

C# : Energie- und Kraftstoffverbrauch eines Kraftfahrzeuges

Der Kraftstoffverbrauch eines Kraftfahrzeuges wird berechnet:

- A) Aus der Energie, die aufzuwenden ist, um das Kfz von einem Ort A zu einem Ort B zu bewegen.
 B) Aus dem Energieinhalt (Brennwert) von Benzin, Diesel oder Gas.
 C) aus dem Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors.

Verwendete Formelzeichen und Maßeinheiten (mks-System):

- m** Masse des Kfz in kg (Kilogramm)
v Geschwindigkeit des Kfz in m/s (Meter pro Sekunde)
s zurückgelegte Fahrstrecke in m (Meter)
g Erdbeschleunigung; es ist $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (Meter pro Sekunden im Quadrat)
F Kraft in N (Newton). 1N entspricht ca. 0,102 kg (auf der Erde).
E Energie in $(\text{kg m}^2) / \text{s}^2$ oder Nm (Newtonmeter) oder Ws (Wattsekunde) oder J (Joule).
 Es ist $1 (\text{kg m}) / \text{s}^2 = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$.

A) Die Energie, um das Kfz zu bewegen, setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

1. Beschleunigungsenergie. Um das Kfz vom Stillstand bis zur Geschwindigkeit **v** zu beschleunigen, wird aufgewendet:

$$E_B = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

2. Rollwiderstand. Wenn das Kfz mit der Geschwindigkeit **v** im luftleeren Raum schweben würde, könnte man theoretisch den Motor ausschalten und unendlich weit fahren. In der Praxis wird es leider wieder langsamer.

Um die erreichte Geschwindigkeit zu behalten, muss der Motor während der gesamten Fahrstrecke **s** eine Schubkraft **F_R** gegen die raue Fahrbahn und gegen die Verformung der Reifen aufbringen:

$$F_R = \mu \cdot m \cdot g$$

μ (mü): Reibungszahl (0,02 .. 0,03 bei Gummi auf Asphalt)

Die Energie zur Überwindung des Rollwiderstandes ist Schubkraft mal Fahrstrecke:

$$E_R = F_R \cdot s$$

3. Luftwiderstand. Die Luftwiderstandskraft hat die Formel:

$$F_L = 1/2 \cdot c_w \cdot A \cdot \delta \cdot v^2$$

c_w: Widerstandsbeiwert. Ist ein Maß für die Form des Kfz: Ideale Tropfenform hat ca. 0,2, eine zur Fahrtrichtung senkrechte ebene Fläche hat ca. 1,0.

A: zur Fahrtrichtung senkrecht stehende Querschnittsfläche des KFZ in m² (Quadratmeter).

δ (Rho): Dichte der Luft. $\delta_{\text{Luft}} = 1,3 \text{ kg/m}^3$

Die Energie zur Überwindung des Luftwiderstandes ist Luftwiderstandskraft mal Fahrstrecke:

$$E_L = F_L \cdot s$$

4. Hubenergie. Wenn das Kfz zusätzlich den Berg hoch fährt und die Höhe **h** erreicht:

$$E_H = m \cdot g \cdot h \quad (h \text{ Höhe in Meter})$$

Die Gesamtenergie ist die Summe:

$$E_{\text{ges}} = E_B + E_R + E_L + E_H$$

B) Der Energieinhalt von Kraftstoffen bei Verbrennung ist:

$$E_V = V \cdot \text{Brennwert} \quad V : \text{Volumen des Brennstoffes in l (Liter)}$$

Beispiele für Brennwerte (circa):

Diesel, Heizöl	35,2 MJ/l
Benzin	31,5 MJ/l
Erdgas	36 MJ/m ³
Li-Io-Akku	150 Wh/kg

(näheres in Wikipedia unter *Kraftstoff* und *Akkumulator*. 1MJ = 10⁶ J)

C) Zum Schluss ist der Wirkungsgrad des Motors zu berücksichtigen!

Leider geht viel Energie des Kraftstoffes ungenutzt als Wärme in die Luft.

Wirkungsgrade:	Dieselmotor	25 % .. 40 %
	Ottomotor Viertakt	20 % .. 32 %
	Ottomotor Zweitakt	15 % .. 20 %
	Elektromotor + Akku	80%

Schreiben Sie ein Programm, das den Kraftstoffverbrauch eines Kfz berechnet!

Eingaben:

Fahrzeuggewicht, cw-Wert, Windangriffsfläche, Kraftstoffsorte, Motor-Wirkungsgrad, Reibungszahl, Fahrweg, Höhendifferenz, Geschwindigkeit.

Ausgaben:

E_B , E_R , E_L , E_H , E_{ges} (in den gebräuchlichen Maßeinheiten MJ und kWh)
Kraftstoffverbrauch (in Liter Sprit, Kubikmeter Gas oder Kilogramm Akku)

Um sich die vielen Eingaben zu sparen, empfehlen wir, zunächst mit einem "Normal-Kfz" zu rechnen, auf ebener Strecke ohne Steigung. Zahlenwerte dazu in derselben Reihenfolge wie die Eingaben (s. o.):

1200kg , 0,3 , 2m² , Benzin , 25% , 0,02 , 100km , 0m , 100km/h

Es ergibt sich ein Benzinverbrauch von circa 6,8 Liter.

Hinweis: Die beim Bergauffahren umgesetzte Energie wird beim Bergabfahren teilweise wieder "hereingeholt". Und bei Stadtfahrt im kleinen Gang ist der Motor-Wirkungsgrad schlechter. Deshalb stimmen Ihre berechneten Werte nicht mehr in extremen Fahrsituationen.