

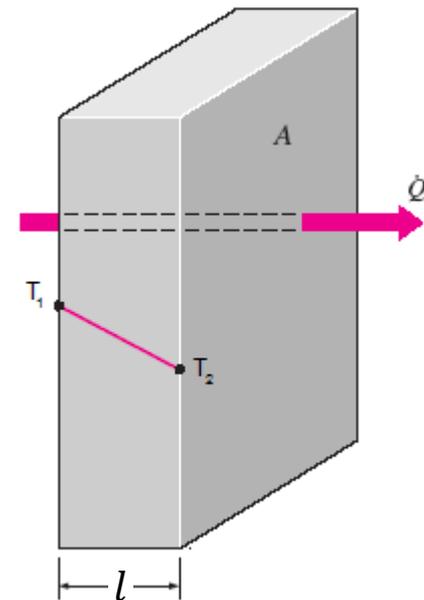
Transportphänomene

In der Natur sind Transportphänomene allgegenwärtig, weil räumliche Unterschiede von Masse, Temperatur, Ladung, Stoffkonzentration, u.v.m. existieren. Im Folgenden sollen zwei Transportbeispiele für Wärme und Masse betrachtet werden:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot \frac{A}{l} \Delta T$$

ΔQ ist die Wärmemenge, die in der Zeit Δt durch eine Fläche und über eine Länge l aufgrund eines Temperaturunterschiedes $\Delta T = T_2 - T_1$ fließt.

Jedes Material hat eine charakteristische Fähigkeit, Wärme zu leiten. Dies wird durch die Wärmeleitfähigkeit (Wärmeleitzahl) λ beschrieben.



Transportphänomene

Wenn der Wärmefluss über die Zeit integriert wird, ergibt sich die Wärme, die von einem wärmeren Volumen in ein kälteres geflossen ist:

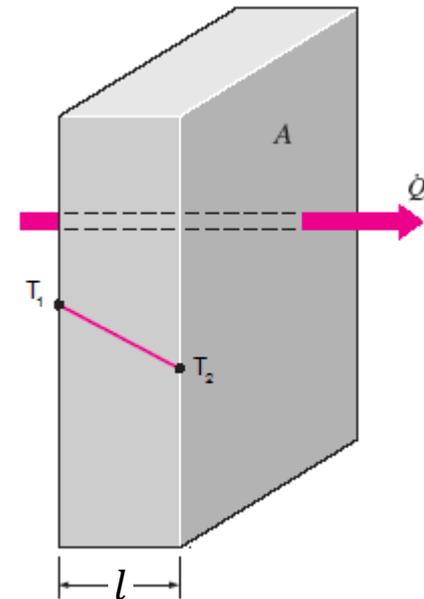
$$\Delta Q(T) = \int_{t_i}^{t_f} \frac{dQ}{dt} (T(t)) dt$$

Hieraus ergibt sich die notwendige Wärmemenge ΔQ , um die Temperatur eines Festkörpers oder einer Flüssigkeit mit Masse m um ΔT zu erhöhen:

$$\Delta Q = C_V \cdot m \cdot \Delta T.$$

C_V ist die spezifische Wärmekapazität eines Festkörpers bzw. einer Flüssigkeit bei konstantem Volumen – eine gute Näherung aufgrund der geringen relativen Ausdehnung.

Für ideale Gase bei konstantem Druck gilt zudem $C_P = C_V + R$.



Transportphänomene

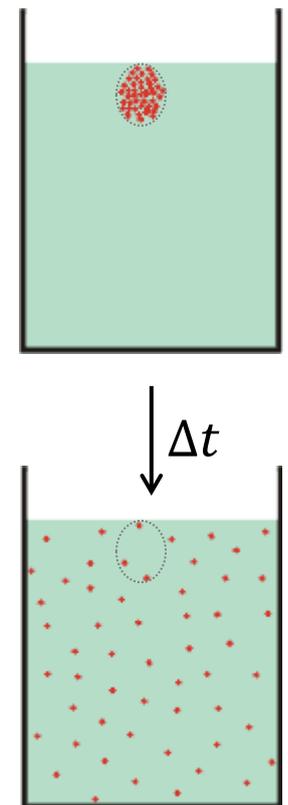
Ein wichtiger Mechanismus des Massentransports ist die sogenannte Diffusion durch unterschiedliche Konzentrationen eines Stoffes an verschiedenen Orten. Dies gilt sowohl für Gase als auch für Flüssigkeiten. Auch in Festkörpern diffusiver Transport auftreten.

