PROFESSOR ERKLÄRBÄR

Serie Physik · Folge 3 · Advanced

PHYSIK

LEHRERINFO ZUM VIDEO

Kreisbewegung und Drehmoment: Alles, was sich dreht

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur)	14 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- gleichförmige Kreisbewegungen mit $\boldsymbol{T}$, $\boldsymbol{f}$, $\omega = 2\pi/\boldsymbol{T}$ und $\boldsymbol{v} = \omega \cdot \boldsymbol{r}$ beschreiben und Drehzahlen in rad/s umrechnen,
- die Zentripetalbeschleunigung $\boldsymbol{a}_z = \boldsymbol{v}^2/\boldsymbol{r} = \omega^2 \cdot \boldsymbol{r}$ anschaulich begründen und anwenden,
- die Zentripetalkraft als Resultierende der echten Kräfte erkennen (Seil, Schiene, Haftreibung, Gravitation),
- die Zentrifugalkraft als Scheinkraft im mitdrehenden System einordnen,
- die Looping-Bedingung $\boldsymbol{v}_{min} = \sqrt{(\boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{r})}$ herleiten,
- das Drehmoment $\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{F} \cdot \sin\varphi$ und die Gleichgewichtsbedingungen $\Sigma F = 0$, $\Sigma M = 0$ auf starre Körper anwenden und die Leistung $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{M} \cdot \omega$ berechnen.

02 Voraussetzungen

Folge 3 Grundlagen („Hebel und Drehmoment“): Drehmoment, Hebelgesetz. Folge 2 Advanced: Newtonsche Axiome, Freikörperbild, Reibung. Mathematisch: Bogenmass, Sinus, Quadratwurzel, Gleichungen umstellen. Gravitation als Zentripetalkraft folgt in Folge 4 Advanced, Rotationsenergie in Folge 5 Advanced.

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT UND PRAXISBEISPIEL
0:00	Einstieg	Kopfüber im Looping – welche Kraft hält dich? · Ident · Serien-Fahrplan (Mini-Wasserturbine)
0:44	Was du brauchst	Wiederholung: Drehmoment, Hebelgesetz (03G), $\boldsymbol{F}_{res} = \boldsymbol{m} \cdot \boldsymbol{a}$, Freikörperbild (02A)

1:17	Kreisbewegung beschreiben	***T***, ***f***, Radiant, ω, $\boldsymbol{v} = \omega \cdot \boldsymbol{r}$, $\omega = 2\pi \boldsymbol{n}/60$ · Waschmaschine 1200 U/min → 31 m/s
2:27	Warum eine Kraft nötig ist	Geschwindigkeitsdreieck, $\boldsymbol{a}_z = \boldsymbol{v}^2/\boldsymbol{r}$ PAUSE-FRAGE Salatschleuder ≈ 40 g · Laborzentrifuge ≈ 1000 g
3:46	Die Zentripetalkraft	Resultierende der echten Kräfte · Auto 1200 kg, 54 km/h, $\boldsymbol{r}$ = 50 m: 5400 N, $\mu \geq 0{,}46$ – nass rutscht es
5:04	Die Zentrifugalkraft	Karussell: Scheinkraft im mitdrehenden System · Salatschleuder · Schnur reisst → tangential (Merksatz)
5:59	Der Looping	$\boldsymbol{v}_{min} = \sqrt{(\boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{r})}$: $\boldsymbol{r}$ = 10 m → 36 km/h PAUSE-FRAGE Stein an der Schnur ≈ 7,9 N
7:31	Drehmoment allgemein	$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{F} \cdot \sin\varphi$ · Drehmomentschlüssel · $\Sigma F = 0$, $\Sigma M = 0$ · Brett auf zwei Böcken: 294 N und 491 N
9:07	Turbinen-Baustein 3	$\boldsymbol{M}$ = 0,020 N·m, ω = 25 rad/s, $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{M} \cdot \omega \approx 0{,}5$ W · E-Auto: Drehmoment ab Drehzahl null
10:13	Prüfungsfallen	vier typische Fallen (siehe 04)
11:01	Zusammenfassung	fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs
11:40	Quiz	4 Fragen · Endkarte Folge 4 Advanced

04 Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- Zentrifugalkraft im Freikörperbild des Inertialsystems – dort gibt es nur die nach innen gerichtete Resultierende (Kapitel 5, 9).
- Zentripetalkraft zusätzlich zur Seilkraft eingezeichnet – sie ist keine eigene Kraft (Kapitel 4, 9).
- ω in U/min oder °/s eingesetzt – immer rad/s, $\omega = 2\pi \boldsymbol{n}/60$ (Kapitel 2, 9).
- sin φ beim Drehmoment vergessen (Kapitel 7, 9).
- „Beim Loslassen fliegt der Ball nach aussen." – Er fliegt tangential (Kapitel 5, Quiz).
- „Bei konstantem Tempo gibt es keine Beschleunigung." – Die Richtung ändert sich (Kapitel 3).

