

Name:.....

1. Klausur Physik Leistungskurs Klasse 11

28.9.2026

Dauer: 90 min

Hilfsmittel: Taschenrechner im Prüfungsmodus, IQB-Tafelwerk

1. Ein Radfahrer fährt mit konstanter Geschwindigkeit $v_0 = 6,0 \text{ m/s}$ an einem Auto vorbei, das an einer Ampel steht. In dem Moment, in dem der Radfahrer auf gleicher Höhe mit dem Auto ist ($t = 0 \text{ s}$), fährt die Ampel auf Grün und das Auto startet aus dem Stand mit der konstanten Beschleunigung $a = 2,0 \text{ m/s}^2$.

a) Geben Sie die Weg-Zeit-Gesetze $s_R(t)$ für den Radfahrer und $s_A(t)$ für das Auto an. [3 BE]

b) Berechnen Sie den Zeitpunkt t_1 , zu dem das Auto den Radfahrer einholt, sowie die dabei zurückgelegte Strecke. [5 BE]

c) Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Autos zum Zeitpunkt t_1 und vergleiche sie mit der Geschwindigkeit des Radfahrers. [3 BE]

d) Skizziere die v - t -Diagramme von Radfahrer und Auto für $0 \text{ s} \leq t \leq 8 \text{ s}$ in einem gemeinsamen Koordinatensystem. Kennzeichne den Zeitpunkt t_1 aus Teilaufgabe b). [4 BE]

e) Das Modell geht von einer konstanten Beschleunigung des Autos aus. **Diskutieren** Sie, inwiefern dies eine Vereinfachung der Realität darstellt, und **nennen** Sie einen physikalischen Grund, warum die tatsächliche Beschleunigung eines Autos mit zunehmender Geschwindigkeit typischerweise abnimmt. [3 BE]

Warum Autos nicht gleichmäßig beschleunigen

Im Physikunterricht wird das Anfahren eines Autos oft als gleichmäßig beschleunigte Bewegung beschrieben: Die Beschleunigung a ist konstant, und die Geschwindigkeit wächst linear mit der Zeit. Misst man aber die Geschwindigkeit eines anfahrens Autos, zeigt das $v(t)$ -Diagramm keine Gerade. Die Kurve steigt anfangs steil an, wird dann flacher und hat beim Schalten kleine Knicke. Dafür gibt es mehrere physikalische Gründe.

Antriebskraft und Leistung

Nach dem zweiten Newtonschen Gesetz gilt $F_{\text{res}} = m \cdot a$. Die Beschleunigung ist also nur konstant, wenn auch die resultierende Kraft konstant ist, also die Antriebskraft minus die Fahrwiderstände. Beim Anfahren bleibt aber keine dieser Kräfte gleich.

Für die Leistung des Motors gilt $P = F \cdot v$, also $F = P / v$. Selbst bei voller Leistung wird die Antriebskraft deshalb mit wachsender Geschwindigkeit kleiner. Ein Auto mit 100 kW kann bei 10 m/s höchstens 10 000 N Antriebskraft erzeugen, bei 30 m/s nur noch etwa 3 300 N.

Fahrwiderstände

Die Rollreibungskraft $F_R = \mu_R \cdot m \cdot g$ ist ungefähr konstant. Der Luftwiderstand $F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$ wächst dagegen quadratisch mit der Geschwindigkeit: Doppelte Geschwindigkeit bedeutet vierfachen Luftwiderstand. Beim Anfahren spielt er kaum eine Rolle, bei hohen Geschwindigkeiten ist er die größte Widerstandskraft. Die Höchstgeschwindigkeit ist erreicht, wenn Antriebskraft und Fahrwiderstände gleich groß sind. Dann ist die Beschleunigung null.

Fazit

Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung ist ein Idealmodell. Bei einem echten Auto ändern sich Antriebskraft und Widerstandskräfte ständig, und damit ändert sich auch die Beschleunigung. Für kurze Zeitabschnitte kann man sie trotzdem näherungsweise als konstant ansehen.

