PROFESSOR ERKLÄRBÄR

Serie Physik · Folge 1 · Advanced

PHYSIK

LEHRERINFO ZUM VIDEO

Kinematik: Bewegung mathematisch verstehen

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium · Sek II (Matura/Abitur)	17 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- gleichförmige und gleichmässig beschleunigte Bewegungen mit $s = v \cdot t + s_0$, $v = a \cdot t + v_0$ und $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$ beschreiben und $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ als Dreiecksfläche unter dem v-t-Graphen herleiten,
- die zeitfreie Gleichung $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$ herleiten und Brems- und Anhaltewege berechnen,
- s-t-, v-t- und a-t-Diagramme über Steigung und Fläche ineinander übersetzen,
- Fallzeit und Fallgeschwindigkeit beim freien Fall berechnen und begründen, warum ohne Luft alle Körper gleich schnell fallen,
- waagrechten und schrägen Wurf nach dem Unabhängigkeitsprinzip zerlegen und Steigzeit, Wurfhöhe und Wurfweite berechnen – inklusive der Grenzen der 45°-Regel,
- Messreihen mit Mittelwert und Unsicherheit (halbe Spannweite) auswerten und das Ergebnis sinnvoll gerundet angeben.

02 Voraussetzungen

Folge 1 Grundlagen der Serie („Bewegung, Geschwindigkeit und Beschleunigung“): $v = s/t$, $a = \Delta v/\Delta t$, Umrechnung m/s ↔ km/h, s-t-Diagramm. Mathematisch: Gleichungen umstellen, Quadratwurzel, Sinus und Kosinus im rechtwinkligen Dreieck. Gerechnet wird mit $g = 9{,}81$ m/s². Kräfte als Ursache der Beschleunigung folgen in Folge 2 Advanced (Newtons Gesetze).

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT UND PRAXISBEISPIEL
0:00	Einstieg	Zwei Handys: eins fällt, eins wird waagrecht weggeschnippt – welches landet zuerst? · Ident · Serien-Fahrplan (Mini-Wasserturbine)

0:51	Was du brauchst	Wiederholung aus 01G: $v = s/t$, · 3,6, $a = \Delta v/\Delta t$, Steigung im s-t-Diagramm
1:31	Bewegungsgleichungen	Rechteck- und Dreiecksfläche unter dem v-t-Graphen → Weg-Zeit-Gesetz · Autobahn-Einfahrt: ½ · 2,8 m/s² · (10 s)² ≈ 140 m
3:13	Bremsweg ohne Zeit	Herleitung $v^2 = v_0^2 + 2as$ · Bremsweg bei 8 m/s²: 50 km/h → 12 m, 100 km/h → 48 m · Anhalteweg 26 m / 76 m PAUSE-FRAGE (Velo)
4:53	Diagramme übersetzen	Steigung nach unten, Fläche nach oben · Lift mit phyphox: a-t → v-t-Trapez → s-t PAUSE-FRAGE (16 m) · Merksatz
6:34	Freier Fall	Stroboskop · Hammer und Feder (Apollo 15) · Handy fällt 0,80 m: 0,40 s, 4,0 m/s PAUSE-FRAGE (Brunnen 19,6 m)
8:16	Unabhängigkeitsprinzip	Auflösung Einstieg (Merksatz) · Wurfparabel mit Schatten · Murmel aus 01G über die Tischkante → 50 cm · Experiment zwei Münzen
9:33	Der schräge Wurf	Fussball 20 m/s unter 30°: 1,0 s, 5,1 m, 35 m · $W = v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)/g$, 45° → 41 m · Kugelstossen und Weitsprung
11:10	Messunsicherheit	Fünf Fallzeiten → t = (0,41 ± 0,04) s · Merksatz
12:09	Turbinen-Baustein 1	Drehzahl per Zeitlupe: 60 Bilder bei 240 Bilder/s → T = 0,25 s, f = 4 Hz, 240 U/min · ± 1 Bild → (240 ± 4) U/min
13:24	Prüfungsfallen	vier Fallen (siehe 04)
14:12	Zusammenfassung	fünf Kernaussagen · Auflösung des Einstiegs
14:44	Quiz	4 Fragen · Endkarte Folge 2 Advanced

