

# Arbeit - Energie - Reibung

- mechanisch -

Die nachfolgenden Aufgaben und Definitionen sind ein erster Einstieg in dieses Thema. Hier wird unterschieden zwischen den Begriffen Arbeit und Energie. Verwendete Formelzeichen sind in der Literatur nicht immer einheitlich einige Varianten sind hier wiedergegeben. Auf die Darstellung der Kräfte in vektorieller Form (z.B.  $\vec{G}$ ,  $\vec{F}_h$ ,  $\vec{F}_R$ ) wird verzichtet. Ebenso keine Unterscheidung im Vorzeichen (+ oder -) bei zugeführter oder abgegebener Arbeit.

**Wenn nicht ausdrücklich angegeben, sollen bei den Rechnungen alle Reibungseffekte unberücksichtigt bleiben.**

**Aufgaben mit Reibung sind nur die Nr. 2, 4, 9, 14, 15,**

Formelsammlung und Definitionen:

Arbeit	Formeln	Formelzeichen	Einheiten	Voraussetzungen
Arbeit allgemein	$W = F \cdot s$	W = Arbeit F = Kraft s = Weg	[W] J = Nm = Ws [F] N [s] m	Die Kraft wirkt entlang des Weges und ist hierbei konstant
Hubarbeit	$W_h = F_h \cdot h$ $W_h = G \cdot h$	$W_h$ = Hubarbeit $F_h$ = Kraft zum Heben G = Gewichtskraft h = Hubhöhe	[ $W_h$ ] J = Nm [ $F_h$ ] = [G] N [h] m	Körper wird entgegen der Gewichtskraft nach oben bewegt.
Reibungsarbeit	$W_R = F_R \cdot s$ $F_R = F_Z = F_D$	$W_R$ = Reibarbeit $F_R$ = Reibungskraft $F_Z$ = Zugkraft $F_D$ = Druckkraft	[ $W_R$ ] J = Nm [ $F_R$ ] N [ $F_Z$ ] = [ $F_D$ ] N	Bewegung eines Körpers auf waagrechttem Weg mit konstanter Geschwindigkeit
Beschleunigungsarbeit	$W_a = F_a \cdot s$	$W_a$ = Beschleunigungsarbeit $F_a$ = Kraft zum Beschleunigen s = Beschleunigungsweg	[ $W_a$ ] J = Nm [ $F_a$ ] N [s] m	Bewegung eines Körpers auf waagrechttem Weg mit kontinuierlich steigender Geschwindigkeit
Spannarbeit	$W_{sp} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$	$W_{sp}$ = Spannarbeit D = Federhärte / Federrate / Federkonstante / Richtgröße s = Federweg	[ $W_{sp}$ ] J = Nm [D] N/cm [s] cm, mm	Dehnen oder Zusammendrücken einer Feder aus der Ruhelage (F = 0) im elastischen Bereich
Kraft	$F = m \cdot a$	F = Kraft m = Masse a = Beschleunigung	[F] N [m] kg [a] m/s <sup>2</sup> (= N/kg)	Kraft wirkt in Richtung der Beschleunigung
Gewichtskraft	$G = m \cdot g$ $F_G = m \cdot g$	G = $F_G$ = Gewichtskraft m = Masse g = Ortsfaktor (Fallbeschleunigung)	[G] N [m] kg [g] N/kg (= m/s <sup>2</sup> )	
Reibungskraft	$F_R = \mu \cdot F_N$	$F_R$ = Reibungskraft $F_N$ = Normalkraft $\mu$ = Reibungszahl	[ $F_R$ ] N [ $F_N$ ] N [ $\mu$ ] ohne Einheit	Normalkraft wirkt senkrecht zur Reibfläche, Reibkraft wirkt senkrecht zur Normalkraft

# Arbeit - Energie - Reibung

- mechanisch -

Energie	Formeln	Formelzeichen	Einheiten	Voraussetzungen
Höhenenergie Potentielle Energie Lageenergie	$E_{\text{pot}} = G \cdot h$ $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$	$E_{\text{pot}}$ = Höhenenergie $m$ = Masse des Körpers $G$ = Gewichtskraft $h$ = Höhe über Bezugsniveau $g$ = Ortsfaktor	$[E_{\text{pot}}]$ J = Nm [G] N [m] kg [h] m [g] N/kg (= m/s <sup>2</sup> )	Durch Hubarbeit entstandene Energie. Entspricht der Hubarbeit zum Anheben einer Masse vom Bezugsniveau auf die Höhe $h$ . $G = m \cdot g$ ist konstant bzw. vernachlässigbar
Bewegungsenergie Kinetische Energie	$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ $E_{\text{kin}} = F_a \cdot s$ $E_{\text{kin}} = m \cdot a \cdot s$	$E_{\text{kin}}$ = Bewegungsenergie $m$ = Masse des Körpers $v$ = Geschwindigkeit $F_a$ = Kraft zum Beschleunigen $s$ = Beschleunigungsweg $a$ = Beschleunigung	$[E_{\text{pot}}]$ J = Nm [G] N [m] kg [h] m [a] m/s <sup>2</sup> (= N/kg)	Beschleunigung eines Körpers aus der Ruhelage (Beschleunigungsarbeit), oder ein Körper bewegt sich mit der Geschwindigkeit $v$ .
Spannenergie	$E_{\text{sp}} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$	$E_{\text{sp}}$ = Spannenergie $D$ = Federhärte / Federrate $s$ = Federweg	$[E_{\text{sp}}]$ J = Nm [D] N/cm [s] cm, mm	Dehnen oder Zusammendrücken einer Feder aus der Ruhelage ( $F = 0$ ) im elastischen Bereich

