

2 Grundbegriffe der Elektrotechnik

2.1 Umgang mit physikalischen Größen

Gesetze und Normen

Das Gesetz über Einheiten im Messwesen schreibt Einheiten und Einheitenzeichen vor. Wichtige Normen sind in der **Übersicht** genannt.

Gleichungen und Formeln

Man unterscheidet

- Zahlenwertgleichungen, z.B. $3x = 8 + x$
- Größengleichungen (Formeln), z.B. $F_G = m \cdot g$

Zahlenwertgleichungen setzen zwei Terme z.B. ($3x$ und $8 + x$) mit Zahlen und Variablen (x) gleich. Die Zahl für die Variable (x), die beide Terme gleichwertig macht, ist die Lösung der Gleichung ($x = 4$).

Größengleichungen (Formeln) bestehen meist aus Variablen, z.B. F_G, m . Sie erfassen den mathematischen Zusammenhang zwischen physikalischen Größen.

Einheitenvorsätze

Sehr große oder sehr kleine Größenwerte drückt man mit einem Einheitenvorsatz aus (**Tabelle 1**). Man schreibt z.B. **5432 km** statt **5 432 000 m**.

Physikalische Größen

Messbare Eigenschaften von Körpern oder physikalischen Zuständen nennt man **physikalische Größen**, z.B. Länge, Temperatur, Spannung. Sie bestehen aus einem Zahlenwert und der Maßeinheit, z.B. 3,4 m, 36 °C oder 230 V. Physikalische Größen werden mit Formelzeichen abgekürzt, z.B. l für Länge, T für Temperatur, U für elektrische Spannung.

In der Technik werden nur SI-Einheiten oder davon abgeleitete Einheiten benutzt (**Tabelle 2**).

Kursiv schreibt man nach DIN 1313 und DIN 1338

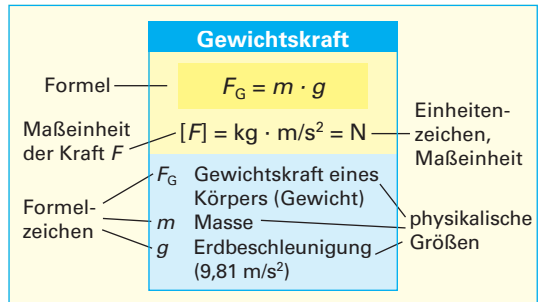
- Formelzeichen z.B. F (Kraft), • Variablen, z.B. x, y .

Masse und Kraft

Den Materiegehalt einer Stoffmenge z.B. von einem Liter Wasser nennt man Masse. Die Masse hat das Formelzeichen m und die Maßeinheit kg. Die Masse ist ortsunabhängig. Auf der Erde wirkt auf jede Masse eine Anziehung. Diese Eigenschaft nennt man Gewichtskraft F_G (**Bild**).

Übersicht: Normen über Größen und Einheiten, Formelzeichen und Gleichungen

- DIN 1301 Einheiten
- DIN 1302 Mathematische Zeichen und Begriffe
- DIN 1304 Formelzeichen
- DIN 1313 Physikalische Größen und Gleichungen
- DIN 1338 Formelschreibweise



Beispiel:

Eine Kiste mit Werkzeugen hat die Masse $m = 15$ kg. Berechnen Sie die Gewichtskraft F_G .

Lösung:

$$F_G = m \cdot g = 15 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 147 \text{ N}$$

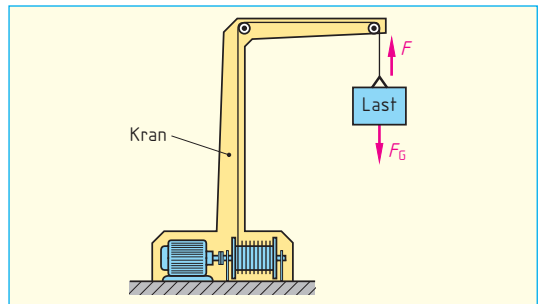


Bild: Kräfte auf eine Last am Kran

Tabelle 1: Vorsätze für Vielfache und Teile der Einheiten (Auswahl)

Vorsatz	Giga	Mega	Kilo	Dezi	Zenti	Milli	Mikro	Nano	Piko
Zeichen	G	M	k	d	c	m	μ	n	p
Faktor	10 ⁹ 1 000 000 000	10 ⁶ 1 000 000	10 ³ 1 000	10 ⁻¹ 0,1	10 ⁻² 0,01	10 ⁻³ 0,001	10 ⁻⁶ 0,000 001	10 ⁻⁹ 0,000 000 001	10 ⁻¹² 0,000 000 000 001

