

Prof. Dr.-Ing. Monika Trundt



HOCHSCHULE
MERSEBURG (FH)
University of Applied Sciences

ELEKTROTECHNIK TEIL I

Vorlesungsskript | 10. August 2007

Version

10. August 2007

Diese Ausarbeitung ist ein vorlesungsbegleitendes Skript. Seine Vervielfältigung und Kopie ist nur für den internen Dienstgebrauch an der Hochschule Merseburg (FH) gestattet. Jede andere Vervielfältigung bedarf der Genehmigung von **Prof. Dr.-Ing. Monika Trundt** <monika.trundt@hs-merseburg.de>.

Dieses Skript wurde im Rahmen einer HiWi-Tätigkeit von **René Schwarz** überarbeitet; Fehler und Korrekturvorschläge bitte an <mail@rene-schwarz.com>.

Kapitel 1

Physikalische Größen und Einheiten

Die physikalischen Grundeinheiten sind gesetzlich festgelegt und werden auch als SI-Basisgrößen bezeichnet. Diese sind Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere, Kelvin, Mol, Candela. Alle diese Einheiten kann man nicht aus anderen Einheiten herleiten. Neben den Grundeinheiten gibt es auch Grundgrößen. Grundgrößen sind physikalische Einheiten, die nicht mehr auf andere Größen zurückzuführen sind. Durch Kombination von verschiedenen Grundgrößen können andere Größen abgeleitet werden. Die wichtigsten Größen beschreiben die Länge, die Zeit und die Kraft. Dazu kommen in der Wärmelehre die Temperatur, in der Lichttechnik der Lichtstrom und in der Elektrotechnik die elektrische Ladung. Die wichtigsten Größen der Elektrotechnik werden durch die Formelzeichen s für Länge, t für Zeit, F für Kraft und Q für die elektrische Ladung wiedergegeben. Dabei müssen die Grundgrößen nicht unbedingt Grundeinheiten besitzen. Einheiten lassen sich mit Hilfe von Größengleichungen ableiten.

1. Die Formel zur Berechnung der Kraft ist:

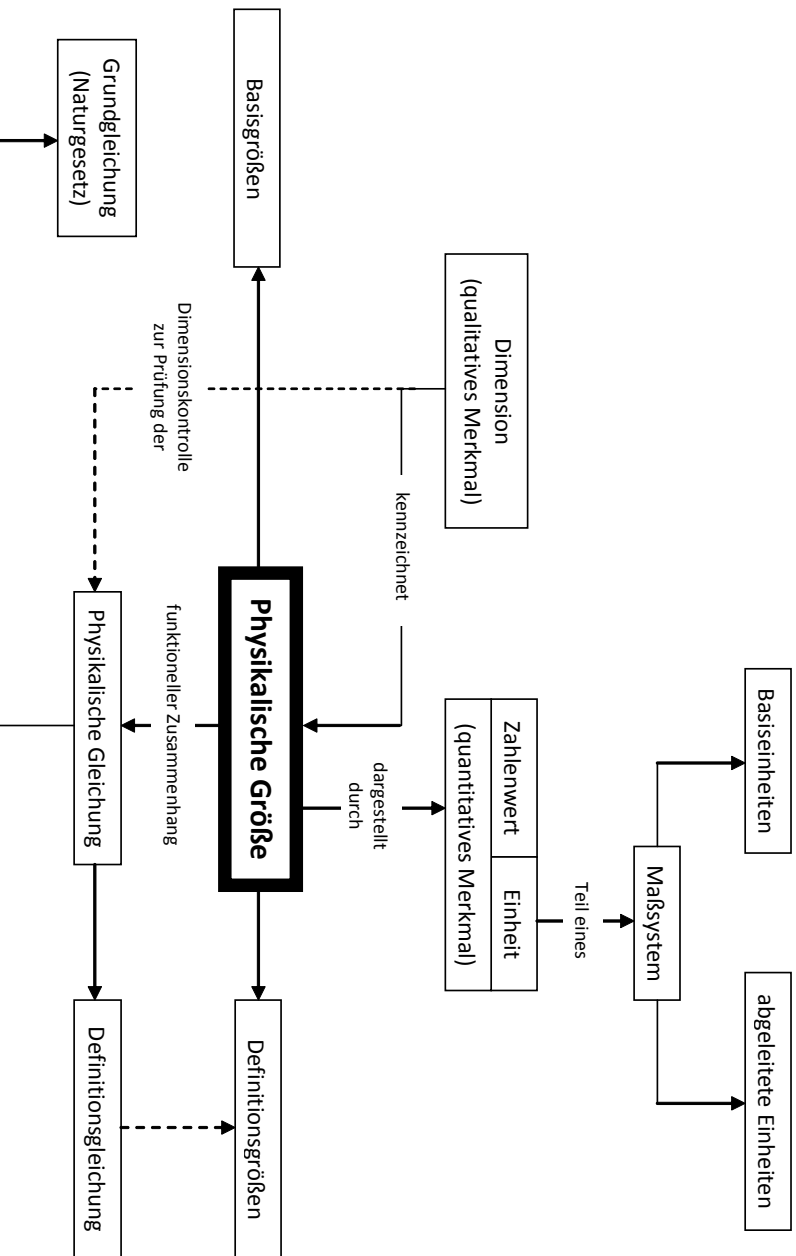
$$F = m \cdot a$$

2. Die Beschleunigung a lässt sich durch die Grundgrößen Zeit und Weg ersetzen:

$$F = m \cdot \frac{s}{t^2}$$

3. Die Formelzeichen werden nun durch die Basiseinheiten ersetzt:

$$F = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



4. Diese Einheitengleichung lässt sich zu der Einheit Newton zusammenfassen.

$$F = 1 \text{ N}$$

Eine physikalische Größe besteht aus dem Produkt von Zahlenwert und Einheit.

