

# 1. Grundlagen der Gleichstromlehre

Seite

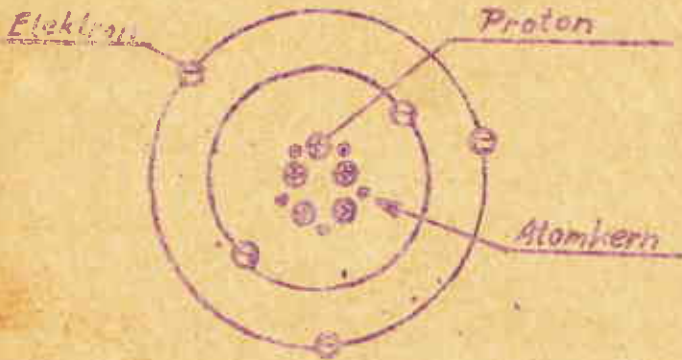
|              |                                                          |    |
|--------------|----------------------------------------------------------|----|
| <u>1.1</u>   | <u>Elektrische Ladung</u>                                | 2  |
| <u>1.11</u>  | <u>Elektronen</u>                                        | 2  |
| <u>1.12</u>  | <u>Maßeinheit der Ladung</u>                             | 2  |
| <u>1.13</u>  | <u>Eigenschaft der Ladung</u>                            | 3  |
| <u>1.2</u>   | <u>Strom, Widerstand, Spannung und ihr Zusammenhang</u>  | 3  |
| <u>1.21</u>  | <u>Der Strom</u>                                         | 3  |
| <u>1.211</u> | <u>Die Leitfähigkeit</u>                                 | 3  |
| <u>1.212</u> | <u>Stromrichtung</u>                                     | 4  |
| <u>1.213</u> | <u>Stromstärke und Maßeinheit</u>                        | 4  |
| <u>1.23</u>  | <u>Die Spannung</u>                                      | 5  |
| <u>1.231</u> | <u>Die Stromquelle</u>                                   | 5  |
| <u>1.232</u> | <u>Die Maßeinheit</u>                                    | 6  |
| <u>1.24</u>  | <u>Das Ohmsche Gesetz</u>                                | 6  |
| <u>1.241</u> | <u>Der Stromkreis</u>                                    | 6  |
| <u>1.242</u> | <u>Die Beziehungen zwischen I, R, und U</u>              | 6  |
| <u>1.3</u>   | <u>Widerstandseigenschaften und -Schaltungen</u>         | 7  |
| <u>1.31</u>  | <u>Der Leitwert</u>                                      | 7  |
| <u>1.32</u>  | <u>Der spezifische Widerstand und die Widerst-formel</u> | 7  |
| <u>1.33</u>  | <u>Temperaturabhängigkeit des Widerstandes</u>           | 8  |
| <u>1.34</u>  | <u>Die Reihenschaltung</u>                               | 9  |
| <u>1.35</u>  | <u>Die Parallelschaltung</u>                             | 10 |
| <u>1.4</u>   | <u>Die Kirchhoffschen Gesetze</u>                        | 10 |
| <u>1.41</u>  | <u>Das erste Kirchhoffsche Gesetz</u>                    | 10 |
| <u>1.42</u>  | <u>Das zweite Kirchhoffsche Gesetz</u>                   | 12 |
| <u>1.5</u>   | <u>Wirkungen des elektrischen Stromes</u>                | 13 |
| <u>1.51</u>  | <u>Wärmewirkung</u>                                      | 13 |
| <u>1.52</u>  | <u>Chemische Wirkung</u>                                 | 13 |
| <u>1.53</u>  | <u>Magnetische Wirkung</u>                               | 13 |
| <u>1.6</u>   | <u>Die Stromquelle</u>                                   | 14 |
| <u>1.61</u>  | <u>Der Innenwiderstand</u>                               | 14 |
| <u>1.62</u>  | <u>Schaltung von Spannungszellen</u>                     | 15 |
| <u>1.7</u>   | <u>Die Wheatstone - Brücke</u>                           | 17 |
| <u>1.8</u>   | <u>Elektrische Leistung und Arbeit</u>                   | 18 |
| <u>1.81</u>  | <u>Elektrische Leistung</u>                              | 18 |
| <u>1.82</u>  | <u>Elektrische Energie</u>                               | 18 |

## Einführung in die Elektrizitätslehre

### 1. Elektrische Ladungen

#### 1.1 Elektronen

Wir kennen ungefähr 100 Grundstoffe (Elemente). Alle anderen Stoffe sind verschiedenartige Verbindungen dieser Elemente. Der kleinste Teil eines Elements ist das Atom. Es besteht aus dem Atomkern und



den Elektronen, die den Kern umkreisen. Jedem Elektron haftet eine bestimmte Elektrizitätsmenge an (Elementarladung). Eine kleinere Elektrizitätsmenge als die Elementarladung gibt es nicht. Die elektrische Ladung eines Elektrons wird (willkürlich) mit "negativ" festgelegt.

Das Elektron besitzt eine negative elektrische Ladung

Nach außenhin erscheint ein Atom neutral. Das kommt dadurch zustande, daß jede Ladung eines Elektrons durch eine gleichgroße entgegengesetzte (positive) Ladung ausgeglichen wird. Diese "positive" Ladung befindet sich im Atomkern.

#### 1.2 Maßeinheit der Ladung

Befinden sich in einem Körper mehr Elektronen, als durch die positive Ladung der Atomkerne ausgeglichen werden können, so erscheint der Körper nach außenhin negativ geladen.

Negative Ladung = Elektronenüberschuß  
Positive Ladung = Elektronenmangel

Um Ladungen messen zu können, hat man eine Maßeinheit geschaffen. Da die Ladung eines Elektrons sehr klein ist, wurde eine bestimmte Zahl ( $6,3 \cdot 10^{18}$ ) von Elektronen als Grundeinheit gewählt. Diese Ladungseinheit führt die Bezeichnung "Coulomb".

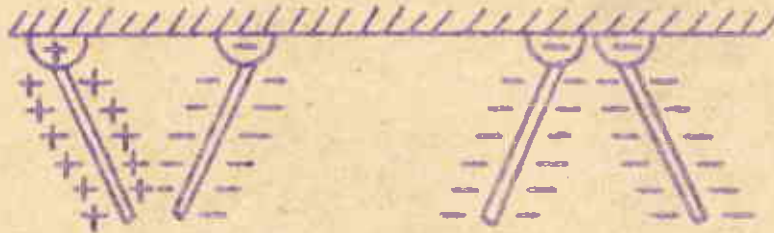
Die Maßeinheit der elektrischen Ladung ist ein Coulomb, Abkürzung: C

Als Formelzeichen verwenden wir den Buchstaben Q  
(Beispiel:  $Q = 3 \text{ C}$ )

### 1.13 Eigenschaft der Ladung

Besitzt ein Körper zuviel Elektronen, d.h. ist er negativ geladen, so versucht er, Elektronen abzugeben. Ein positiv geladener Körper dagegen versucht, Elektronen aufzunehmen. Zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Körpern besteht deshalb eine Anziehungskraft, wogegen sich zwei gleichartig geladene Körper gegenseitig abstoßen.

Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an.  
Gleiche Ladungen stoßen sich ab.



## 1.2 Strom, Widerstand, Spannung und ihr Zusammenhang

### 1.21 Der Strom

#### 1.211 Die Leitfähigkeit

Entgegengesetzt geladene Körper gleichen ihre Ladungen aus, wenn man sie über einen Leiter verbindet:



Die Elektronen können sich in einem Leiter leicht bewegen. Sie fließen von dem Körper mit Elektronenüberschuß zu dem Körper mit Elektronenmangel. Den Elektronenfluß bezeichnet man als "Strom".