2. Ein Möbelpacker zieht eine Kiste der Masse $m = 25 \text{ kg}$ mit einem Seil über einen ebenen, horizontalen Boden. Das Seil ist im Winkel $\alpha = 30^\circ$ zur Horizontalen geneigt, die Zugkraft beträgt $F_Z = 150 \text{ N}$. Zwischen Kiste und Boden herrscht Gleitreibung mit dem Gleitreibungskoeffizienten $\mu = 0,30$.

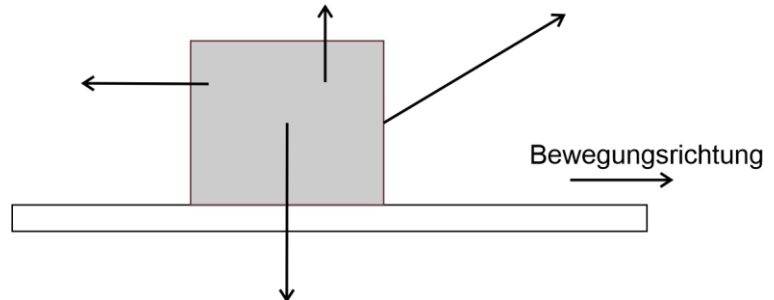
a) **Tragen** Sie an die Kraftpfeile in der Skizze die Bezeichnungen für die Kräfte ein: [4 BE]

F_G : Gewichtskraft

F_R : Reibungskraft

F_Z : Zugkraft

F_N : Normalkraft.



b) Die Normalkraft ist hier die Kraft, mit der der Boden auf die Kiste wirkt.

Begründen Sie mit Hilfe eines Newtonschen Axioms, dass man diese Betrachtungsweise verwenden kann und damit die Kraft nach oben wirkt. [2 BE]

c) **Zerlegen** Sie die Zugkraft F_Z **rechnerisch** in ihre horizontale Komponente F_x und ihre vertikale Komponente F_y . [3 BE]

d) **Zeigen** Sie, dass die Normalkraft F_N etwa 170 N groß ist. **Berechnen** Sie die Reibungskraft F_R , die auf die Kiste wirkt. [4 BE]

e) **Berechnen** Sie die Beschleunigung a , mit der sich die Kiste in Bewegung setzt. [4 BE]

f) **Zeigen Sie rechnerisch**, dass bei einer Zugkraft von etwa 490 N die Kiste die Bodenhaftung verliert. [3 BE]

g) **Beurteilen** Sie, ob es sinnvoll ist, den Seilwinkel zu vergrößern, um die Kiste leichter über den Boden zu bewegen. [3 BE]

Lösungen

1. a)

Weg-Zeit-Gesetz für den Radfahrer:

$$s = v \cdot t$$

$$s_R = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t_R$$

Weg-Zeit-Gesetz für das Auto

$$s_A = \frac{a}{2} \cdot t_A^2$$

$$s_A = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot t_A^2$$

b)

Das Auto holt den Radfahrer ein, wenn von der Ampel aus die gleichen Wege zurückgelegt worden und die gleichen Zeiten vergangen sind.

$$s_R = s_A$$

$$6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot t = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot t^2$$

$$6 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot t$$

$$t = \frac{2 \cdot 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$t = 6 \text{ s}$$

Mit dieser Zeit sollten beide Fahrzeuge den gleichen Weg zurückgelegt haben:

$$s_R = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6 \text{ s}$$

$$s_R = 36 \text{ m}$$

$$s_A = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cdot (6 \text{ s})^2$$

$$s_A = 36 \text{ m}$$

Prima, stimmt.

c)