Der Zahlenwert ist dabei eine quantitative und die Einheit eine qualitative Größe. Dividiert man eine physikalische Größe durch deren Einheit, so erhält man eine zugeschnittene Größe.

Physikalische Größen kann man auch aus Naturgesetzen und Definitionsgleichungen ableiten. Zu den Naturgesetzen zählen die Newtonschen Axiome wie z.B. das Gravitationsgesetz. Oft werden die Naturgesetze durch Natur- oder Proportionalitätskonstanten ergänzt. Definitionsgleichungen sind dagegen willkürliche Festlegungen und werden durch Kombination von bekannten Größen aufgestellt.

Stellt man Beziehungen zwischen physikalischen Größen auf, so wird dies als mathematische Größengleichung wiedergegeben. Dabei gelten die mathematischen Definitionen für ein Gleichungssystem. Dazu kommt die Möglichkeit, eine Gleichheit durch Umrechnung einer Größe zu erzielen. Rechnet man vorhandene Einheiten auf vorgegebene Einheiten um, so bezeichnet man dies als zugeschnittene Größengleichung.

1. Gegeben sei die Formel der Kraft: $F = m \cdot a$

2. Gegeben sei weiterhin eine Masse von einer Tonne und eine Beschleunigung von 10^3 cm/s^2

3. Wir rechnen nun die beiden Größen in die Grundeinheiten um:

$$F = 10^3 \text{ kg} \cdot 10^3 \cdot \frac{10^{-2} \text{ m}}{\text{s}^2}$$

4. Der Bruch kann nun zusammengefasst werden:

$$F = 10^4 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$$

5. Als letztes ersetzen wir die Einheiten durch Grundeinheit Newton: $F = 10^4 \text{ N}$

<i>Grundgröße</i>		<i>Grundeinheit</i>	
Länge	l	das Meter	m
Masse	m	das Kilogramm	kg
Zeit	t	die Sekunde	s
		elektrische	
Stromstärke	I	das Ampere	A
Temperatur	T	das Kelvin	K
		(thermodynamisch)	
Lichtstärke	I_v	das Candela	cd

Grundgrößen und Grundeinheiten

Kapitel 2

Elektrische Größen

Viele elektrische Größen haben einen vektoriellen Charakter, auf den allerdings zunächst verzichtet werden soll.

Jedes Elementarteilchen besitzt eine Elementarladung. Wichtig dabei ist, dass die Elektrizität genau auf dieser elektrischen Ladung beruht, die gleichzeitig auch Eigenschaft der Materie ist.

Betrachtet man ein Atom näher, so wird man feststellen, dass dies aus einem Kern und einer Elektronenhülle besteht. Dabei ist der Kern positiv geladen und besteht aus Protonen und Neutronen. Die Protonen sind positive Elementarladungsträger mit $e^+ = +e$, die Elektronen im Gegensatz dazu sind negative Ladungsträger mit $e^- = -e$, die kleinste und nicht mehr teilbare negative Ladungsmenge. Der positive Kern und die negative Hülle ergeben ein neutral geladenes Atom. Entfernt man allerdings durch Energiezufuhr Elektronen, so entsteht eine positive Überschussladung, also ein Ion. Dieses Ion hat genau die umgekehrte Ladung der herausgelösten Elektronen. Elektronen, die aus einem Atom gelöst worden sind, bezeichnet man als frei. Nur sie können Kräfte ausüben oder Kräften unterworfen werden.

Die Ladung eines Körpers entsteht durch gleichmäßige Trennung in positive und negative Ladung. Die Summe der Ladungen bezeichnet man als Ausgangsladung. Hierbei sind folgende physikalische Gesetzmäßigkeiten zu beachten: erstens kann die Ladung eines Körpers nicht erzeugt werden und zweitens ist die Ladung nur durch Trennung erzeugbar. Dies ist der Erhaltungssatz der Ladung. Dabei ist die Ladungsmenge Q ein ganzzahliges Vielfaches von der Elementarladung: $Q = n \cdot e$.

Ihre Einheit ist das Coulomb [Q] = 1 Coulomb = 1 As.

Wirkt zwischen zwei oder mehr Ladungen eine Kraft, so kann diese durch das Coulombsche Gesetz beschrieben werden.