Umrechnungen / Konstanten:

$$1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws (Wattsekunde)}$$

$$1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$g \approx 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Fallbeschleunigung}$$

$$g \approx 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \quad \text{Ortsfaktor}$$

$$g = 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Normfallbeschleunigung (Beschleunigung am Normort)}$$

# Arbeit - Energie - Reibung

## - mechanisch -

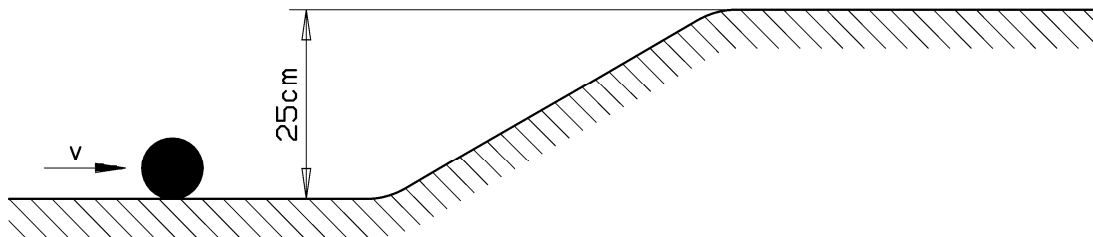
1. Wie groß ist die Arbeit (kJ) die verrichtet wird, wenn ein Gepäckträger einen Sack der Masse 85 kg vom Boden auf eine Rampe der Höhe 80 cm hebt?
2. Welche Arbeit wird verrichtet, wenn ein Gepäckstück ( $m = 20 \text{ kg}$ ) auf einem Rollwagen der Gewichtskraft 450 N ( $\mu = 0,15$ ) auf ebenem Bahnsteig 30 m weit gezogen wird?
3. Das Gepäckstück aus Aufgabe 2 muss ins Gepäckabteil eines InterCity umgeladen werden. Dazu wird es vom Rollwagen (Ladehöhe 1,20 m) in den Gepäckraum des InterCity (Stauhöhe 45 cm) abgeladen.  
Welche Arbeit erfordert das Umladen?
4. Ein LKW der Masse 4,6 t fährt auf ebener Strecke mit konstanter Geschwindigkeit. Die Fahrtstrecke beträgt 1,3 km. Der Reibungswiderstand (Betrag der Reibkraft) zwischen Reifen und Fahrbahn ist 4 % des Gesamtgewichtes (Betrag der Gewichtskraft) des LKW.  
Welche Arbeit wird zum Fahren aufgewendet, wenn nur die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn berücksichtigt wird?
5. Bei einem Experiment wird ein Körper auf waagerechter Unterlage mit einer konstanten Kraft von 6 N die Strecke 40 cm weit bewegt. Die Kraft wirkt parallel zum Weg.  
Zeichne ein Kraft-Weg-Diagramm.  
Berechne die zu verrichtende Arbeit.  
Beschreibe die Bedeutung der Arbeit im Kraft-Weg-Diagramm.
6. Mit einem Kran wird eine Bronzefigur der Masse 2,5 t auf einen 12 m hohen Sockel gehoben.  
Welche Energieform hat die Figur dadurch erhalten? Wie groß ist diese Energie (MJ)?
7. Ein PKW der Masse 1,5 t fährt mit der konstanten Geschwindigkeit 130 km / h.  
Berechne seine kinetische Energie. Nach Abbremsen des Fahrzeugs auf 30 km / h besitzt der PKW eine geringere Bewegungsenergie.  
Wie viel kJ wurden durch den Bremsvorgang verbraucht (umgewandelt)?
8. Eine Rangierlokomotive der Masse 12,5 t wird durch die konstante Kraft 1,5 kN entlang der Schiene aus der Ruhelage heraus beschleunigt. Die Beschleunigungsstrecke beträgt 0,6 km.
  - a) Wie groß ist die verrichtete Beschleunigungsarbeit?
  - b) Welche Endgeschwindigkeit erreicht die Lok nach dem Beschleunigen?
  - c) Wie groß ist dann die kinetische Energie?
  - d) Auf welche Höhe könnte man mit dieser kinetischen Energie die Lok anheben?

