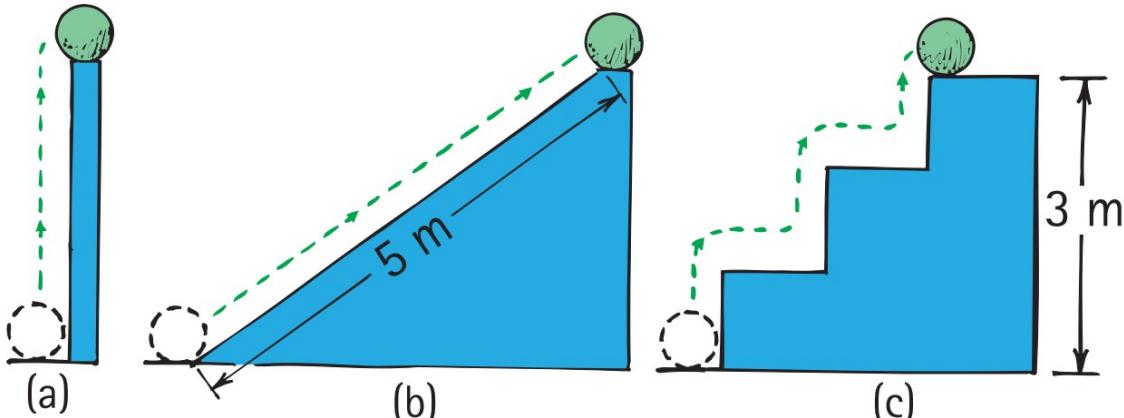


Die Arbeit und damit die potentielle Energie sind unabhängig vom Weg, mit dem die Höhe  $h$  erreicht wurde. Bsp.:



- a)  $F = 10 \text{ N}, s = 3 \text{ m} \Rightarrow W = F \cdot s = 10 \cdot 3 = 30 \text{ J}$
- b)  $F = 6 \text{ N}, s = 5 \text{ m} \Rightarrow W = F \cdot s = 6 \cdot 5 = 30 \text{ J}$
- c)  $F = 10 \text{ bzw. } 0 \text{ N}, s = 3 \cdot 1 \text{ m} \Rightarrow W = 10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 10 \cdot 1 = 30 \text{ J}^1$   
 $W = E_{\text{pot}} = 30 \text{ J}$  in allen 3 Fällen<sup>2</sup>

Versuch: Treppenlauf eines Schülers 1. → 3. Stock ( $h = 7,5 \text{ m}$ )

Berechnung von Arbeit und Leistung

z.B.:  $m = 60 \text{ kg}, t = 10 \text{ s}^3$

$$W = E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 60 \cdot 9,81 \cdot 7,5 = 4414,5 \text{ J}$$

$$P = W/t = 4414,5/10 = 441 \text{ W} (= 0,60 \text{ PS})^4$$

### Bsp. 1

Niagarafälle: 8 Mio. kg Wasser pro Sekunde fallen 50 m

$$W = E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 8 \cdot 10^6 \cdot 9,8 \cdot 50 = 3920 \cdot 10^6 \text{ J} = 3920 \text{ MJ}$$

$$\text{Leistung: } P = W/t = 3920 \cdot 10^6 / 1 = 3920 \text{ MW}^5$$

### Bsp. 2

Pumpe hebt  $1,1 \text{ m}^3 \approx 1,1 \text{ t}$  Wasser pro Stunde auf 7,5 m Höhe.

$$W = E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 1100 \cdot 9,81 \cdot 7,5 = 80932,5 \text{ J} \approx 81 \text{ kJ}^6$$

