Physikalische Grundlagen - KOMPAKT

1. Physikalische Größen, Einheiten und Gleichungen
1.1 Physikalische Größen

Um die Art (= Qualität) und das Ausmaß (= Quantität) physikalischer Eigenschaften und Vorgänge beschreiben und mit gleichartigen Eigenschaften und Vorgängen vergleichen zu können, werden physikalische Größen verwendet:

Physikalische Größe = Zahlenwert · Einheit

Zahlenwert = Ausmaß der physikalischen Größe Einheit = Art der physikalischen Größe

Beispiele:

v = 50 km/h	(Geschwindigkeit in „Kilometer pro Stunde“)	→ {v} = 50;	[v] = km/h
P = 2 kW	(Leistung in „Kilowatt“)	→ {P} = 2;	[P] = kW
I = 5,7 A	(Strom in „Ampère“)	→ {I} = 5,7;	[I] = A
U = 12 V	(Spannung in „Volt“)	→ {U} = 12;	[U] = V
t = 6 s	(Zeit in „Sekunden“)	→ {t} = 6;	[t] = s

↑
Formelbuchstabe

Formelbuchstabe in geschwungenen Klammern: nur der Zahlenwert ist gemeint
Formelbuchstabe in eckigen Klammern: nur die Einheit gemeint
} $G = \{G\} \cdot [G]$

1.2 Einheitenvorsätze

Sehr große oder kleine Werte sind aufwendig zu schreiben und die Gefahr von Fehlern beim Ablesen ist hoch.

Beispiele:
- Die EnBW Kraftwerke AG verfügt über eine Stromerzeugungskapazität von 11 000 000 000 Watt.
- Eine Prozessor-Taktfrequenz von 2 GHz bedeutet, dass ein Prozessschritt 0,000 000 000 5 Sekunden dauert.

Lösung:
Sehr große oder kleine Größenwerte drückt man nicht als Dezimalzahl mit vielen Stellen, sondern mit einem Einheitenvorsatz aus:

T	Tera	$= 10^{12}$	= 1 000 000 000 000 (Billion)
G	Giga	$= 10^{9}$	= 1 000 000 000 (Milliarde)
M	Mega	$= 10^{6}$	= 1 000 000 (Million)
k	Kilo	$= 10^{3}$	= 1 000
h	Hekto	$= 10^{2}$	= 100
da	Deka	$= 10^{1}$	= 10
d	Dezi	$= 10^{-1}$	= 0,1
c	Zenti	$= 10^{-2}$	= 0,01
m	Milli	$= 10^{-3}$	= 0,001
µ	Mikro	$= 10^{-6}$	= 0,000 001
n	Nano	$= 10^{-9}$	= 0,000 000 001
p	Piko	$= 10^{-12}$	= 0,000 000 000 001
[f	Femto	$= 10^{-15}$	= 0,000 000 000 000 001]
[a	Atto	$= 10^{-18}$	= 0,000 000 000 000 000 001]

Positive Hochzahl (Exponent) = Anzahl an Nullen hinter der 1

Negative Hochzahl (Exponent) = Anzahl der Stellen hinter dem Komma

➔ P = 11 000 000 000 W = 11 · 1 000 000 000 W = 11 GW
t = 0,000 000 000 5 s = 0,5 · 0,000 000 001 s = 0,5 ns

1.3 Physikalische Gleichungen

Der mathematische Zusammenhang zwischen physikalischen Größen wird mit Größengleichungen (Formeln) erfasst.

Beispiele:

$E = \frac{1}{2}\, m \cdot v^2$ $\qquad$ $F = m \cdot a$ $\qquad$ $v = \frac{s}{t}$

Die gesuchte Größe wird links neben das Gleichheitszeichen geschrieben. Sie ergibt sich durch Einsetzen der rechts neben dem Gleichheitszeichen stehenden gegebenen Größen in die Größengleichung.