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = D \cdot \frac{A}{\Delta x} \Delta c$$

Δn ist die Stoffmenge, die in der Zeit Δt durch eine Fläche A und über eine Distanz Δx aufgrund eines Konzentrationsunterschiedes $\Delta c = c_2 - c_1$ fließt.

Die Diffusionskonstante D hängt vom Medium und der Art der transportierten Teilchen ab. Für Gase gilt z.B.

$D \propto 1/\sqrt{M}$ mit M als Molekulargewicht.

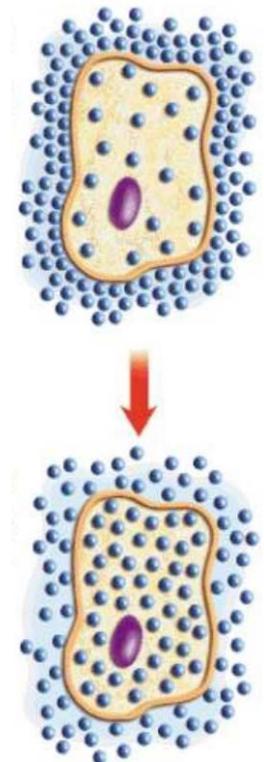


Transportphänomene

Membranen trennen in Organismen funktionelle Einheiten von einander. Insbesondere Zellmembranen sind komplexe Gebilde, die eine Vielzahl von Aufgaben erfüllen, so auch selektiver Stofftransport durch sie hindurch. Gibt es auf den zwei Seiten einer Membran unterschiedliche Konzentrationen, tritt sogenannter osmotischer Druck P_{osm} auf (vgl. *ideales Gas*)

$$P_{osm} = i \frac{\Delta n}{V} RT = i \Delta c RT.$$

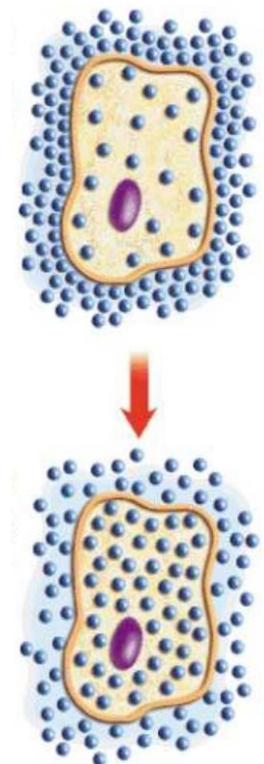
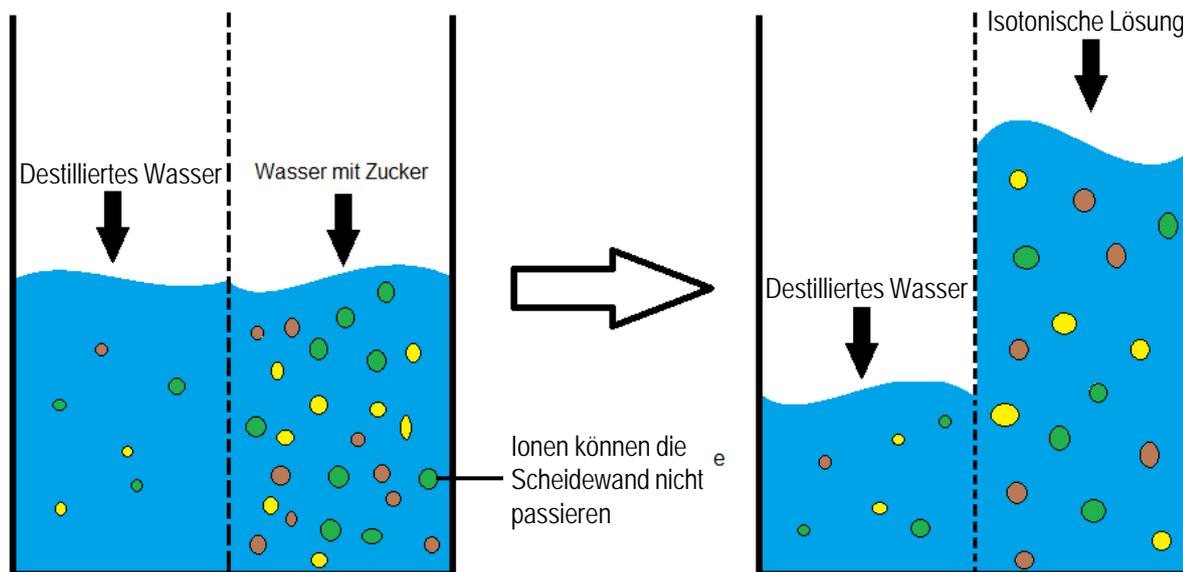
$\Delta c = \Delta n/V$ ist der Konzentrationsunterschied zwischen dem Inneren und Äußeren des Volumens V bei Temperatur T mit R als idealer Gaskonstante. i ist der sogenannte van 't Hoff-Index. Diese Zahl berücksichtigt, dass bestimmte Substanzen wie Salze in Lösung zu einem bestimmten Grad dissoziieren, so dass sich die Teilchenzahl pro Volumen, $\Delta n/V$, erhöht.



