Luftwiderstand – der Fallschirmsprung

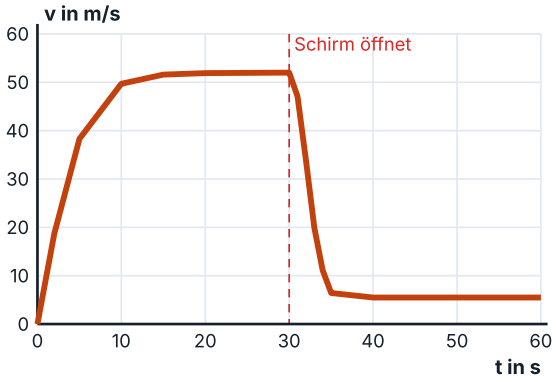
Physik 9 · Kapitel 2 · Stunde 32 · 🪂 Teil 5 · Lösung

Name: Klasse: Datum:

Grundwissen: Der Luftwiderstand wächst mit der Geschwindigkeit. Sind Luftwiderstand und Gewichtskraft gleich groß, fällt ein Körper gleichförmig mit der Grenzgeschwindigkeit.

1 Ein Expertenzitat

„Ein Fallschirmspringer wird immer schneller, bis er landet."



Aufgabe 1 · Prüfe das Zitat mit dem Diagramm. *Hilfe: Wo verläuft der Graph waagerecht?*

Das Zitat ist falsch. Nach etwa 15 s bleibt die Geschwindigkeit bei etwa 52 m/s konstant (Grenzgeschwindigkeit). Nach dem Öffnen des Schirms wird sie langsamer und sinkt mit etwa 5,5 m/s.

Der **Luftwiderstand** wächst mit der Geschwindigkeit. Sind Luftwiderstand und **Gewichtskraft** gleich groß, fällt der Körper **gleichförmig** mit der **Grenzgeschwindigkeit**.

$$F_G - F_L = m \cdot a$$

F_G	Gewichtskraft in N
F_L	Luftwiderstand in N
m	Masse in kg
a	Beschleunigung in m/s² (nach unten positiv)

WORTSPEICHER

Luftwiderstand: bremsende Kraft der Luft auf einen bewegten Körper; wächst mit der Geschwindigkeit (etwa ~ v^2) und mit der Stirnfläche

Grenzgeschwindigkeit: Geschwindigkeit, bei der Luftwiderstand und Gewichtskraft gleich groß sind; der Körper fällt dann gleichförmig

Sinkgeschwindigkeit: Grenzgeschwindigkeit mit geöffnetem Fallschirm

Stirnfläche: Fläche, die der Luftströmung entgegensteht; größere Stirnfläche → größerer Luftwiderstand

Freifallphase: Teil des Sprungs vor dem Öffnen des Schirms

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Aufgabe 2 · Rekonstruiere den Luftwiderstand (m = 70 kg, F_G = 686,7 N). *Hilfe: F_L = F_G − m · a.*

t in s	v in m/s	a in m/s²	F_L in N
5	38,3	4,49	373
20	51,9	0,02	≈ 687
32	33,8	−15,12	1745
45	5,5	0	687

MUSTERBEISPIEL

t = 5 s: a = 4,49 m/s²
F_L = 686,7 N − 70 kg · 4,49 m/s²
≈ 373 N

TIPP

a > 0: schneller · a < 0: langsamer

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Aufgabe 3 · Beschreibe die vier Phasen des Sprungs mit Kräften.

Hilfe: Ist F_L kleiner, gleich oder größer als F_G?

1. Freifall: F_L < F_G, a > 0, wird schneller. 2. Grenzgeschwindigkeit: F_L = F_G, gleichförmig. 3. Öffnen: F_L > F_G, a < 0, Bremsen. 4. Sinken: F_L = F_G bei 5,5 m/s.

Aufgabe 4 · Sag es physikalisch! *„Wenn der Schirm aufgeht, wird man nach oben gerissen."*

Beim Öffnen wird der Luftwiderstand größer als die Gewichtskraft; die resultierende Kraft zeigt nach oben. Die Springerin wird stark abgebremst, fällt aber weiter nach unten.

2 Demo-Protokoll: Muffinförmchen

Versuch (Fallhöhe 2 m)	Fallzeit in s
ein Förmchen	≈ 2
vier Förmchen gestapelt	≈ 1

Aufgabe 5 · Erkläre den Unterschied. *Hilfe: gleiche Form, vierfache Gewichtskraft.*

Der Stapel hat die vierfache Gewichtskraft bei gleicher Form. Der Luftwiderstand muss viermal so groß werden, bis Gleichgewicht herrscht; das geschieht erst bei einer größeren Grenzgeschwindigkeit (etwa doppelt so groß).

E

Vertiefung · Stufe Experte

Öffne „Physik 9 Stunde 32 Interaktive Übung.html", Stufe **Experte**: F_L ~ v², a(t)-Diagramm, Stirnfläche und Masse.

HAUSAUFGABE

Aufgaben 3 und 4.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Lösungen der interaktiven Übung

Alle drei Stufen · Grundlage G · Standard S · Experte E

Hauptübung Diagramm zuordnen – Welches Diagramm passt zum Sprung?

