**PROFESSOR ERKLÄRBÄR**

Serie Physik · Folge 5 · Advanced

PHYSIK

LEHRERINFO ZUM VIDEO

# Energieerhaltung und Impulserhaltung

| FACH | STUFE | DAUER | VIDEO |
|---|---|---|---|
| Physik | Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur) | 16 min | youtube.com/@Erklaerbaer |

## 01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- Arbeit allgemein berechnen: $W = F \cdot s \cdot \cos\varphi$, als Fläche im $F$-$s$-Diagramm und als Spannarbeit $\frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$,
- Aufgaben mit der Energiebilanz $E_{vorher} = E_{nachher} + Q_{Reibung}$ lösen, auch mit Rotationsenergie (Vollkugel $J = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$),
- Impuls und Kraftstoss berechnen und Sicherheitssysteme (Airbag, Knautschzone) mit $F \cdot \Delta t = \Delta p$ begründen,
- die Impulserhaltung auf Rückstoss und Stösse anwenden und elastische von unelastischen Stössen unterscheiden,
- das Pelton-Prinzip (doppelter Impulsübertrag, Optimum bei $u = v/2$) erklären,
- mehrstufige Wirkungsgrade berechnen.

## 02 Voraussetzungen

Folge 5 Grundlagen („Arbeit, Energie und Leistung“): Energieformen, $E_{Lage}$, $E_{Bew}$, $P = W/t$, Wirkungsgrad. Folge 3 Advanced: Kreisbewegung, Looping-Bedingung, $\omega$. Folge 2 Advanced: Newtonsche Axiome. Mathematisch: Kosinus, Flächen unter Graphen, Gleichungssysteme mit zwei Unbekannten.

## 03 Ablauf des Videos

| ZEIT | KAPITEL | INHALT UND PRAXISBEISPIEL |
|---|---|---|
| 0:00 | Einstieg | Newton-Pendel: warum nie zwei mit halber Geschwindigkeit? · Ident · Serien-Fahrplan (Mini-Wasserturbine) |
| 0:52 | Was du brauchst | Wiederholung: $E_{Lage}$, $E_{Bew}$, Energieerhaltung, $P = W/t$ (05G); Looping $v^2 \geq g \cdot r$ (03A) |

| | | |
|---|---|---|
| 1:30 | Arbeit allgemein | Schlitten 100 N unter 30°, 20 m ≈ 1700 J · $F$-$s$-Diagramm · Hooke, ½·$D$·$s^2$ · Bungee PAUSE-FRAGE Federpistole → 1 J, 10 m/s |
| 3:20 | Energieerhaltung als Werkzeug | Energiebilanz mit Reibung · Looping $r$ = 6 cm: 2,5·$r$ = 15 cm, rollend 2,7·$r$ ≈ 16 cm, gemessen ≈ 20 cm |
| 4:53 | Impuls und Kraftstoss | $p$ = $m$·$v$ als Vektor · $F$·Δ$t$ = Δ$p$ · Airbag 7000 N → 700 N PAUSE-FRAGE Fussball an der Wand → 1800 N |
| 6:42 | Impulserhaltung | abgeschlossenes System, drittes Axiom · Skaterin wirft Medizinball → 0,4 m/s rückwärts · Rakete |
| 7:43 | Stösse | unelastisch: Auffahrunfall → 9 m/s, 40 % Energieverlust · elastisch: Geschwindigkeitstausch · Auflösung Newton-Pendel · Merksatz |
| 9:36 | Turbinen-Baustein 5 | Platte gegen Löffel · $F$ = 2·ρ·$Q$·$v$ ≈ 0,81 N · $P$($u$) maximal bei $u$ = $v$/2 · 540 U/min statt 240 |
| 11:16 | Wirkungsgrad mehrstufig | Speicherkraftwerk ≈ 85 % · Mini-Turbine 82 % · 43 % ≈ 35 % |
| 12:07 | Prüfungsfallen | vier typische Fallen (siehe 04) |
| 12:52 | Zusammenfassung | fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs |
| 13:32 | Quiz | 4 Fragen · Endkarte Folge 6 Advanced |

## 04 Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- Beim unelastischen Stoss die Bewegungsenergie erhalten – nur der Impuls bleibt erhalten (Kapitel 6, 9, Quiz).
- Impuls ohne Vorzeichen gerechnet – Richtung festlegen (Kapitel 4, 9).
- Rückprall mit Δ$p$ = $m$·$v$ statt 2·$m$·$v$ (Kapitel 4, 9).
- Rollende Körper ohne Rotationsenergie (Kapitel 3, 9).
- „Der Airbag verkleinert den Impuls." – Er verlängert die Stosszeit; Δ$p$ bleibt gleich (Kapitel 4, Quiz).
- „Eine Rakete stösst sich an der Luft ab." – Rückstoss funktioniert auch im Vakuum (Kapitel 5).