Transportphänomene

Der osmotische Druck muss in Zellen immer ausgeglichen sein, damit Zellen nicht platzen. Daher wird z.B. isotonische Kochsalzlösung mit 9 g NaCl pro Liter Wasser ($c_{\text{NaCl}} = 0.9\%$) am Tropf verabreicht.

Ein osmotischer Druck kann sehr groß sein. Für obige Kochsalzlösung beträgt er bei 20°C im Vergleich zu reinem Wasser 700 kPa. Zum Vergleich: Der Luftdruck beträgt 101 kPa. Erst in 70 m Meerestiefe übt eine Wassersäule einen solchen Druck aus!

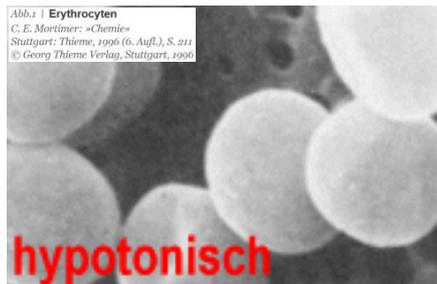


Transportphänomene

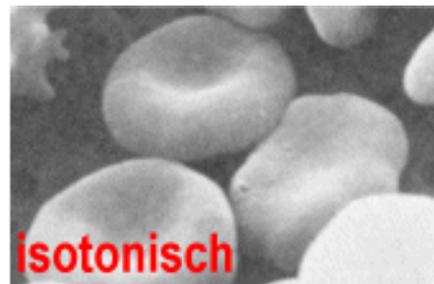
Der osmotische Druck muss in Zellen immer ausgeglichen sein, damit Zellen nicht platzen. Daher wird z.B. isotonische Kochsalzlösung mit 9 g NaCl pro Liter Wasser ($c_{\text{NaCl}} = 0.9\%$) am Tropf verabreicht.

Ein osmotischer Druck kann sehr groß sein. Für obige Kochsalzlösung beträgt er bei 20°C im Vergleich zu reinem Wasser 700 kPa. Zum Vergleich: Der Luftdruck beträgt 101 kPa. Erst in 70 m Meerestiefe übt eine Wassersäule einen solchen Druck aus!

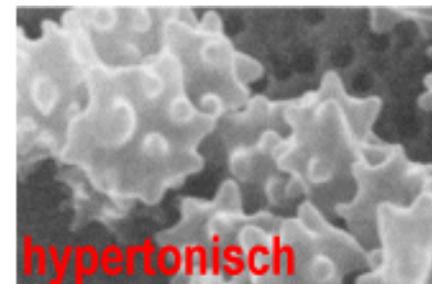
Entsprechend sind Erythrozyten (rote Blutkörperchen) aufgeblasen, entspannt oder zusammengedrückt (stachlig):