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}, \quad \text{mit: } k = \frac{1}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r}$$

Dieses Gesetz besagt, dass ungleiche Ladungen sich anziehen und gleiche Ladungen sich abstoßen. Die Kraft, die zwischen den Ladungen entsteht, kann mathematisch bestimmt werden. Liegt eine positive Ladung am Anfang und eine andere positive Ladung am Ende einer gedachten Linie, so wirkt auf dieser Linie eine Kraft, die auch gemessen werden kann. Sie ist abhängig von

dem Abstand der Ladungen zueinander. Die Konstanten haben eine Größe von: $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{A \cdot s}{V \cdot m}$ und $\epsilon_r = 1$, wenn ein Vakuum vorliegt. Für diesen Fall lässt sich das Coulombsche Gesetz vereinfachen:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

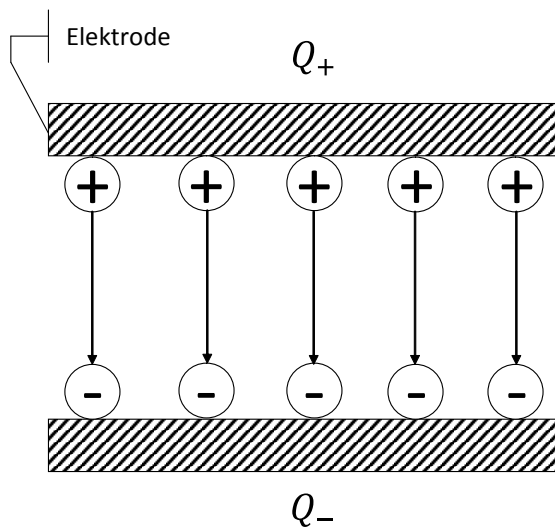
Forscht man nach der Ursache der Kraftwirkung zwischen Ladungen, wird man diese in der elektrischen Feldstärke finden. Dieser besondere physikalische Raumzustand weist Kraftlinien auf, die gleichzeitig die Feldlinien des elektrischen Feldes sind. Auf einer geladenen Metallfläche stehen diese Linien immer senkrecht. Beschrieben wird diese Eigenschaft durch einen Proportionalitätsfaktor zwischen Kraft und Ladung. Allgemein gilt am Ort der Kraft:

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

Um den Transport von Ladungen zu betrachten, muss man einen Schritt weiter gehen und nicht ihre einzelnen Verhältnisse zueinander betrachten. In festen Körpern überschneiden sich die Außenschalen der Atome, dadurch entstehen Wechselwirkungen und Energiebänder. Letzteres kann man in verschiedenen Modellen darstellen. Das Valenzband besitzt das höchste Energieniveau oberhalb der letzten vollbesetzten Schale und die Energie W_V . Im Leitungsband befinden sich die Elektronen, die nach einer Energiezufuhr in ein energetisch höher liegendes Band angehoben worden sind. Das Energieniveau des Leitungsbandes ist um ΔW höher als beim Valenzband.

Die Werkstoffe kann man in Leiter, Nichtleiter und Halbleiter unterteilen. Dabei können sich die Ladungen in Ruhe oder Bewegung befinden. Durch Anlegung einer Spannung kann eine ruhende Ladung in Bewegung versetzt werden.

Bei metallischen Atomen sind die Elektronen nur schwach gebunden. Die Anzahl n der Atomrümpfe ist dadurch sehr hoch und beträgt etwa $n \approx 10^{23}$ Elektronen/cm³. Elektrisch gesehen sind Metalle neutral. In Halbleiter werden die



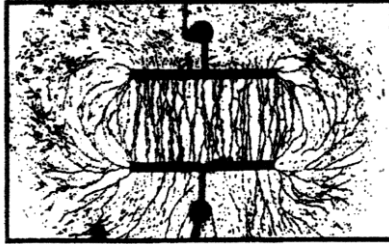
Beispiel für Feldlinien

Atome des Grundgitters durch Fremdatome ersetzt, diese Orte werden auch als Störstellen bezeichnet. Diese Fremdatome besitzen eine andere Ladung und damit sind die Atome der Halbleiter nicht mehr neutral. Typische Halbleiter sind Silizium und Germanium.

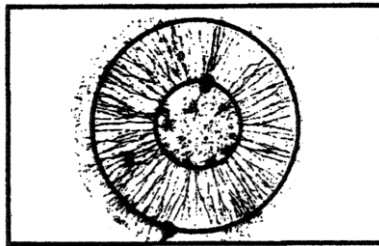
Dazu zwei Beispiele. Kombiniert man ein 4wertiges Silizium mit einem 5wertigen Phosphor als Fremdatom (Donator), so entsteht ein Elektronenüberschuss. Allerdings ist das Kristall nach außen hin neutral, denn die Summe der beweglichen Elektronen ist genauso groß wie ortsfeste positive Ladung. Anders sieht es aus, wenn man einem Stoff 3wertige Fremdatome zusetzt. Durch Fehlstellen oder Löcher entsteht ein Elektronenmangel. Die Fehlstellen weisen eine positive Ladung auf. Diese Gitter bezeichnet man auch als p-Halbleiter. Stoffe, die keine frei beweglichen Ladungen oder weniger als 10^8 Elektronen/cm³ besitzen, werden als Nichtleiter oder Isolator bzw. Dielektrika bezeichnet. Ein absoluter Nichtleiter ist das Vakuum mit $n = 0$.

Allgemein ist Strom ein Strömungs- oder Bewegungsvorgang von Ladungsträgern. Dabei führen eine große Anzahl von Teilchen durch Kraftereinwirkung eine gerichtete Bewegung aus. Die Kraft entsteht durch ein Potentialgefälle zwischen den beiden Polen. In der Physik gibt es noch weitere Strömungsvorgänge, die hier zur Verdeutlichung erwähnt werden sollen. Durch Druckunterschiede entstehen Flüssigkeitsströme oder Gasströme, durch Temperaturunterschiede Wärmestrom.