Aufgabe:
Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich das Licht, wenn es in einer Stunde 1,08 Milliarden Kilometer hinter sich bringt?

geg.: $t = 1$ h, $s = 1\,080\,000\,000$ km
ges.: v

Lös.: $v = \frac{s}{t} = \frac{1\,080\,000\,000\ km}{60 \cdot 60\ s} = \underline{\underline{300\,000\ \frac{km}{s}}}$

Stehen gesuchte oder gegebene Größen nicht auf den entsprechenden Seiten des Gleichheitszeichens, wird die Größengleichung entsprechend umgeformt.

Aufgabe:
Wie weit bewegt sich das Licht in 5 Minuten?

geg.: $t = 5$ min, $v = 300\,000$ km/s
ges.: s

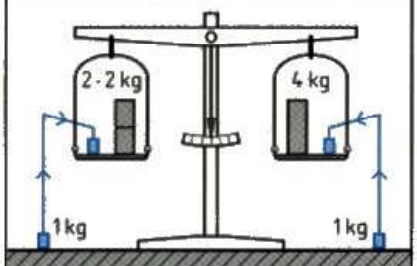
Lös.: $v = \frac{s}{t}$ $\quad | \cdot t$

$\Leftrightarrow v \cdot t = s$ $\quad | \leftrightarrow$

$\Leftrightarrow s = v \cdot t = 300\,000$ km / s $\cdot$ 5 $\cdot$ 60 s = <u>90 000 000 km</u>

Komplexere Gleichungen werden schrittweise durch Äquivalenzumformungen angepasst, bis die gesuchte Größe isoliert auf der linken Seite der Gleichung steht.

Tabelle 1: Waage und Gleichung



Waage bleibt im Gleichgewicht

Linke Seite	= Rechte Seite
2·2 kg	= 4 kg
2·2 kg + **1 kg**	= 4 kg + **1 kg**

Tabelle 2: Regeln für das äquivalente Umformen von Gleichungen, Beispiele

Linke Seite, Linksterm = **Rechte Seite, Rechtsterm**	
Seiten gegeneinander vertauschen, z. B.:	$16 = 3x - 5 \Rightarrow 3x - 5 = 16$
gleichen Wert, z. B. 5, addieren:	$3x - 5 = 16 \Rightarrow 3x = 21$
gleichen Wert, z. B. 7, subtrahieren:	$5x + 7 = 25 \Rightarrow 5x = 18$
mit gleichem Wert, z. B. 5, multiplizieren:	$2x = 5 \Rightarrow 10x = 25$
durch gleichen Wert, z. B. 6, dividieren:	$6x = 18 \Rightarrow x = 3$
auf beiden Seiten Kehrwert bilden, z. B.:	$2/x = 5/3 \Rightarrow x/2 = 3/5$
auf beiden Seiten quadrieren, z. B.:	$x = 5 \Rightarrow x^2 = 25$
auf beiden Seiten Wurzel ziehen, z. B.:	$x^2 = 7 \Rightarrow x = \pm\sqrt{7}$
beide Seiten logarithmieren, z. B.:	$e^x = 5 \Rightarrow x = \ln 5$

© www.coole-schule.net / Stand: 18.11.2013

Tabelle 3: Gleichungen, Beispiele

Beispiel 1: Auflösen nach x

Ausgangsgleichung:	16	$= 3x - 5$
5 addieren:	$16 + 5$	$= 3x - 5 + 5$
5 addiert	21	$= 3x$
Seiten vertauscht:	$3x$	$= 21$
Durch **3** teilen:	$\frac{3x}{3}$	$= \frac{21}{3}$
Lösung:	x	$= 7$
Probe:	16	$= 3 \cdot 7 - 5 \Rightarrow 16 = 16$

Beispiel 2: Auflösen nach y

Ausgangsgleichung:	$\frac{1}{2y-3}$	$= 5$
Kehrwert bilden:	$2y - 3$	$= \frac{1}{5} = 0{,}2$
Mit **5** multiplizieren:	$(2y - 3) \cdot 5$	$= 0{,}2 \cdot 5$
Mit **5** multipliziert:	$10y - 15$	$= 1$
15 addieren:	$10y - 15 + 15$	$= 1 + 15$
15 addiert:	$10y$	$= 16$
Lösung:	y	$= 1{,}6$