Elektrischer Strom = Elektronenfluß

Beispiele für Leiter: Silber, Kupfer, Aluminium, andere Metalle und Legierungen, Säuren und Laugen.

Verbindet man die beiden Körper über einen Nichtleiter (Isolator), dann können keine Elektronen fließen.

Beispiel für Isolatoren: Luft, Paraffin, Porzellan, Glimmer, Kunststoffe.

## 1.212 Stromrichtung

Die "physikalische Stromrichtung" entspricht dem Elektronenfluß, d.h. die Elektronen fließen von dem negativen zum positiven Körper, also von Minus (-) nach Plus (+).

Im Gegensatz dazu legt man die "technische Stromrichtung" fest, nach der der Strom von + nach - fließt. Wir arbeiten ausschließlich mit der technischen Stromrichtung.

Der Strom fließt von + nach - .

## 1.213 Stromstärke und Maßeinheit

Die Stärke des Stromes hängt davon ab, welche Elektrizitätsmenge in einer bestimmten Zeit durch den Leiter fließt:

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

$Q$  = Formelzeichen für die Elektrizitätsmenge  
 $I$  = Formelzeichen für den Strom  
 $t$  = Formelzeichen für die Zeit

Als Maßeinheit für den Strom verwendet man die Bezeichnung Ampere (Abgekürzt A).

Die Stromstärke beträgt 1 A, wenn durch einen Leiter in 1 Sekunde die Elektrizitätsmenge 1 Coulomb fließt.

Formelzeichen für den Strom:  $I$  (Beispiel:  $I = 5 \text{ A}$ ).

Die Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb ist dann vorhanden, wenn 1 Sekunde lang ein Strom von 1 Ampere fließt. In der Technik ist deshalb statt Coulomb die Bezeichnung Amperesekunde (As) gebräuchlich.

## 1.22 Der Widerstand

Verbindet man zwei entgegengesetzt geladene Körper nacheinander mit verschiedenen Leitern, so stellt man fest, daß sich die Ladungen nicht gleichschnell ausgleichen. Je nach Art und Form des Leiters können die Elektronen besser oder schlechter fließen. Der Leiter setzt dem Elektronenfluß einen gewissen "Widerstand" entgegen.

Um die verschiedenen Widerstände miteinander vergleichen zu können, hat man einen Bezugswert geschaffen: Eine Quecksilbersäule von 106 cm Länge und 1 qmm Querschnitt hat bei einer Temperatur von  $0^\circ \text{C}$  den Widerstand 1 Ohm ( $\Omega$ ).

Der Widerstand von 1 Ohm ist durch eine Quecksilbersäule von 106 cm Länge und 1 qmm Querschnitt festgelegt.

Formelzeichen für den Widerstand:  $R$  (Beispiel:  $R = 5 \Omega$ )

Schaltzeichen des Widerstandes:

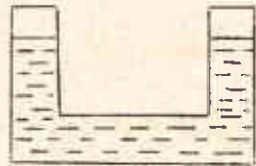


## 1.23 Die Spannung

### 1.231 Die Stromquelle

Wasser fließt nur, wenn ein Druck vorhanden ist.  
Strom fließt nur, wenn eine Spannung vorhanden ist.

kein Druck vorhanden

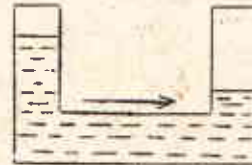


kein Strom



keine Spannung vorhanden

Druck vorhanden

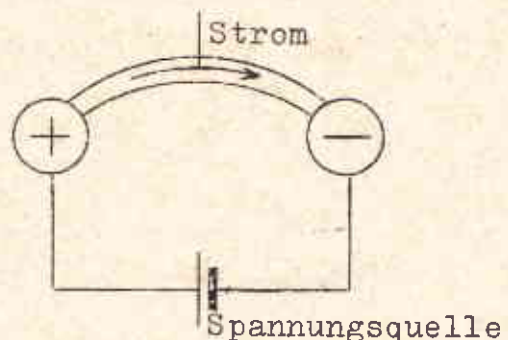
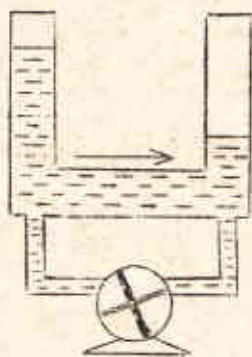


Strom



Spannung vorhanden

Zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Körpern besteht eine Spannung. Verbindet man die beiden Körper über einen Leiter, so gleichen sich die Ladungen schnell aus. Nach dem Ladungsausgleich ist keine Spannung mehr vorhanden. Es kann kein Strom mehr fließen. Um einen dauernden Stromfluß zu erzeugen, müssen also dauernd Elektronen nachgeliefert werden. Man braucht eine "elektrische Pumpe", die Stromquelle.



Jede Stromquelle hat zwei Pole (Klemmen), einen Plus- und einen Minus-Pol. Da die "Polarität" der beiden Klemmen immer gleich bleibt, spricht man von einer "Gleichstromquelle".

Schaltzeichen der Stromquelle:



Der längere Strich ist der positive Pol.

### 1.232 Die Maßeinheit

Gemessen wird die Spannung in Volt (V).

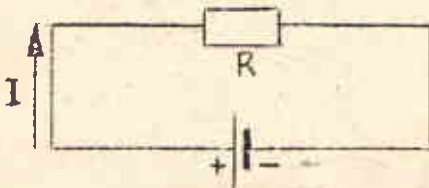
Die Spannung beträgt dann 1 V, wenn bei einem Widerstand von 1 Ohm ein Strom von 1 A fließt.

Formelzeichen für die Spannung: U (Beispiel: U = 4 V)

### 1.24 Das Ohmsche Gesetz

#### 1.241 Der Stromkreis

Schließt man an die beiden Klemmen einer Stromquelle einen gleichbleibenden Widerstand an, so fließt ein gleichbleibender Strom. Man spricht von einem "Stromkreis".



Der Strom ist an allen Stellen des Stromkreises gleich groß.

#### 1.242 Die Beziehung zwischen I, R und U

Strom (I), Widerstand (R) und Spannung (U) sind voneinander abhängig. Ändert man in einem Stromkreis eine der drei Größen, so ändert sich zugleich eine andere. Aber immer gilt die feste Beziehung:

$$U = R \times I$$

Diese Formel nennt man das Ohmsche Gesetz. (Ohm = deutscher Physiker 1798 - 1854).

Durch Umstellen dieser Formel ergeben sich zwei weitere Beziehungen:

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

### 1.3 Widerstandseigenschaften und -schaltungen

#### 1.31 Der Leitwert

Ein hoher Widerstand leitet den Strom schlecht. Sein "Leitwert" ist gering. Ein niedriger Widerstand dagegen hat einen hohen Leitwert. Der Leitwert steht also zum Widerstand im umgekehrten Verhältnis:

$$G = \frac{1}{R}$$

G = Symbol für den Leitwert

Die Maßeinheit des Leitwertes ist das Siemens (S).  
Ist z.B.  $R = 10\Omega$ , dann ist  $G = 0,1\text{ S}$ .

### 1.32 Der spezifische Widerstand und die Widerstandsformel

Der Widerstand ist abhängig:

- a) von der Art des Stoffes
  - b) von der Länge  $l$
  - c) von dem Querschnitt  $A$
- a) Um die Widerstandseigenschaften der verschiedenen Stoffe zahlenmäßig miteinander vergleichen zu können, hat man den Begriff des "spezifischen Widerstandes" geschaffen.

