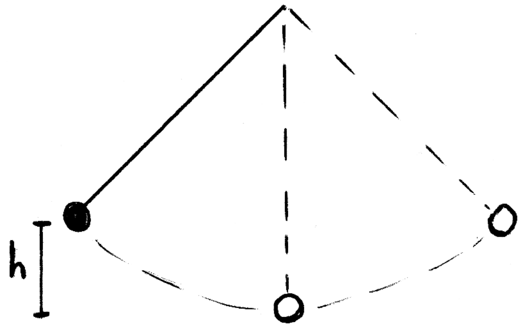
Bsp.: Pendel m = 1 kg, h = 5 cm[1]



Potentielle Energie oben: $E_{pot} = m \cdot g \cdot h = 1 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}05 \approx 0{,}5$ J
Potentielle Energie ist unten 0. Also muss sie in kinetische Energie umgewandelt worden sein: $E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2} = 0{,}5 \text{ J} \quad | \cdot 2$

$$1 \cdot v^2 = 1 \quad | \sqrt{\ }$$

$$v = 1 \text{ m/s} = 3{,}6 \text{ km/h}$$

Video: Walter Lewin Pendulum[2]

Versuch Galileisches Pendel: Trotz „Hemmung“ durch einen eingebrachten Stab wird gleiche Ausgangshöhe erreicht.[3]

<u>Bsp.</u> Freier Fall mit EES:[4]

oben: $E_{pot} = m \cdot g \cdot h \quad E_{kin} = 0$

unten: $E_{pot} = 0 \quad E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$

d.h., E_{pot} wird in E_{kin} umgewandelt:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot h \quad |:m, \cdot 2$$

$$v^2 = 2gh \quad | \sqrt{\ } \qquad \text{oder: } h = \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

… die bekannten Formeln[5]

1 Wenn ein Pendel hin- und herschwingt, wird ständig potentielle in kinetische Energie und umgekehrt umgewandelt: An den Umkehrpunkten links und rechts ist die potentielle Energie am größten, die kinetische hingegen 0, weil das Pendel ja für einen Moment steht. (Ohne Bewegung keine kinetische Energie!) In der Mittellage ist die Geschwindigkeit und damit die kinetische Energie am größten, aber die potentielle Energie 0, weil wir ja „ganz unten“ sind. Wie wir in der Rechnung sehen, wird einfach die potentielle Energie von oben, also die 0,5 J in kinetische Energie umgewandelt. Das ist eine einfache Rechnung, die du dir bitte genau anschauen sollst. Wir werden diese öfter mit verschiedenen Bsp. Durchführen.

2 youtube.com/watch?v=77ZF50ve6rs oder in einer etwas längeren Version 22:10-27:50 von youtube.com/watch?v=sJG-rXBbmCc Du musst das Englische nicht alles verstehen. Der Versuch spricht für sich. Walter Lewin sagt, dass er der Kugel anfangs jedenfalls keine zusätzliche Bewegungsenergie zuführen darf, sonst würde er sein Kinn – wie die Glasplatte vorher – zertrümmern.

3 1:39-3:00 von youtube.com/watch?v=wMOgfiajqtY ansehen. Es ist dort gut erklärt. Bitte den Rest nicht ansehen – das verwirrt nur!

4 Du wirst erkennen, dass dieses Bsp. genau gleich wie das Pendel geht: Wenn ein Körper fallen gelassen wird, hat er oben Geschwindigkeit 0, also auch keine kinetische Energie. Unten ist hingegen seine potentielle Energie 0 und in kinetische Energie umgewandelt worden.

5 Ich hoffe, du kannst dich daran noch erinnern. Sonst: Nachschauen!

Aufg. Ein Radfahrer fährt mit 30 km/h auf eine Steigung zu und hört dann zu treten auf. Welche Höhendifferenz kann er dann noch überwinden, wenn man von der Reibung absieht?
Anfangs E_{kin}, aber keine E_{pot}. Am Ende keine E_{kin}, aber E_{pot}.[6]

$$E_{pot1} + E_{kin1} = E_{pot2} + E_{kin2}$$ [7]

$$0 + E_{kin1} = E_{pot2} + 0$$

$$\frac{m\cdot v_1^2}{2} = m\cdot g\cdot h \qquad |:m,\ v_1 = 30\text{ km/h} = 8,\dot{3}\text{ m/s}$$

$$\frac{8,\dot{3}^2}{2} = g\cdot h \qquad |:g\ (=9,81\text{ m/s}^2)$$

$$\frac{8,\dot{3}^2}{2\cdot 9,81} = h \quad \Rightarrow \quad \underline{h = 3,5\text{ m}}$$

