

ELEKTRISCHE LEITUNGSVORGÄNGE

Problemfragen :

1. Was ist elektrischer Strom / was ist der elektrische Widerstand ?
2. Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit elektrischer Strom fließen kann?
3. Wie sind in verschiedenen Medien diese Bedingungen erfüllt, bzw. wie können sie erfüllt werden?
4. Welche Wirkungen treten in den Medien auf (Gesetze, Energieumwandlungen) ?
5. Anwendungen ? (Beispiele , Bedeutung → Nutzen/Schaden. . .)

Diese Fragen betrachten wir unter verschiedenen Bedingungen:

-das zeitlich konstante elektrische Feld → Klassen 8/ 9

-das zeitlich veränderliche Feld → Sekundarstufe 2

Schwerpunkte :

Grundlagen : Allgemeines Modell elektrischer Leitungsvorgänge, Teilchenmodell, Widerstandsbegriff , Ohmsches Gesetz , Widerstandsgesetz , verzweigter und unverzweigter Stromkreis, Meßgeräteschaltungen (Ampèremeter , Voltmeter), veränderliche Widerstände

- a) Leitung in festen Körpern → siehe unten
- b) Leitung in Flüssigkeiten → wäßrige Lösungen (Ionen , Kation, Anion, Ionisierung, Dissoziation Elektrolyse, Galvanisieren, , der Mensch, chemische Spannungsquellen → Monozelle, Akku, ...
- c) Leitung im Vakuum → Glühemission, Fotoemission, → Glimmlampe, Elektronenstrahlröhre..
Röhrendiode, Röhrentriode....
- d) Leitung in Gasen → Ionisierung, Stoßionisation, → Leuchtstoffröhren , Geigerzähler, Blitze. .
- e) Leitungsvorgänge in Halbleitern → Eigenleitung , Störstellenleitung , elektronische Bauelemente → Dioden, Thermistor, Transistoren , *IC's . . .* → Aufbau, Wirkungsweise, Kennlinien, Anwendungen (Gleichrichtung von Wechselströmen, elektronischer Schalter, Signalverstärkung , *Schwingungserzeugung , . . .*)

Das zeitlich konstante elektrische Feld

Das allgemeine Modell elektrischer Leitungsvorgänge

Dieses Modell ist eine vereinfachte Vorstellung von den Leitungsvorgängen in verschiedenen Stoffen!

1.Def.: Elektrischer Strom ist die gerichtete Bewegung elektrischer Ladungsträger (unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes)

Bedingungen für das Fließen eines elektrischen Stromes sind :

- die Existenz von frei beweglichen Ladungsträgern (Elektronen oder Ionen , **keine Neutronen**)
- das Vorhandensein eines elektrischen Feldes

Elektrischer Widerstand : darunter verstehen wir die Gesamtheit aller Einflüsse, welche den Stromfluß (bei angelegter Spannung) begrenzt !

Gleichzeitig verwendet man diesen Begriff aber auch für die physikalische Größe R , sowie für das Bauelement selbst.

Der elektrische Widerstand wird durch den Quotienten $R = U / I$ ausgedrückt.

Daher ist logisch, daß bei konstanter Spannung eine Veränderung der Stromstärke durch verschiedene Einflüsse (Temperatur, magnetische Felder, Veränderung der Ladungsträgerkonzentration z. B bei wäßrigen Lösungen usw.) eine Veränderung des Widerstandes hervorruft.

→ **Bei der Angabe der Größe eines Widerstandes sind also stets die Bedingungen zu beachten!**

Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit elektrischer Strom fließen kann?

Ein elektrisches Feld als Voraussetzung für einen Stromfluß zu installieren ist an sich kein Problem. Die zwei Pole einer Spannungsquelle (Elektroden) lassen sich sehr einfach in (an) jedem Stoff anbringen. Wie sieht es aber mit der Existenz von freien Ladungsträgern in den verschiedenen Medien aus ? ? ?

Feste Stoffe: Ladungsträger können nur frei bewegliche Elektronen sein.

Vorhandene Ionen (Atomrümpfe) sind im Festkörpergitter nicht frei beweglich ! Daher bestimmt die Anzahl der freien Elektronen (Konzentration) die Leitfähigkeit .Je nach Höhe der Konzentration unterscheiden wir : **Nichtleiter(Isolatoren),Halbleiter,und Leiter.**(siehe : ρ -Tabelle) Durch Temperaturänderung können Isolatoren leitfähig werden(z.B. Glas).Diese Unterteilung ist also gleitend und i.A. bei Normalbedingungen zu verstehen,.