Stufe	Aufgabe	Lösung
G	Ein Körper fällt im Vakuum (ohne Luftwiderstand). Welches v(t)-Diagramm passt?	**Ursprungsgerade** Freier Fall: v wächst gleichmäßig.
G	🪂 Die Springerin in der Freifallphase (mit Luftwiderstand). Welches v(t)-Diagramm?	**Kurve, die flacher wird** Sie nähert sich der Grenzgeschwindigkeit.
G	🪂 Kurz vor der Landung sinkt sie mit geöffnetem Schirm gleichmäßig. Welches Diagramm?	**waagerechte Linie** Sinkgeschwindigkeit ≈ 5,5 m/s.
S	🪂 Welches v(t)-Diagramm zeigt den ganzen Sprung (Freifall, Öffnen, Sinken)?	**Anstieg, Plateau, Abfall, niedriges Plateau**
S	🪂 Wie verläuft der Luftwiderstand F_L in der Freifallphase?	**steigt und nähert sich F_G** Am Ende gilt $F_L = F_G$.
S	🪂 Wie verläuft die Beschleunigung a in der Freifallphase?	**fällt von g auf null**
E	🪂 Welches a(t)-Diagramm gehört zum ganzen Sprung?	**fällt auf null, negativer Ausschlag, zurück auf null**
E	🪂 Die Springerin macht sich klein (Kopf voraus, kleinere Stirnfläche). Welches v(t)-Diagramm gehört dazu (normale Haltung: links)?	**höheres Plateau** Kopfüber werden 70 m/s und mehr erreicht.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Hauptübung Diagramm zuordnen – Welches Diagramm passt zum Sprung? (Fortsetzung)

Stufe	Aufgabe	Lösung
E	Zwei Muffinförmchen werden gestapelt (doppelte Masse, gleiche Form). Welches v(t)-Diagramm passt zum Stapel (einzelnes Förmchen: links)?	**höheres Plateau** Bei $F_L \sim v^2$ etwa das 1,4-Fache der Grenzgeschwindigkeit.

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Simulation · Detektiv-Rekonstruktion – 🪂 Datenlogger der Springerin

Stufe	Aufgabe	Lösung
G	Stelle t = 20 s ein. In welcher Phase ist die Springerin?	**Sie fällt gleichförmig mit der Grenzgeschwindigkeit – Kräftegleichgewicht.**
G	Wie groß ist die Grenzgeschwindigkeit ohne Schirm in km/h? (ganze Zahl)	**187 km/h**
G	Stelle t = 32 s ein. Was gilt für die Kräfte?	**Der Luftwiderstand ist größer als die Gewichtskraft – sie bremst.** Kontrolle mit „Kräfte anzeigen“.
S	Wie groß ist der Luftwiderstand bei t = 20 s? (ganze Zahl)	**687 N**
S	Rekonstruiere den Luftwiderstand bei t = 5 s aus $F_L = F_G - m \cdot a$. (ganze Zahl)	**373 N** Mit „Kräfte anzeigen“ prüfen.
S	Wie groß ist die Sinkgeschwindigkeit mit Schirm? (eine Nachkommastelle)	**5,5 m/s** ≈ 20 km/h – so schnell wie ein Sprung aus etwa 1,5 m Höhe.
E	Rekonstruiere den Luftwiderstand bei t = 32 s ($a = -15{,}12\ m/s^2$, nach unten positiv). (ganze Zahl)	**1745 N** Mehr als das Zweieinhalbfache der Gewichtskraft.
E	Modell $F_L \sim v^2$: Bei 52 m/s ist F_L = 687 N. Wie groß ist F_L bei 26 m/s ohne Schirm? (ganze Zahl)	**172 N**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Simulation · Detektiv-Rekonstruktion – 🪂 Datenlogger der Springerin (Fortsetzung)

Stufe	Aufgabe	Lösung
E	Warum wird der Graph in der Freifallphase immer flacher?	**Mit wachsender Geschwindigkeit wächst der Luftwiderstand, die resultierende Kraft und damit a werden kleiner.**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Richtig oder falsch? – Aussagen zum Fallschirmsprung

Stufe	Aussage und Begründung	r/f
G	Bei der Grenzgeschwindigkeit wirkt keine Kraft auf die Springerin. *Es wirken zwei gleich große Kräfte – Gleichgewicht.*	**falsch**
G	Der Luftwiderstand wächst mit der Geschwindigkeit.	**richtig**
G	Mit geöffnetem Schirm ist die Grenzgeschwindigkeit kleiner. *größere Stirnfläche*	**richtig**
G	Ein Fallschirmspringer wird bis zur Landung immer schneller. *Er erreicht die Grenzgeschwindigkeit.*	**falsch**
S	Nach dem Öffnen des Schirms fliegt die Springerin nach oben. *Sie wird langsamer, fällt aber weiter.*	**falsch**
S	Bei der Grenzgeschwindigkeit gilt $F_L = F_G$.	**richtig**
S	Eine größere Stirnfläche verringert den Luftwiderstand. *Sie vergrößert ihn.*	**falsch**
S	In der Freifallphase nimmt die Beschleunigung ab.	**richtig**
E	Halbe Geschwindigkeit bedeutet etwa ein Viertel des Luftwiderstands. $F_L \sim v^2$	**richtig**
E	Ein schwererer Springer gleicher Form hat eine größere Grenzgeschwindigkeit.	**richtig**
E	Beim Öffnen ist die Bremsbeschleunigung kleiner als g. *Im Modell bis etwa 15 m/s², also mehr als g.*	**falsch**
E	Im Vakuum gibt es keine Grenzgeschwindigkeit.	**richtig**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