Tabelle 2: SI-Basisgrößen und SI-Basiseinheiten

Basisgröße	Länge	Zeit	Masse	Stromstärke	Temperatur	Stoffmenge	Lichtstärke
Formelzeichen	l	t	m	I	T	n	I_v
Basiseinheit	Meter	Sekunde	Kilogramm	Ampere	Kelvin	Mol	Candela
Einheitenzeichen	m	s	kg	A	K	mol	cd

Mechanische Arbeit

Eine Arbeit wird immer dann verrichtet, wenn ein Körper durch Einwirkung einer Kraft F entlang eines Weges s bewegt wird, z. B. wenn der Kran in **Bild, Seite 21** die Last gegen die Gewichtskraft F_G hochhebt. Dabei müssen die Richtung der Kraft F und die Bewegungsrichtung des Körpers gleich sein. Die Arbeit W^1 wird in der Maßeinheit **Newtonmeter** (Einheitenzeichen Nm) oder mit dem besonderen Einheitennamen **Joule**² (Einheitenzeichen J) gemessen.

Energie

Die angehobene Last hat sich äußerlich nicht geändert. Sie hat jedoch beim Anheben Energie gespeichert. Beim Absenken der Last ist sie in der Lage, Arbeit zu verrichten, z. B. einen Generator anzutreiben.

Energie ist das Vermögen, Arbeit zu leisten.

Die Last am Kran kann beim Absenken genauso viel Arbeit verrichten, wie zuvor Arbeit aufgewendet wurde, um die Last anzuheben. Diesen Zusammenhang nennt man **Energieerhaltungssatz**.

Energie kann nicht erzeugt oder verbraucht werden. Energie kann man nur umwandeln.

Die Maßeinheit der Energie ist Newtonmeter (Nm) oder Joule (J), genau wie bei der Arbeit.

Die Energie, die in der angehobenen Last gespeichert ist, heißt **potenzielle Energie** W_{pot} (Lageenergie). Beim Absenken wird sie in Bewegungsenergie (**kinetische Energie** W_{kin}), beim Bremsen meist in **Wärme** umgewandelt. Man unterscheidet außer der **mechanischen Energie** noch andere Energiearten (**Übersicht**).

Beispiel:

Ein Gabelstapler hebt einen Elektromotor mit der Masse $m = 75 \text{ kg}$ den Weg $s = 1,2 \text{ m}$ hoch (**Bild**). Berechnen Sie

a) die Gewichtskraft des Elektromotors, b) die Arbeit, die zum Anheben nötig ist.

Lösung:

a) $F_G = m \cdot g = 75 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 736 \text{ N}$; b) $W = F \cdot s = 736 \text{ N} \cdot 1,2 \text{ m} = 883 \text{ Nm}$

Elektrische Energie: **Seite 39**, elektrische Leistung: **Seite 41**

Mechanische Leistung

Die aufgewendete Leistung des Gabelstaplers ist umso größer, je schwerer die Last ist, die er anhebt, und je kürzer die Zeit ist, die er dafür benötigt. Allgemein gilt: Je größer eine Arbeit ist und je schneller sie verrichtet wird, desto mehr **Leistung** P^3 muss dazu aufgebracht werden. Die Maßeinheit für die Leistung ist Watt⁴ (W).

Leistung ist verrichtete Arbeit geteilt durch die benötigte Zeit.

Beispiel:

Der Gabelstapler aus obigem **Beispiel** benötigt zum Anheben der Last 3 s. Berechnen Sie die erforderliche Leistung.

Lösung:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{883 \text{ Nm}}{3 \text{ s}} = 294 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 294 \frac{\text{Ws}}{\text{s}} = 294 \text{ W}$$

¹ W von work (engl.) = Arbeit, ² nach Joule (sprich dschul), engl. Physiker, 1818 bis 1889

³ P von power (engl.) = Leistung ⁴ nach James Watt, engl. Physiker, 1736 bis 1819

Arbeit und Energie

$$W = F \cdot s \quad [W] = \text{Nm}$$

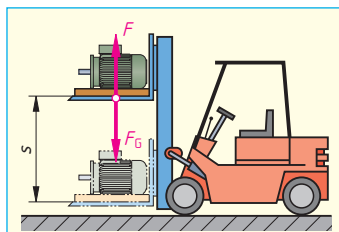
$$W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

W	Arbeit, Energie
W_{pot}	potenzielle Energie
F	Kraft
s	Weg
m	Masse
g	Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$)
h	Höhe

Übersicht: Energiearten

- Mechanische Energie
- Kernenergie
- Wärme
- Elektrische Energie
- Lichtenergie
- Chemische Energie