# Arbeit - Energie - Reibung

- mechanisch -

9. Malte fährt mit seinem Auto ( $m = 1,4 \text{ t}$ ) auf der Autobahn. Die Reisegeschwindigkeit beträgt  $135 \text{ km/h}$ . Plötzlich taucht in  $160 \text{ m}$  Entfernung das Ende eines Staus auf und Malte bremst den Wagen ab. Die Bremsen üben auf das Fahrzeug eine konstante Bremskraft vom Betrag  $6,2 \text{ kN}$  aus.  
Kommt Malte noch vor dem Hindernis zum Stehen?

10. In einem Versuchsaufbau lässt man eine kleine Kugel der Masse  $m$  mit der Geschwindigkeit  $2,2 \text{ m/s}$  horizontal gegen eine schiefe Ebene anlaufen. Das obere Höhenniveau liegt  $25 \text{ cm}$  über der Basis-Lauffläche. Kann die Kugel das obere Höhenniveau erreichen?

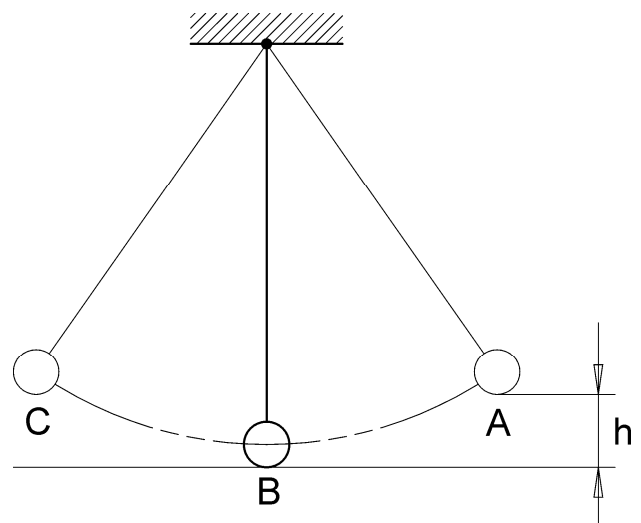


Die kinetische Energie durch die Drehbewegung der Kugel (Rotationsenergie) soll unberücksichtigt bleiben.

11. Um die Zerstörungen zu demonstrieren, die bei einem Auffahrunfall eines Autos auftreten, wird ein Auto an einem Seil  $5 \text{ m}$  hoch gehoben und anschließend aus dieser Höhe auf Beton fallen gelassen. Die Verformungen am Auto sind ebenso groß, als wenn das Fahrzeug gegen eine Betonmauer gefahren wäre.  
Berechne die Geschwindigkeit mit der das Auto gegen die Betonmauer fahren müsste.

12. Die Kugel ( $m = 150 \text{ g}$ ) des nebenstehend skizzierten Fadenpendels wird am straff gespannten Faden ausgelenkt (A) und dabei auf die Höhe  $h = 25 \text{ cm}$  angehoben. Nach Loslassen der Kugel schwingt sie 20 Perioden und erreicht anschließend nur noch eine Höhe von  $21 \text{ cm}$ .

- Beschreibe die Energieumwandlungen von A nach B sowie von B nach C.
- Berechne den Verlust an mechanischer Energie nach 20 Perioden.
- Ermittle die Geschwindigkeit der Kugel im Punkt B (Nulldurchgang) während der ersten Periode (bis dahin auftretende Verluste an mech. Energie können vernachlässigt werden).