$$P = W/t = 80932,5 / 3600 = 22,5 \text{ W}^7$$

- 1 Das Hinüberschieben der Kugel auf ebener Fläche erfordert keine Arbeit, wenn keine Reibung im Spiel ist.
- 2 Die Kugel mit rund 1 kg hat also im Vergleich zum Boden in 3 m Höhe eine potentielle Energie von 30 J, egal wie sie raufgekommen ist. Vielleicht liegt sie (wie ein Stein im Gebirge) schon seit Millionen Jahren dort oben. Das kümmert uns nicht. Wir sagen einfach: Wenn sie dort oben liegt, dann hat die diese Energie.
- 3 D.h. der Läufer hat 60 kg, hebt sich durch das Hinauflaufen selbst in die Höhe, und braucht dafür 10 s. Wir machen den Versuch in der Schule. Setze statt der grauen Werte dann die tatsächlichen Messwerte ein.
- 4 Der Mensch bringt also eine Leistung von ca. 440 W. Die Energie dazu bekommt er aus den Nahrungsmitteln. Ich greife etwas vor, wenn ich sage: Er braucht mehr als das 4fache davon, weil sein „Wirkungsgrad“ (den wir später lernen werden) beim Treppenlaufen nur 25% beträgt und er einen Grundumsatz von ca. 80 W hat, der die Körperfunktionen wie den Blutkreislauf aufrecht erhält. Also muss dieser Schüler in den 10 s sogar  $4 \cdot 440 + 80 = 1840 \text{ W}$  liefern.
- 5 Diese Leistung könnte mit einem Kraftwerk, das das gesamte Wasser verarbeiten könnte, genutzt werden.
- 6 Diese Arbeit muss verrichtet werden, damit das Wasser vom unten auf 7,5 m Höhe gehoben werden kann.
- 7 Diese Leistung muss die Pumpe aufbringen.

## Kinetische<sup>8</sup> Energie (Bewegungsenergie)

Arbeit wird auch beim Beschleunigen eines Objektes verrichtet:

Beschleunigungsweg<sup>9</sup>:  $s = \frac{v^2}{2a}$

Kraft<sup>10</sup>:  $F = m \cdot a$

Arbeit<sup>11</sup>:  $W = F \cdot s = m \cdot a \cdot \frac{v^2}{2a} = \frac{m \cdot v^2}{2}$

Mit dieser Beschleunigungsarbeit ändert sich die „kinetische Energie“ eines Körpers<sup>12</sup>. Sie beträgt:

$$E_{\text{kin}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$
<sup>13</sup>

Beachte: Meist muss auch gegen eine Reibung Arbeit verrichtet werden:  $W = F_R \cdot s$ <sup>14</sup>

Bsp. a) Gewehrkugel:  $m = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$ ,  $v = 1800 \text{ km/h} = 500 \text{ m/s}$

$$E_{\text{kin}} = \frac{0,01 \cdot 500^2}{2} = 1250 \text{ J}$$

b) Sprinter  $m = 70 \text{ kg}$ ,  $v = 10 \text{ m/s}$

$$E_{\text{kin}} = \frac{70 \cdot 10^2}{2} = 3500 \text{ J}$$

c) Auto  $m = 1000 \text{ kg}$ ,  $v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1000 \cdot 30^2}{2} = 450.000 \text{ J}$$

d) Güterzug im Verschub:  $m = 1500 \text{ t}$ ,  $v = 9 \text{ km/h}$   
 $= 1.500.000 \text{ kg}$ ,  $= 2,5 \text{ m/s}$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1.500.000 \cdot 2,5^2}{2} = 4.687.500 \text{ J} = 1,3 \text{ kWh}$$
<sup>15</sup>

8 kinesis (altgriechisch) = Bewegung

9 Diese Formel ist freilich lange her, doch schau mal nach!

10 Das 2. Newtonsche Gesetz. Auch eine (kleinere) Weile her. Evtl. auch nachsehen!

11 Wir verwenden die gleiche Formel wie am Anfang des Kapitels: Arbeit ist Kraft mal Weg.

12 Wir haben also Arbeit geleistet, um ein Objekt auf eine gewisse Geschwindigkeit zu bringen, z.B. ein Auto. Wenn es dann dahinfährt, hat es Energie. Diese kinetische oder Bewegungsenergie ist in sich, wie man merken würde, wenn man mit dem Auto an eine Wand prallen würde. Sie ist durchaus vergleichbar mit dem schon gelernten Impuls. Kann kann darunter durchaus auch eine Art „Wucht der Bewegung“ verstehen. Der Betrag der Energie ist wieder gleich wie die aufgewendete Beschleunigungsarbeit, wie auch beim Hochheben eines Gewichts die Hubarbeit gleich groß wie die potentielle Energie ist.

13 Eine wichtige Formel, die man jedenfalls auswendig können sollte. Gleich wichtig wie  $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ .

14 Wenn ich ein Fahrzeug beschleunige, muss ich fast immer gegen Reibung ankämpfen. Das braucht auch Arbeit, die freilich dann nicht in der Bewegungsenergie drinnen steckt, sondern mehr oder weniger verloren ist. (Genauer: Sie steckt in Wärmeenergie. Durch die Reibung wird immer etwas Wärme erzeugt.) Wenn ein Auto mit konstanter Geschwindigkeit dahinfährt, so verrichtet es ausschließlich Reibungsarbeit, die Bewegungsenergie ändert sich nicht.

15 Die Umrechnungszahl 3,6 Millionen weißt du eh noch, oder?

## Energieerhaltung

Bsp.:

Die potentielle Energie eines Fahrzeugs wird beim Bergab-Rollen in kinetische Energie umgewandelt. Die Hangabtriebskraft verrichtet Arbeit entlang eines Wegs.

Beim Heben eines Lifts wird Arbeit durch das Heben der Last entlang eines Weges verrichtet. Elektrische Energie wird in potentielle Energie umgewandelt.

Es gilt der Energieerhaltungssatz (EES):

Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Sie kann nur umgewandelt werden. Die Gesamtenergie bleibt immer konstant.

Problem: Leider bleibt durch Reibung oft nur kaum nutzbare Abwärme(-energie) übrig.<sup>16</sup>

Wichtig: Der EES gilt für ein „abgeschlossenes System“.<sup>17</sup>

Unmöglichkeit eines „Perpetuum mobile“<sup>18</sup>

16 Deswegen hatte man den Energieerhaltungssatz lange nicht herausgefunden. Wer merkt schon, dass die Straße und die Umgebungsluft beim Fahren wärmer wird? Weil es sich auf große Flächen / Volumina verteilt, ergibt es so wenig Temperaturerhöhung, dass es nicht messbar ist. Beim starken Bremsen merkt man es aber: Wenn du mit dem Fahrrad länger bergab fährst, wird potentielle Energie in kinetische umgewandelt. (Klar? Lageenergie in Bewegungsenergie.) Damit man nicht immer noch schneller wird, muss man die Energie irgendwie „loswerden“. Das geschieht mit den Bremsen. Diese wandeln die überschüssige Energie in Wärmeenergie um. Die Felgen Felgen oder die Bremsscheiben des Fahrrads werden heiß. Probiere es aus! Achtung: Wenn du Scheibenbremsen hast: Die Bremsscheiben werden so heiß, dass man sich daran arg verbrennen kann. Nach längerer Bergabfahrt nicht sofort angreifen! Die Felgen sind großflächiger und werden nicht so heiß. Da auf den Felgen aber die Reifen montiert sind, muss man umso mehr aufpassen. Die Luft im Reifen wird auch heiß, das bewirkt, dass der Druck steigt, und er platzen könnte. Also auch hier: Vorsicht. Bei längeren Bergabfahrten muss man regelmäßig stehenbleiben und die Reifen abkühlen lassen. Unter anderem deswegen hat man bei Mountainbikes heute fast immer Scheibenbremsen.

17 Energie ist im Allgemeinen unsichtbar und deswegen oft wenig greifbar. Was bedeutet „abgeschlossenes System“? Einfach ein System, wo weder Energie hinein- noch herausfließen kann. Wir machen uns darüber aber hier nicht zu viele Gedanken. Besonders Wärmeenergie kann leicht unmerkbar „verschwinden“. Siehe die obige Fußnote.

18 Lange Zeit versucht man eine Maschine zu bauen, die ohne Energiezufuhr ewig dahin läuft. „Perpetuum mobile“ ist lateinisch für „etwas ununterbrochen Bewegliches“. Auch wenn es immer wieder „Erfinder“ gibt, die so etwas bauen wollen, es wird vom Patentamt mit dem Hinweis „widerspricht dem Energieerhaltungssatz“ einfach zurückgewiesen. Einige Bsp. findest du auf [perpetuum-mobile.de/beispiele-von-perpetuum-mobile/](http://perpetuum-mobile.de/beispiele-von-perpetuum-mobile/). Um Missverständnisse zu vermeiden: Sie funktionieren alle nicht.