

4.2 Mechanische Arbeit und Leistung, Energiewandlung

Beispiele:

1. Mechanische Arbeit

Mit Hilfe eines Rollenprüfstandes wird die Leistungsabgabe an den Hinterrädern eines Pkw gemessen. Der höchste Wert von 61 kW tritt bei einer Drehzahl von $3500 \frac{1}{\text{min}}$ auf. Dies entspricht im 4. Gang einer Fahrgeschwindigkeit von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Wie groß ist die Antriebskraft der Räder?

Lösung:

Gegeben: $P = 61 \text{ kW}$; $n = 3500 \frac{1}{\text{min}}$; $v = 80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Gesucht: F

$$P = 61 \text{ kW} = 61000 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

$$F = \frac{P}{v} = \frac{61000 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}}{80 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = \frac{61000 \text{ Nm} \cdot \text{h} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{80 \text{ km} \cdot \text{s} \cdot 1000 \frac{\text{m}}{\text{km}}} = 2745 \text{ N}$$

2. Energiewandlung

Ein Gleichstrommotor für 220 V nimmt einen Strom von 16,4 A auf. Seine Nennleistung beträgt 2,6 kW.

Berechnen Sie

- die aufgenommene Wirkleistung des Motors,
- den Wirkungsgrad,
- die Verlustleistung des Motors.

Lösung:

Gegeben: $U = 220 \text{ V}$; $I = 16,4 \text{ A}$; $P_2 = 2,6 \text{ kW}$

Gesucht: P_1 ; η ; P_v

$$\text{a) } P_1 = U \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 16,4 \text{ A} = 3,61 \text{ kW}$$

$$\text{b) } \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{2,6 \text{ kW}}{3,61 \text{ kW}} = 0,72 = 72\%$$

$$\text{c) } P_v = P_1 - P_2 = 3,61 \text{ kW} - 2,6 \text{ kW} = 1,01 \text{ kW}$$

Aufgaben

- Berechnen Sie die fehlenden Werte.

Aufgabe	a	b	c	d	e	f
Kraft F in N	785	?	294	1 175	?	245 000
Weg s in m	1,5	12	?	2,4	4	?
Arbeit W in J	?	35 300	735	?	5 140	16 650

- Zum Ziehen eines Wagens mit einer Masse von 130 kg muss auf einer ebenen Straße eine Kraft von 350 N aufgewendet werden. Der zurückgelegte Weg beträgt 2 km.

Welche mechanische Arbeit ist dazu erforderlich?

- Ein Elektromotor wiegt 125 kg. Er wird mit einem Flaschenzug 2,2 m hoch auf eine Konsole gehoben.

Wie groß ist die verrichtete Arbeit?

- Berechnen Sie die fehlenden Werte.

Aufgabe	a	b	c	d	e
Kraft F in N	16 700	5 100	588	3920	—
Weg s in m	10,5	—	?	1,8	12,5
Zeit t in s	35	—	2	?	75
Geschwindigkeit v in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$	—	2,5	—	—	?
Arbeit W in J	—	—	—	?	343 000
Leistung P in kW	?	?	1,176	1,47	?

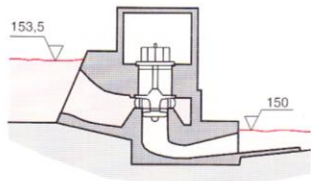


Abb. 4.2.5



Abb. 4.2.6

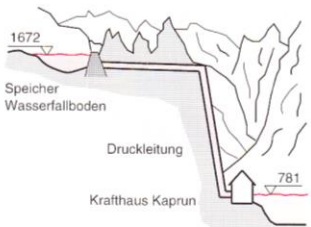


Abb. 4.2.9

5. Ein Laufwasserkraftwerk hat eine nutzbare Stauhöhe von 3,5 m. Der Zufluss beträgt 120 m^3 je Sekunde (Abb. 4.2.5).

Wie groß ist die der Turbine zugeführte Leistung?

6. Die beiden Triebköpfe eines ICE (Abb. 4.2.6) können eine Dauerleistung von jeweils 4800 kW aufbringen; sie sind für eine Geschwindigkeit von 280 km/h ausgelegt.

Berechnen Sie die maximale Zugkraft bei Höchstgeschwindigkeit.