# Arbeit - Energie - Reibung

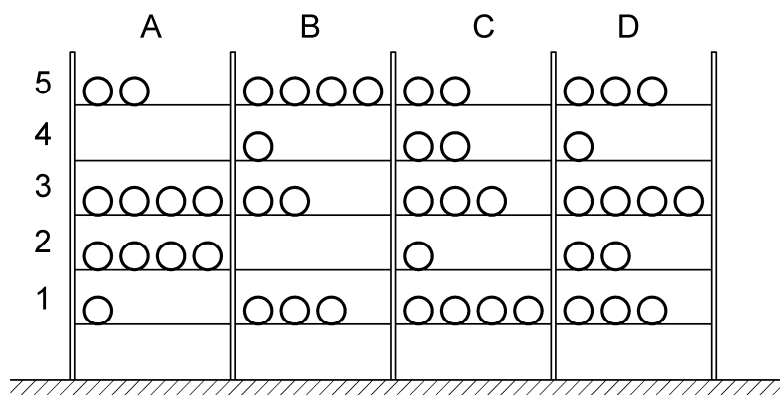
- mechanisch -

13. Harry der Elektromonteur ( $m = 85 \text{ kg}$ ) klettert den Mast einer Starkstromleitung hinauf um die Befestigung der Leitungen zu überprüfen. Das Werkzeug das er mitnimmt wiegt insgesamt  $13 \text{ kg}$ . Beim Hinaufsteigen verrichtet der Monteur eine Hubarbeit (an sich und seiner Ausrüstung) von  $11,5 \text{ kJ}$ .  
Wie hoch ist der Monteur aufgestiegen?
14. Ein Motorrad der Masse  $180 \text{ kg}$  wird wegen eines Getriebeschadens auf dem waagerechten Hof einer Werkstatt zu der  $15 \text{ m}$  entfernten Hebebühne geschoben. Dazu ist eine Kraft (parallel zum Weg) vom Betrag  $250 \text{ N}$  erforderlich. Auf der Hebebühne angekommen wird das Motorrad  $1,8 \text{ m}$  angehoben wo es dann für die Reparatur  $3 \text{ Stunden}$  verbleibt.  
Welche Arbeit wurde insgesamt am Motorrad verrichtet?
15. Florentyna zieht einen Schlitten, auf dem ihre beiden Kinder Jens und Uwe sitzen, mit der Kraftkomponente  $110 \text{ N}$  parallel zum Untergrund.
- Gelingt es Florentyna den Schlitten in Bewegung zu setzen? Rechnerische Begründung!
  - Uwe springt nun vom Schlitten herunter. Welche Kraft muss Florentyna jetzt aufwenden, um den Schlitten mit konstanter Geschwindigkeit zu ziehen?

Gegebene Werte:

$$m_{\text{Schlitten}} = 8 \text{ kg}, \quad m_{\text{Jens}} = 45 \text{ kg}, \quad m_{\text{Uwe}} = 52 \text{ kg}, \quad \mu_{\text{Haft}} = 0,15, \quad \mu_{\text{Gleit}} = 0,02$$

16. Gleich schwere Flaschen sind vom Boden aus in die jeweiligen Fächer eines Regals gehoben worden. In welchen Fällen wurde die gleiche Arbeit zum Füllen der Regalfächer verrichtet? Antwortbeispiel:  $W_{1C} = W_{4D}$   
Gib eine kurze Begründung an!



## Arbeit - Energie - Reibung

- mechanisch -

17. Eine Kugel der Masse 0,5 kg wird mit einer Vorrichtung vom Boden aus senkrecht nach oben geschossen. Sie erreicht eine Höhe von 8 m.
- Beschreibe die Energieumwandlungen vom Abschuss bis die Kugel am Boden auftrifft.
  - Wie groß ist die Lageenergie (potenzielle Energie) der Kugel im höchsten Punkt ihrer Bahn?
  - Mit welcher Geschwindigkeit trifft die Kugel am Boden auf?
  - Aus welcher Höhe müsste die Kugel herabfallen, damit sie nur halbe Geschwindigkeit erreicht?
18. Die Pumpe eines kleinen Wasserwerks befördert 20 000 Liter Wasser ( $\rho_{\text{Wasser}} = 1 \text{ kg/dm}^3$ ) in ein 40 m höher gelegenes Speicherbecken. Berechne die Lageenergie, die das hoch gepumpte Wasser gegenüber dem ursprünglichen Ort hat.
19. Um eine ungespannte Zugfeder von  $L_0 = 80 \text{ mm}$  auf  $L_1 = 95 \text{ mm}$  zu verlängern, ist eine Kraft von vom Betrag 45 N notwendig.
- Berechne die Federkonstante (Richtgröße).
  - Welche Kraft muss auf die Feder wirken, wenn sie um 8 mm verlängert werden soll?
  - Welche Arbeit ist an der ungespannten Feder zu verrichten um sie auf 100 mm zu verlängern?
  - Zeichne das Kraft-Weg-Diagramm für diese Feder. Welche physikalische Bedeutung hat die Steigung in diesem Diagramm?
  - Begründe mit Hilfe des Kraft-Weg-Diagramms, warum zur Bestimmung der Spannarbeit die Gleichung  $W = F \cdot s$  falsch ist.
20. Eine Druckfeder wird durch die Kraft  $F_1 = 50 \text{ N}$  vorgespannt. Durch vergrößern der Kraft um 20 N wird die Druckfeder um 12 cm zusammengedrückt. Welche Arbeit ist für diese zusätzliche Dehnung nötig?
21. Eine Feder ist durch die Kraft  $F_1 = 15 \text{ N}$  vorgespannt. Wie groß ist die Endkraft, wenn für ein weiteres Spannen um 10 cm die Arbeit 2,5 J erforderlich ist?