

# Hautimpedanz

## Grundlagen

Für die genauere Betrachtung der Hautwiderstände müssen zuerst die Grundlagen der Elektrik erklärt und vorgestellt werden. Hierzu muss der „Strom“ in zwei Arten, die sich in einigen Punkten unterscheiden, unterteilt werden.

Die Grundlagen der Elektrik kurz zusammengefasst:

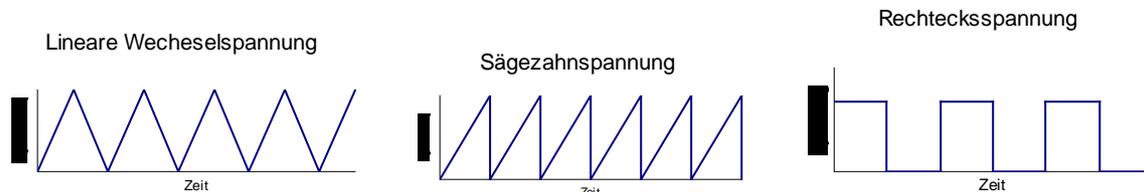
1. Elektrischer Strom: Er ist die Bewegung *freier Elektronen* in einem Leiter, die sich aus dem Atomverbund gelöst haben.
2. Stromstärke: Ist eine Basiseinheit des SI und gibt an wie viele Ladungen pro Zeiteinheit durch einen Leiterquerschnitt „fließen“. (gerichtete Größe) [Die genaue Definition: Wenn durch zwei unendlich lange parallele Leiter ein Strom der Stärke 1A fließt, wirkt auf sie pro Meter die Anziehungskraft von  $2 \cdot 10^{-7}$  N. (Magnetische Anziehungskraft, Gleichstrom)] DC/AC = Gleich(direct)/Wechsel(alternating)Strom(current)
3. Spannung: Sie gibt an wie schnell sich die Ladungen im Leiter bewegen. (gerichtete Größe) [Sie gibt den Potentialunterschied zwischen zwei Punkten und somit die Kraft, die auf die Ladungen wirken an.] DV/AV = Gleich(direct)/Wechsel(alternating)Spannung

## Gleichstrom

Der Gleichstrom als gleichmäßiger Stromfluss definiert werden. Das heißt, dass Stromstärke und Spannung in die selbe Richtung gerichtet sind und ein kontinuierlicher Stromfluss(Energie) an einem Verbraucher zustande kommt.

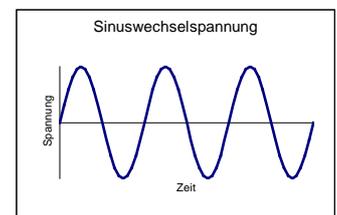
## Wechselstrom

Als Wechselstrom bezeichnet man alle Ströme, die ihre Stärke und/oder Spannung pro Zeiteinheit ändern. Einige Beispiele für Wechselspannungen:



In der normalen Wechselstromlehre wird normalerweise nicht von den oben vorgestellten Wechselspannungen ausgegangen, sondern von der sogenannten Sinuswechselspannung. Die wichtigsten Eigenschaften der Sinuswechselspannung

1. Phase: Spannung und Stromstärke sind normalerweise in Phase. Sie haben zur gleichen Zeit den maximalen Wert.
2. Frequenz(f): Gibt an wie oft sich die Spannung einen maximal positiven Wert pro Sekunde annimmt. [T = Periodendauer]
3. Kreisfrequenz( $\omega$ ): Ein Wert, der sich von der Erzeugung der Wechselspannung ableitet. Es gilt:  $\omega = 2\pi f$ .



4. Maximale Werte: Die maximale Spannung und Stromstärke sind die eigentlichen Größen die bei einer Wechselspannung gemessen werden. Bei der Sinuswechselspannung gibt es einen positiven und einen Negativen Maximalwert von Spannung und Stromstärke.