Als "spezifischen Widerstand" eines Stoffes bezeichnet man den Widerstand, den ein Draht von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt des betreffenden Stoffes bei einer Temperatur von  $20^\circ\text{C}$  aufweist.

Als Symbol für den spezifischen Widerstand verwendet man den griechischen Buchstaben  $\rho$  (sprich "rho").

- b) Vergrößert man die Länge eines Widerstandes auf das Doppelte, so verdoppelt sich auch der Widerstandswert.

Der Widerstand wächst mit seiner Länge

- c) Verdoppelt man den Querschnitt eines Widerstandes, so verringert sich der Widerstandswert auf die Hälfte.

Der Widerstand wird um so kleiner, je größer der Querschnitt wird.

Der Querschnitt steht zum Widerstand im umgekehrten Verhältnis. Fassen wir diese Erkenntnis formelmäßig zusammen, so ergibt sich:

$$R = \rho \frac{l \text{ (m)}}{A \text{ (qmm)}}$$

$\rho$  ist mit der Maßeinheit  $\frac{\Omega \text{ qmm}}{\text{m}}$  einzusetzen.

| Material   | spez.<br>Widerstand ( $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ ) | spez.<br>Leitwert ( $\text{S} \frac{\text{m}}{\text{mm}^2}$ ) |
|------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Silber     | 0,0165                                                        | 61,0                                                          |
| Kupfer     | 0,0178                                                        | 56,0                                                          |
| Gold       | 0,023                                                         | 43,5                                                          |
| Bronze II  | 0,02 .. 0,05                                                  | 50,0 .. 20,0                                                  |
| Aluminium  | 0,029                                                         | 34,5                                                          |
| Aldrey     | 0,033                                                         | 33,0                                                          |
| Wolfram    | 0,055                                                         | 18,00                                                         |
| Zink       | 0,062                                                         | 16,0                                                          |
| Messing    | 0,08                                                          | 12,5                                                          |
| Palladium  | 0,108                                                         | 9,3                                                           |
| Platin     | 0,11                                                          | 9,2                                                           |
| Zinn       | 0,12                                                          | 8,3                                                           |
| Stahl      | 0,13                                                          | 7,7                                                           |
| Tantal     | 0,16                                                          | 6,3                                                           |
| Blei       | 0,21                                                          | 4,8                                                           |
| Manganin   | 0,43                                                          | 2,3                                                           |
| Konstantan | 0,5                                                           | 2,0                                                           |

Man kann auch mit dem spezifischen Leitwert  $\kappa$  (sprich "Kappa")

rechnen.  $\kappa = \frac{1}{\rho}$  Dann ist  $R = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{1}{A} = \frac{1}{\kappa \cdot A}$

### 1.33 Temperaturabhängigkeit des Widerstandes

Die Wärme läßt sich physikalisch durch eine Bewegung der Moleküle erklären. Die Moleküle eines heißen Körpers sind in sehr starker Bewegung. Bei einem kalten Körper bewegen sich die Moleküle nur sehr wenig.

Die Elektronen können sich in einem Leiter um so leichter fortbewegen, je ruhiger die Moleküle sind. Daraus folgt:

Der Widerstand wird bei zunehmender Temperatur größer

(Ausnahmen!)

### 1.34 Die Reihenschaltung

Bei der Reihenschaltung (Serienschaltung) werden die Widerstände hintereinander (in Reihe, in Serie) geschaltet.



Einzelwiderstände



Gesamtwiderstand

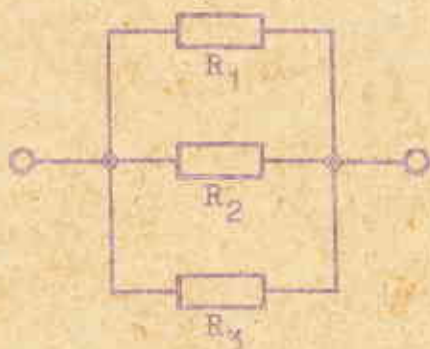
$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Bei der Reihenschaltung ist der Gesamtwiderstand gleich der Summe der Einzelwiderstände.

Der Gesamtwiderstand  $R_s$  muß immer größer sein als der größte Einzelwiderstand!

### 1.35 Die Parallelschaltung

Bei der Parallelschaltung liegen die Widerstände nebeneinander (parallel).



$$G_1 = \frac{1}{R_1}$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2}$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3}$$

$G_1$ ,  $G_2$  und  $G_3$  sind die Einzel-leitwerte



$$G_p = \frac{1}{R_p}$$

$G_p$  = Gesamt-leitwert

$$G_p = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

Bei der Parallelschaltung ist der Gesamtleitwert gleich der Summe der Einzeileitwerte.

Ausgedrückt in Widerständen ergibt die obige Formel:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Der Gesamtwiderstand  $R_p$  ist immer kleiner als der kleinste Einzelwiderstand!

Für eine Parallelschaltung von nur 2 Widerständen ergibt sich die Beziehung

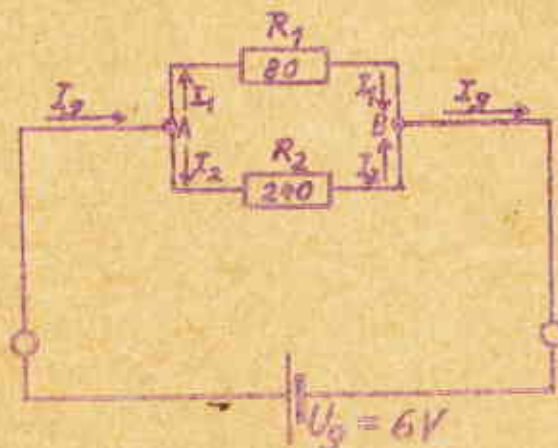
$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Sonderfall: Bei der Parallelschaltung von gleichgroßen Widerständen ist der Gesamtwiderstand gleich Einzelwiderstand geteilt durch die Anzahl der parallelgeschalteten Widerstände.

## 1.4 Die Kirchhoffschen Gesetze

### 1.4.1 Erstes Kirchhoffsches Gesetz

Bei der Parallelschaltung liegt an jedem Widerstand die gleiche Spannung.



Die Ströme in beiden Widerständen berechnen sich nach dem Ohmschen Gesetz:

Messungen an Widerständen

Messschaltung:

1. Änderung der Drahtlänge lUntersucht wird: Eisendraht, Durchmesser  $d = 0,2 \text{ mm}$ 

|                |     |     |     |
|----------------|-----|-----|-----|
| Länge (m)      | 0,5 | 1   | 3   |
| Verhältnis     | 1   | 2   | 6   |
| U (V)          | 1   | 1   | 3   |
| I (A)          | 0,4 | 0,2 | 0,2 |
| R ( $\Omega$ ) | 2,5 | 5   | 15  |
| Verhältnis     | 1   | 2   | 6   |

Ergebnis: Der Widerstand wächst im Verhältnis der Längen...