Die Geschwindigkeit des Autos berechnet sich mit

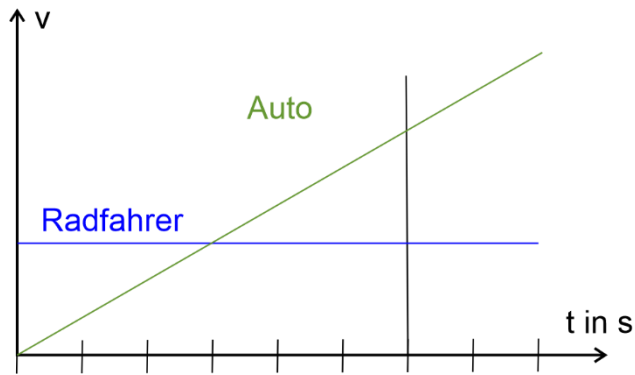
$$v_A = a \cdot t$$

$$v_A = 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6 \text{ s}$$

$$v_A = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Geschwindigkeit des Autos ist zum Zeitpunkt des Überholens doppelt so groß wie die Geschwindigkeit des Radfahrers.

d)



Es muss im Diagramm erkennbar sein, dass zum Zeitpunkt des Überholens das Auto die doppelte Geschwindigkeit wie der Radfahrer hat.

e)

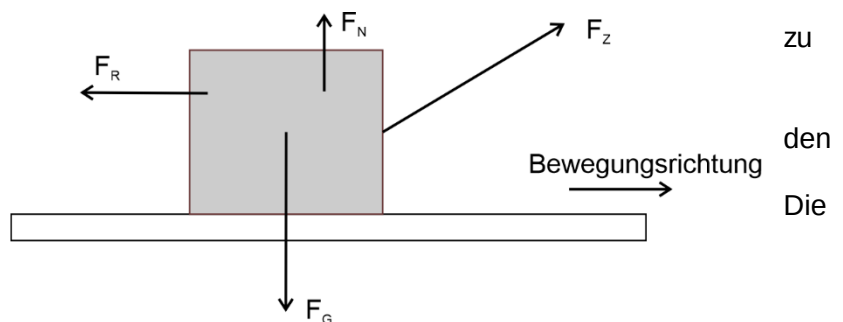
Die Vereinfachung geht von einer konstanten Beschleunigung aus, also von einer konstant wirkenden Kraft. Das ist in der Realität aber nicht der Fall. Die Kraft ändert sich beim Beschleunigen und damit ist auch die Beschleunigung nicht mehr konstant.

1. Grund: Die Leistung P des Autos ist konstant und wird vom Motor vorgegeben. Die mit dieser Leistung aufgebrachte Kraft ist aber von der Geschwindigkeit abhängig, die aber beim Beschleunigen immer größer wird. Demnach wird mit wachsender Geschwindigkeit auch die Kraft des Motors zum Beschleunigen immer kleiner und die Bewegung ist nicht mehr gleichmäßig beschleunigt.

2. Grund: Selbst wenn die beschleunigende Kraft konstant bliebe, wirkt mit wachsender Geschwindigkeit die Luftreibungskraft entgegen zur Bewegungsrichtung. Diese Kraft wird aber mit wachsender Geschwindigkeit immer größer, sie hängt von der Geschwindigkeit sogar quadratisch ab.

Damit wird die beschleunigende Kraft mit wachsender Geschwindigkeit immer kleiner und demnach ist auch die Beschleunigung nicht mehr konstant.

2. b) Nach dem Wechselwirkungsgesetz gibt es jeder Kraft eine gleich große Gegenkraft, die auf den anderen Körper wirkt. Die Kiste drückt auf Boden und der Boden drückt zurück. Normalkraft ist kleiner als die Gewichtskraft, da die y -Komponente der Zugkraft auch nach oben wirkt.