Zeichen:  $\hat{U}$  und  $\hat{I}$  [Sie treten bei T/4 auf. Sie sind die Effektivwerte durch  $\sqrt{2}$  ]

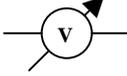
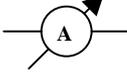
5. Effektive Werte: Als effektive Werte der Spannung und Stromstärke werden die mit dem Gleichstrom vergleichbaren Werte angegeben. Sie sind die messbaren Werte. Zeichen:  $U_{\text{eff}}$  und  $I_{\text{eff}}$  (Im folgenden wird von den Effektivwerten ausgegangen).

## Bauteillehre

Alle sich in einem Stromkreis befindlichen Geräte können als sogenannte Bauteile aufgefasst werden. Diese haben verschiedene Eigenschaften. Die benötigten Bauteile sollen hier kurz vorgestellt werden:

1. Der Widerstand (R):  Der ohmsche Widerstand ist das einfachste Bauteil der Elektrik. Der Widerstand eines Systems ist das Verhältnis der Spannung zwischen den beiden Enden des Systems zur Stromstärke (Ohmsches Gesetz:  $R = \frac{U}{I}$ ). Jeder Leiter besitzt einen Widerstand, der abhängig vom spezifischen Widerstand ( $\rho$ ) des Leiters, von der Länge und des Leiterquerschnitts ist ( $R = \frac{\rho l}{A}$ ). Der Widerstand eines Leiters ist temperaturabhängig. Die Einheit des Widerstandes ist Ohm ( $\Omega$ ). [Der Widerstand eines metallischen Leiters wächst mit steigender Temperatur, der eines halbleitenden Leiters sinkt. Supraleiter sind Stoffe die bei einer Temperatur nahe dem absoluten Nullpunkt ( $T \approx -273^\circ\text{C}$ ) annähernd keinen Widerstand mehr haben.]
2. Der Kondensator:  Ein Kondensator ist einfach gesagt ein Ladungsspeicher. Die Funktionsweise eines Kondensators lässt sich am einfachsten an der eines Plattenkondensators erklären. Lädt man einen Plattenkondensator auf so bildet sich zwischen den Platten ein elektrisches Feld mit einer Feldenergie. Diese stellt einen Potentialunterschied dar und macht es beim Entladen über einen Verbraucher möglich, dass ein Strom fließt. Als Kapazität eines Kondensators bezeichnet man die Fähigkeit des Bauteils Ladung zu speichern. Der Wert der Kapazität ist definiert als Ladung, welche der Kondensator bei einer gewissen Stromstärke aufnehmen kann. ( $C = \frac{Q}{U}$  oder  $C = \gamma A$ , Einheit: Farad (F)). [Die Kapazität eines Kondensators kann durch ein sog. Dielektrikum zwischen den Kondensatorflächen verändert werden.]

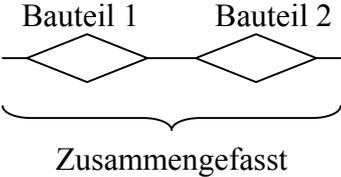
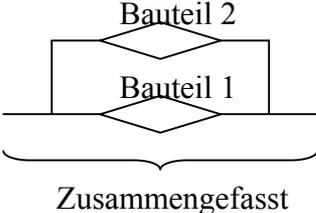
## Messgeräte

1. Das Voltmeter: Das Voltmeter dient zum Messen einer Spannung. Die Spannung muss in einem Stromkreis immer parallel zu eventuellen Verbrauchern gemessen werden. Viele Voltmeter können entweder Wechselspannungen oder Gleichspannungen messen. Beim Messen von Wechselspannungen wird der Effektivwert der Wechselspannung angezeigt. [Ein ideales Voltmeter hat einen unendlich hohen Widerstand, das ist aber technisch nicht realisierbar. Deshalb kommt es gerade beim Messen von kleinen Stromstärken zu Ungenauigkeiten.] 
2. Das Amperemeter: Das Amperemeter dient zum Messen der Stromstärke in einem Stromkreis. Sie messen im Wechselstromkreis ebenfalls nur die Effektivwerte. [Ein ideales Amperemeter hat keinen Widerstand]. 