2. Änderung des Querschnittes AUntersucht wird: Eisendraht, Länge  $l = 1 \text{ m}$ 

|                     |        |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|
| A ( $\text{mm}^2$ ) | 0,0314 | 0,0628 | 0,1256 |
| Verhältnis          | 1      | 2      | 4      |
| U (V)               | 1      | 1      | 1      |
| I (A)               | 0,2    | 0,4    | 0,8    |
| R ( $\Omega$ )      | 5      | 2,5    | 1,25   |
| Verhältnis          | 4      | 2      | 1      |

Ergebnis: Der Widerstand wird im gleichen Verhältnis kleiner, wie der Querschnitt wächstWiderstandsformel

Die Versuchsergebnisse können in einer Formel ausgedrückt werden:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$I_1 = \frac{U_g}{R_1} = \frac{6V}{80\Omega} = 0,075 A = 75 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{U_g}{R_2} = \frac{6V}{240\Omega} = 0,025 A = 25 \text{ mA}$$

Der Gesamtstrom  $I_g$ , den die Stromquelle abgeben muß, berechnet sich ebenfalls nach dem Ohmschen Gesetz:

$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{80 \cdot 240}{80 + 240} = 60\Omega$$

$$I_g = \frac{U_g}{R_p} = 0,1 A = 100 \text{ mA}$$

Wir betrachten den Knotenpunkt A:

| <u>zufließende Ströme</u> | <u>abfließende Ströme</u> |
|---------------------------|---------------------------|
| $I_g = 100 \text{ mA}$    | $I_1 = 75 \text{ mA}$     |
|                           | $I_2 = 25 \text{ mA}$     |
|                           | <u>Summe: 100 mA</u>      |

Wir betrachten den Knotenpunkt B:

| <u>zufließende Ströme</u> | <u>abfließende Ströme</u> |
|---------------------------|---------------------------|
| $I_1 = 75 \text{ mA}$     | $I_g = 100 \text{ mA}$    |
| $I_2 = 25 \text{ mA}$     |                           |
| <u>Summe: 100 mA</u>      |                           |

### "1. Kirchhoffsches Gesetz"

In jedem Knotenpunkt (Verzweigungspunkt) ist die Summe aller zufließenden gleich der Summe aller abfließenden Ströme.

Da beide Widerstände an der gleichen Spannung liegen, fließt durch den kleineren Widerstand der größere Strom und durch den größeren Widerstand der kleinere Strom. Es verhält sich

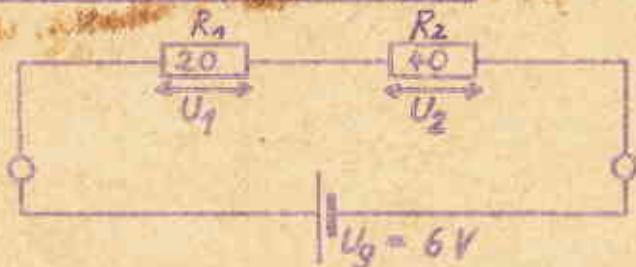
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Es muß also sein (bei unserem Beispiel):

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{75}{25} = 3 \text{ gleich } \frac{R_2}{R_1} = \frac{240}{80} = 3$$

Wir können die durch das Ohmsche Gesetz ermittelten Werte mit Hilfe des Kirchhoffschen Gesetzes überprüfen.

#### 1.42 Zweites Kirchhoffsches Gesetz



Bei der Reihenschaltung fließt durch jeden Widerstand der gleiche Strom.

Die Spannungsabfälle an den beiden Widerständen berechnen sich nach dem Ohmschen Gesetz:

$$R_S = R_1 + R_2 = 20 + 40 = 60 \Omega$$

$$I_g = \frac{U_g}{R_S} = \frac{6}{60} = 0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}$$

$$U_1 = I_g \cdot R_1 = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ V}$$

$$U_2 = I_g \cdot R_2 = 0,1 \cdot 40 = 4 \text{ V}$$

Wir stellen fest:

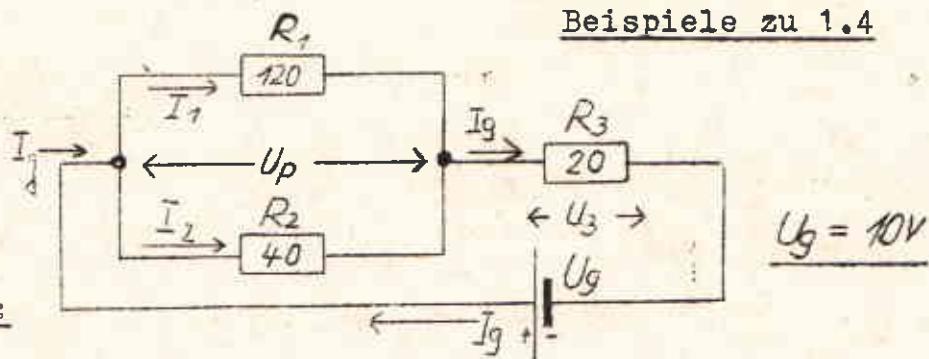
$$U_1 + U_2 = U_g$$

$$2\text{V} + 4\text{V} = 6\text{V}$$

#### "2. Kirchhoffsches Gesetz" (vereinfacht!)

In jedem geschlossenen Stromkreis ist die Summe der Spannungsabfälle gleich der Gesamtspannung.

Beispiele zu 1.4



Berechne:

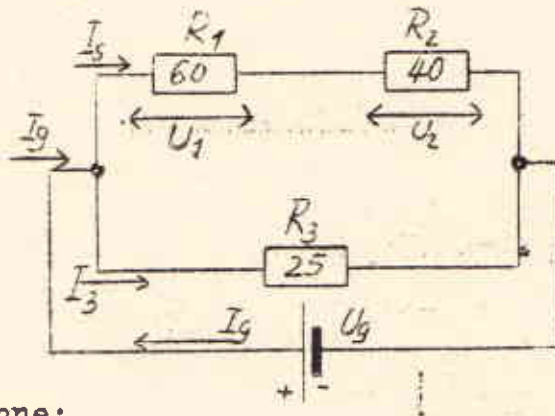
- 1.)  $R_p =$
- 2.)  $R_g =$
- 3.)  $I_g =$
- 4.)  $U_p =$
- 5.)  $U_3 =$
- 6.)  $I_1 =$
- 7.)  $I_2 =$

Überprüfe:

- 1.)  $U_p : U_3 = R_p : R_3 !$
- 2.)  $U_p + U_3 = U_g !$
- 3.)  $I_1 : I_2 = R_2 : R_1 !$
- 4.)  $I_1 + I_2 = I_g !$

-----  
Nebenrechnungen:

Beispiel zu 1.4



$U_g = 10 \text{ V}$

Berechne:

1.)  $R_s =$

2.)  $R_g =$

3.)  $I_g =$

4.)  $I_s =$

5.)  $I_3 =$

6.)  $U_1 =$

7.)  $U_2 =$

Überprüfe:

$I_s : I_3 = R_3 : R_s !$

$I_s + I_3 = I_g !$

$U_1 : U_2 = R_1 : R_2 !$

$U_1 + U_2 = U_g !$

Nebenrechnungen:

Da durch beide Widerstände der gleiche Strom fließt, entsteht an dem größeren Widerstand der größere Spannungsabfall und an dem kleineren Widerstand der kleinere Spannungsabfall. Es verhält sich:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Wir können die durch das Ohmsche Gesetz ermittelten Werte mit Hilfe des Kirchhoffschen Gesetzes überprüfen.

### 1.5 Wirkungen des elektrischen Stromes

Den elektrischen Strom können wir mit keinem unserer Sinne wahrnehmen. Nur durch seine Wirkungen wird er für uns erfaßbar. Die wichtigsten Wirkungen des elektrischen Stromes sind:

1. Wärmewirkung
2. Chemische Wirkung
3. Magnetische Wirkung

#### 1.51 Wärmewirkung:

Wird ein Widerstand vom Strom durchflossen, so erwärmt er sich. Bei sehr geringem Stromfluß tritt die Erwärmung nicht in Erscheinung (ist aber trotzdem vorhanden!).