1 Nm = 1 J = 1 Ws



F Kraft zum Anheben der Last
 F_G Gewichtskraft des Motors

Bild: Verrichten einer Arbeit durch einen Gabelstapler

Leistung

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$$

$$[P] = \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{\text{Ws}}{\text{s}} = \text{W}$$

P	Leistung	F	Kraft
W	Arbeit	s	Weg
t	Zeit		
v	Geschwindigkeit		

Leistung

- Formelzeichen: P
- Einheitenname: Watt
- Einheitenzeichen: W
- Einheitenvorsätze (Beispiele):
 $1 \text{ mW} = 0,001 \text{ W} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
 $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1 \cdot 10^3 \text{ W}$
 $1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W} = 1 \cdot 10^6 \text{ W}$

2.2 Arten von Stromkreisen

In der Elektrotechnik muss die elektrische Energie sicher und wirtschaftlich bis zum Verbraucher geliefert werden. Dazu benötigt man verschiedene Stromkreise. Man unterscheidet in der Praxis:

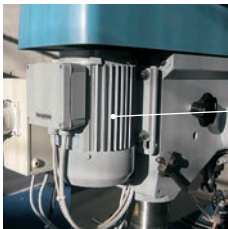
- Gleichstromkreise,
- Einphasen-Wechselstromkreise (vereinfacht Wechselstromkreise genannt),
- Dreiphasen-Wechselstromkreise (auch Drehstromkreise genannt).

Elektrischer Gleichstromkreis (Seite 21)		
Betriebsmittelanschluss	Kennzeichnung	Schaltplan
Positiver Pol	+	
Negativer Pol	-	
Leiterbenennung	Kennzeichnung	
Positiver Leiter	L+	
Negativer Leiter	L-	

Überstrom-Schutzeinrichtungen (Sicherungen)

Gleichrichtung: Seite 157

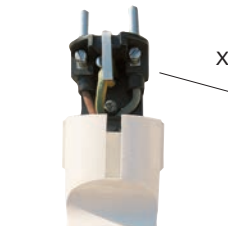
Dreiphasen-Wechselstromkreis		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter 1	L1	
Außenleiter 2	L2	
Außenleiter 3	L3	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	
Neutralleiter mit Schutzfunktion	PEN	



Drehstrommotor



Schutzkontaktsteckdose

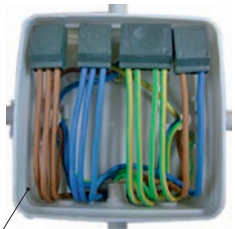


Schutzkontaktstecker

Einphasen-Wechselstromkreis (Seite 126)		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter	L*	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	

Statt schwarzer Ader auch blaue Ader möglich, falls keine Verwechslungen entstehen können.

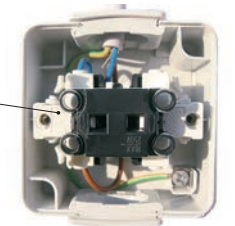
- Installationsschaltungen: Seite 100
- Farbkennzeichnung von Leitern: Seite 195
- Leitungsverlegung: Seite 198



Abzweigdose



Leuchte mit Lampe



Ausschalter

* Die Zahl nach „L“, z. B. L1, L2, L3, wird nur in Stromkreisen mit mehr als einem Außenleiter angegeben.

Elektrischer Gleichstromkreis

Versuch 1: Verbinden Sie durch zwei Kupferdrähte eine Lampe für 1,2 V/0,22 A mit den Anschlüssen einer 1,5-V-Batterie, z. B. einer Mignon-AA-Batterie (**Bild 1**).

Die Lampe leuchtet nur, wenn sie mit den Drähten verbunden ist und diese mit den Polen der Batterie Kontakt haben.

Die Batterie liefert die elektrische Energie, welche die Lampe zum Leuchten bringt. Die Batterie ist im Versuch der **Erzeuger** (nach DIN VDE 0100, Teil 200 auch **Stromquelle** genannt). Die Lampe ist das elektrische Verbrauchsmittel oder kurz der Verbraucher. (Für die Begriffe Erzeuger und Verbraucher siehe auch **Seite 39**.)

Die Lampe leuchtet, wenn sie vom **elektrischen Strom** durchflossen wird. Dieser Strom fließt vom Pluspol der Batterie durch den oberen Draht zum Fußkontakt der Lampe, durch den Glühfaden hindurch zum Lampengehäuse und durch den unteren Draht zur Batterie zurück (**Bild 1**). In der Praxis wird diese Schaltung z. B. in einer Taschenlampe verwendet (**Bild 2**).