## Zusammenfassung von Bauteilen

In einem Stromkreis kommen normalerweise nicht nur einzelne Bauteile vor. Um trotzdem mit Widerständen und Kapazitäten rechnen zu können, ist es möglich verschiedene Bauteile zu einem Zusammenzufassen. Für Kapazitäten und Ohmsche Widerstände gibt es verschiedene Rechenarten wie sie zusammengefasst werden können. Diese Zusammenfassungen gelten sowohl im Gleichstromkreis, und unter Berücksichtigung der Phase im Wechselstromkreis.

## Reihenschaltung vs. Parallelschaltung

| Reihenschaltung   | Parallelschaltung   |
|---|---|
|          |                                       |
| <i>Gesamtwiderstand(ohmsche Widerstände)</i>  |   |
| $R_{ges} = R_1 + R_2$ $\Rightarrow U_{ges} = R_1 + R_2$ $\Rightarrow I_{ges} = I_1 = I_2$ | $\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ $\Rightarrow U_{ges} = U_1 = U_2$ $\Rightarrow I_{ges} = I_1 + I_2$ |
| <i>Gesamtkapazität(Kondensatoren)</i>   |   |
| $\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$                                       | $C_{ges} = C_1 + C_2$   |

### Im Gleichstromkreis

Im Gleichstromkreis wirkt ein ohmscher Widerstand wie ein Widerstand. Ein Kondensator ist ein Bauteil mit einem unendlichem Widerstand. Allerdings lädt sich der Kondensator beim Anlegen einer Spannung auf. Ist die Stromstärke nicht durch einen ohmschen Widerstand begrenzt, so wird diese für eine sehr kurze Zeit ins Unendliche steigen. Ähnlich dem Aufladen entlädt sich ein Kondensator beim Wegnehmen einer Spannung. [Kombiniert mit einer Spule ist dieser Effekt für den Knall beim Ausschalten eines Verstärkers verantwortlich.]

### Im Wechselstromkreis

Im Wechselstromkreis wirkt der ohmsche Widerstand wie ein Widerstand. Strom und Spannung laufen in Phase.

Der Kondensator dagegen wirkt nicht als Unterbrechung. Betrachtet werden muss die Spannung und die Stromstärke am Kondensator. Da der Widerstand als Quotient aus Spannung und Stromstärke definiert wurde, kann man dem Kondensator einen sogenannten Wechselstromwiderstand zuordnen, der abhängig von der Kapazität des Kondensators und der Kreisfrequenz der angelegten Wechselspannung ist. Für den kapazitiven

Scheinwiderstand eines Bauteils gilt:  $X_c = \frac{1}{\omega C}$ . Allerdings gibt es wegen den

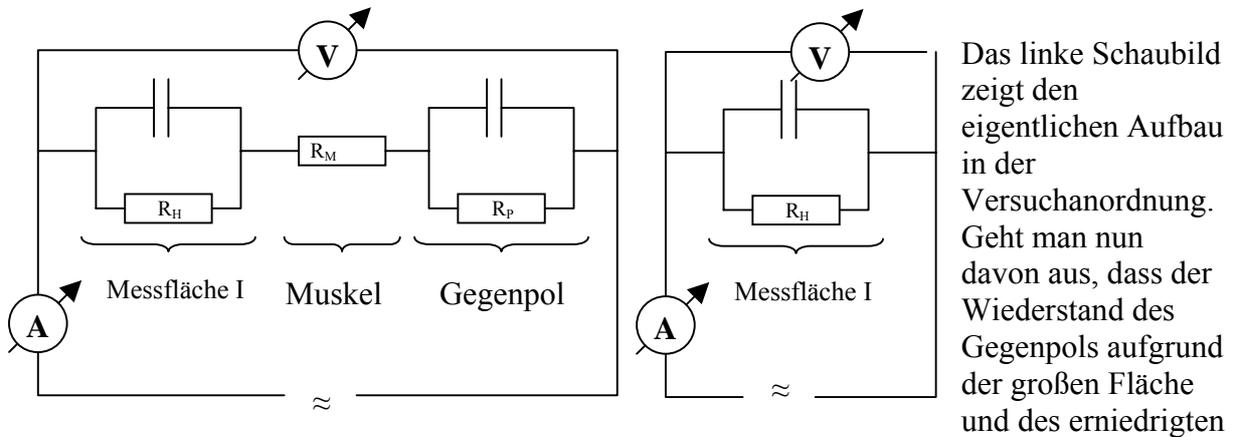
Aufladevorgängen des Kondensators eine Phasendifferenz von  $-\frac{\pi}{2}$ . Das heißt die Spannung läuft der Stromstärke um eine viertel Periode hinterher.