Beispiel 3: Auflösen nach z

Ausgangsgleichung:	$\frac{5z^2}{4}$	$= 80$
Mit **4/5** multiplizieren:	$\frac{5z^2 \cdot 4}{4 \cdot 5}$	$= \frac{80 \cdot 4}{5}$
Mit **4/5** multipliziert:	z^2	$= 64$
Lösung:	z	$= \pm\sqrt{64} = \pm 8$

Beispiel 4: Auflösen nach t

Ausgangsgleichung:	$12 \cdot e^{-t/4}$	$= 6$
Durch **12** geteilt:	$e^{-t/4}$	$= 0{,}5$
Logarithmiert:	$-t/4$	$= +\ln 0{,}5$
Vorzeichen umgekehrt:	$+t/4$	$= -\ln 0{,}5$
Lösung:	t	$= -4 \cdot \ln 0{,}5 = 2{,}77$

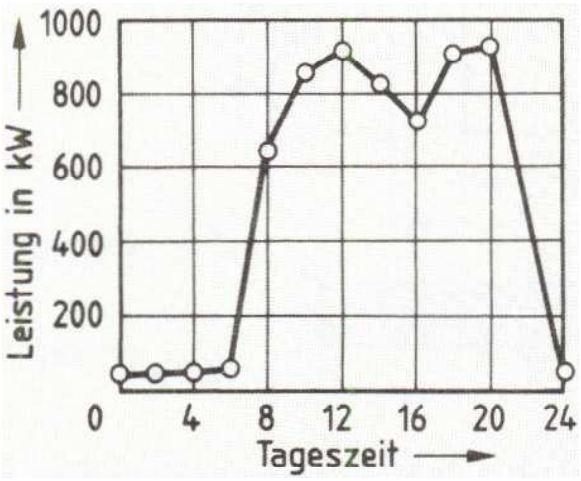
2. Physikalische Grundlagen
2.1 Funktionen und Kennlinien

Die Abhängigkeit einer Größe von einer anderen lässt sich in einem Diagramm durch eine Kennlinie darstellen.

Beispiel 1: Erfahrungsfunktion
Eine Tageslastkurve eines Betriebes gibt die umgesetzte elektrische Leistung in Abhängigkeit von der Tageszeit an. Der Verlauf der Kennlinie beruht auf einer Messreihe:

Uhrzeit	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
elektrische Leistung in kW	40	40	40	52	630	875	902	836	742	917	928	40

Y-Achse = Ordinate



← X-Achse = Abszisse

Die elektrische Leistung ist im Beispiel die abhängige Größe, da sie von der Tageszeit abhängt. Die Tageszeit ist die veränderliche Größe.

Veränderliche Größe → X-Achse

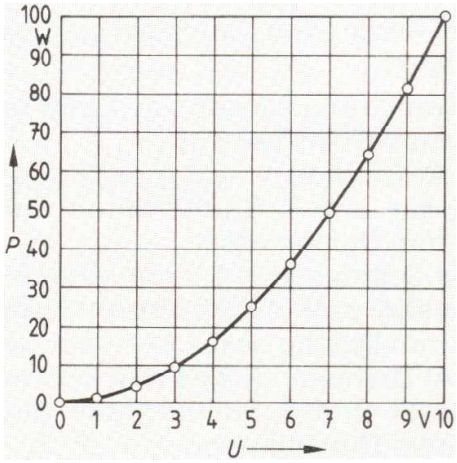
Abhängige Größe → Y-Achse

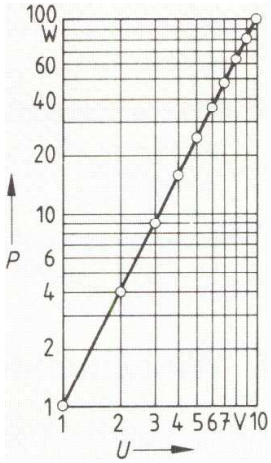
© www.coole-schule.net / Stand: 18.11.2013

Beispiel 2: berechenbare Funktion
Die durch einen Widerstand umgesetzte elektrische Leistung ergibt sich aus der Gleichung $P = U^2/R$. Der Verlauf der Kennlinie beruht auf einer Formel und ergibt sich aus einer berechneten Wertetabelle:

Widerstand R = 1 Ω

U in V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P in W	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100





lineares Koordinatensystem logarithmisches Koordinatensystem

Stehen gleiche Abstände im Koordinatensystem für gleiche Wertunterschiede, handelt es sich um ein lineares Koordinatensystem.