Der Widerstand kann jedoch bei starkem Stromfluß sogar zum Glühen gebracht werden (Heizofen, Glühbirne). Wird die Stromstärke zu groß, dann schmilzt das Material des Widerstandes (Schmelzsicherungen).

#### 1.52 Chemische Wirkung:

Reines (destilliertes) Wasser leitet den Strom nicht. Taucht man aber die beiden Pole einer Stromquelle in eine Salzlösung, so kann man beobachten, daß ein Stromfluß zustande kommt. Stromleitend sind außer Salzlösungen auch wässrige Lösungen von Säuren und Basen. Da diese flüssigen Leiter (Elektrolyte genannt) bei Stromdurchfluß eine chemische Veränderung erfahren, werden sie als "Leiter zweiter Klasse" bezeichnet.

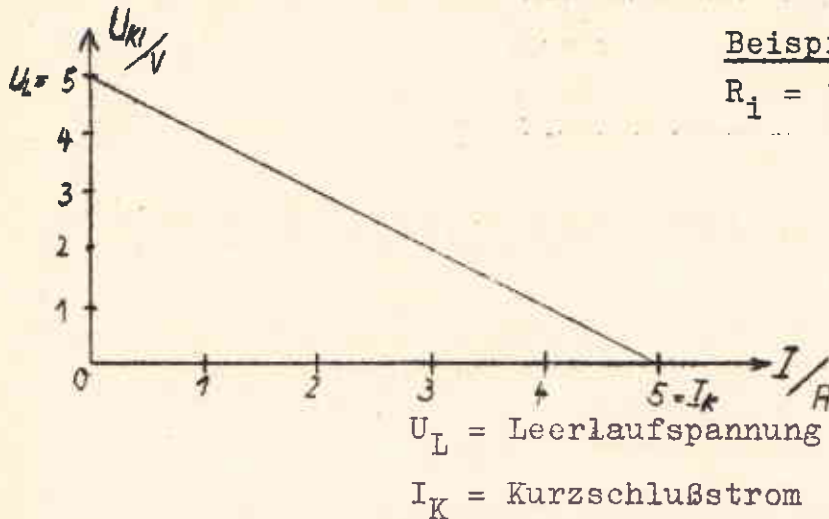
#### 1.53 Magnetische Wirkung:

Jeder Strom hat ein magnetisches Feld zur Folge. Auf die genauere Beschreibung wird später eingegangen.

## 1.6 Die Stromquelle

### 1.61 Der Innenwiderstand

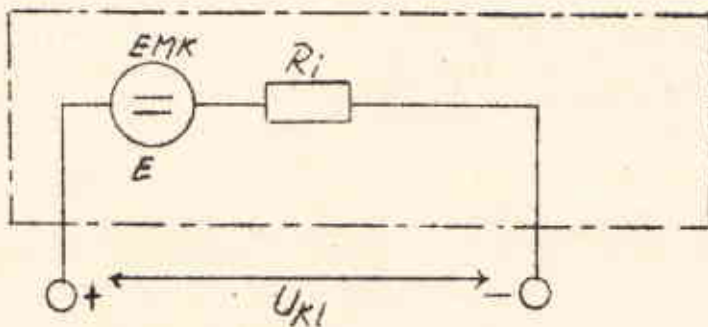
Wird eine Stromquelle durch einen Widerstand belastet, dann fließt ein Strom. Verkleinert man den Widerstand, so wird der Strom größer. Die "Klemmenspannung"  $U_{kl}$  (an den Klemmen der Stromquelle) ändert sich aber auch. Sie weist bei Leerlauf der Stromquelle ihren höchsten Wert auf und sinkt bis auf den Wert 0 bei Kurzschluß der beiden Klemmen:



Beispiel

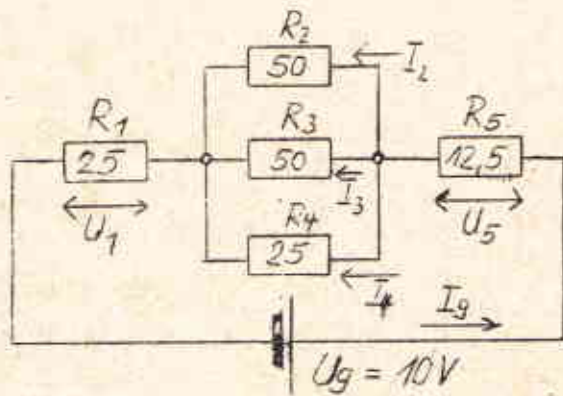
$$R_i = 1 \text{ Ohm} \quad (R_i = \frac{U_L}{I_K})$$

Diesem Verhalten entsprechend, sieht das Ersatzschaltbild einer Stromquelle folgendermaßen aus:



Die Stromquelle hat einen Innenwiderstand! Die Klemmenspannung  $U_{kl}$  ist also nicht gleich der EMK  $E$ , sondern um den inneren Spannungsabfall kleiner.

$$U_{kl} = E - U_i$$



Zu berechnen sind:

1. Gesamtwiderstand  $R_g$
2. Gesamtstrom  $I_g$
3. Spannungsabfälle  $U_1, U_p, U_5$
4. Teilströme  $I_2, I_3$  und  $I_4$

$$R_p = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{1}{\frac{1}{50\Omega} + \frac{1}{50\Omega} + \frac{1}{25\Omega}} = \frac{1 \cdot 50}{4} = \underline{\underline{12,5\Omega}}$$

$$R_g = R_1 + R_p + R_5 = 25\Omega + 12,5\Omega + 12,5\Omega = \underline{\underline{50\Omega}}$$

$$U_1 = R_1 \cdot I_g = 25\Omega \cdot 0,2A = \underline{\underline{5V}}$$

$$U_p = R_p \cdot I_g = 12,5\Omega \cdot 0,2A = \underline{\underline{2,5V}}$$

$$U_5 = R_5 \cdot I_g = 12,5\Omega \cdot 0,2A = \underline{\underline{2,5V}}$$

$$U_1 + U_p + U_5 = U_g \quad 5V + 2,5V + 2,5V = \underline{\underline{10V}}$$

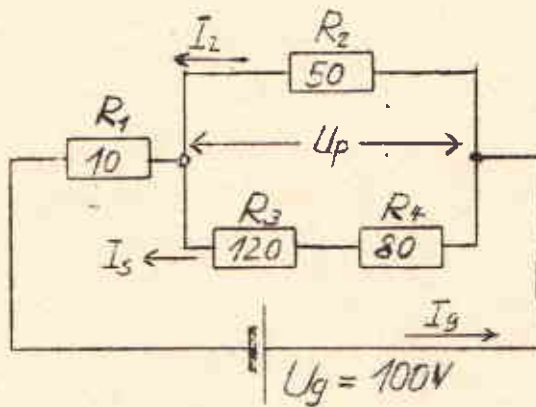
$$I_2 = \frac{U_p}{R_2} = \frac{2,5V}{50\Omega} = \underline{\underline{0,05A}}$$

$$I_3 = \frac{U_p}{R_3} = \frac{2,5V}{50\Omega} = \underline{\underline{0,05A}}$$

$$I_4 = \frac{U_p}{R_4} = \frac{2,5V}{25\Omega} = \underline{\underline{0,1A}}$$

$$I_2 + I_3 + I_4 = I_g$$

$$0,05A + 0,05A + 0,1A = \underline{\underline{0,2A}}$$



Zu berechnen sind:

1. Gesamtwiderstand  $R_g$
2. Gesamtstrom  $I_g$
3. Parallelspannung  $U_p$
4. Teilströme  $I_2$  und  $I_s$
5. Spannungsabfälle  $U_3$  u.  $U_4$

$$R_3 = R_3 + R_4 = 120\Omega + 80\Omega = \underline{200\Omega}$$

$$R_P = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{50\Omega \cdot 200\Omega}{250\Omega} = \underline{40\Omega}$$

$$R_g = R_1 + R_P = 10\Omega + 40\Omega = \underline{50\Omega}$$

$$I_g = \frac{U_g}{R_g} = \frac{100V}{50\Omega} = \underline{2A}$$

$$U_P = R_P \cdot I_g = 40\Omega \cdot 2A = \underline{80V}$$

$$I_2 = \frac{U_P}{R_2} = \frac{80V}{50\Omega} = \underline{1,6A}$$

$$I_s = \frac{U_P}{R_3} = \frac{80V}{200\Omega} = \underline{0,4A}$$

$$U_3 = R_3 \cdot I_s = 120\Omega \cdot 0,4A = \underline{48,0V}$$

$$U_4 = I_s \cdot R_4 = 0,4A \cdot 80\Omega = \underline{32V}$$

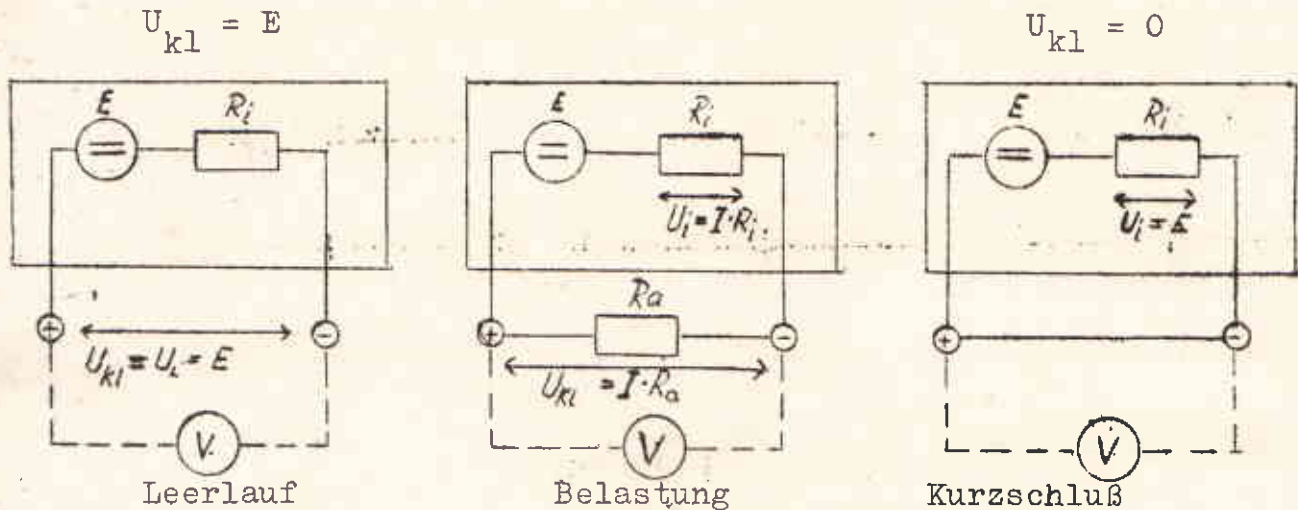
$$U_2 = I_2 \cdot R_2 = 1,6A \cdot 50\Omega = \underline{80V}$$

$$I_2 + I_s = I_g$$

$$1,6A + 0,4A = \underline{2A}$$

$$U_3 + U_4 + U_1 = \cancel{48,0V} + U_1$$

$$48V + 32V + 20V = \underline{100V}$$

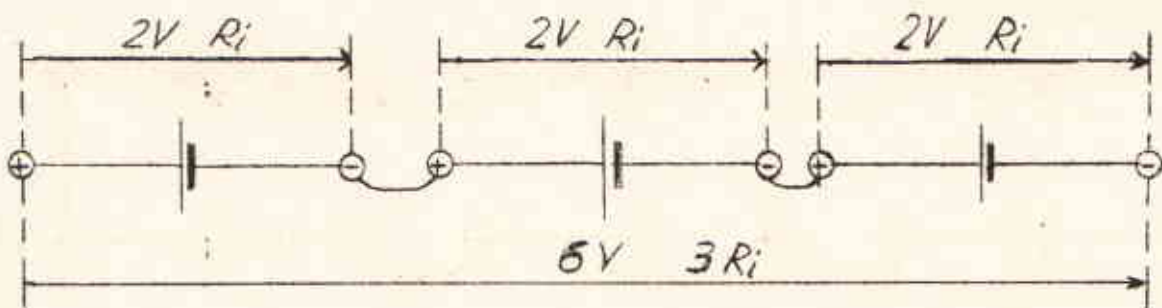


Bei Leerlauf ist die Klemmenspannung gleich der EMK. Bei Kurzschluß hat die Klemmenspannung den Wert 0. Zwischen beiden Extremfällen stellt sich jeweils die Spannung ein, die sich aus der Spannungsteilung der EMK durch  $R_a$  und  $R_i$  ergibt.

Ist der Außenwiderstand  $R_a$  groß gegenüber dem Innenwiderstand  $R_i$ , dann ist die Klemmenspannung ungefähr gleich der Leerlaufspannung

### 1.62 Schaltungen von Spannungszellen

#### a) Reihenschaltung

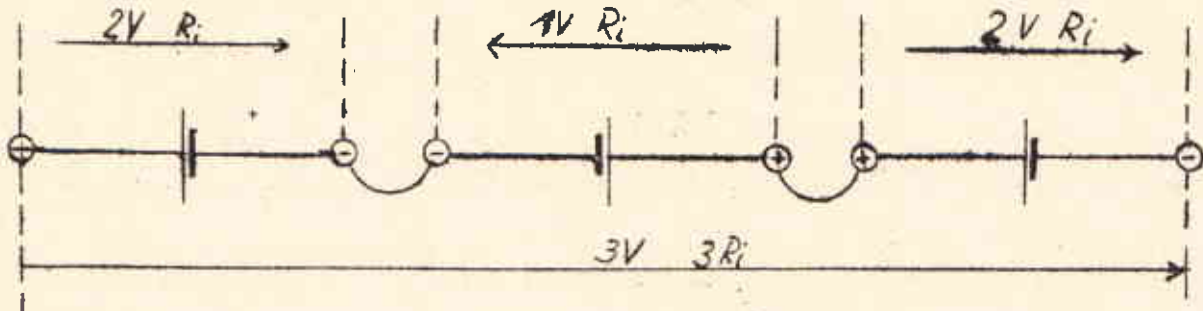


$$E_{\text{ges}} = E_1 + E_2 + E_3 \dots$$

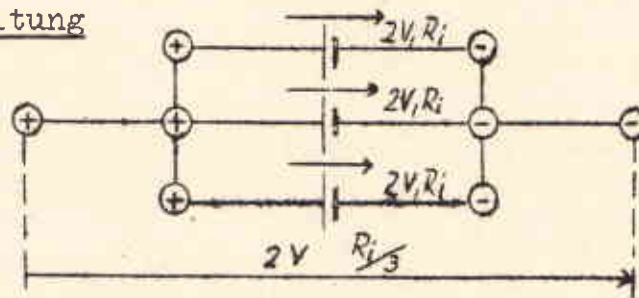
$$R_{\text{iges}} = R_{i1} + R_{i2} + R_{i3} \dots$$