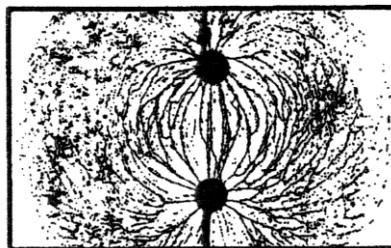
Mathematisch ist die Stromstärke der Quotient der Ladungsmenge ΔQ , die



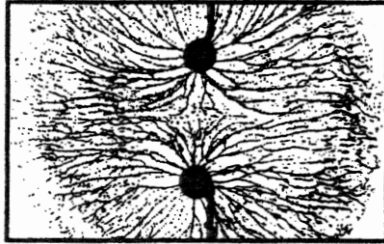
*Experimenteller Nachweis von Feldlinien
bei einem rechteckigen Feld*



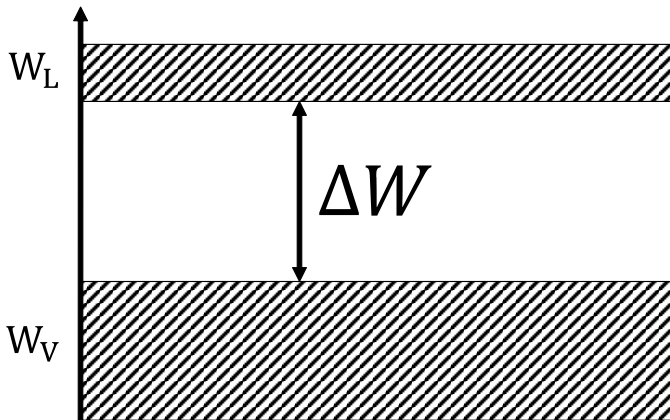
*Experimenteller Nachweis von Feldlinien
bei einem kreisförmigen Feld*



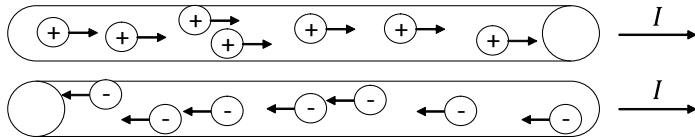
*Experimenteller Nachweis von Feldlinien
zwischen zwei unterschiedlichen Ladungen*



*Experimenteller Nachweis von Feldlinien
zwischen zwei gleichen Ladungen*



Bändermodell



Richtungssinn

während einer Zeitspanne Δt durch einen Querschnitt strömt, dividiert durch die Zeitspanne.

$$\Delta I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Damit gibt die Stromstärke den Ladungstransport pro Zeiteinheit an. Die Stromstärke kann zwei Arten aufweisen. Fließt immer die gleiche Ladungsmenge in immer die gleiche Richtung, so spricht man von einer zeitlich konstanten Strömung. Dies ist bei Gleichstrom der Fall. Können diese Bedingungen nicht eingehalten werden, so spricht man von einer zeitlich veränderlichen Stromstärke. Diese existiert bei Wechselströmen.

$$I(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = \text{const.} = \frac{Q}{t}$$

sonst:

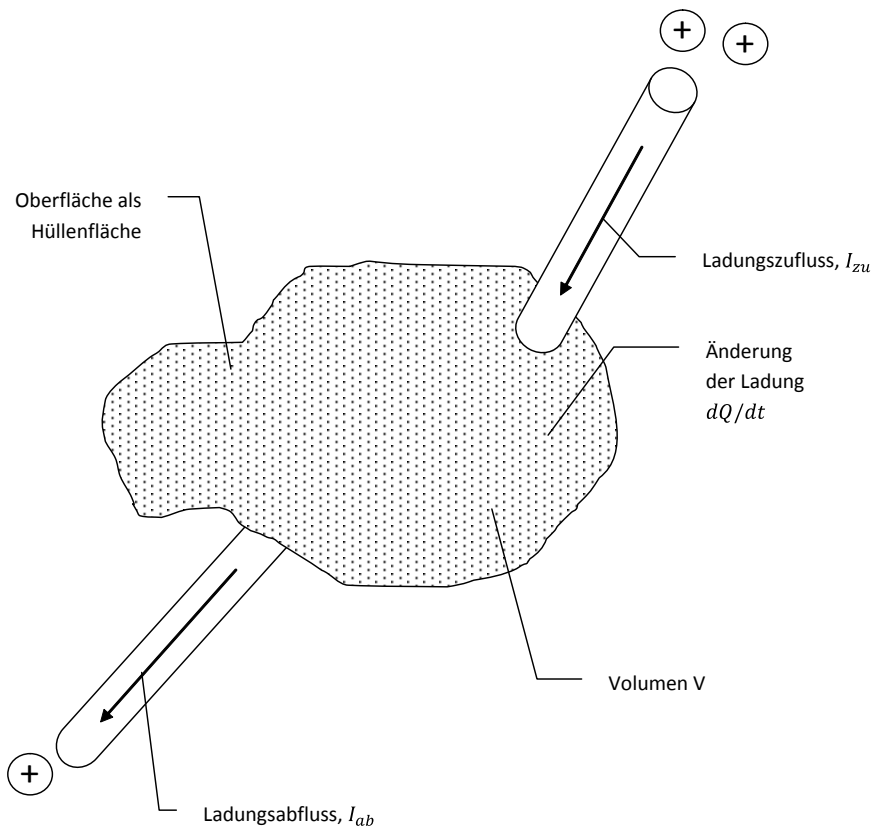
$$I = i(t) = \frac{dQ(t)}{dt}$$

Die Einheit des Stromes ist das Ampere. Die Dimension der Stromstärke ist die einzige Grunddimension der Elektrotechnik. Die Dimension der Ladung ist das Produkt der Dimension Stromstärke und Zeit, angegeben in der Einheit Coulomb.