Variante:[8] v_1 = 36 km/h, h = 3,5 m. Gesucht ist v_2 (Geschw. oben)

[9]	unten	oben
E_{kin}	$\frac{m\cdot v_1^2}{2}$	$\frac{m\cdot v_2^2}{2}$
E_{pot}	0	$m\cdot g\cdot h$
E_{ges}	$\frac{m\cdot v_1^2}{2}$	$\frac{m\cdot v_2^2}{2} + m\cdot g\cdot h$

Bilanz aus letzter Zeile:

$$\frac{m\, v_1^2}{2} = \frac{m\cdot v_2^2}{2} + m\cdot g\cdot h \qquad |:m,\ h = 3,5\text{ m},\ v_1 = 10\text{ m/s}$$

$$\frac{10^2}{2} = \frac{v_2^2}{2} + 9,81\cdot 3,5 \quad |\cdot 2$$

$$100 = v_2^2 + 68,67 \quad |-68,67,\ \sqrt{\ }$$

$$v_2 = \sqrt{31,33} = 5,60\text{ m/s} \approx \underline{20\text{ km/h}}$$

6 Stell dir das jetzt so vor: Du fährst mit dem Fahrrad auf eine Steigung zu, trittst kräftig in die Pedale, sodass du 30km/h erreichst. Es ist leichter Rückenwind, sodass wir vom Luftwiderstand absehen können. Die Reifen sind gut aufgepumpt, sodass die Rollreibung zu vernachlässigen ist. Dann hörst du genau dann, wenn die Steigung beginnt, zu treten auf, rollst hinauf, bis du stehen bleibst. Es ist erstaunlich, denn das Ergebnis wird sein: Man kommt damit ca. 3,5 m hoch; das ist ca. ein Stockwerk eines Gebäudes. Das ist jetzt vergleichbar mit dem Fall, dass das Pendel von der Mitte nach oben schwingt: Unten hat es maximale Geschwindigkeit und damit maximale kinetische Energie, oben keine mehr. Die kinetische Energie wird in potentielle umgewandelt.

7 Diese Gleichung ist praktisch: Die Summe aus beiden Energien bleibt wegen des EES gleich. Der tiefgestellte 1er bedeutet hier: Vor dem Bergaufrollen, der 2er nach dem Bergaufrollen.

8 **Schreibe diese schwierige Variante nicht ab, sondern lass Platz!** Wir machen das in Ruhe im Unterricht durch. Nun treten wir noch kräftiger in die Pedale und rollen eine fixe Steigung von 3,5 m hinauf. Das ist ca. soviel wie von der HTL zum Bahnhof Hötting. Wir wollen ausrechnen, wie schnell der Radfahrer oben ist. Man würde meinen, da müssten wohl 36 – 30 = 6 km/h herauskommen. Das ist aber falsch! (Der Grund ist, dass v quadriert wird.)

9 Wir könnten auch mit der besagten Gleichung $E_{pot1} + E_{kin1} = E_{pot2} + E_{kin2}$ rechnen. Ich bevorzuge hier eine Tabellenform für die Energiebilanz. Schau dir die Tabelle an: Lies die Spalte „unten“: keine potentielle Energie, also gleich wie im ursprünglichen Bsp.
In der Spalte „oben“ hingegen sind beide Energien vorhanden. Neben der potentiellen Energie bleibt auch kinetische Energie übrig, weil der Radfahrer ja nach 3,5 m Steigung nicht stehen bleibt.

Versuch: Rennrad in Unterführung (real oder in Gedanken)[10]
Bei hoher Geschwindigkeit v_1 am tiefsten Punkt ausrollen lassen.
h =   m
E_{kin} ist proportional zu v²: Erkennbar dadurch, dass etwas höheres v_1 starke Auswirkung hat.[11]

Wirkungsgrad

Bsp.: 1 ℓ Diesel: ca. 40 MJ chemische Energie[12]
F_R auf Bundesstraße rund 500 N[13]
Wie weit kommt man mit 1 ℓ theoretisch?[14]

$W = F \cdot s \Rightarrow s = W/F = 40.000.000/500 = 80.000\text{ m} = 80\text{ km}$[15]
$\Rightarrow$ 1,25 l/100 km ?

Tatsächlich kann nicht die gesamte Energie umgewandelt werden. Bei Verbrennungsmotoren sogar bei sorgfältigster Herstellung nicht.[16] Der Wirkungsgrad gibt an, welcher %-Satz an Energie umgewandelt wird. Der Rest ist Abwärme.