7. Das Pumpwerk einer Trinkwasserversorgung fördert stündlich 450 m^3 Wasser 27 m hoch.

Berechnen Sie die Nennleistung der Pumpe.

8. In einem Hochhaus mit 20 Stockwerken zu je 2,8 m Höhe ist ein Aufzug mit 600 kg Tragkraft eingebaut. Das Gegengewicht gleicht außer dem Gewicht der Kabine noch die Hälfte der Tragkraft aus. Die Aufzugsgeschwindigkeit beträgt $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Berechnen Sie die erforderliche Antriebsleistung, wenn der Aufzug voll beladen ist.

9. Die 4 Freistrahlturbinen der Hauptstufe Kaprun des Tauernkraftwerkes erhalten in jeder Sekunde aus dem Speicher Wasserfallboden (Stauziel 1672 m) insgesamt 32 m^3 Wasser. Die Turbinen sind im Krafthaus Kaprun (781 m Höhe) installiert. Der Wirkungsgrad beträgt 80% (Abb. 4.2.9).

Welche Leistung geben die 4 Turbinen zusammen ab?

10. Berechnen Sie die fehlenden Werte.

Aufgabe	a	b	c	d	e
zugeführte Leistung P_1	3 kW	? kW	150 kW	? W	200 W
abgegebene Leistung P_2	2200 W	9,4 kW	? kW	150 W	? W
Verlustleistung	? W	? kW	? kW	? W	194 W
Wirkungsgrad	?	0,752	98%	32%	?

11. Ein Elektromotor nimmt 2,85 kW auf und gibt an der Riemenscheibe 2,35 kW ab.
Wie groß ist der Wirkungsgrad?

12. Ein Notstromaggregat besteht aus einem Dieselmotor und einem Gleichstromgenerator. Auf dem Leistungsschild des Dieselmotors ist die Nennleistung mit 300 PS, auf dem Generator mit 185 kW angegeben.

Berechnen Sie

- a) den Verlust im Generator
b) den Wirkungsgrad des Generators

13. Ein Motor mit einer Nennleistung von 5,5 kW ist täglich 8 Stunden in Betrieb. Sein Wirkungsgrad beträgt 80%. Berechnen Sie den täglichen Verlust an elektrischer Energie.

14. Eine Wasserpumpe mit einer Leistung von 2,7 kW hat einen Wirkungsgrad von 63%. Sie wird durch einen Gleichstrommotor angetrieben, der bei 440 V einen Strom von 12,2 A aufnimmt.

Berechnen Sie

- a) den Wirkungsgrad des Motors
b) den Gesamtwirkungsgrad

15. Ein Scheibenwischermotor 12 V nimmt in Stufe 1 einen Strom von 4,4 A auf. Der Motorwirkungsgrad beträgt 0,75. Das angebaute eingängige Schneckengetriebe hat einen Wirkungsgrad von 0,5.

Berechnen Sie

- a) den Gesamtwirkungsgrad
b) die Leistungsabgabe des Scheibenwischers

16. Der Gesamtwirkungsgrad eines Getriebemotors wird mit 63% angegeben, der Wirkungsgrad des Motors allein mit 82%.

Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Getriebes.

17. Eine Turbine mit einer Nennleistung von 45 kW treibt einen Generator an. Im Generator gehen 12% der Nennleistung als Wärme verloren.

Berechnen Sie

- a) die an das Netz abgegebene Generatorleistung
b) den Wirkungsgrad des Generators

18. Ein Gleichstrommotor 7,5 kW hat bei Nennleistung einen Wirkungsgrad von 80%. Der Leistungsverlust in der Zuleitung beträgt 3%.

Wie groß ist der gesamte Wirkungsgrad?

19. Ein Elektromotor 400 V/3 ~ 50 Hz/2,2 kW hat einen Wirkungsgrad von 0,84. Im Gewerbetarif II kostet eine Kilowattstunde 15,7 cts.

Berechnen Sie den Arbeitspreis einer Betriebsstunde.

20. Berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad bei Parallelschaltung (Abb. 4.2.20) der beiden verschieden versorgten Lampen.

