

## FOS: Arbeit: Energie überschreitet Systemgrenzen.

### **Energie wird zugeführt.**

**Beispiel:** Ein Sack der Masse  $m = 75 \text{ kg}$  wird von einem Arbeiter mit einem Seil  $4 \text{ m}$  hochgezogen.

Welche Energie wird dem Sack zugeführt und woher kommt sie?

Dem Sack wird die Energie  $W_H = m \cdot g \cdot h$  zugeführt.

Der Sack wird mit der Gewichtskraft  $F = G = m \cdot g$

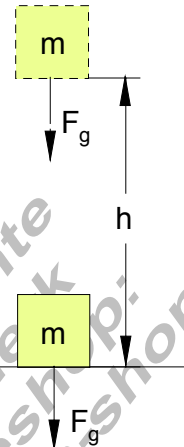
längs des Weges  $s = h$  bewegt.

$$F \cdot s = G \cdot s = m \cdot g \cdot h$$

$$= 75 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ m} = 2943 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} = \underline{\underline{2943 \text{ Nm} = 2943 \text{ J}}}$$

Dem Sack wird die Energie  $2943 \text{ J}$  zugeführt.

Die Energie stammt vom Arbeiter, der sie abgibt.



**Beispiel:** Eine Kiste wird mit einer konstanten Kraft  $20 \text{ m}$  über den Boden gezogen.

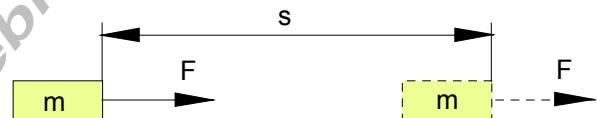
Die dabei aufgewendete Kraft beträgt  $F = 200 \text{ N}$ .

Welche Energie wird der Kiste zugeführt. Wo bleibt sie, wenn die Kiste mit konstanter Geschwindigkeit gezogen wird?

Der Kiste wird die Energie

$$W = F \cdot s = 200 \text{ N} \cdot 20 \text{ m} = \underline{\underline{4000 \text{ Nm}}} \text{ zugeführt.}$$

Durch die Reibung auf dem Boden verliert die Kiste den gleichen Energiebetrag wieder.



### **Die Bewegungsenergie wird erhöht.**

Ein Auto wird mit einem Seil abgeschleppt. Das System Auto ist nicht abgeschlossen, da über das Seil eine Kraft  $F$  ausgeübt wird.

Sie ist konstant, wenn das Auto mit  $a = F/m$  beschleunigt und Reibungskräfte unberücksichtigt bleiben.

Nach der Zeit  $t$  hat das Auto den Weg  $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$  zurückgelegt

und die Geschwindigkeit  $v = a \cdot t$  erreicht.

$$\text{Daher gilt: } F \cdot s = \underbrace{(m \cdot a)}_F \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{2} a \cdot t^2\right)}_s = \frac{1}{2} m \cdot \underbrace{a^2 \cdot t^2}_{v^2} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

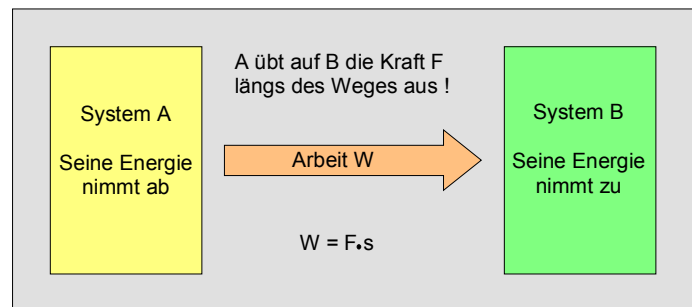
$$\text{Es gilt: } F \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

## Die mit Kraft übertragene Energie heißt Arbeit

Wird Energie mittels Kraft übertragen, so spricht man von **Arbeit**.

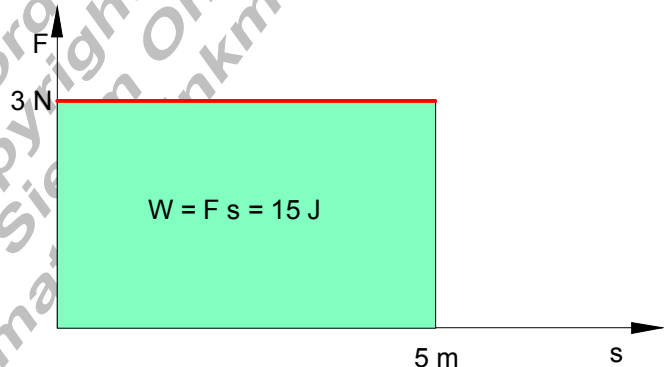
<b>Merksatz:</b>	<p>Arbeit ist mithilfe einer Kraft von einem System auf ein anderes übertragene Energiemenge <math>W</math>.</p> <p>Ist die in Richtung des Verschiebungswegs <math>s</math> wirkende Kraft <math>F</math> konstant, so ist die Arbeit das Produkt aus <math>F</math> und <math>s</math></p> $W = F \cdot s$
------------------	--