In einigen Fällen ist es zweckmäßig die horizontale (= Abszisse) und / oder die vertikale Achse (= Ordinate) logarithmisch zu unterteilen. Es handelt sich dann um ein logarithmisches respektive halblogarithmisches Koordinatensystem.

2.2 Gleichmäßige Bewegungen

Gleichförmige Bewegung:
Betrag und Richtung der Geschwindigkeit sind konstant. Der zurückgelegte Weg ist von der Geschwindigkeit und der Zeit abhängig:

$s = f(v, t)$

Veränderliche Größen
Abhängige Größe

Zur Erläuterung soll der formale Zusammenhang hier einmal exemplarisch abgeleitet werden.

Versuchsplanung:

1. Messreihe:
Die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs wird konstant gehalten und der zurückgelegte Weg wird in Abhängigkeit von jeweils veränderten Zeiten gemessen.

2. Messreihe:
Jetzt wird die Zeit konstant gehalten und der zurückgelegte Weg in Abhängigkeit von jeweils veränderten Geschwindigkeiten gemessen.

➔ Bei jeder Messreihe darf nur eine veränderliche Größe variiert werden, alle anderen müssen konstant gehalten werden.

© www.coole-schule.net / Stand: 18.11.2013

Versuchsdurchführung:

1. Messreihe:
v = const. = 1,35 km/h

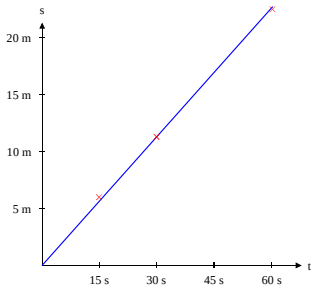
t	*s*
15 s	6,0 m
30 s	11,3 m
60 s	22,5 m

2. Messreihe:
t = const. = 30 s

v	*s*
0,95 km/h	7,8 m
1,35 km/h	11,3 m
1,55 km/h	12,9 m

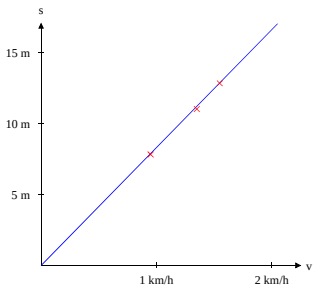
Versuchsauswertung:

1. Messreihe:



➔ s ~ t

2. Messreihe:



➔ s ~ v

s ist die abhängige, t bzw. v die veränderliche Größe. Die Diagramme ergeben jeweils Geraden durch den Ursprung des Koordinatensystems, daher gilt:

s ist proportional zu t ≙ **s ~ t**

s ist proportional zu v ≙ **s ~ v**

Formelableitung:

$s \sim v$ $\quad$ $s \sim t$

\ /

$s = v \cdot t$

Beispiel:
Ein Monteur fährt um 8:20 Uhr zu seiner 48 km entfernten Arbeitsstelle, sein Arbeitsbeginn ist um 9:00 Uhr. Vom Parkplatz bis zur Stechuhr benötigt er stets höchstens 5 Minuten. Mit welcher durchschnittlichen Geschwindigkeit muss er fahren, um pünktlich zu sein?

geg.: t = 35 min, s = 48 km
ges.: v

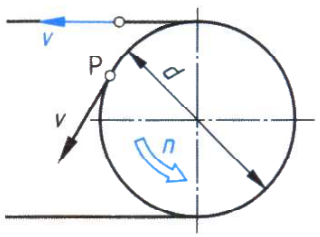
Lös.: $v = \frac{s}{t}$

$\Rightarrow \underline{\underline{v = 1{,}37 \frac{km}{\min} = 82{,}3 \frac{km}{h}}}$

Gleichmäßige kreisförmige Bewegung:

Ein Motor mit der Nenndrehzahl 1440 min^{-1} treibt über eine Rolle (d = 200 mm) ein Laufband an. Wie groß ist die Geschwindigkeit des Laufbandes?