Leitungsvorgänge in Metallen :

Durch die Metallbindung sind sehr viele frei bewegliche Elektronen vorhanden. Beim Stromfluß treten die Elektronen in Wechselwirkung mit den Atomen. Dabei wird kinetische Energie der Elektronen an die Atome abgegeben (Erwärmung) Energieumwandlung : $E_{el} \rightarrow E_{kin} \rightarrow Q$.

-Widerstandsgesetz : $R = \rho * l / A$; gilt nur bei $T = konst.$ Der spezifische elektrische Widerstand ρ ist temperaturabhängig. Bei Erwärmung nimmt die Anzahl der Ladungsträger zwar etwas zu, gleichzeitig nehmen aber die Wechselwirkungen mit den Atomen sehr stark zu \rightarrow der Widerstand nimmt also insgesamt zu ! \rightarrow Schülerexperiment : Kennlinie einer Glühlampe !

Das Ohmsche Gesetz : $I \sim U$ d.h. $R = U / I$. gilt ebenfalls nur bei $T = konst.$! (**Warum ?**)

Beste Leiter: Silber, Kupfer, Aluminium ! Auswahl nach ökonomischen und technischen Grundsätzen. Beispiele : Hochspannungsleitungen, Erdkabel, Geräte Kabel, IC, CPU, (Festinstallation oder flexibel?)

Energieverluste :(Stromwärmeverluste) in Leitern: $P = I * R$. Um hohe Verluste zu vermeiden muß also bei gegebener Leistung ($P = U * I$) die Stromstärke verringert werden d.h. die Spannung muß erhöht werden. \rightarrow Transformator \rightarrow Höchstspannungsleitungen bis 500 kV.

Leitungsvorgänge in Halbleitern :

Eigenleitung :

Bei geringen Temperaturen ist die Anzahl der frei beweglichen Elektronen gering. (Atombindung \rightarrow gemeinsame Elektronenpaare). Mit zunehmender Temperatur steigt diese Anzahl sehr stark an, die Leitfähigkeit steigt, der Widerstand nimmt stark ab ! (Zwar nimmt auch die Zahl der Wechselwirkungen zu, aber dieser Einfluß ist vergleichsweise gering.) \rightarrow

\rightarrow Schülerexperiment : Kennlinie eines Thermistors !

Beim Freisetzen von Elektronen entstehen Fehlstellen (positive Löcher, Defektelektronen) Wir können sie modellhaft wie positive Ladungsträger behandeln. Beim Anlegen einer Spannung fließen also zwei Ströme : ein Elektronenstrom von - nach + und ein " Löcherstrom" von + nach - ! Diese Art der Leitung durch " eigene Ladungsträger nennt man "Eigenleitung".

Das Ohmsche Gesetz gilt nur für $T = konst.$ und homogenes Material. (**Warum ?**)

Die Eigenleitung ist von relativ geringer Bedeutung (Thermistoren); meistens sogar sehr störend !!
Die Temperaturabhängigkeit erfordert konstante Temperaturen für die Geräte oder aufwendige elektronische Schaltungen.

Wesentlicher ist die \rightarrow -

Störstellenleitung . : (\rightarrow Periodensystem) Durch Einbringen von Fremdatomen (**Dotieren**) aus der dritten Hauptgruppe \rightarrow **p - leitend** bzw. der fünften Hauptgruppe \rightarrow **n - leitend** in das Halbleitermaterial stehen jeweils positive (p-leitend) , bzw. negative (n-leitend) Ladungsträger im Halbleiter zur Verfügung. Also kann man das Material nach Bedarf "zurechtmachen"!