Wirkungsgrad η [eta][17] = $\dfrac{E_{nutz}}{E_{zu}} = \dfrac{P_{nutz}}{P_{zu}}$

E_{nutz} bzw. P_{nutz}… nutzbare abgeführte Energie bzw. Leistung
E_{zu} bzw. P_{zu} … zugeführte Energie bzw. Leistung

10 Wir haben neben der Schule eine Unterführung, die auch eine ähnliche Tiefe wie im vorigen Bsp. hat. Wir können dort mit dem Rad unten eine hohe Geschwindigkeit erreichen und dann wie in der vorigen Aufgabe hinauf ausrollen lassen. Wenn wir den Versuch real durchführen, werden wir merken, dass es doch um ein Stück nicht stimmt: Man ist langsamer als berechnet. Energie geht „verloren“. Es ist klar: Selten werden wir bei diesem Versuch ausreichend Rückenwind haben, sodass sich der Luftwiderstand vernachlässigen lässt. Bei 30 bis 40 km/h ist dieser, wie jeder weiß, allerdings nicht unbeträchtlich. Das Überwinden des Luftwiderstands verbraucht also Energie. (Genauer: Sie führt der umgebenden Luft Wärmeenergie zu und erwärmt diese minimal.)

11 In diesem Versuch erkennt man aber wieder gut, ist, dass das v bei E_{kin} quadriert wird: Wenn ich in der Unterführung unten z.B. 40 km/h statt 35 km/h fahre, bewirkt das einen großen Unterschied: Man ist dann oben nicht nur um 5 km/h schneller, sondern wesentlich mehr. Wir haben das ja in der vorigen Aufgabe berechnet.

12 1 MJ = 1 000 000 J, d.h. 40 MJ = 40 000 000 J. Erinnere dich: 3 600 000 J = 1 kWh. Wie viele kWh sind also 40 MJ? [11,1 kWh]

13 Wenn man mit einem Auto auf einer Bundesstraße dahinfährt, hat man einen Fahrtwiderstand von ca. 500 N. Das heißt, der Luftwiderstand und die Rollreibung bremsen das Auto ständig mit 500 N. Die Kraft des Motors muss eine gleich große Gegenkraft aufbringen, damit das Auto nicht langsamer wird. Die Energie dafür holt es sich aus dem Treibstoff, hier Diesel.

14 Man rechnet also, dass die Energie im Diesel (40 000 000 J) vollständig in Arbeit umgesetzt werden könnten. (Das geht, wie wir sehen werden, bei weitem nicht 100%ig. Aber nur mal angenommen …) Arbeit ist Kraft mal Weg. Die Kraft F sind die besagten 500 N und der Weg die Strecke s, wie weit man theoretisch kommen würde. Da s zu berechnen ist, formen wir die bekannte Formel für die Arbeit auf s = ... um.

15 Es würde also rauskommen, dass man mit 1 ℓ Diesel 80 km weit kommen würde oder (Schlussrechnung!) mit 1,25 ℓ 100 km weit. Jeder weiß aber, dass ein Dieselauto rund 5 ℓ pro 100 km braucht. Da kann also etwas nicht stimmen. Der Fehler war, dass wir angekommen haben, dass die Energie zu 100% umgewandelt werden kann, sondern nur zu rund 25%.

16 Beachte: Das ist kein Konstruktionsfehler eines Dieselmotors, sondern eine physikalische Gesetzmäßigkeit. Kaum eine „Wärmekraftmaschine“, also eine Maschine, die Wärme in mechanische Energie umwandelt, schafft mehr als 50%.

17 Bitte schreib diesen griechischen Buchstaben richtig und benenne ihn mit „eta“ korrekt. Es ist ein n mit einem längeren Strich nach unten.

Berechnung auch mit Schlussrechnung möglich.[18]

Bsp.: Auto: Leistung P_{zu} von 40 kW, P_{nutz} ist 10 kW. η = ?

$\eta = \frac{P_{nutz}}{P_{zu}} = \frac{10}{40}$ = 0,25 = 25 %

75% gehen in Abwärme.

18 Diese Formeln musst du tatsächlich eigentlich nicht wissen, wenn du gut im Prozent- und Schlussrechnen bist: Wenn ein Dieselmotor 25% Wirkungsgrad hat, dann wird aus der Energie, die beim Verbrennen frei wird, 25% mechanische Energie, die zum Antrieb des Autos genutzt werden kann, und 75% Abwärme, die großteils beim Auspuff und der Motorkühlung an die Umgebung abgegeben wird. Es ist also ganz einfach. Im folgenden Bsp. rechnen wir das Gleiche mit der Leistung, was aber keinen Unterschied macht.