$$\dim(I) = \dim(\text{Strom})$$

$$= \dim\left(\frac{\text{Ladung}}{\text{Zeit}}\right)$$

Die Stromstärke ist eine vektorielle, also eine gerichtete Größe. Positive Stromrichtung liegt dann vor, wenn sich positive Ladungsträger vom positiven Pol zum negativen Pol bewegen. Negative Stromrichtung liegt dann vor, wenn Elektronen sich vom negativen Pol zum positiven Pol bewegen.



Die Gesamtladung Q kann sich nur ändern, wenn durch die Hüllfläche Ladungen zu- oder abfließen. Damit ergibt sich die Kontinuitätsgleichung.

$$\frac{dQ}{dt} = I_{ab} - I_{zu}$$

Von einer Ladungszunahme spricht man, wenn die zufließende Ladung größer ist als die abfließende. Bei einer Ladungsabnahme ist dies genau umgekehrt. Allerdings gilt hier wieder das physikalische Gesetz der Ladungserhaltung.

$$Q = \text{const.} \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = 0$$

Damit ist der Strom eine in sich geschlossene Erscheinung, der an allen Stellen eines Volumens gleich groß ist. Theoretisch betrachtet ist Strom ein Fluss ohne Quelle und Ende. Sogenannte Antriebsquellen setzen lediglich durch Energiezufuhr Ladungsträger in Bewegung.

Wir gehen nun davon aus, dass die freien Ladungsträger durch ein elektrisches Feld bewegt werden. Dies weist also eine Kraftwirkung aus. Damit ist auch die Strömung eine Felderscheinung. Wenn der Strom sich in einer bestimmten Zeit nicht ändert, so spricht man von einem stationären Stromfeld. Dies wird nun näher betrachtet. Der Strom von Ladungsträgern fließt durch einen endlichen Querschnitt eines Leiters. Vergrößert man die Fläche, so verringert sich die Stromdichte. Eine Erhöhung der Dichte erfolgt bei Verstärkung der Stromstärke.

$$J = \frac{I}{A}$$

$$J = \frac{dI}{dA}$$

$$I = \int J dA$$

Einen Stromfluss kann man nicht direkt wahrnehmen, allerdings sind seine Auswirkungen spürbar. Dazu zählen die magnetische Wirkung, da ein Strom immer von einem Magnetfeld umschlossen ist, die thermische Wirkung, durch den Durchfluss entsteht Reibung und Wärme, die chemische Wirkung, da die Elektrolyten in einem Ionenstrom fließen und zuletzt eine optische Wirkung, die durch Licht- und Strahlungsemission hervorgerufen wird.

Unter dem Begriff Spannung versteht man eine Potentialdifferenz. Dabei ist das Potential ein Maß für den Energiegehalt einer Ladung in einem bestimmten Punkt. Besitzt ein Punkt a ein anderes Potential als ein Punkt b , so fällt zwischen den beiden Punkten die Spannung $u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$

Wird die Spannung von einer Quelle bereitgestellt, so sprechen wir von einer Quellenspannung u_q . Befinden sich mehrere Quellen in einer Schaltung, so weist man ihnen einen Index zu. Spannungsabfall kann sich auch über einen Bauteil ergeben. Bei einem Widerstand, also einem passiven Bauelement, fällt nur dann Spannung ab, wenn ein elektrischer Strom fließt.

Möchte man einen elektrischen Strom I begrenzen, so benötigt man einen ohmschen Widerstand. Dabei kann man drei Parameter verändern, nämlich:

- die Stromdichte,
- die Länge und den
- Leitungsquerschnitt.

Werkstoff	$\chi (\Omega^{-1} m^{-1})$	$\rho (\Omega \cdot m)$
Silber	$60,6 \cdot 10^6$	$16,5 \cdot 10^{-9}$
Kupfer	$56,8 \cdot 10^6$	$17,6 \cdot 10^{-9}$
Gold	$45,0 \cdot 10^6$	$22,2 \cdot 10^{-9}$
Aluminium	$36,0 \cdot 10^6$	$27,8 \cdot 10^{-9}$
Messing	$13,0 \cdot 10^6$	$80,0 \cdot 10^{-9}$
Eisen	10^4	$0,15 \cdot 10^{-6}$
Konstanten	$3,0 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^{-6}$
Seewasser	3	0,3
Germanium	2,2	0,454
Silizium	$1,6 \cdot 10^{-3}$	625
Dest. Wasser	10^{-4}	10^4
Holz	10^{-11}	10^8
Porzellan	$2,0 \cdot 10^{-13}$	$5,0 \cdot 10^{12}$

Die Dichte der frei beweglichen Ladungsträger kann man durch ein anderes Material mit einer geringeren Leitfähigkeit verändern. Die Leitfähigkeit ist eine Materialkenngröße, ihr Kehrwert ist der spezifische elektrische Widerstand und trägt das Kennzeichen χ . Bei der Länge ergibt sich die Möglichkeit der Vergrößerung, damit erhöht sich auch der Widerstand. Verändert man den Leitungsquerschnitt, so reduziert man die Fläche und damit auch den Ladungstransport. Damit werden die Dichte und der Widerstand größer.