🪂 Fall des Kapitels · Fachsprache – Fallschirmsprung, Teil 5: die Grenzgeschwindigkeit

Stufe	Aufgabe	Lösung
G	🪂 Fallschirmsprung 5: „Irgendwann wird sie nicht mehr schneller.“ Fachlich:	**„Sie erreicht die Grenzgeschwindigkeit: Luftwiderstand und Gewichtskraft sind gleich groß.“**
G	Wie heißt die Grenzgeschwindigkeit mit offenem Schirm?	**Sinkgeschwindigkeit**
S	Erkläre fachlich, warum der Schirm bremst:	**„Die große Stirnfläche erhöht den Luftwiderstand über die Gewichtskraft; die resultierende Kraft zeigt nach oben.“**
S	🪂 Prüfe das Expertenzitat „Er wird immer schneller, bis er landet.“	**Falsch: Ab der Grenzgeschwindigkeit herrscht Kräftegleichgewicht, er fällt gleichförmig.**
E	🪂 Die Springerin hat mit Ausrüstung 70 kg. Ein Tandemsprung hat 150 kg bei etwas größerer Stirnfläche. Warum ist die Freifallgeschwindigkeit beim Tandem trotzdem höher?	**„Die Gewichtskraft verdoppelt sich, die Stirnfläche wächst weniger; das Gleichgewicht stellt sich erst bei größerer Geschwindigkeit ein.“** Darum nutzen Tandems einen Bremsschirm (Drogue).
E	Bei welcher Geschwindigkeit wäre im Modell $F_L \sim v^2$ der Luftwiderstand doppelt so groß wie bei 52 m/s? (eine Nachkommastelle)	**73,5 m/s**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Abschlusstest

Nr.	Frage	Lösung
G1	Freier Fall im Vakuum: v(t)-Graph ist …	**Ursprungsgerade**
G2	Freifall mit Luft: v(t)-Graph …	**wird flacher**
G3	Bei Grenzgeschwindigkeit gilt …	**F_L = F_G**
G4	52 m/s in km/h (ganze Zahl)?	**187 km/h**
G5	Schirm öffnet – Springerin …	**wird langsamer**
G6	Luftwiderstand wächst mit …	**der Geschwindigkeit**
G7	Größere Stirnfläche – Luftwiderstand …	**größer**
G8	Grenzgeschwindigkeit mit Schirm heißt …	**Sinkgeschwindigkeit**
S1	70 kg, a = 4,49 m/s²: F_L in N (ganze Zahl)?	**373 N**
S2	Gleichgewicht bei 70 kg: F_L in N (ganze Zahl)?	**687 N**
S3	a in der Freifallphase …	**nimmt ab**
S4	F_L in der Freifallphase …	**steigt bis F_G**
S5	Sinkgeschwindigkeit in m/s (eine Nachkommastelle)?	**5,5 m/s**
S6	Expertenzitat „immer schneller bis zur Landung“ ist …	**falsch**
S7	Nach dem Öffnen zeigt F_res …	**nach oben**
S8	Teil des Sprungs vor dem Öffnen:	**Freifallphase**

BEWERTUNG

8 Aufgaben je Stufe, je 1 Punkt. Ab 6 Punkten: Abzeichen und Zertifikat der Stufe.

RECHENWEGE

S1: 686,7 − 70 · 4,49 ≈ 373
E1: 686,7 + 70 · 15,12 ≈ 1745
E3: 52 · √2 ≈ 73,5

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.

Abschlusstest (Fortsetzung)

Nr.	Frage	Lösung
E1	a = −15,12 m/s², 70 kg: F_L in N (ganze Zahl)?	**1745 N**
E2	F_L ~ v²: 687 N bei 52 m/s → bei 26 m/s in N (ganze Zahl)?	**172 N**
E3	Doppelter Luftwiderstand bei v in m/s (eine Nachkommastelle)?	**73,5 m/s**
E4	Kleinere Stirnfläche – Grenzgeschwindigkeit …	**größer**
E5	Gestapelte Förmchen – Grenzgeschwindigkeit …	**größer**
E6	a(t) beim Öffnen:	**negativer Ausschlag**
E7	Im Vakuum gibt es …	**keine Grenzgeschwindigkeit**
E8	Tandem 150 kg fällt schneller, weil …	**F_G stärker wächst als die Stirnfläche**

Konzept und Design: www.so-macht-lernen-spass.de – Bei der technischen Umsetzung hat eine künstliche Intelligenz (KI) unterstützt.