## 05 Einsatz im Unterricht

**Einstieg:** Newton-Pendel vorführen; Vermutungen sammeln, warum nie zwei Kugeln mit halber Geschwindigkeit wegfliegen.

**Experiment:** Stösse auf der Luftkissenbahn (oder mit zwei Spielzeugautos und Klettband für den unelastischen Fall); Geschwindigkeiten per Videoanalyse (z. B. phyphox, Tracker) messen.

**Vertiefung:** Aufgaben 4–9; ballistisches Pendel als Klassiker der Kombination von Impuls- und Energiesatz.

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

**Sicherheit:** Beim Federpistolen- und Stossversuch nicht auf Personen zielen, Schutzbrille bei gespannten Federn. Wasser-Experimente (Turbine) fern von Steckdosen.

## 06 Quellen


- Federgesetz, Rotationsenergie, Stossgesetze: Tipler, Mosca: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, Springer
- Airbag: Entfaltungszeit ≈ 30 ms, Abbremsweg des Kopfes einige Zentimeter: ADAC Unfallforschung / TCS
- Pelton-Turbinen: Wirkungsgrad bis ≈ 92 %; Kraftwerk Bieudron (VS) mit 1883 m Fallhöhe: Grande Dixence SA – grande-dixence.ch
- 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)

**PROFESSOR ERKLÄRBÄR**

Arbeitsblatt · Folge 5 · Advanced

PHYSIK

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

# Energieerhaltung und Impulserhaltung

Aufgaben im Stil von Matura- und Abiturprüfungen. Rechne mit $g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$. Lege bei Impulsaufgaben zuerst eine positive Richtung fest.

## 1 Merksätze ergänzen ●○○

**Der Impuls bleibt in jedem _____ System erhalten, die Bewegungsenergie nur beim _____ Stoss.**

**Kraftstoss: _____ = $\Delta p$ – mehr Zeit, _____ Kraft.**

**Elastischer zentraler Stoss gleicher Massen: Die Geschwindigkeiten werden _____.**

## 2 Rollkoffer ●○○

Du ziehst einen Rollkoffer mit 60 N am Griff, der um 40° gegen die Horizontale geneigt ist, 50 m weit. **Berechne** die verrichtete Arbeit.

## 3 Feder ●○○

Eine Feder dehnt sich um 4,0 cm, wenn man 2,0 N anhängt. **Bestimme** die Federkonstante und **berechne** die Spannenergie bei 10 cm Dehnung.

## 4 Achterbahn-Looping ●●○

Ein Looping hat 8,0 m Radius. a) **Leite** die Mindeststarthöhe ohne Reibung **her**. b) Der Wagen startet in 25 m Höhe. **Bestimme**, welcher Anteil der Startenergie höchstens durch Reibung verloren gehen darf.

### 5 Rollen oder Gleiten ●●○

Eine Vollkugel rollt eine 1,0 m hohe Rampe hinunter. **Berechne** ihre Geschwindigkeit unten und **vergleiche** mit einem reibungsfrei gleitenden Klotz.

### 6 Tennis ●●○

Ein Tennisball (58 g) kommt mit 30 m/s an und wird mit 40 m/s zurückgeschlagen. Der Kontakt dauert 5,0 ms. **Berechne** Impulsänderung und mittlere Kraft.

### 7 Sprung aus dem Boot ●○○

Eine Person (60 kg) springt mit 3,0 m/s aus einem ruhenden Ruderboot (90 kg) ans Ufer. **Berechne** die Geschwindigkeit des Boots (Wasserwiderstand vernachlässigt).

### 8 Ballistisches Pendel ●●●

Ein Geschoss (10 g) bleibt in einem hängenden Holzklotz (2,0 kg) stecken. Der Klotz schwingt danach 5,0 cm hoch. a) **Berechne** die Geschwindigkeit von Klotz und Geschoss direkt nach dem Stoss. b) **Bestimme** die Geschwindigkeit des Geschosses. c) **Berechne**, welcher Anteil der Bewegungsenergie beim Stoss verloren geht.

### 9 Billard ●●○

Eine Billardkugel (170 g, 2,0 m/s) trifft eine gleich schwere ruhende Kugel zentral und elastisch. **Zeige**, dass „erste Kugel steht, zweite mit 2,0 m/s“ Impuls- und Energiesatz erfüllt, „beide mit 1,0 m/s“ aber nicht.