$$R = \frac{l}{\kappa \cdot A} = \chi \frac{l}{A}$$

Der ohmsche Widerstand ist eine Kenngröße von Bauelementen, die durch geometrische Abmessungen und Werkstoffkenngrößen bestimmt werden. Der Kehrwert ergibt den elektrischen Leitwert, der eine reine Rechengröße ist.

$$G = \frac{l}{R} = \frac{\chi \cdot A}{l}$$

Kapitel 3

Ohmsches Gesetz

Wir haben jetzt Strom, Spannung und Widerstand kennengelernt und können damit elektrische Stromkreise berechnen, wobei das Ohmsche Gesetz gilt.

Das Ohmsche Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung als Ursache und Strom als Wirkung. Dieser Mechanismus lässt sich auch auf ein elektrisches Strömungsfeld anwenden. Hier gilt, dass die Wirkung und die Ursache unter der Bedingung $G = 1/R$ vertauschbar sind. Damit ergibt sich ein wichtiges Hilfsmittel zur Interpretation von Gesetzen der Feldtheorie. Es lässt sich schlussfolgern, dass die Wirkung das Produkt von Bedingung und Ursache ist. Die Ursache des elektrischen Stromes I ist die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten und wird durch ein wirksames Bauteil erbracht.

Der Ladungstransport in einem Widerstand lässt sich durch ein mit Kugeln gefülltes Glasrohr illustrieren. In diesem Rohr füllen die Kugeln sämtlichen verfügbaren Raum möglichst gut aus. Die Dichte der Kugeln ist dabei ein Maß der elektrischen Leitfähigkeit. Ist diese Dichte hoch, also es gibt viele frei bewegliche Ladungsträger, so handelt es sich um einen Leiterwerkstoff. Bei einer geringen Dichte dagegen um einen Nichtleiter.

Schiebt man in dieses Rohr von der einen Seite Kugeln hinein, so werden alle im Rohr befindlichen Kugeln verschoben. Damit überträgt sich die von außen eingebrachte Energie auf alle Kugeln gleichmäßig und die am anderen Ende äußerste Kugel fällt heraus und es fließt damit ein Strom. Der Strom ist größer wenn mehrere Kugeln gleichzeitig oder in kürzerer zeitlicher Abfolge in das Rohr geschoben werden. Allerdings muss die Quelle der Kugeln dazu in der Lage sein, denn sie stellt die Potentialdifferenz bereit und speist den Strom ein. Verengt man das Rohr, so steigt der Widerstand R und die Bewegung der Kugeln reduziert sich. Damit ist der Ladungstransport geringer.

$$I = G \cdot U, G = \frac{1}{R}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Kapitel 4

Temperaturabhängigkeit des ohmschen Widerstandes

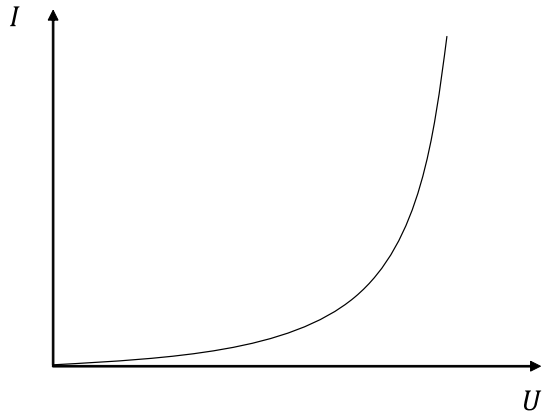
Der spezifische Widerstand und damit auch die Leitfähigkeit χ von Werkstoffen sind temperaturabhängig. Die Abhängigkeit wird durch den Temperaturkoeffizienten α (nach DIN 5485 auch TK-Wert genannt) gekennzeichnet. Wobei folgendes gilt: $[\alpha] = 1K^{-1}$ (K:Kelvin). Bei temperaturabhängigen Widerständen unterscheidet man zwischen linearen Widerständen, Heißleitern und Kaltleitern. Bei ohmschen Widerständen besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Strom und Spannung. Bei Kaltleitern, auch PTC-Widerstände genannt, erhöht sich α , wenn die Temperatur ansteigt. Damit nimmt auch der Widerstandswert zu. Heißleiter, auch NTC-Widerstände genannt, verhalten sich genau entgegengesetzt.

Bei Metallen beträgt die Widerstandsänderung ca. 0,4% je Kelvin. Dies lässt sich auch grafisch darstellen. Das Verhalten der Kurve lässt sich besser beschreiben, wenn A und B eng beieinander liegen. Die Sekante durch A und B wird durch eine Tangente in B ersetzt. Der Anstieg der Kurve in A ergibt sich durch Grenzwertbildung.