Das heißt : Man kann die Leitfähigkeit optimal an den jeweiligen Verwendungszweck anpassen !!
(Vergleiche : Stein eines Urmenschen \rightarrow Hämmer im Baumarkt)

Anwendungen : Halbleiterdiode, Transistor (Es gibt Hunderte von Halbleiterbauelementen)

Flüssigkeiten : Die meisten Flüssigkeiten sind nichtleitend. Die Bindungsart ermöglicht keine freien Elektronen und die Ionen sind aneinander gebunden (elektrischer Dipol) \leftrightarrow Ionenbindung ergibt (nach außen) neutrale Moleküle. Von Bedeutung sind die :

wäßrigen Lösungen von Säuren ,Basen und Salzen

In Wasser **dissoziieren** Säuren ,Basen und Salze (Salze --- sofern - wasserlöslich).Damit stehen als Ladungsträger sowohl positive Ionen (**Kationen**) als auch negative (**Anionen**) zur Verfügung. Es fließen also zwei Ionenströme in entgegengesetzter Richtung.Dabei erwärmt sich die Lösung. Gleichzeitig erfolgen an den **Elektroden** chemisch-physikalische Vorgänge.

Beispiele : Durch Aufnahme von Elektronen an der Katode (bei Metalleionen) bilden sich neutrale Metallatome und setzen sich an der Katode ab \rightarrow (**Galvanisieren** : Verkupfern,Verchromen usw. Elektrolytkupfer u.ä.). An den Elektroden steigen Gase auf (Wasserstoff, Sauerstoff) An der Anode können z.B. Metalle als Ionen in Lösung gehen.

Gibt man verschiedene Metalle (Zn,Cu) in eine Säure geht eins stärker in Lösung (Spannungsreihe) , die positiven Ionen " hinterlassen Elektronen " \rightarrow dieses Metall wird zur **Katode**.Die Ionen nehmen am anderen Metall Elektronen auf;dieses wird zur **Anode** einer Spannungsquelle(Monozelle, Akku usw.)

Die Leitfähigkeit ist stark von der Konzentration abhängig.Damit gilt das Ohmsche Gesetz nur bei konstanter Temperatur und unveränderlicher Konzentration (räumlich und zeitlich homogen) (**Warum ?**)

Gase :

Im Normalzustand sind Gase Nichtleiter.Durch Energiezufuhr können sie ionisiert werden.

Die Anzahl der Atome \rightarrow Anzahl der Ionen ist druckabhängig. (siehe Dichte !)

Damit ist also die Leitfähigkeit der Gase vom Ionisierungsgrad und vom Druck abhängig .

Das Ohmsche Gesetz gilt nicht !!! (**Warum nicht ?**)

Die Ionisierung kann durch Strahlung ,Wärmezufuhr ,elektrische Feldenergie u.a. erfolgen.

Stoßionisation : Ein elektrisches Feld beschleunigt vorhandene Ladungsträger so stark, daß sie bei Zusammenstoß mit neutralen Gasatomen diese ionisieren !

Dies kann zum lawinenartigen Anwachsen der Ionenzahl führen (Geigerzähler ,Leuchtstoffröhre)

Vakuum :

Das Vakuum ist ein absoluter Isolator (**materie leer** !)Bringt man durch z.B. Glühemission oder Photoemission. Elektronen in das Vakuum ist es streng genommen kein Vakuum mehr.

Wir wollen unter dem Begriff "**Vakuum** " also einen **weitestgehend materieleeren Raum** verstehen.

Die Leitung im Vakuum wird am einfachsten erreicht, indem man in einen Glasbehälter Elektroden aus Metall einschmilzt. Diese Elektroden müssen nun aber Elektronen abgeben können.

Dazu braucht man einen gewissen Energiebetrag pro Elektron (**Ablösearbeit**)

Glühemission :

Das Heraustreten von Elektronen aus der Oberfläche von Metallen auf Grund von Zufuhr von **Wärmeenergie**.

Photoemission :

Das Heraustreten von Elektronen aus der Oberfläche von Metallen auf Grund von Zufuhr von **Strahlungsenergie**.

Außerdem können auch durch starke elektrische Felder (hohe Spannungen) Elektronen aus Metalloberflächen herausgerissen werden(Funkeninduktor , Influenzmaschine)

Anwendungen: Elektronenstrahlröhren ,Elektronenröhren, Fotozelle ...

Im Vakuum gilt das Ohmsche Gesetz nicht ! (**Warum nicht ?**)

Zusätze :

Verzweigter und unverzweigter Stromkreis

Beim verzweigten Stromkreis teilt sich der Gesamtstrom von Ladungsträgern durch die Parallelschaltung der Widerstände (Verbraucher) in zwei oder mehrere Teilströme auf. Demgemäß ist $I_{ges} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$.