### Widerstand von Gewebe

Jedes Gewebe hat, abhängig von der Zusammensetzung, einen Widerstand. Nervenbahnen, gefolgt von Muskeln, haben im Vergleich zu anderen Geweben des Körpers den geringsten Widerstand. Der Widerstand der Haut ist relativ hoch. Mit einigen Vernachlässigungen lässt sich der spezifische Widerstand der Haut am lebenden Messen.

## Messung und Modellvorstellung

Zum Messen des Hautwiderstandes kann eine Versuchsanordnung wie im Praktikumbuch (S.145) verwendet werden. Stellen wir nur die rein elektrisch wichtigen Punkte der Versuchsanordnung in einem Schaltbild dar:



Widerstands durch die feuchte Mullbinde und der Widerstand des Muskels im Vergleich zum Widerstand der Messfläche verschwindend gering ist, können diese Widerstände einfach vernachlässigt werden. Anhand des zweiten Schaubilds können wir den spezifischen Widerstand der Haut errechnen.

Warum ein Kondensator? Der Muskel bildet mit den Platten der Elektroden eine Kapazität. Die Haut dazwischen wirkt einerseits als geringer parallel geschalteter Widerstand, andererseits als Dielektikum in diesem Kondensator. Es gilt:

$$\frac{1}{R_{ges}} = \sqrt{\left(\frac{1}{R_H}\right)^2 + \left(\frac{1}{1/(\omega C)}\right)^2} \Rightarrow R_{ges} = \frac{R_H}{\sqrt{1 + (R\omega C)^2}}$$

Für kleine Frequenzen oder Wechselstrom ist der Gesamtwiderstand der Haut also annähernd dem ohmschen Widerstand. Für große Frequenzen ergibt sich der Hautwiderstand aus  $(\omega C)^{-1}$ . Der Widerstand der Haut nimmt mit steigender Frequenz ab.

## Medizinische Verwendung der Impedanz(Scheinwiderstand)

- muss bei Ableitungen von Körperspannungen berücksichtigt werden(Bsp.: EKG)
- muss bei der Anwendung von Strom auf innere Organe reduziert werden (Bsp.: Defibrillation und Elektrodengel)
- da zum Teil abhängig von Nervenaktivität zur *Nervenfunktionsüberprüfung* und zum Auffinden verschiedener *Akupunkturpunkte* an der Haut.
- da abhängig zur Durchblutung und Schweißausschüttung u.a. als *Lügendetektor*
- da abhängig von den Geweben zur *Atemfrequenzmessung*, *Impedanz – Kardiographie* und mit Hilfe eines Computers als *Impedanz – Tomographie*

## Gefahren des Stroms

Die Gefahren des Stroms für den menschlichen Körper sind relativ groß. Sie hängen einerseits von der Stromstärke und der Spannung, andererseits von der Frequenz der Spannungen, deren Dauer und dem Weg durch den Körper ab. Die Gefahr steigt mit allen diesen Faktoren.

Bsp.:  $U = 65V$ ,  $f = 50Hz$ , von Hand zu Hand, bei kurzer Dauer:

Ab 1 mA: merklicher Reiz, ab 10 mA: Kontraktion der Armmuskulatur, ab 80 mA: Herzrhythmusstörungen, ab 90mA: Muskelverkrampfung, ab 100 mA: Kammerflimmern. Niederfrequente(bis ca.1kHz) Wechselströme sind besonders gefährlich, da sie die Reizweiterleitung der Nerven beeinflussen können. Sehr hochfrequente(ab.1GHz) Ströme werden meistens an der Oberfläche der Haut abgeleitet.