Schaltung 1:

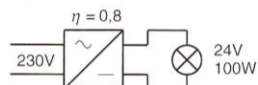
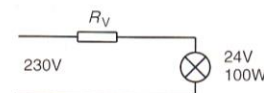


Abb. 4.2.20

Schaltung 2:



1.

Aufgabe	a	b	c	d	e	f
Kraft F in N	785	2942 N	294	1175	1285 N	245000
Weg s in m	1,5	12	2,5 m	2,4	4	0,068 m
Arbeit W in J	1178 J	35300	735	2820 J	5140	16650

1. Fortsetzung

a) $W = F \cdot s = 785 \text{ N} \cdot 1,5 \text{ m} = \mathbf{1178 \text{ J}}$

d) $W = F \cdot s = 1175 \text{ N} \cdot 2,4 \text{ m} = \mathbf{2820 \text{ J}}$

b) $F = \frac{W}{s} = \frac{35300 \text{ J}}{12 \text{ m}} = \mathbf{2942 \text{ N}}$

e) $F = \frac{W}{s} = \frac{5140 \text{ J}}{4 \text{ m}} = \mathbf{1285 \text{ N}}$

c) $s = \frac{W}{F} = \frac{735 \text{ J}}{294 \text{ N}} = \mathbf{2,5 \text{ m}}$

f) $s = \frac{W}{F} = \frac{16650 \text{ J}}{245000 \text{ N}} = \mathbf{0,068 \text{ m}}$

2. $W = F \cdot s = 350 \text{ N} \cdot 2000 \text{ m} = \mathbf{700 \text{ kJ}}$

3. $F = m \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 125 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1,23 \text{ kN}$

$W = F \cdot s = 1,23 \text{ kN} \cdot 2,2 \text{ m} = \mathbf{2,7 \text{ kJ} = 2,7 \text{ kWs}}$

4. a) $P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{16700 \text{ N} \cdot 10,5 \text{ m}}{35 \text{ s}} = 5010 \text{ W} = \mathbf{5,01 \text{ kW}}$

b) $P = F \cdot v = 5100 \text{ N} \cdot 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{12,75 \text{ kW}}$

c) $s = \frac{W}{F} = \frac{P \cdot t}{F} = \frac{1176 \text{ W} \cdot 2 \text{ s}}{588 \text{ N}} = \mathbf{4 \text{ m}}$

d) $W = F \cdot s = 3920 \text{ N} \cdot 1,8 \text{ m} = \mathbf{7056 \text{ J}};$ $t = \frac{W}{P} = \frac{7056 \text{ J}}{1470 \text{ W}} = \frac{7056 \text{ J}}{1470 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = \mathbf{4,8 \text{ s}}$

e) $F = \frac{W}{s} = \frac{343000 \text{ J}}{12,5 \text{ m}} = \mathbf{27,4 \text{ kN}};$ $P = \frac{W}{t} = \frac{343000 \text{ J}}{75 \text{ s}} = \mathbf{4,57 \text{ kW}}$

5. $P = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{120000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 3,5 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 4120 \cdot 10^3 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \mathbf{4120 \text{ kW}}$

6. $v = 280 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{280000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 77,8 \frac{\text{m}}{\text{s}};$ $F = \frac{P}{v} = \frac{2 \cdot 4800000 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}}{77,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \mathbf{123 \text{ kN}}$

7. $P = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{450000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 27 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 33100 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \mathbf{33,1 \text{ kW}}$

7. $P = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{450000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 27 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 33100 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \mathbf{33,1 \text{ kW}}$

8. $F_G = m \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 600 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 5,89 \text{ kN}$

$F = \frac{F_G}{2} = 2,94 \text{ kN};$ $P = F \cdot v = 2,94 \text{ kN} \cdot 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{4,41 \text{ kW}}$

9. $P_1 = \frac{W_1}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{32000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 891 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 280 \cdot 10^6 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 280 \cdot 10^6 \text{ W} = 280 \text{ MW}$
 $P_2 = P_1 \cdot \eta = 280 \text{ MW} \cdot 0,8 = \mathbf{224 \text{ MW}}$

10.