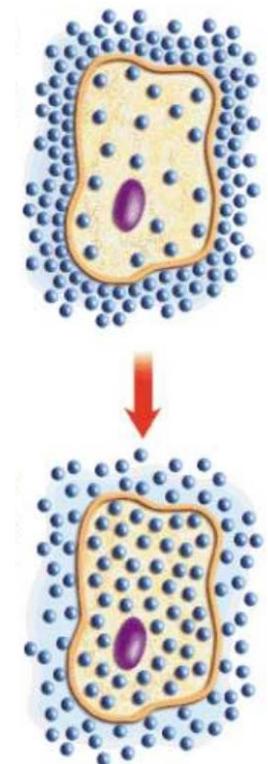
$$c_{\text{NaCl}} < 0.9\%$$



$$c_{\text{NaCl}} = 0.9\%$$



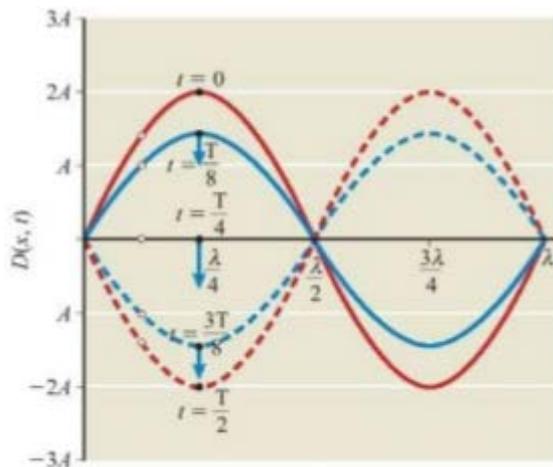
$$c_{\text{NaCl}} > 0.9\%$$



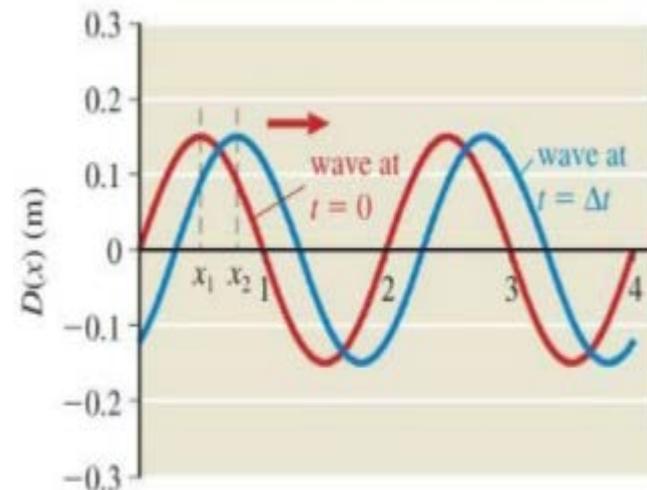
Schwingungen und Wellen

Eine Möglich Energie zu transportieren sind Wellen. Sie kommen in der Natur in vielfältiger Weise vor und können sowohl stehend als auch laufend sein:

stehend



laufend



Wellen werden durch Schwingungen, d.h. periodisch wiederholenden Vorgängen erzeugt. Es können sowohl Teilchen als auch Felder (z.B. elektrische und/oder magnetische) schwingen.

Schwingungen und Wellen

Bei einer Schwingung wird periodisch potentielle gegen kinetische Energie ausgetauscht. Ein Jo-Jo, ein Fadenpendel, ein Federpendel und eine Wassersäule im U-Rohr, sind Beispiele dafür.

Eine Schwingung ist harmonisch, wenn sie durch eine Sinus-Funktion mit Kreisfrequenz ω_0 und Phase φ beschrieben werden kann:

$$x(t) = x_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi).$$

Die Projektion einer Kreisbewegung auf eine Achse ist eine harmonische Bewegung. Einer solchen Bewegung liegt das Hooksche Gesetz zu Grund:

$$F = -D \cdot x,$$

wobei F die Rückstellkraft ist, die aufgrund einer Auslenkung x einer Feder mit Federkonstante D wirkt.

Schwingungen und Wellen

Die Kreisfrequenz ω hängt bei Federpendeln von der Federkonstante und der Masse des schwingenden Teilchens ab:

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}, \text{ wobei } T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}$$

die Periode der Schwingung ist. Schwingungen dauern nicht ewig an sondern sind eigentlich immer gedämpfte Schwingungen:

$$x(t) = x_0 \cdot e^{-\delta t} \sin(\omega t + \varphi).$$

δ heißt Dämpfungskonstante, und die Kreisfrequenz ω hängt von ihr ab gemäß:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2},$$

wobei ω_0 die Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung ist.

Schwingungen und Wellen

Der Fall $\delta = \omega_0$ wird als aperiodischer Grenzfall bezeichnet. Dann kommt es zu keiner Schwingung sondern zur schnellst möglichen Rückkehr des Teilchens in seine Gleichgewichtslage, ohne über diese hinaus zu schwingen.

Wenn sich Vorgänge periodisch aber nicht harmonisch verhalten, dann lassen sie sich durch eine Summe aus harmonischen Schwingungen beschreiben (z.B. Herzschläge und damit verbundene Druckänderungen in Blutgefäßen).