Bei einer Temperaturänderung um $\Delta\vartheta$ ändert sich der Widerstand um ΔR . Dabei gilt für kleine R:

$$\frac{\Delta R}{\Delta\vartheta} = \frac{R_{\vartheta} - R_0}{\vartheta - \vartheta_0}$$

$$\lim_{\Delta\vartheta \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta\vartheta}$$



Verhalten eines Heißleiters in Abhängigkeit von Strom und Spannung

$$\Delta R = R_{\vartheta} - R_0$$

$$\hookrightarrow R_{\vartheta} = R_0 + \Delta R, \text{ bei: } \vartheta = \vartheta_0 + \Delta \vartheta$$

$$\frac{\Delta R}{\Delta \vartheta} = \frac{dR}{d\vartheta}$$

$$\Delta R = \frac{dR}{d\vartheta} \cdot \Delta \vartheta$$

$$= R_{\vartheta} - R_0 = \frac{dR}{d\vartheta} \cdot \Delta \vartheta$$

$$R_{\vartheta} = R_0 + \frac{dR}{d\vartheta} \cdot \Delta \vartheta$$

$$R_{\vartheta} = R_0 \left(1 + \frac{dR}{R_0} \frac{\Delta \vartheta}{d\vartheta} \right)$$

Als Temperaturkoeffizient α bezeichnet man den Ausdruck: Die Widerstandsänderung kann auch prozentual angegeben werden.

$$\alpha = \frac{dR}{R_0 \cdot d\vartheta}$$

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \alpha d\vartheta$$

In der Regel sind die Temperaturkoeffizienten α bei:

- reinen Metallen etwa $+0,4 \frac{\%}{K}$
- Manganin, Nickelin, Konstantan etwa 0
- Elektrolyten und Halbleiter negativ.

In Tabellen findet man für α Werte, die sich auf eine Temperatur von $20^\circ C$ beziehen. Die Berechnungsgleichung eignet sich nur näherungsweise bei $-50^\circ C$ bis $+200^\circ C$. Bei höheren Temperaturen ist ein quadratischer Temperaturkoeffizient R_{20} zu berücksichtigen. Es gilt:

$$R = R_{20}(1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta + \beta \Delta\vartheta^2)$$

Werkstoffe, die in der Nähe des absoluten Nullpunktes sehr kleine Werte annehmen, bezeichnet man als Supraleiter. Als Supraleitfähigkeit bezeichnet man einen Zustand, in dem Elektronenströme ohne jeglichen Widerstand fließen können. Die Kenngröße dafür ist Sprungtemperatur T_s . Bei den meisten Supraleitern liegt diese etwa zwischen 1 und 10 K, mittlerweile gibt es auch schon Hochtemperatursupraleiter mit $T_s > 100$ K. Beispiele für Supraleiter sind Aluminium ($T_s = 1,4$ K), Blei ($T_s = 7,26$ K), Quecksilber ($T_s = 4,17$ K) und Zinn ($T_s = 3,69$ K).

Varistoren sind spannungsabhängige Widerstände mit symmetrischer Strom- und Spannungskennlinie. Bei einer bestimmten Spannung ändert der Varistor seine Leitfähigkeit und wird niederohmig, damit gibt es keinen weiteren Spannungsanstieg. Der Varistor schneidet Spannung beider Polaritäten von bestimmten Grenzwerten an ganz scharf ab. Er wird in der Spannungsstabilisierung, Absorption der Schaltenergie bei Spulen und als Überspannungsschutz bei Halbleitern eingesetzt.

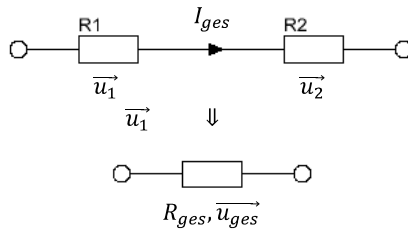
Eine Feldplatte ist ein magnetisch steuerbarer Halbleiterwiderstand. Er besteht aus dünnen Indiumantimonid-Plättchen. Wirkt auf diese Plättchen ein Magnetfeld ein, so ändert sich der Widerstand. Der Widerstandswert nimmt mit steigender magnetischer Flussdichte B zu.

Lichtabhängige Halbleiterwiderstände bezeichnet man als Fotowiderstand oder LDR (Light Dependent Resistor). Bei Lichteinfall erhöht der Widerstand seine Leitfähigkeit durch freierwerdende Ladungsträger. Er wird in Gleich- und Wechselstromkreisen verwendet und findet seinen Einsatz in Beleuchtungsmessern und Dämmerungsschaltern.

Kapitel 5

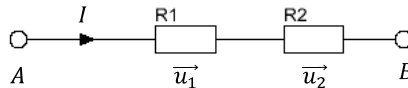
Reihenschaltung und Spannungsteiler

Bei einer Reihenschaltung fließt durch alle Elemente der gleiche Strom. Damit ist die Gesamtspannung die Summe der Teilspannungen $u_{ges} = u_1 + u_2$. Mit $U = R \cdot I$ gilt: $I \cdot R_{ges} = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 = I(R_1 + R_2)$, der Strom kürzt sich heraus und damit ist der Gesamtwiderstand die Summe der Einzelwiderstände $R_{ges} = R_1 + R_2$.

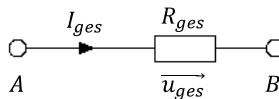


In einer Reihenschaltung teilt sich die Gesamtspannung in einzelne Teilspannungen.