Aufgabe	a	b	c	d	e
zugeführte Leistung P_1	3 kW	12,5 kW	150 kW	469 W	200 W
abgegebene Leistung P_2	2200 W	9,4 kW	147 kW	150 W	6 W
Verlustleistung	800 W	3,1 kW	3 kW	319 W	194 W
Wirkungsgrad	0,733	0,752	98%	32%	0,03

a) $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{2200 \text{ W}}{3000 \text{ W}} = \mathbf{0,733}$ $P_v = P_1 - P_2 = 3 \text{ kW} - 2,2 \text{ kW} = \mathbf{0,8 \text{ kW}}$

11. $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{2,35 \text{ kW}}{2,85 \text{ kW}} = \mathbf{0,825}$

12. a) $P_1 = 300 \text{ PS} = \frac{300 \text{ PS}}{1,36 \frac{\text{PS}}{\text{kW}}} = 221 \text{ kW}$

$P_v = P_1 - P_2 = 221 \text{ kW} - 185 \text{ kW} = \mathbf{36 \text{ kW}}$

b) $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{185 \text{ kW}}{221 \text{ kW}} = \mathbf{0,839}$

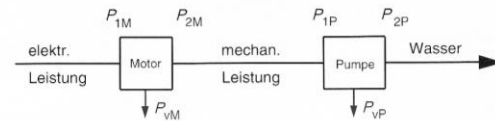
13. $W_2 = P_2 \cdot t = 5,5 \text{ kW} \cdot 8 \text{ h} = 44 \text{ kWh};$ $W_1 = \frac{W}{\eta} = \frac{44 \text{ kWh}}{0,8} = 55 \text{ kWh}$

$W_v = W_1 - W_2 = 55 \text{ kWh} - 44 \text{ kWh} = \mathbf{11 \text{ kWh}}$

14. a) $P_{1P} = \frac{P_{2P}}{\eta_P} = \frac{2,7 \text{ kW}}{0,63} = 4,29 \text{ kW} = P_{2M}$ b) $\eta_{\text{ges}} = \eta_M \cdot \eta_P = 0,799 \cdot 0,63 = \mathbf{0,503}$

$P_{1M} = U \cdot I = 440 \text{ V} \cdot 12,2 \text{ A} = 5370 \text{ W}$

$\eta_M = \frac{P_{2M}}{P_{1M}} = \frac{4,29 \text{ kW}}{5,37 \text{ kW}} = \mathbf{0,799}$



15. a) $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,75 \cdot 0,5 = \mathbf{0,375}$

b) $P_1 = U \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 4,4 \text{ A} = 52,8 \text{ W}; \quad P_2 = P_1 \cdot \eta = 52,8 \text{ W} \cdot 0,375 = \mathbf{19,8 \text{ W}}$

16. $\eta_{\text{ges}} = \eta_G \cdot \eta_M \Rightarrow \eta_G = \frac{\eta_{\text{ges}}}{\eta_M} = \frac{0,63}{0,82} = \mathbf{0,768}$

17. a) $P_v = \frac{12}{100} \cdot 45 \text{ kW} = 5,4 \text{ kW}$

$P_2 = P_1 - P_v = 45 \text{ kW} - 5,4 \text{ kW} = \mathbf{39,6 \text{ kW}}$

b) $\eta = 100\% - 12\% = \mathbf{88\%}$

18. $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,8 \cdot 0,97 = \mathbf{0,776}$

19. $P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{2,2 \text{ kW}}{0,84} = 2,62 \text{ kW}$ $K_A = W_1 \cdot T = 2,62 \text{ kWh} \cdot 31,4 \frac{\text{Pf}}{\text{kWh}} = \mathbf{82,26 \text{ Pf}}$
 $W_1 = P_1 \cdot t = 2,62 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 2,62 \text{ kWh}$

20. Schaltung 1: $P_{11} = \frac{P_2}{\eta_1} = \frac{100 \text{ W}}{0,8} = 125 \text{ W}$

Schaltung 2: $\eta_2 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{24 \text{ V}}{230 \text{ V}} = 0,104; \quad P_{12} = \frac{P_2}{\eta_2} = \frac{100 \text{ W}}{0,104} = 961 \text{ W}$

Gesamtanlage: $\eta = \frac{2 \cdot P_2}{P_{11} + P_{12}} = \frac{200 \text{ W}}{125 \text{ W} + 961 \text{ W}} = \mathbf{0,184}$