Der elektrische Strom fließt vom Erzeuger zum Verbraucher und wieder zurück zum Erzeuger. Diesen geschlossenen Weg nennt man elektrischen **Stromkreis**. Fließt der Strom im Stromkreis immer in die selbe Richtung, so spricht man von Gleichstrom.

- Elektrischer Strom fließt nur im geschlossenen Stromkreis.
- Ein Stromkreis besteht mindestens aus Erzeuger, Verbraucher und aus dem Hin- und Rückleiter.
- Im elektrischen Gleichstromkreis hat der Strom immer die gleiche Richtung. Die Höhe des Stromes kann sich verändern.

Versuch 2: Fügen Sie in den Stromkreis des letzten Versuchs nacheinander Stäbe aus Kupfer, Aluminium, Stahl, Kohle, Glas, Porzellan und Kunststoff ein (**Bild 3**).

Nur bei den Metallstäben und beim Kohlestab leuchtet die Lampe (allerdings mit unterschiedlicher Helligkeit).

Metalle leiten den elektrischen Strom gut, Kohle weniger gut; Glas, Porzellan und Kunststoffe leiten den Strom gar nicht.

Versuch 3: Füllen Sie einen Becher aus Glas mit destilliertem Wasser¹ und tauchen Sie zwei blanke Kupferdrähte hinein. Verbinden Sie die Drähte mit der 1,5-V-Batterie und der Lampe. Schließen Sie den Stromkreis mit einem dritten Kupferdraht von der Lampe zur Batterie (**Bild 4**). Geben Sie dann etwas Kochsalz in das Wasser und lösen Sie es durch Umrühren mit einem Glasstab auf.

Bei destilliertem Wasser bleibt die Lampe dunkel. Nach Auflösen des Salzes leuchtet sie.

Reines Wasser leitet den elektrischen Strom fast nicht. Die Lösung eines Salzes oder einer Säure ist ebenso wie eine Salzschnmelze stromleitend.

Die einzelnen Stoffe leiten den elektrischen Strom mehr oder weniger gut. Metalle, z. B. Kupfer oder Aluminium, besitzen eine gute Leitfähigkeit. Man verwendet sie als **Leiter**. Stoffe, die den elektrischen Strom nicht leiten, wie Luft, Gummi, Glas, Porzellan oder Kunststoffe bezeichnet man als **Nichtleiter**. Sie werden als **Isolierstoffe** benutzt.

Stoffe, deren elektrische Leitfähigkeit zwischen der Leitfähigkeit von Leitern und von Nichtleitern (Isolierstoffen) liegt, nennt man **Halbleiter** (**Seite 146**). Sie werden für Bauelemente der Elektronik verwendet.

Leiter sind alle Metalle, Kohle, feuchte Erde und manche Flüssigkeiten.

Nichtleiter (Isolierstoffe) sind z. B. Luft, Gummi, Glas oder Kunststoffe.

Halbleiter sind z. B. Silicium und Germanium.

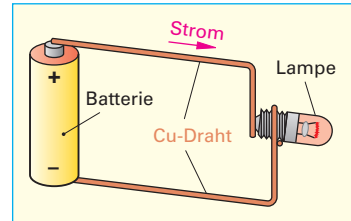


Bild 1: Einfacher Gleichstromkreis

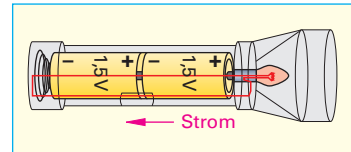


Bild 2: Taschenlampe

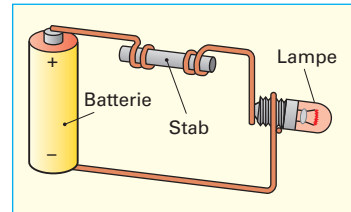


Bild 3: Leiter und Isolierstoffe im Stromkreis

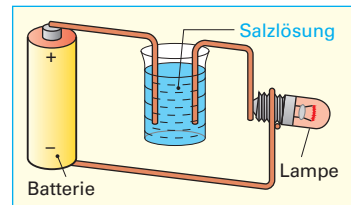


Bild 4: Salzlösung als Leiter

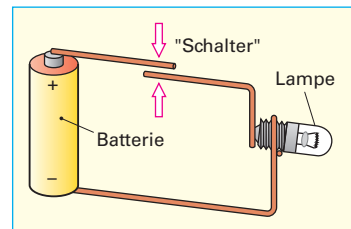


Bild 5: Unterbrechen des Stromkreises

¹ Destilliertes Wasser ist Wasser ohne die im normalen Leitungswasser vorkommenden Ionen, Spurenelemente und Verunreinigungen.