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg: Die Looping-Frage schätzen lassen; dann Kapitel 2–3 mit der Pause-Frage.

Experiment: Stein oder Radiergummi an einer Schnur im Kreis führen, Umlaufzeit mit phyphox messen; Zentripetalbeschleunigung mit dem Beschleunigungssensor eines Handys auf einem Drehstuhl bestimmen.

Vertiefung: Aufgaben 5–7 (Kurvenfahrt, Kettenkarussell, Looping) als Gruppenarbeit.

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

Sicherheit: Beim Schnur-Experiment genug Abstand zu Personen und Fenstern; Handy auf dem Drehstuhl sicher befestigen. Wasser-Experimente (Turbine) fern von Steckdosen.

06 Quellen

- Haftreibungszahlen Reifen/Fahrbahn (trocken ≈ 0,7–0,9, nass ≈ 0,4–0,6): Kuchling, Taschenbuch der Physik, Hanser
- Schleuderdrehzahlen von Haushaltswaschmaschinen 1000–1600 U/min, Trommelradius ≈ 0,25 m: Herstellerangaben
- Laborzentrifugen für Blutproben: typisch 3000 U/min, Relative Zentrifugalbeschleunigung ≈ 1000 g (RZB = $1{,}118 \cdot 10^{-5} \cdot r\,[\text{cm}] \cdot n^2$)
- Anzugsdrehmoment Radschrauben PW typisch 110–140 N·m (Herstellerangaben)
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Kreisbewegung und Drehmoment: Alles, was sich dreht

Aufgaben im Stil von Matura- und Abiturprüfungen. Rechne mit $g = 9{,}81\ m/s^2$, Winkelgeschwindigkeiten in rad/s. Zeichne bei Kraftaufgaben zuerst ein Freikörperbild.

1 Merksätze ergänzen ●○○

Kreisbewegung braucht eine Kraft zum _____: F_Z = _____.

Die Zentrifugalkraft gibt es nur im _____ System.

Ein starrer Körper ist im Gleichgewicht, wenn ΣF = _____ und ΣM = _____.

2 Riesenrad ●○○

Ein Riesenrad mit 30 m Radius dreht sich in 15 min einmal. **Berechne** Periodendauer, Frequenz, Winkelgeschwindigkeit und die Bahngeschwindigkeit einer Gondel.

3 Velorad ●●○

Ein Velorad hat 70 cm Durchmesser, das Velo fährt 20 km/h. **Berechne** die Winkelgeschwindigkeit des Rads und seine Drehzahl in U/min.

4 Zentripetalbeschleunigung ●●○

Begründe mit einer Skizze zweier Geschwindigkeitspfeile, warum bei konstantem Tempo eine Beschleunigung zum Mittelpunkt vorliegt. **Zeige**, dass $v^2/r = \omega^2 \cdot r$.

5 Kurvenfahrt ●●●

Ein Auto fährt durch eine flache Kurve mit 80 m Radius. a) **Leite** $\boldsymbol{v}_{max} = \sqrt{(\mu_H \cdot \boldsymbol{g} \cdot \boldsymbol{r})}$ **her**. b) **Berechne** $\boldsymbol{v}_{max}$ in km/h für trockene ($\mu_H = 0{,}9$) und nasse Fahrbahn ($\mu_H = 0{,}5$). c) **Begründe**, warum die Masse des Autos keine Rolle spielt.

6 Kettenkarussell ●●●

Ein Sitz kreist auf einem Kreis mit 8,0 m Radius, die Kette ist um 30° gegen die Senkrechte geneigt. a) **Zeichne** das Freikörperbild des Sitzes (mit Person) und **zeige**, dass $\tan \alpha = \boldsymbol{v}^2/(\boldsymbol{r} \cdot \boldsymbol{g})$. b) **Berechne** die Geschwindigkeit und die Umlaufzeit.

7 Looping ●●○

Ein Looping hat 8,0 m Radius. a) **Berechne** die Mindestgeschwindigkeit im höchsten Punkt. b) Der Wagen fährt oben mit 12 m/s. **Berechne** die Kraft, mit der der Sitz eine Person (60 kg) nach unten drückt.

8 Salatschleuder ●●○

Erkläre aus Sicht eines Beobachters ausserhalb der Schleuder (Inertialsystem), warum die Wassertropfen an die Wand fliegen. **Beurteile** die Aussage „Die Zentrifugalkraft schleudert das Wasser nach aussen“.

9 Brett auf zwei Auflagern ●●●

Ein 4,0 m langes Brett (30 kg) liegt an den Enden auf zwei Böcken. Eine Kiste (50 kg) steht 1,0 m vom rechten Ende entfernt. **Berechne** die Auflagerkräfte und **begründe** die Wahl deines Bezugspunkts.

10 Turbine: Leistung ●●○

Die Turbinenwelle (***r*** = 1,0 cm) hebt 300 g in 6,0 s um 1,0 m. **Berechne** Drehmoment, Winkelgeschwindigkeit und Leistung und **überprüfe** das Ergebnis mit der Hubleistung.