Betrachten wir folgende Schaltungen:



und



In dieser Schaltung kann man den Strom I auf dreifache Weise bestimmen:

$$I = \frac{u_1}{R_1}$$

$$I = \frac{u_2}{R_2}$$

$$I = \frac{u_{ges}}{R_{ges}}$$

Wir hatten festgelegt, dass der Strom an allen Stellen gleich ist, damit gilt nun:

$$\frac{u_1}{R_1} = \frac{u_2}{R_2} = \frac{u_{ges}}{R_{ges}}$$

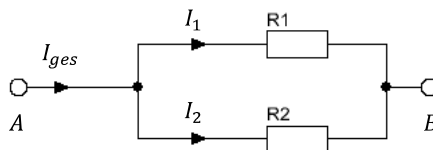
$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{u_1}{u_{ges}} = \frac{R_1}{R_{ges}}$$

$$\frac{u_2}{u_{ges}} = \frac{R_2}{R_{ges}}$$

Zusammenfassend kann man sagen: In einer Reihenschaltung verhalten sich zwei Spannungen so zueinander wie die Widerstände, über denen diese Spannungen abfallen. Dabei ist zu beachten, dass die Spannungsteilerregel nur in einer Reihenschaltung angewendet werden kann. Gemischte Schaltungen müssen in eine Reihenschaltung umgerechnet werden und erst dann kann der Strom herausgekürzt werden. Parallele Widerstände haben keinen Einfluss auf aktuelle Spannungsteiler.

Bei einer Parallelschaltung liegt über allen Elementen die gleiche Spannung an. Damit entspricht der Gesamtstrom I die Summe der Einzelströme. In gemischten Schaltungen tritt häufig der Sonderfall von zwei parallelen Widerständen auf. Bei denen gilt:



$$I_{ges} = I_1 + I_2, \quad I = \frac{u}{R}$$

$$\hookrightarrow \frac{u_{ges}}{R_{ges}} = \frac{u_{ges}}{R_1} + \frac{u_{ges}}{R_2}$$

$$\hookrightarrow \frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\hookrightarrow R_{ges} = \frac{1}{\sum_{\alpha=1}^n \frac{1}{R_{\alpha}}}$$

Somit kann man feststellen: zwei parallel geschaltete Widerstände wirken genauso wie ein halbgroßer Einzelwiderstand. Wobei der Gesamtwiderstand vom kleineren Widerstand bestimmt wird.

$$R_1 \neq R_2 \Rightarrow R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

$$= \frac{1}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}}$$

$$= \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = R_2 \Rightarrow R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_1}{2R_1}$$

$$= \frac{R_1}{2}$$

In einer Parallelschaltung verhalten sich zwei Ströme zueinander wie die Kehrwerte der Widerstände, durch die die Ströme fließen. Diese Regel gilt nur für Parallelschaltungen, bei gemischten Schaltungen muss erst in eine Parallelschaltung umgerechnet werden. Reihenwiderstände am betrachteten Knotenpunkt haben keinen Einfluss.

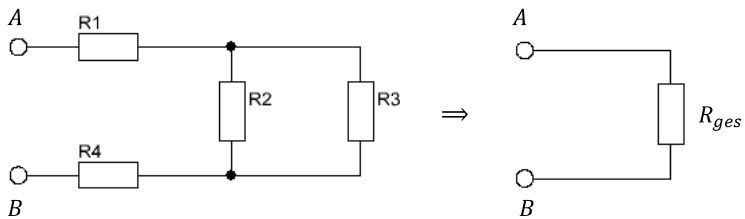
Es gilt: $U = R_1 \cdot I_1$; $U = R_2 \cdot I_2$ und $U = R_{ges} \cdot I$. Es besteht die Möglichkeit die Gleichung in der Form $I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = I_{ges}$ darzustellen. Damit ergeben sich folgende Kehrwerte:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{I_1}{I_{ges}} = \frac{R_{ges}}{R_1}$$

$$\frac{I_2}{I_{ges}} = \frac{R_{ges}}{R_2}$$

In der Regel kann man komplizierte Netzwerke vereinfachen, in dem man die Widerstände zusammenfasst.



Eine solche Struktur bezeichnet man als Zweipol. Diese Struktur kann man durch eine Ersatzstruktur ersetzen, die man als Ersatzzweipol oder äquivalenten Zweipol bezeichnet.

Weisen Strukturen rein ohmsche Widerstände auf, so kann man diese mit den Regeln der Reihen- und Parallelschaltungen zusammenfassen.

Prof. Dr.-Ing. Monika Trundt

- 1982-1983 Forschungsingenieurin am Lehrstuhl für Elektromechanische Konstruktion des Fachbereiches Elektrotechnik an der Bergischen Universität - Gesamthochschule Wuppertal bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. R. Feiertag
- 1984-1987 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Biokybernetik und biomedizinische Technik des Fachbereiches Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe bei Prof. Dr.-Ing. Meyer-Waarder
- 1988-1989 Stellvertretende Abteilungsleiterin für Satzbau bei der Firma Semikron, Nürnberg
- 1989-1992 Freiberufliche Tätigkeit für die Firma eupec in Belecke
- 1992 Promotion an der Technischen Universität Chemnitz
- 1992-1999 Technische Leiterin bei der Firma Han Jin Engineering, Korea
- 1999-2001 Technische Geschäftsführerin bei der Firma AGA GmbH, Warstein
- 2000 Lehrauftrag an der Hochschule Merseburg (FH)
- 2001 Berufung für das Lehrgebiet „Konstruktion und Dokumentation in der Elektrotechnik“ an die Hochschule Merseburg (FH)