Versuch 4: Bauen Sie einen Stromkreis nach **Bild 5, Seite 21**, auf. Drücken Sie die losen Enden der Drähte zusammen und öffnen Sie danach diesen improvisierten Schalter wieder.

Die Lampe leuchtet nur, wenn der Schalter geschlossen ist und die Drähte elektrischen Kontakt miteinander haben.

Ein Schalter besteht aus einem beweglichen Metallstück (Schaltstück), das mit festen Leiterwerkstoffen verbunden werden kann. Ein Isolierstoff, meist Luft, trennt in geöffnetem Zustand die Leiterwerkstoffe voneinander. Den Schalter baut man so in die Hinleitung ein, dass er sich leicht bedienen lässt.

Durch Schließen bzw. Öffnen des Schalters kann man den Verbraucher ein- oder ausschalten.

Schaltzeichen

Schaltzeichen verwendet man zur Darstellung von Betriebsmitteln in Schaltplänen (**Seite 97**), hauptsächlich für Stromlaufpläne (**Seite 98**). Schaltzeichen (**Tabelle**) sind genormte Sinnbilder elektrischer Betriebsmittel wie Erzeuger, Verbraucher, Schalter, Widerstände oder Leiter. Schaltzeichen sollen die elektrischen Eigenschaften der Betriebsmittel zum Ausdruck bringen, über den konstruktiven Aufbau geben sie keine Auskunft. Widerstände haben z. B. immer das gleiche Schaltzeichen, unabhängig von ihrer Größe, ihrer Leistung oder ihrer Ausführungsform.

Die Schaltzeichen können in beliebiger Lage dargestellt werden, man bevorzugt jedoch die waagerechte oder senkrechte Lage. Mit den Schaltzeichen lassen sich Stromkreise einfach und übersichtlich darstellen. In einem Schaltplan werden die Schaltzeichen so zusammengestellt, wie die Teile der Stromkreise miteinander verbunden sind (**Bild**). Bei einer Verzweigung der Leiter kann die Verbindung der Leiter durch einen Punkt gekennzeichnet sein. Dieser Punkt darf auch weggelassen werden, wenn dadurch keine Verwechslung möglich ist (**Tabelle**), z. B. bei einer Leiterverzweigung.

Ob die einzelnen Schaltzeichen groß oder klein gezeichnet werden, hängt von der optischen Gesamtwirkung des Schaltbildes ab. Die Funktion der Schaltung muss jedoch gut erkennbar sein.

Tabelle: Schaltzeichen

Benennung	Bild	Schaltzeichen
Leiter		
Leiterkreuzung (nichtleitend)		
Leiterverzweigung, einfach		Form 1 Form 2
Leiterverzweigung, doppelt		Form 1 Form 2
Batterie (Erzeuger)		
Glühlampe		
Widerstand		
Schalter		

i Schaltzeichen (**Seite 287**) sind nach **DIN EN 60617** genormt.
 Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird bei Leitungsverzweigungen in diesem Buch die Form 2 verwendet.

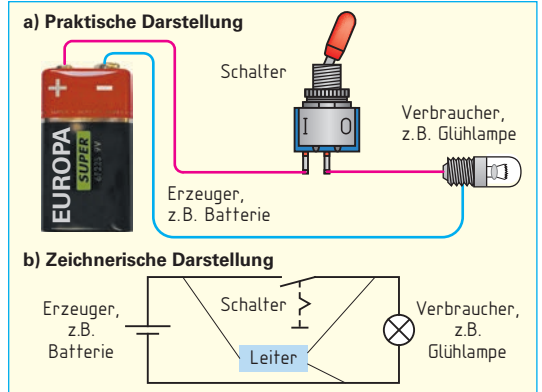


Bild: Schaltplan eines Stromkreises

Wiederholungsfragen

- 1 Aus welchen Teilen besteht ein elektrischer Stromkreis?
- 2 Unter welcher Bedingung fließt in einem Stromkreis ein elektrischer Strom?
- 3 In welche Gruppen kann man alle Stoffe nach ihrer elektrischen Leitfähigkeit einteilen?
- 4 Wodurch unterscheiden sich elektrische Leiter von den Isolierstoffen?
- 5 Nennen Sie einige elektrische Leiter.
- 6 Zählen Sie gebräuchliche Isolierstoffe auf.
- 7 Wozu benötigt man Schaltzeichen?
- 8 Worauf ist bei der Darstellung der Betriebsmittel eines Schaltplanes zu achten?
- 9 Worin unterscheidet sich die Form 1 von der Form 2 bei Schaltzeichen zu Leiterverzweigungen?