---

11 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

a) Schnur reisst ☐ tangential ☐ radial aussen ☐ Spirale

b) 2 × *v* → F_z ☐ 2 × ☐ 4 × ☐ gleich

c) 60 U/min = ☐ 1 rad/s ☐ 2π rad/s ☐ 60 rad/s

d) F_z beim Auto ☐ Haftreibung ☐ Zentrifugalkraft ☐ Motor

Lösungen

1 Merksätze

Mittelpunkt, $m \cdot v^2/r$ · mitdrehenden · 0, 0

2 Riesenrad

$T = 900$ s; $f = 1/900$ s $\approx 1{,}1 \cdot 10^{-3}$ Hz; $\omega = 2\pi/900$ s $\approx 7{,}0 \cdot 10^{-3}$ rad/s; $v = \omega \cdot r \approx 0{,}21$ m/s.

3 Velorad

$v = 20 : 3{,}6 \approx 5{,}56$ m/s; $\omega = v/r = 5{,}56 : 0{,}35 \approx 15{,}9$ rad/s; $n = 60 \cdot \omega/(2\pi) \approx 152$ U/min.

4 Zentripetalbeschleunigung

Die Geschwindigkeitspfeile an zwei nahen Punkten sind gleich lang, aber gedreht; ihre Differenz Δv zeigt zum Mittelpunkt, also auch $a = \Delta v/\Delta t$. Mit $v = \omega \cdot r$: $v^2/r = \omega^2 r^2/r = \omega^2 \cdot r$.

5 Kurvenfahrt

a) Die Haftreibung liefert die Zentripetalkraft: $m \cdot v^2/r \leq \mu_H \cdot m \cdot g \Rightarrow v_{max} = \sqrt{(\mu_H \cdot g \cdot r)}$. b) trocken: $\sqrt{(0{,}9 \cdot 9{,}81 \cdot 80)} \approx 26{,}6$ m/s ≈ 96 km/h; nass: $\sqrt{(0{,}5 \cdot 9{,}81 \cdot 80)} \approx 19{,}8$ m/s ≈ 71 km/h. c) m kürzt sich: Ein schwereres Auto braucht mehr Zentripetalkraft, hat aber im gleichen Verhältnis mehr Haftreibung.

6 Kettenkarussell

a) Kräfte: Gewichtskraft nach unten, Kettenkraft schräg nach oben innen. Senkrecht: $F_K \cdot \cos\alpha = m \cdot g$; waagrecht: $F_K \cdot \sin\alpha = m \cdot v^2/r \Rightarrow \tan\alpha = v^2/(r \cdot g)$. b) $v = \sqrt{(8{,}0 \cdot 9{,}81 \cdot \tan 30°)} \approx 6{,}7$ m/s; $T = 2\pi r/v \approx 7{,}5$ s.

7 Looping

a) $v_{min} = \sqrt{(9{,}81 \cdot 8{,}0)} \approx 8{,}9$ m/s. b) $m \cdot g + F_S = m \cdot v^2/r \Rightarrow F_S = 60 \cdot (144/8{,}0 - 9{,}81) \approx 60 \cdot 8{,}19 \approx 491$ N.

8 Salatschleuder

Der Korb zwingt den Salat durch Kräfte nach innen auf die Kreisbahn. Die Tropfen werden durch die Löcher nicht mehr nach innen gezogen und bewegen sich nach dem Trägheitsprinzip tangential geradeaus weiter, bis sie die Wand treffen. Die Aussage beschreibt die Sicht im mitdrehenden System; im Inertialsystem wirkt keine Kraft nach aussen.

9 Brett

Gewichtskräfte: Brett 294 N in der Mitte (2,0 m vom linken Ende), Kiste 491 N bei 3,0 m. Bezugspunkt linkes Auflager (dort fällt F_L heraus): $F_R \cdot 4{,}0\ \text{m} = 294 \cdot 2{,}0 + 491 \cdot 3{,}0 \approx 2060\ \text{N·m}$ ⇒ $F_R \approx 515\ \text{N}$; $F_L = 785\ \text{N} - 515\ \text{N} \approx 270\ \text{N}$.

10 Turbine

$M = 0{,}3 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}01 \approx 0{,}029\ \text{N·m}$; $v = 1{,}0\ \text{m} : 6{,}0\ \text{s} \approx 0{,}167\ \text{m/s}$, $\omega = v/r \approx 16{,}7\ \text{rad/s}$; $P = M \cdot \omega \approx 0{,}49\ \text{W}$. Kontrolle: $m \cdot g \cdot h / t = 0{,}3 \cdot 9{,}81 \cdot 1{,}0 : 6{,}0 \approx 0{,}49\ \text{W}$ ✓ – gleiche Leistung, nur langsamer mit grösserer Last.

11 Quiz

a) tangential b) 4 × c) 2π rad/s d) Haftreibung