Durch die Parallelschaltung ist $U = U_1 = U_2 = \dots U_n$.Durch entsprechende Ableitungen erhält man die Formeln für die Widerstandsberechnung.

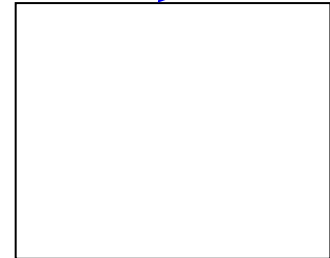
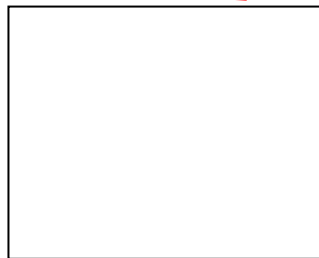
Beim unverzweigten Stromkreis durchfließen die Ladungen einen Widerstand nach dem anderen (Reihenschaltung). Dadurch ist die Stromstärke überall gleich. An den verschiedenen Widerständen treten unterschiedliche Teilspannungen auf, denn es ist ja $U = R \cdot I$. Der Gesamtwiderstand für den Stromfluß ergibt sich aus der Summe der Einzelwiderstände: Formeln siehe Tafelwerk. (Aufgaben rechnen!)

Elektrische Messgeräte im Stromkreis

Elektrische Messgeräte bestehen im Prinzip aus einer stromdurchflossenen Spule und "Beiwerk". Sie müssen also von Strom durchflossen werden, um zu funktionieren, stellen also einen Widerstand dar. Dementsprechend können sie in Reihe oder parallel geschaltet werden. Werden Spannung und Strom gemessen, ergeben sich Fehler in der Strom- oder Spannungsmessung. Es ist daher immer zu entscheiden, ob die Stromfehlerschaltung (I: fehlerhaft, U: richtig - daher auch spannungsrichtige Schaltung) oder die Spannungsfehlerschaltung (U: fehlerhaft, I: richtig - daher auch stromrichtige Schaltung) benutzt wird. Grundsätzlich gilt: Es wird diejenige Schaltung gewählt, bei welcher der auftretende Fehler klein gegenüber den Messwerten ist.

Also: -kleine Stromstärken bzw. hohe Spannungen → **Spannungsfehlerschaltung**
 -kleine Spannungen bzw. hohe Ströme → **Stromfehlerschaltung**

Schaltbilder:



Logischerweise ergeben sich die Forderungen:

Spannungsmesser sind **parallel** zum Meßobjekt geschaltet → möglichst hoher Innenwiderstand (kleiner "Stromverbrauch")

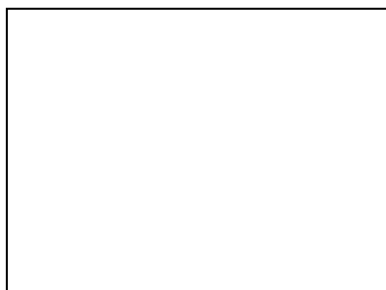
Strommesser sind **in Reihe** zum Meßobjekt geschaltet → möglichst kleiner Innenwiderstand (kleiner Spannungsverlust)

Veränderliche Widerstände im Wechselstromkreis:

Um Spannungen oder Ströme in einem Stromkreis regeln zu können, (Helligkeit, Drehzahlen usw.), werden oft regelbare Widerstände benutzt. Dabei wird die Länge eines Widerstandes (Draht, Kohleschicht) durch Benutzung eines Schleifkontaktes verändert. Ausführung als Dreh- oder Schiebewiderstand. Die Reihenschaltung eines regelbaren Widerstandes, läßt die Regelung nur in bestimmten Bereichen zu. Um Spannungen vom Betriebswert bis auf Null zu regeln, benutzt man die Potentiometerschaltung. Dabei ist der Querstrom zu berücksichtigen.

Schaltbilder:

Reihenschaltung



Potentiometerschaltung



Sekundarstufe 2

Leitungsvorgänge im zeitlich veränderlichen Feld (Wechselstrom)

Unter einem Wechselstrom verstehen wir einen Strom, bei welchem sich Richtung, Spannung und Stromstärke periodisch ändern. Da er eine Schwingung ist sind seine Kenngrößen den Kenngrößen der bisher behandelten mechanischen Schwingung analog. (Momentanwert, Maximalwert [Amplitude], Frequenz und Periode).