Skizze:



Problemlösung:

Ein fester Punkt der Rolle bewegt sich entlang des Kreisumfangs U mit konstanter Geschwindigkeit v. Da das Laufband fest auf der Rolle aufliegt, bewegt es sich mit der gleichen Geschwindigkeit. Die für eine Umdrehung benötigte Zeit t ergibt sich aus der Nenndrehzahl n, der zurückgelegte Weg s ist der Kreisumfang:

$t = \frac{1}{n}$ $\qquad$ $s = U = 2 \cdot \pi \cdot r = \pi \cdot d$ ➔ $v = \frac{s}{t} = \frac{\pi \cdot d}{1/n}$ ➔ $\boxed{v = \pi \cdot d \cdot n}$

© www.coole-schule.net / Stand: 18.11.2013

geg.: n = 1440 min^{-1}, d = 200 mm
ges.: v

Lös.: $v = \frac{s}{t}$

$\Leftrightarrow v = \frac{\pi \cdot d}{t}$

$\Leftrightarrow v = \pi \cdot d \cdot n$

$\Rightarrow \underline{\underline{v = 905.000 \frac{mm}{min} = 15{,}1 \frac{m}{s}}}$

2.3 Kraft, Arbeit, Energie und Leistung

Die Kraft F, die aufgebracht werden muss, um einem Körper der Masse m eine Beschleunigung a beizubringen beträgt

F = m · a	$[F] = [m] \cdot [a] = kg \cdot m/s^2 = \frac{kg \cdot m}{s^2} = 1$ N (Newton)

Beispiel:
An einem Wagen der Masse 5 kg greift eine Kraft von 10 N an. Welche Beschleunigung erfährt der Wagen?

geg.: m = 5 kg, F = 10 N
ges.: a
Lös.: F = m · a
$\Leftrightarrow$ a = F/m = 2 m/s^2

Wird ein Körper durch Einwirkung einer Kraft *F* entlang eines Weges *s* bewegt, wird eine Arbeit *W* verrichtet.

$W = F \cdot s$	$[W] = 1\,N \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = 1\,J$ (Joule)

Ein vom Boden nach oben bewegter Körper speichert beim Anheben Energie. Beim Absenken ist der Körper in der Lage, Arbeit zu verrichten

Energie ist das Vermögen, Arbeit zu leisten.

Der Körper kann beim Absenken genauso viel Arbeit verrichten, wie vorher zu ihrem Anheben aufgewendet wurde. Die Lageenergie (= potentielle Energie) errechnet sich somit aus

$W_{pot} = m \cdot g \cdot h$	$[W_{pot}] = 1\,kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = 1\,J$

Wird der Körper fallen gelassen, wird er beschleunigt. Hierbei wird bis zum Erreichen des Bodens seine gesamte Lageenergie in Bewegungsenergie (= kinetische Energie) umgewandelt:

$W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$	$[W_{kin}] = 1\,kg \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2 = 1 \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = 1\,J$

Energie kann nicht erzeugt oder verbraucht werden. Energie kann man nur umwandeln. (Energieerhaltungssatz).

Beispiel:
In einem Pumpspeicher-KW werden nachts 5 000 m³ Wasser vom Unterbecken in das 50 Meter höher liegende Oberbecken gepumpt. Tagsüber wird das Wasser über Fallrohre der Turbine zugeführt, die sich in Höhe des Unterbeckens befindet.

a) Welche mechanische Arbeit müssen die Pumpen nachts verrichten?
b) Welche potenzielle Energie hat das Wasser im Oberbecken?
c) Wie groß ist die Geschwindigkeit des Wassers beim Auftreffen auf die Turbine?

geg.: V = 5 000 m³ = 5 000 000 dm³ = 5 000 000 l; h = 50 m;
ρ = 1 kg / l = 1 kg / dm³
ges.: W
Lös.: a) $W = F \cdot s$