Bei der Reihenschaltung summieren sich die Einzelspannungen. Der Innenwiderstand wird größer. Man erreicht Spannungserhöhung

Eine nur in Sonderfällen angewandte Form der Reihenschaltung ist die "Gegenzelle":



b) Parallelschaltung



Voraussetzung:

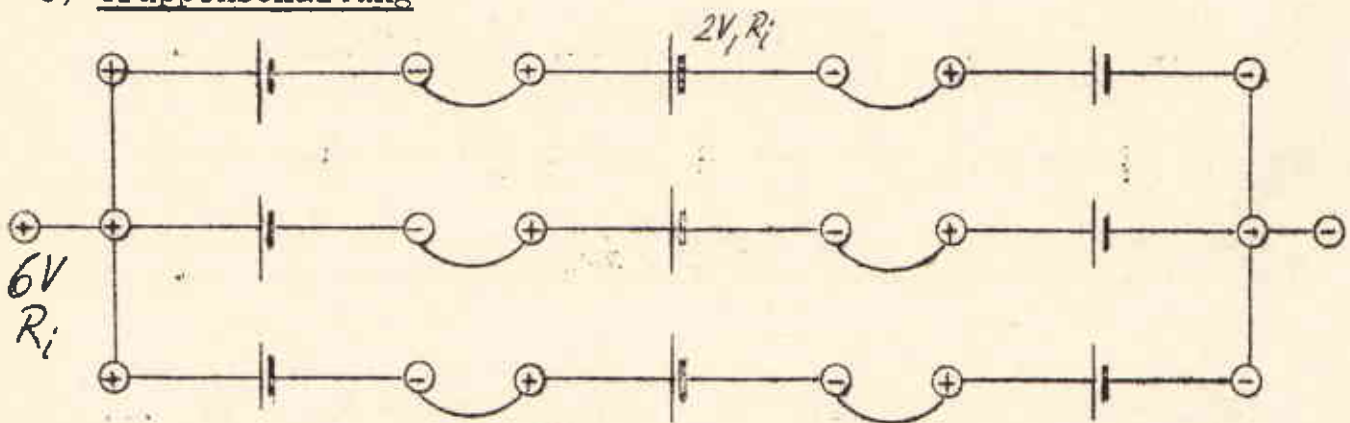
$$E_1 = E_2 = E_3 = E$$

$$E_{ges} = E$$

$$R_{iges} = \frac{1}{\frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_{i3}}}$$

Bei der Parallelschaltung ist die Gesamtspannung gleich der Spannung einer einzelnen Zelle. Der Innenwiderstand wird kleiner! Dadurch kann die Batterie stärker belastet werden. Man erreicht Stromerhöhung.

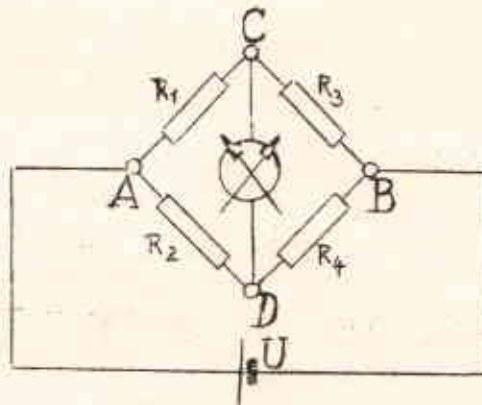
c) Gruppenschaltung



Die Gruppenschaltung ist eine Kombination aus Reihen- und Parallelschaltung und wird nach den gleichen Gesetzen behandelt.

## 1.7 Die Wheatstone-Brücke

Die Wheatstone-Brücke ist eine weitverbreitete Meßschaltung:



Zwischen den Brückenpunkten A und B liegt die Spannung U. Im oberen Brückenzweig wird die Spannung U im Verhältnis  $R_1 : R_3$  geteilt, im unteren Brückenzweig im Verhältnis  $R_2 : R_4$ . Wird die Spannung U oben und unten im gleichen Verhältnis geteilt (z.B. halbiert), dann besteht zwischen den Punkten C und D kein Spannungsunterschied. Der eingeschaltete Strommesser zeigt keinen Ausschlag. Die Bedingung für diesen Sonderfall, den man als "Abgleich" bezeichnet, ist also

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

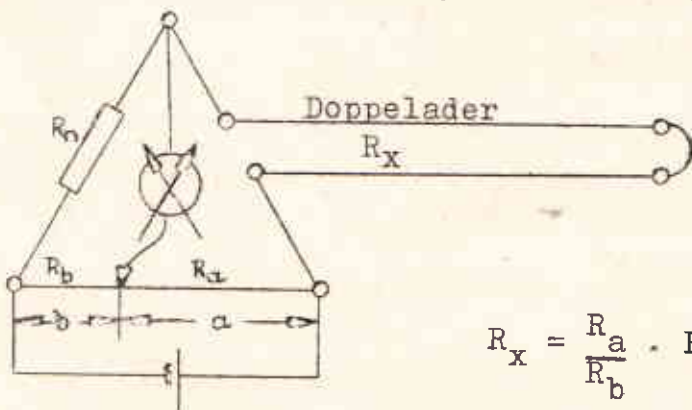
umgeformt:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

Bei einer abgeglichenen Brückenschaltung ergibt eine Multiplikation der gegenüberliegenden Widerstände das gleiche Ergebnis.

### Anwendungsbeispiel:

Messen von Widerständen, z.B. einer Doppelader



$R_x$  ... unbekannter Widerstand der Schleife  
 $R_n$  ... Normalwiderstand  
 $\frac{a}{b}$  ... Verhältnis der Schleifdrahtlängen

$$R_x = \frac{R_a}{R_b} \cdot R_n = \frac{a}{b} \cdot R_n$$

## 1.8 Elektrische Leistung und Arbeit

### 1.81 Elektrische Leistung

In der Mechanik wird die Leistung in PS (Pferdestärken) oder mhp/s angegeben. In der Elektrotechnik messen wir die Leistung in "Watt" (W). Sie berechnet sich aus der Spannung und dem Strom. Als Symbol dient der Buchstabe P.

$$P = U \cdot I$$

Die Leistung ist das Produkt aus Spannung und Strom

Für die Spannung U bzw. den Strom I können wir die Ausdrücke des Ohmschen Gesetzes einführen. Damit ergibt sich

weil  $U = I \cdot R$ ,  $P = I^2 \cdot R$  oder, weil  $I = \frac{U}{R}$ ,  $P = \frac{U^2}{R}$

Entsprechend den bekannten Werten ist die jeweilige Formel anzuwenden. Wenn es sich um größere Leistungen handelt, rechnet man mit Kilowatt (kW). 1 kW = 1000 Watt. Um Berechnungsfehler zu vermeiden ist in der Formel die Leistung in W anzugeben.

Die elektrische Leistung (in W angeben), kann in mechanische umgerechnet werden und umgekehrt:

$$1 \text{ PS} = 736 \text{ W}$$

### 1.82 Elektrische Energie

Um aus der mechanischen Leistung die Arbeit zu berechnen, muß man die Leistung mit der Zeit multiplizieren. Das gleiche geschieht mit der elektrischen Leistung.

$$\text{Die Arbeit (Energie) } A = P \cdot t$$

Arbeit ist das Produkt aus Leistung und Zeit

Die Maßeinheit ergibt sich durch Multiplikation.

