? Vergleiche mit deiner Turbine.

### 11 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

**a) Leistung ohne Elektronik** ☐ Küchenwaage ☐ Gewicht heben, Zeit messen ☐ Thermometer

**b) leichtere Last** ☐ Wasser schneller ☐ Schaufeln näher an $v/2$ ☐ keine Reibung

**c) stärkster Einfluss** ☐ Fallhöhe ☐ Zeit am Messbecher ☐ Düsendurchmesser

**d) Energiequelle** ☐ Lageenergie des Wassers ☐ Löffel ☐ Schlauch

# Lösungen

**1 Merksätze**

nutzbare · zugeführte · halb

**2 Volumenstrom und Strahl**

$Q = 10^{-3}\ m^3 : 9\ s \approx 1{,}11 \cdot 10^{-4}\ m^3/s$ · $A = \pi \cdot (5 \cdot 10^{-3}\ m)^2 : 4 \approx 1{,}96 \cdot 10^{-5}\ m^2$ · $v = Q/A \approx 5{,}7\ m/s$

**3 Strahlleistung**

$P = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 1{,}11 \cdot 10^{-4} \cdot 5{,}66^2 \approx 1{,}78\ W$

**4 Torricelli**

$v = \sqrt{(2 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}0)} \approx 7{,}7\ m/s$

**5 Hubleistung**

$P = 0{,}3 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}2 : 5 \approx 0{,}71\ W$ · $M = 0{,}3 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}01 \approx 0{,}029\ N{\cdot}m$ · $v_{Faden} = 0{,}24\ m/s \rightarrow \omega = 24\ rad/s$ · $n = 24 \cdot 60 : 2\pi \approx 229\ U/min$ · Kontrolle $M \cdot \omega \approx 0{,}71\ W$

**6 Wirkungsgrad**

$\eta = 0{,}71 : 1{,}78 \approx 40\ \%$

**7 Unsicherheit**

$d$: $0{,}1 : 5 = 2\ \% \rightarrow A \pm 4\ \% \rightarrow v \pm 4\ \% \rightarrow P_{Strahl} \sim v^2 \pm 8\ \% \rightarrow \eta = (40 \pm 3)\ \%$

**8 Beste Drehzahl**

$u = v/2 \approx 2{,}83\ m/s$ · $\omega = u/R \approx 57\ rad/s$ · $n \approx 57 \cdot 60 : 2\pi \approx 540\ U/min$

**9 Prüfungsfalle**

Lea hat U/min statt rad/s eingesetzt. $\omega = 240 \cdot 2\pi : 60 \approx 25\ rad/s \rightarrow P = 0{,}020 \cdot 25 = 0{,}50\ W \rightarrow \eta \approx 43\ \%$

**10 Bieudron**

$v = \sqrt{(2 \cdot 9{,}81 \cdot 1883)} \approx 192\ m/s$ – rund 30-mal so schnell wie unser Strahl (6,3 m/s ideal)

**11 Quiz**

a) Gewicht heben, Zeit messen  b) Schaufeln näher an $v/2$  c) Düsendurchmesser  d) Lageenergie des Wassers