$= m \cdot g \cdot h$

$= \rho \cdot V \cdot g \cdot h$

$= 5\,000\,000\ kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 50\ m = 2\,452\,500\,000\ J = 2{,}45\ GJ$

b) $W_{pot} = W = 2{,}45\ GJ$

c) $W_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

$\Leftrightarrow v^2 = \frac{2 \cdot W_{kin}}{m}$

$\Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot W_{kin}}{m}} \quad | \ mit \ W_{kin} = W_{pot} = 2{,}45\ GJ$

$\Rightarrow v = 31{,}3 \frac{m}{s} = 113 \frac{km}{h}$

Je kürzer die Zeit t ist, die zum Verrichten einer Arbeit W aufgewandt wird, desto größer ist die in dieser Zeit erbrachte Leistung P.

$$P = \frac{W}{t}$$

$$[P] = 1 \frac{J}{s} = 1 \frac{\frac{kg \cdot m^2}{s^2}}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3} = 1\,W \text{ (Watt)}$$

Beispiel:
Ein Aufzug soll eine Masse 1020 kg in 20 Sekunden in eine Höhe von 40 Metern transportieren. Welche Motorleistung des Aufzugs ist hierzu erforderlich?

geg.: m = 1020 kg, h = 40 m, t = 20 s
ges.: P
Lös.: $P = \frac{W}{t}$

$\Leftrightarrow P = \frac{F_G \cdot h}{t}$

$\Leftrightarrow P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$

$\Rightarrow P = \frac{1020\ kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot 40\ m}{20\ s}$

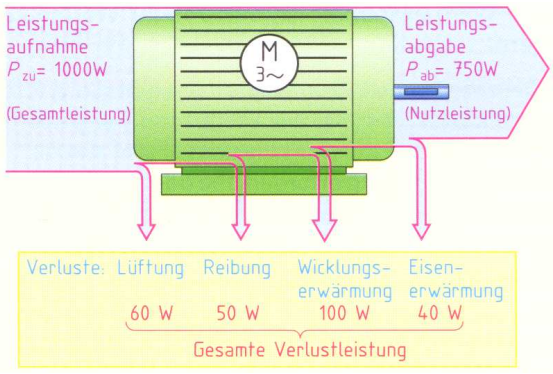
$\Leftrightarrow P = 20\ kW$

2.4 Wirkungsgrad

In allen Energiewandlern wird ein Teil der aufgenommenen Leistung P_{zu} durch unerwünschte Verlustleistungen P_V abgegeben. Die abgegebene Leistung P_{ab} ist daher stets kleiner als die aufgenommene Leistung.

$$P_{ab} = P_{zu} - P_V \qquad \text{bzw.} \qquad P_V = P_{zu} - P_{ab}$$

Beispielsweise wird beim Elektromotor durch Reibung zugeführte Energie in Wärme umgesetzt. Weitere Verluste entstehen durch die Erwärmung der Drähte der Motorwicklung aufgrund des elektrischen Stroms.



Das Verhältnis von abgegebener Leistung zu aufgenommener Leistung nennt man den Wirkungsgrad η.

$$Wirkungsgrad = \frac{abgegebene\ Leistung}{zugeführte\ Leistung} \qquad \text{bzw.} \qquad \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \left(= \frac{W_{ab}}{W_{zu}} \right)$$

Der Wirkungsgrad η ist bei allen Energiewandlern stets kleiner 1.

Problemstellung:
In einem Wasserkraftwerk wird potentielle Energie in der Turbine in kinetische Energie gewandelt. Die Turbine wiederum treibt den Generator an, der die kinetische Energie in elektrische Energie umwandelt.

Wird in einer Anlage die Energieform mehrfach umgewandelt, erhält man den Gesamtwirkungsgrad durch Multiplikation der Einzelwirkungsgrade.

$$\eta_{ges} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \ldots$$

Lösung:

$$\eta_{Kraftwerk} = \eta_{Turbine} \cdot \eta_{Generator}$$

© www.coole-schule.net / Stand: 18.11.2013