Die Phase drückt den zeitlichen Abstand eines bestimmten Punktes eines periodischen Vorgangs (z.B.: Erreichen des Maximums oder Nulldurchgang usw.) vom festgelegten Nullpunktes. Mit Hilfe von Phasenangaben kann man also z.B.

die zeitliche Verschiebung von periodischen Vorgängen gleicher Frequenz ausdrücken. (Verschiebung der Stromstärkekurve gegenüber der Spannungskurve usw.)

Um z.B. Leistung und Arbeit, welche von einem Wechselstrom verrichtet werden mit der eines Gleichstroms vergleichen zu können, darf man nicht mit den Maximalwerten rechnen, sondern man muss die Durchschnittswerte benutzen. Man nennt sie auch die Effektivwerte. Für sinusförmigen Wechselstrom ergibt sich :

$$U = u_{\text{eff}} \quad \text{und} \quad I = i_{\text{eff}}$$

Merke: Momentanwerte des Wechselstroms werden mit kleinen Buchstaben bezeichnet, die Effektivwerte (auch Gleichstromwerte genannt), mit großen Buchstaben.

Allgemein gilt für harmonische Schwingungen: $X = X_{\text{max}} \cdot \sin(\omega \cdot t)$, dementsprechend ist:

$$u = u_{\text{max}} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad \text{und} \quad i = i_{\text{max}} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Die mit ω (omega) bezeichnete Größe ist die Kreisfrequenz. Es ist $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

Eingefügt ist hier die Tabelle aus Lb.Kl.12 S.96(R,X,L = f(f) und Phasenverschiebung

Seite 6

Ein Ohmscher Widerstand ruft keine Phasenverschiebung hervor. Die umgesetzte Leistung entspricht dem Produkt $P = U \cdot I$. Das Produkt ist also die "wirklich dem Netz entnommene Leistung" = WIRKLEISTUNG
Dementsprechend ist $W = U \cdot I \cdot t$ die WIRKARBEIT !!

Ein Kondensator (**Kapazität**) wird periodisch aufgeladen und entladen. Es fließen also Ströme I , welche keine "Leistung hervorrufen, sondern lediglich die Energie zwischen Quelle (z.B. Netz) und Bauelement hin und her transportieren .

Das Produkt $P = U \cdot I$ spiegelt also nur scheinbar eine Leistung vor, und wird deshalb als SCHEINLEISTUNG bezeichnet.

Um die "wirklich, der Quelle entnommene Leistung zu berechnen, muß die Phasenverschiebung berücksichtigt werden.

Wirkleistung : $P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$, analog dann die

Wirkarbeit : $W = U \cdot I \cdot t \cdot \cos\varphi$ bzw. $W = P \cdot \cos\varphi$

Eine Spule (**Induktivität**) nimmt ebenfalls Energie auf (Aufbau des Magnetfeldes) und gibt sie wieder ab(Induktion beim Abbau des Magnetfeldes). Auch hier wird Energie hin - und hergeschoben, ohne daß wirkliche Leistung "verbraucht " wird. Also muss auch hier zwischen Scheinleistung/Scheinarbeit und Wirkleistung/Wirkarbeit unterschieden werden!

Das Verhältnis zwischen Wirkleistung und Scheinleistung ist der **Leistungsfaktor** $\lambda = \cos\varphi$

Nur bei exakt sinusförmigen Strömen und Spannungen ist der Leistungsfaktor gleich dem **Kosinus** des Phasenwinkels φ

Schaltungen mit verschiedenen Widerständen:

Sind in einer Schaltung verschiedene Bauelemente (Widerstände, Kondensatoren, Spulen), so lassen sich diese Schaltungen nur berechnen, wenn man die Phasenverschiebungen mit einbezieht. Die entsprechenden Gleichungen für einfache Schaltungen (Reihenschaltung) sind dem Tafelwerk zu entnehmen. Bei umfangreicheren Schaltungen ist schrittweise vorzugehen. Der Aufwand ist hier z.T. sehr groß!

[Leitungsvorgänge bei veränderlicher Konzentration und Beweglichkeit der Ladungsträger →](#)

[→ siehe Leitung in Halbleitern](#)