Um Wellen zu beschreiben, muss der räumliche Zusammenhang der Auslenkung von Teilen berücksichtigt werden:

$$u(x, t) = u_0 \sin\left(2\pi \frac{x}{\lambda} - 2\pi \frac{t}{T}\right) = u_0 \sin(kx - \omega t)$$

mit λ als Wellenlänge der periodischen Auslenkung von Teilen im Raum.

Schwingungen und Wellen

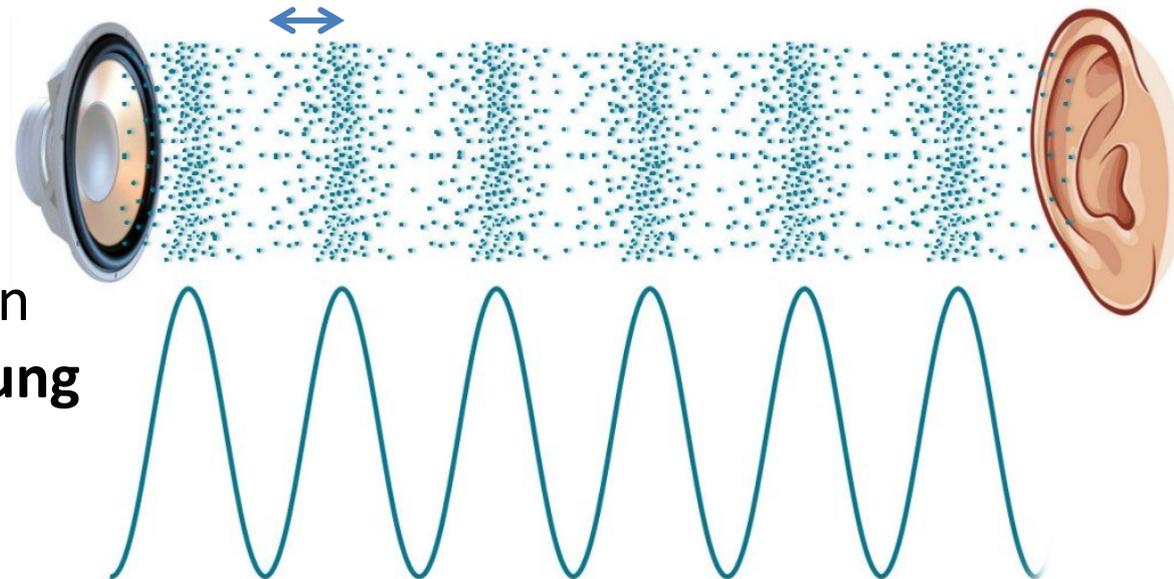
Es ist wichtig zu erwähnen das die Wellenlänge λ und die Schwingungsperiode T zusammenhängen über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle:

$$c \cdot T = \lambda \text{ oder } c = \lambda \cdot \nu ,$$

wobei $\nu = 1/T$ die Frequenz der Schwingung ist.

Als ein Beispiel sind Schallwellen zu nennen, die periodische Dichtemodulationen der Luft sind:

Die Art der Welle wird als **longitudinale Welle** bezeichnet, d.h. die Teilchen schwingen **parallel** zur **Ausbreitungsrichtung** der Welle.



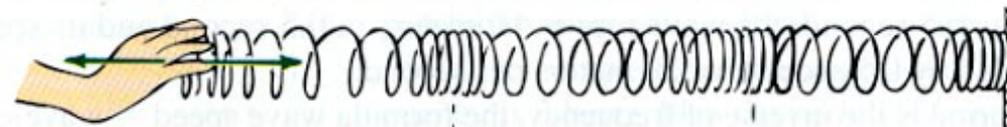
Schwingungen und Wellen

Neben longitudinalen Wellen gibt es auch sogenannte transversale Wellen. Die Teilchen der Welle schwingen dann senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle. Dazu müssen aber im Medium, in dem die Welle propagiert (sich fortbewegt) Scherkräfte auftreten. In Flüssigkeiten und Gasen ist dies nicht der Fall. Solche Wellen treten also nur in Festkörpern auf. Es gilt:

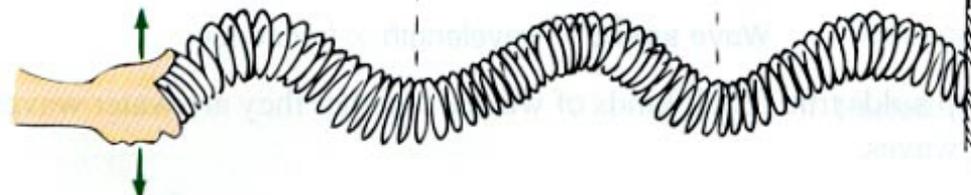
$$c_{transversal} < c_{longitudinal}$$

Bei Erdbeben kann es zuerst hoch und runter (longitudinal) gehen bevor eine Seitwärtsauslenkung (transversal) spürbar ist:

Longitudinal

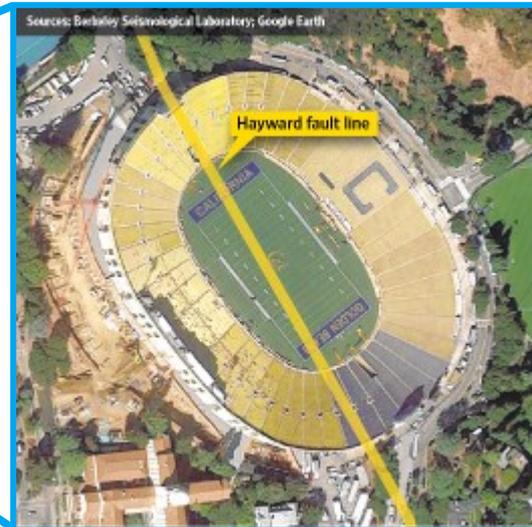


Transversal



Schwingungen und Wellen

Neben longitudinalen Wellen gibt es auch sogenannte transversale Wellen. Die Teilchen der Welle schwingen dann senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle. Dazu müssen aber im Medium, in dem die Welle propagiert (sich fortbewegt) Scherkräfte auftreten.



*Wenn beide Wellentypen auftreten, würde sich ein Hörsaal zuerst **auf- & ab-** oder erst **seitwärts** bewegen?*

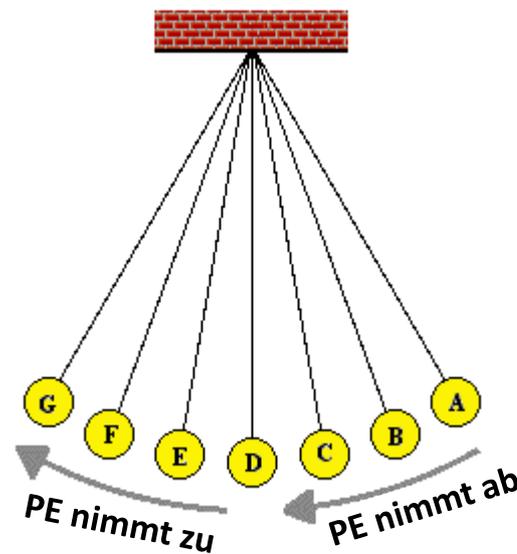
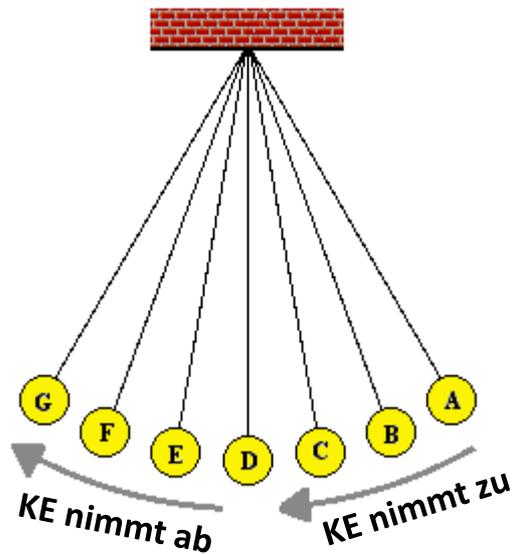


Energieerhaltung bei einer Schwingung

Bei einer ungedämpften Schwingung wird ständig potentielle Energie in kinetische umgewandelt um anschließend wieder in potentielle Energie zurückgewandelt zu werden. Da die Schwingung ungedämpft sei, verliert die schwingende Masse insgesamt also keine Energie:

$$E_{kin} + E_{pot} = E_{ges} = const.$$

Hier noch ein Quiz:



A: $E_{kin}/E_{ges} = 0$

$E_{pot}/E_{ges} = 1$

C: $E_{kin}/E_{ges} = 5/6$

$E_{pot}/E_{ges} = 1/6$

D: $E_{kin}/E_{ges} = 1$

$E_{pot}/E_{ges} = 0$

G: $E_{kin}/E_{ges} = 0$

$E_{pot}/E_{ges} = 1$