### 10 Turbine: Pelton ●●●

Projektwerte: $\boldsymbol{Q} = 7{,}1 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m^3/s}$, $\boldsymbol{v} = 5{,}7\ \mathrm{m/s}$, $\rho = 1000\ \mathrm{kg/m^3}$. a) **Berechne** die Kraft auf eine festgehaltene Löffelschaufel. b) **Berechne** $\boldsymbol{P} = 2 \cdot \rho \cdot \boldsymbol{Q} \cdot (\boldsymbol{v} - \boldsymbol{u}) \cdot \boldsymbol{u}$ für $\boldsymbol{u} = 1{,}25\ \mathrm{m/s}$ und $\boldsymbol{u} = 2{,}85\ \mathrm{m/s}$. c) Gemessen wurden 0,49 W. **Nenne** mögliche Gründe für die Abweichung.

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

**a) unelastisch erhalten** ☐ nur Energie ☐ nur Impuls ☐ beides

**b) Airbag** ☐ kleineres Δp ☐ längere Zeit, kleinere Kraft ☐ bremst das Auto

**c) Billard, gleiche Massen** ☐ beide ½ v ☐ erste prallt zurück ☐ Tausch

**d) Pelton optimal bei** ☐ u = v ☐ u = v/2 ☐ u = 0

# Lösungen

**1 Merksätze**

abgeschlossenen, elastischen · $F \cdot \Delta t$, weniger · getauscht

**2 Rollkoffer**

$W = 60\ \text{N} \cdot 50\ \text{m} \cdot \cos 40° \approx 2300\ \text{J}$.

**3 Feder**

$D = 2{,}0\ \text{N} : 0{,}040\ \text{m} = 50\ \text{N/m}$; $E = \frac{1}{2} \cdot 50 \cdot 0{,}10^2 = 0{,}25\ \text{J}$.

**4 Looping**

a) Oben $v^2 \geq g \cdot r$; $m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot 2r + \frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot r \Rightarrow h = 2{,}5 \cdot r = 20\ \text{m}$. b) Höchstens $m \cdot g \cdot (25 - 20)$ m, also 5 : 25 = 20 % der Startenergie.

**5 Rollen oder Gleiten**

Rollen: $m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5} \cdot m \cdot v^2 = 0{,}7 \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{(g \cdot h : 0{,}7)} \approx 3{,}7\ \text{m/s}$. Gleiten: $v = \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)} \approx 4{,}4\ \text{m/s}$ – ein Teil der Energie steckt in der Drehung.

**6 Tennis**

Richtung des Rückschlags positiv: $\Delta p = 0{,}058 \cdot (40 - (-30)) \approx 4{,}1\ \text{kg·m/s}$; $F = 4{,}06 : 0{,}0050 \approx 810\ \text{N}$.

**7 Boot**

$0 = 60 \cdot 3{,}0 + 90 \cdot v \Rightarrow v = -2{,}0\ \text{m/s}$: Das Boot fährt mit 2,0 m/s in die Gegenrichtung.

**8 Ballistisches Pendel**

a) Energiesatz nach dem Stoss: $v' = \sqrt{(2 \cdot g \cdot h)} = \sqrt{(2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}050)} \approx 0{,}99\ \text{m/s}$. b) Impulssatz: $0{,}010 \cdot v = 2{,}010 \cdot 0{,}99 \Rightarrow v \approx 200\ \text{m/s}$. c) Vorher $\frac{1}{2} \cdot 0{,}010 \cdot 199^2 \approx 198\ \text{J}$, nachher $\frac{1}{2} \cdot 2{,}010 \cdot 0{,}99^2 \approx 0{,}99\ \text{J}$ – rund 99,5 % gehen in Verformung und Wärme.

**9 Billard**

Vorher: $p = 0{,}17 \cdot 2{,}0 = 0{,}34\ \text{kg·m/s}$, $E = \frac{1}{2} \cdot 0{,}17 \cdot 2{,}0^2 = 0{,}34\ \text{J}$. Tausch: $p = 0{,}34$ ✓, $E = 0{,}34\ \text{J}$ ✓. Beide 1,0 m/s: $p = 2 \cdot 0{,}17 \cdot 1{,}0 = 0{,}34$ ✓, aber $E = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0{,}17 \cdot 1{,}0^2 = 0{,}17\ \text{J}$ ✗ – beim elastischen Stoss unmöglich.

## 10 Pelton

**a) $F = 2 \cdot 1000 \cdot 7{,}1 \cdot 10^{-5} \cdot 5{,}7 \approx 0{,}81$ N. b) $u = 1{,}25$ m/s: $P = 0{,}142 \cdot 4{,}45 \cdot 1{,}25 \approx 0{,}79$ W; $u = 2{,}85$ m/s: $P = 0{,}142 \cdot 2{,}85 \cdot 2{,}85 \approx 1{,}15$ W (Maximum = $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot v^2$). c) Der Löffel lenkt den Strahl nicht ganz um 180° um, Wasser spritzt seitlich weg, der Strahl trifft nicht immer voll, Reibung in Lager und am Faden.**

## 11 Quiz

**a) nur Impuls b) längere Zeit, kleinere Kraft c) Tausch d) $u = v/2$**