A übt auf B die Kraft  $F$  längs des Weges  $s$  aus und überträgt so die Energiemenge  $W = F \cdot s$ , Arbeit genannt von A nach B

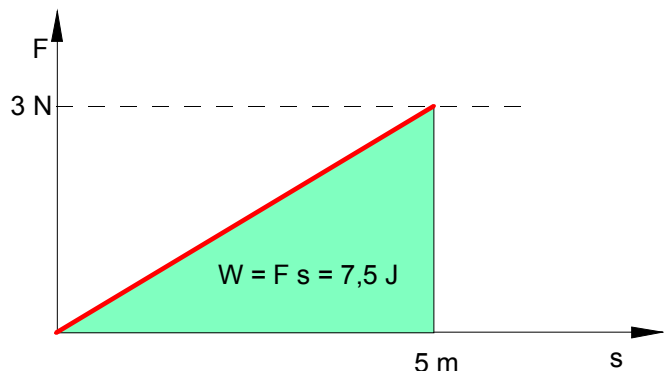


## Graphische Darstellung der Arbeit

Ist die an einem System angreifende Kraft  $F$  konstant, so erhält man eine Parallele zur  $s$ -Achse. Die Fläche darunter stellt die Arbeit dar.



Folgt die Kraft  $F$  dem Hookeschen Gesetz, so erhält man im  $s$ - $F$  Diagramm eine Ursprungsgerade. Die Fläche unter der Geraden stellt die Arbeit dar.



$$\text{Dreieck: } A = \frac{g \cdot h}{2}$$

$$g = s \quad h = F = D \cdot s$$

$$\Rightarrow A = \frac{s \cdot D \cdot s}{2} = \frac{1}{2} D \cdot s^2$$

Allgemein gilt:

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F(s) \, ds$$

## Reibungskräfte vermindern mechanische Energie

Ein Autofahrer bremst sein Fahrzeug bei der Geschwindigkeit  $v_0$  durch Blockieren der Räder scharf ab und bringt es zum Stillstand.

Die konstante Gleitreibungskraft  $F$  bremst das Auto mit  $a = F/m$ .

Nach dem Bremsweg  $s = v^2 / 2a$  steht das Auto.

Die Energie  $W_B = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$  ist verschwunden.

$$\text{Es ist: } \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} m \cdot \underbrace{(2a \cdot s)}_{v_0^2} = m \cdot a \cdot s = F \cdot s$$

Das Produkt aus Kraft  $F$  und Weg  $s$  liefert also die Abnahme der mechanischen Energie des Systems.

Es stellt sich nun die Frage: Wo ist die Energie geblieben?

## Energieerhaltung durch Zunahme der inneren Energie

In der Physik setzt man auf den Satz von der **Erhaltung der Energie**.

Wo also ist die mechanische Energie beim Bremsvorgang geblieben?

Genauere Beobachtungen liefern einen Hinweis:

Dort wo Reifen und Straße oder Bremsbacke und Bremsscheibe sich gerieben haben, ist die **Temperatur** der Materialien gestiegen.

Temperaturzunahme wird auch als Zunahme der **inneren Energie** bezeichnet.

<b>Merksatz:</b>	Reibung mit der konstanten Kraft $F_R$ entzieht dem System längs des Reibungsweges $s$ die mechanische Energie $F_R \cdot s$ und wandelt diese in innere Energie des Systems um. Bezieht man das Konto der inneren Energie mit ein, bleibt die Energiesumme auch bei Vorgängen mit Reibung konstant.
------------------	---

## Energieentwertung

Die vom bremsenden Auto abgezweigte Energie (Wärme = innere Energie) hat für das Auto keinen Wert mehr.

Man spricht deshalb von **Energieentwertung**.

Sie tritt bei allen Energieumsetzungen auf.

Die ursprüngliche Energie geht dabei in weniger nutzbare Formen über.

Obwohl der entwertete Teil nicht verloren ist, spricht man im Alltag oft unkorrekt von **Energieverlust** oder **Energieverbrauch**.

<b>Versuch:</b>	Ein Pingpongball wird auf harten Boden fallen gelassen. Er springt einige Zeit. Dabei verliert er immer mehr an Höhe und kommt schließlich zum Stillstand. Wo ist die Energie geblieben?
-----------------	--

Die Energie wurde durch Luftreibung und Verformung in Wärme umgewandelt. Sie ist nicht verloren gegangen, sie wurde umgewandelt in innere Energie.