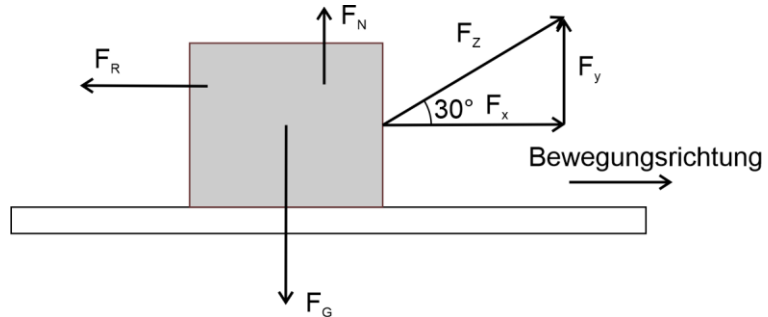
c)

$$F_x = F_z \cdot \cos 30^\circ$$

$$F_x = 130 \text{ N}$$

$$F_y = F_z \cdot \sin 30^\circ$$

$$F_y = 75 \text{ N}$$



d)

Die y-Komponente der Zugkraft zeigt entgegengesetzt zur Gewichtskraft und mindert diese. Damit wirkt auch die Kraft vom Boden auf die Kiste und diesen Wert vermindert.

$$F_N = m \cdot g - F_y$$

$$F_N = 25 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 75 \text{ N}$$

$$F_N = 170 \text{ N}$$

Damit ergibt sich eine Reibungskraft von

$$F_R = F_N \cdot \mu$$

$$F_R = 170 \text{ N} \cdot 0,30$$

$$F_R = 51 \text{ N}$$

e)

Es wird das Grundgesetz angewandt:

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{F}{m}$$

Die Masse der Kiste ist mit 25 kg bekannt. Die wirkende Kraft ist die Differenz aus der nach vorn ziehenden Kraft (F_x) und der bremsenden Reibungskraft.

$$a = \frac{F_x - F_R}{m}$$

$$a = \frac{130 \text{ N} - 51 \text{ N}}{25 \text{ kg}}$$

$$a = 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

f) Wenn die Zugkraft größer wird, wird auch die Komponente in y-Richtung größer. Wie in Lösung d) zu sehen war, bestimmt dieser Teil der Kraft die Normalkraft.

Wenn man stärker zieht, wird die Kiste auch stärker nach oben gezogen. Irgendwann ist diese Kraft nach oben so stark, dass sie die Gewichtskraft überwindet und der Körper keine Bodenhaftung mehr hat.

Das heißt, die Normalkraft ist 0, der Körper fliegt ein Stück.

$$F_N = m \cdot g - F_y$$

$$0 = m \cdot g - F_y$$

$$0 = m \cdot g - F_Z \cdot \sin 30^\circ$$

$$F_Z \cdot \sin 30^\circ = m \cdot g$$

$$F_Z = \frac{m \cdot g}{\sin 30^\circ}$$

$$F_Z = \frac{25 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{\sin 30^\circ}$$

$$F_Z = 490 \text{ N}$$

g) Wenn sich die Kiste leichter ziehen lässt, wird bei gleichbleibender Zugkraft wirkende Kraft größer. Es kann also gefragt werden, wie die wirkende Kraft vom Winkel abhängt.

Die wirkende Kraft ist die Differenz aus der x-Komponente der Zugkraft und der Reibungskraft.

$$F = F_x - F_R$$

Für beide Teilkräfte wurden schon Gleichungen hergeleitet:

$$F_x = F_Z \cdot \cos 30^\circ$$

und

$$F_R = F_N \cdot \mu$$

$$F_R = (m \cdot g - F_Z \cdot \sin 30^\circ) \cdot \mu$$

Eingesetzt:

$$F = F_Z \cdot \cos \alpha - (m \cdot g - F_Z \cdot \sin \alpha) \cdot \mu$$

$$F = F_Z \cdot \cos \alpha - (m \cdot g \cdot \mu - F_Z \cdot \sin \alpha \cdot \mu)$$

Setzt man die gegebenen Größen ein, erhält man 79 N, was mit der Lösung von e) übereinstimmt.

Wenn man einen größeren Winkel, z.B. 40° einsetzt, sinkt die Kraft auf 71 N. Die y-Komponente ist größer geworden und damit verkleinert sich die Reibung. Aber die x-Komponente wird dadurch kleiner und hebt die Reibungsverkleinerung nicht auf.

Hinweis: Der optimale Winkel beträgt $16,7^\circ$.