04 Fehlvorstellungen und Prüfungsfallen

- „Am höchsten Punkt ist die Beschleunigung null." – Nur $v_y = 0$; $a = g$ nach unten während des ganzen Flugs (Kapitel 7, 10, Quiz).
- Vorzeichen: ohne festgelegte positive Richtung werden a und v vermischt; oben positiv → $a = -g$. In $s_B = v_0^2/(2a)$ steht der Betrag der Bremsverzögerung (Kapitel 3, 10).
- „45° ist immer optimal." – Nur ohne Luftwiderstand und bei gleicher Abwurf- und Landehöhe; Kugelstossen ≈ 37°, Weitsprung ≈ 20° (Kapitel 7, 10).
- Taschenrechner im Bogenmass: sin 30 = −0,988 statt 0,5 (Kapitel 10).
- „Schwere Körper fallen schneller." – Der Unterschied kommt vom Luftwiderstand (Kapitel 5).
- „Der geworfene Körper fällt langsamer, weil er Schwung hat." – Unabhängigkeitsprinzip (Kapitel 6).
- Doppelte Geschwindigkeit = doppelter Bremsweg – tatsächlich vierfach, weil v quadratisch eingeht (Kapitel 3).

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg: Die Handy-Frage (mit zwei Münzen statt Handys) abstimmen lassen, dann das Münzen-Experiment mit dem Lineal vorführen und erst danach Kapitel 6 zeigen.

Erarbeitung mit Pausen: Kapitel 2–4 mit den drei Pause-Fragen; die Herleitung der zeitfreien Gleichung an der Tafel nachvollziehen (Arbeitsblatt Aufgabe 3).

Experiment: phyphox-Beschleunigungssensor im Schullift (Kapitel 4) oder Fallzeit mit der akustischen Stoppuhr; Auswertung mit Mittelwert und Unsicherheit (Aufgabe 9).

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

Sicherheit: Wasser-Experimente (Turbine, Gartenschlauch) fern von Steckdosen und Ladegeräten. Keine Handys fallen lassen – für den Einstieg Münzen oder Radiergummis nehmen. Murmeln nicht in die Nähe von Kleinkindern.

06 Quellen

- Normfallbeschleunigung g_n = 9,806 65 m/s² (CGPM 1901); Mond ≈ 1,62 m/s²: NASA, Moon Fact Sheet – nssdc.gsfc.nasa.gov
- Hammer-und-Feder-Experiment, Apollo 15, David Scott, 2. August 1971: NASA, Apollo 15 Lunar Surface Journal – hq.nasa.gov/alsj
- Bremsverzögerung Pkw auf trockener Strasse ≈ 7–9 m/s², auf nasser Strasse deutlich weniger; Reaktionszeit ≈ 1 s (Faustwerte der Unfallanalyse und Fahrschulen)
- Linthorne, N. P. (2001): Optimum release angle in the shot put. Journal of Sports Sciences 19, 359–372 · Linthorne, N. P., Guzman, M. S., Bridgett, L. A. (2005): Optimum take-off angle in the long jump. Journal of Sports Sciences 23, 703–712
- phyphox, RWTH Aachen: phyphox.org (Beschleunigungssensor, akustische Stoppuhr)
- EDK: Rahmenlehrplan für die Maturitätsschulen (Physik) · KMK: Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (2020)

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Kinematik: Bewegung mathematisch verstehen

Aufgaben im Stil von Matura- und Abiturprüfungen. Rechne mit $g = 9{,}81\ \text{m/s}^2$ und ohne Luftwiderstand, wenn nichts anderes steht. Gib jede Rechnung mit Einheiten an.

1 Merksätze ergänzen ●○○

Die Fläche unter dem *v*-*t*-Graphen ist der _____; die Steigung des *v*-*t*-Graphen ist die _____.

Bewegungen in *x*- und *y*-Richtung laufen _____ voneinander ab.

Jede Messung hat eine _____. Gib das Ergebnis nie _____ an, als du gemessen hast.

2 Anfahrende S-Bahn ●○○

Eine S-Bahn beschleunigt aus dem Stand gleichmässig mit $0{,}80\ \text{m/s}^2$ auf 72 km/h.
a) **Berechne** die Zeit, bis sie 72 km/h erreicht. b) **Berechne** den dabei zurückgelegten Weg.
c) **Skizziere** das *v*-*t*-Diagramm und **markiere** den Weg als Fläche.

3 Zeitfreie Gleichung ●●○

Leite aus $v = a \cdot t + v_0$ und $s = \tfrac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$ die Gleichung $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$ **her**.

4 Anhalteweg bei Nässe ●●○

Ein Auto fährt 80 km/h. Reaktionszeit 1,0 s, Bremsverzögerung auf nasser Strasse 5,0 m/s².
a) **Berechne** Reaktionsweg, Bremsweg und Anhalteweg. b) 60 m vor dem Auto taucht ein Hindernis auf. **Berechne**, mit welcher Geschwindigkeit das Auto es erreicht. c) **Begründe**, warum eine Verdoppelung der Geschwindigkeit den Bremsweg vervierfacht.

5 Diagramme übersetzen: Velo ●●○

Ein Velo startet aus dem Stand. ***a*-*t***-Diagramm: 0–4 s: +1,5 m/s² · 4–10 s: 0 · 10–13 s: −2,0 m/s².
a) **Zeichne** das ***v*-*t***-Diagramm. b) **Bestimme** den gesamten Weg aus dem Diagramm. c) **Skizziere** qualitativ das ***s*-*t***-Diagramm.

6 Freier Fall ●●●

a) Eine Turmspringerin lässt sich vom 10-m-Turm fallen. **Berechne** Fallzeit und Eintauchgeschwindigkeit (in km/h).
b) Ein Stein fällt in einen Schacht; nach 3,0 s hört man den Aufprall. **Begründe**, warum $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ mit $t = 3{,}0$ s eine zu grosse Tiefe liefert, und **schätze** die wahre Tiefe **ab** (Schallgeschwindigkeit 340 m/s).

7 Waagrechter Wurf: Gartenschlauch ●●○

Ein Gartenschlauch wird 1,2 m über dem Boden waagrecht gehalten. Der Strahl trifft 3,0 m entfernt auf.
a) **Berechne** die Fallzeit eines Tropfens. b) **Berechne** die Austrittsgeschwindigkeit. c) **Berechne** Betrag und Richtung der Geschwindigkeit beim Auftreffen.

8 Schräger Wurf: Abstoss ●●●

Ein Ball wird vom Boden mit 15 m/s unter 40° abgeschossen und landet wieder auf dem Boden.
a) **Zerlege** die Startgeschwindigkeit in Komponenten. b) **Berechne** Steigzeit, Wurfhöhe und Wurfweite. c) **Gib** einen zweiten Abschusswinkel **an**, unter dem der Ball gleich weit fliegt, und **begründe**. d) **Beurteile**, ob 45° im echten Spiel der beste Winkel ist.

9 Messreihe: g bestimmen ●●●

Eine Kugel fällt aus 1,00 m. Fünf Messungen der Fallzeit: 0,47 s · 0,43 s · 0,46 s · 0,44 s · 0,45 s.
a) **Gib** die Fallzeit mit Unsicherheit (halbe Spannweite) **an**. b) **Berechne** daraus ***g*** und den Bereich, den die Unsicherheit zulässt. c) **Beurteile** das Ergebnis im Vergleich mit 9,81 m/s².

10 Turbine: Drehzahl per Zeitlupe ●●○

Bei 240 Bildern pro Sekunde dauern 10 Umdrehungen des Turbinenrads 612 Bilder (± 1 Bild).
a) **Berechne** Periodendauer, Frequenz und Drehzahl in U/min. b) **Gib** die Drehzahl mit Unsicherheit **an** und **vergleiche** mit der Messung über nur eine Umdrehung im Video.

11 Quiz aus dem Video – kreuze an ●○○

a) *a* am höchsten Punkt ☐ 0 ☐ je nach Winkel ☐ 9,81 m/s² ↓

b) 2 × *v* → Bremsweg ☐ 4 × ☐ 2 × ☐ gleich

c) fallen / werfen ☐ fallend zuerst ☐ gleichzeitig ☐ geworfen zuerst

d) Fläche unter *v*-*t* ☐ Weg ☐ Beschleunigung ☐ Zeit

Lösungen

1 Merksätze

Weg, Beschleunigung · unabhängig · Unsicherheit, genauer

2 S-Bahn

72 km/h : 3,6 = 20 m/s. a) $t = v/a$ = 20 m/s : 0,80 m/s² = 25 s. b) s = ½·0,80 m/s²·(25 s)² = 250 m (Kontrolle: Ø 10 m/s · 25 s = 250 m). c) Gerade von (0 | 0) nach (25 s | 20 m/s); die Dreiecksfläche darunter ist der Weg.

3 Herleitung

Aus $v = a \cdot t + v_0$ folgt $t = (v - v_0)/a$. Einsetzen: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (v - v_0)^2/a^2 + v_0 \cdot (v - v_0)/a = [(v - v_0)^2 + 2v_0(v - v_0)]/(2a) = (v^2 - v_0^2)/(2a)$. Also $2as = v^2 - v_0^2$ bzw. $v^2 = v_0^2 + 2as$.

4 Anhalteweg

80 km/h ≈ 22,2 m/s. a) Reaktionsweg 22,2 m; Bremsweg (22,2 m/s)² : (2 · 5,0 m/s²) ≈ 49,4 m; Anhalteweg ≈ 71,6 m. b) Nach dem Reaktionsweg bleiben 60 m − 22,2 m = 37,8 m zum Bremsen: v^2 = (22,2 m/s)² − 2 · 5,0 m/s² · 37,8 m ≈ 116 m²/s² → v ≈ 10,8 m/s ≈ 39 km/h. c) $s_B = v_0^2/(2a)$: v_0 steht im Quadrat, also $(2v_0)^2 = 4v_0^2$ → vierfacher Bremsweg.

5 Velo

a) v steigt bis 4 s linear auf 1,5 · 4 = 6 m/s, bleibt bis 10 s konstant und fällt bis 13 s linear auf 0 (Fläche unter a-t: +6 m/s und −6 m/s). b) Trapezfläche: ½·4 s·6 m/s + 6 s·6 m/s + ½·3 s·6 m/s = 12 m + 36 m + 9 m = 57 m. c) Parabelast (immer steiler) bis 4 s, Gerade bis 10 s, dann flacher werdend bis zur Waagrechten bei 13 s und 57 m.

6 Freier Fall

a) $t = \sqrt{(2 \cdot 10 \text{ m} : 9{,}81 \text{ m/s}^2)} \approx 1{,}43$ s; $v = g \cdot t \approx 14{,}0$ m/s ≈ 50 km/h. b) Die 3,0 s enthalten auch die Laufzeit des Schalls nach oben; die Fallzeit ist kürzer. Naiv: ½ · 9,81 · 3,0² ≈ 44 m. Mit Schall: $t_F + h/340$ m/s = 3,0 s und $h = \frac{1}{2} g t_F^2$ → $t_F \approx 2{,}88$ s, $h \approx 41$ m (Abschätzung: 44 m Schallweg dauern ≈ 0,13 s). Der Fehler beträgt also rund 3 m.

7 Gartenschlauch

a) $t = \sqrt{(2 \cdot 1{,}2 \text{ m} : 9{,}81 \text{ m/s}^2)} \approx 0{,}49$ s. b) v_0 = 3,0 m : 0,495 s ≈ 6,1 m/s. c) v_y = 9,81 m/s² · 0,495 s ≈ 4,9 m/s; $|v| = \sqrt{(6{,}1^2 + 4{,}9^2)}$ m/s ≈ 7,8 m/s; Winkel gegen die Waagrechte: tan φ = 4,9/6,1 → φ ≈ 39° nach unten.

8 Abstoss

a) $v_x = 15 \cdot \cos 40° \approx 11{,}5$ m/s; $v_y = 15 \cdot \sin 40° \approx 9{,}6$ m/s. b) $t_S = 9{,}64 : 9{,}81 \approx 0{,}98$ s; $H = 9{,}64^2 : (2 \cdot 9{,}81) \approx 4{,}7$ m; $W = 15^2 \cdot \sin 80° : 9{,}81 \approx 22{,}6$ m (Kontrolle: 11,5 m/s · 1,97 s ≈ 22,6 m). c) 50°, denn $\sin(2 \cdot 50°) = \sin 100° = \sin 80°$ – Winkel, die sich zu 90° ergänzen, ergeben dieselbe Weite. d) Nein: Mit Luftwiderstand fliegt ein Fussball bei flacheren Winkeln weiter, und 45° gilt nur bei gleicher Abwurf- und Landehöhe; ausserdem kann ein Spieler flach meist härter schiessen.

9 Messreihe

a) Mittelwert 2,25 s : 5 = 0,450 s; halbe Spannweite (0,47 − 0,43) : 2 = 0,02 s → $t = (0{,}45 \pm 0{,}02)$ s. b) $g = 2h/t^2 = 2 \cdot 1{,}00$ m : $(0{,}450\ \text{s})^2 \approx 9{,}9$ m/s²; mit 0,47 s: ≈ 9,1 m/s², mit 0,43 s: ≈ 10,8 m/s² → $g \approx (9{,}9 \pm 0{,}9)$ m/s². c) 9,81 m/s² liegt im Bereich – die Messung ist damit verträglich, aber ungenau (≈ 9 %), weil die Zeit quadratisch eingeht. Verbesserung: mehr Messungen, grössere Fallhöhe, Zeitlupe.

10 Turbine

a) 612 : 240 = 2,55 s für 10 Umdrehungen → $T = 0{,}255$ s; $f = 1/T \approx 3{,}92$ Hz; $n = 60 \cdot 3{,}92 \approx 235$ U/min. b) 611 Bilder → 235,7 U/min, 613 Bilder → 234,9 U/min → $n = (235{,}3 \pm 0{,}4)$ U/min. Über eine Umdrehung (60 ± 1 Bild) waren es ± 4 U/min – zehn Umdrehungen machen die Messung zehnmal genauer.

11 Quiz

a) 9,81 m/s² nach unten b) 4 × (viermal so lang) c) gleichzeitig d) Weg