Bei einer Leistung von 1 W in 1 s beträgt die Arbeit 1 Ws

Bei einer Leistung von 1 kW in 1 h beträgt die Arbeit 1 kWh

1 Ws = eine Wattsekunde

1 kWh = eine Kilowattstunde

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$\text{also ist: } 1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ Ws}$$

Die elektrische Arbeit ist eine Energieform. Sie läßt sich in andere Energieformen umrechnen. Z.B.

Elektrische Energie    1 Ws = 0,102 mhp (mechanische Energie)  
                             1 kWh = 860 kcal (Wärmeenergie)

## 2. MAGNETISCHE FELDERSCHEINUNGEN

| <u>2.1 Magnetismus</u>                          | Seite |
|-------------------------------------------------|-------|
| 2.11 Begriff des Magnetismus                    | 2     |
| 2.12 Molekularmagnete                           | 2     |
| 2.13 Magnetische Felder                         | 3     |
| 2.14 Remanenz - Sättigung                       | 5     |
| 2.15 Magnetische Leitfähigkeit                  | 5     |
| <br><u>2.2 Elektromagnetismus</u>               |       |
| 2.21 Magnetisches Feld des elektrischen Stromes | 6     |
| 2.22 Magnetfeld einer Spule                     | 7     |
| 2.23 Amperewindungszahl                         | 8     |
| 2.24 Magnetisierungskurve des Eisens            | 9     |
| 2.25 Relais                                     | 10    |
| 2.251 Neutrales Relais                          | 10    |
| 2.252 Relaiszeitwerte                           | 12    |
| 2.253 Wagnerscher Hammer                        | 14    |
| 2.254 Polarisiertes Relais                      | 14    |
| 2.26 Fernhörer                                  | 15    |
| <br><u>2.3 Elektromagn. Induktion</u>           |       |
| 2.31 Bewegungsspannung                          | 15    |
| 2.311 Bewegungsspannung als physik. Erscheinung | 15    |
| 2.312 Wechsel- und Gleichstromgenerator         | 18    |
| 2.32 Elektromotore                              | 20    |
| 2.321 Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld  | 20    |
| 2.322 Gleichstrommotor                          | 21    |
| 2.323 Wechselstrommotor                         | 24    |
| 2.33 Transformationsspannung                    | 25    |
| 2.34 Windungsfluß                               | 27    |
| 2.35 Induktivität                               | 28    |
| 2.351 Selbstinduktion                           | 28    |
| 2.352 Abhängigkeit                              | 29    |
| 2.353 Induktivität im Gleichstromkreis          | 29    |
| 2.354 Reihen- und Parallelschaltung             | 32    |
| 2.36 Wirbelströme                               | 32    |
| 2.37 Transformator                              | 33    |
| 2.38 Induktion in der Praxis                    | 34    |
| 2.381 Hochstromtransformator                    | 34    |
| 2.382 Hochspannungstransformator                | 35    |
| 2.383 Kurbelinduktor                            | 35    |
| 2.384 Induktion auf Fernmeldeleitungen          | 36    |

## .1 Magnetismus

### .11 Begriff des Magnetismus

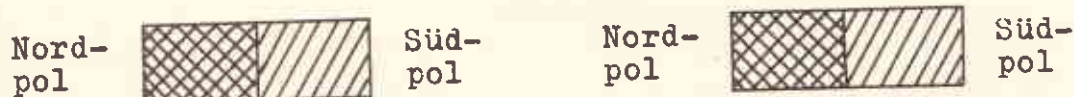
Schon vor ungefähr 2500 Jahren fand man bei der kleinasiatischen Stadt Magnesia ein Eisenerz, das andere Eisenstücke anzog. Man nannte das Eisenerz "Magnet" und die Erscheinung "Magnetismus". Heute wissen wir, daß es sich bei den damaligen Funden um Magnet Eisenstein ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) gehandelt hat. Die anziehende Wirkung ist an zwei Punkten des Magneten am stärksten. Diese Punkte nennt man die "Pole".

Hängt man einen Stabmagneten an einem Faden waagrecht auf, so dreht er sich und bleibt in Nord-Süd-Richtung stehen. Den Pol, der nach Norden zeigt, nennen wir Nordpol, den anderen Südpol. Der Nordpol wird auch als positiver, der Südpol als negativer Pol bezeichnet. In der Mitte zwischen den beiden Polen liegt die neutrale Zone. Durch Annäherung eines zweiten Magneten stellen wir fest:

Gleichnamige Pole stoßen sich ab,  
ungleichnamige Pole ziehen sich an.

### 2.12 Molekularmagnete

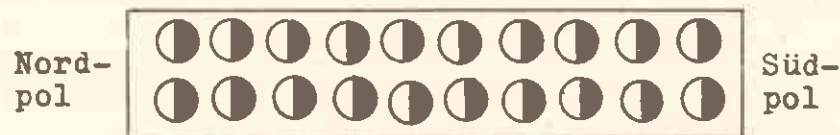
Sägt man einen Stabmagneten in der Mitte auseinander, so erhält man zwei Stäbe, von denen jeder die Eigenschaften eines Stabmagneten aufweist:



Diese Teilung kann man beliebig oft fortsetzen. Demnach bildet jedes kleinste Eisenteilchen, das Molekül, einen Magneten (Molekularmagnet). In einem unmagnetischen Stahlstab liegen die Molekularmagnete so durcheinander, daß sich ihre Wirkung nach außen hin aufhebt:



Bei einem Dauermagneten sind die Molekularmagnete alle nach einer Richtung ausgerichtet:



## 2.13 Magnetische Felder

In der Umgebung eines Magneten sind magnetische Kräfte vorhanden (nachweisbar durch Eisenpulver).

Der Raum, in dem magnetische Kräfte auftreten, heißt "magnetisches Feld".

Zur Darstellung magnetischer Kräfte verwendet man Kraftlinien. Eine Kraftlinie bezeichnet eine festgelegte (sehr geringe) Kraft. Je mehr Kraftlinien vorhanden sind, d.h. je dichter die Kraftlinien verlaufen, um so größer ist die magnetische Kraft.

Eine magnetische Kraft wird durch die Kraftliniendichte angegeben!

Formelzeichen der Kraftliniendichte:  $B$

x)

Um auszudrücken, wie dicht die Kraftlinien an einem bestimmten Punkt im Raume verlaufen, muß man angeben, wieviel Kraftlinien die Fläche von  $1 \text{ cm}^2$  senkrecht durchsetzen.

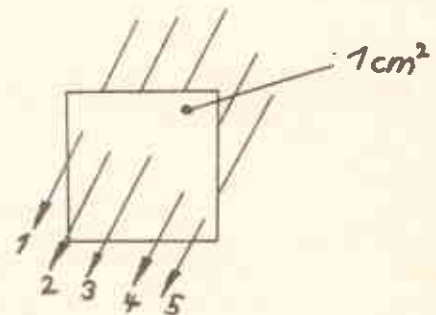
Kraftliniendichte = Anzahl der Kraftlinien pro  $\text{cm}^2$

Die Maßeinheit ist das Gauß.

$B = 1$  Gauß, wenn auf die Fläche von  $1 \text{ qcm}$  eine Kraftlinie senkrecht entfällt.

Beispiel:

$B = 5$  Gauß



Laufen die Kraftlinien alle im gleichen Abstand und außerdem auch parallel zueinander, so spricht man von einem "homogenen" Feld.

x) Für die Kraftliniendichte sind in der Fachliteratur auch folgende Bezeichnungen geläufig: Kraftflußdichte, Feldliniendichte, Magnetische Induktion.

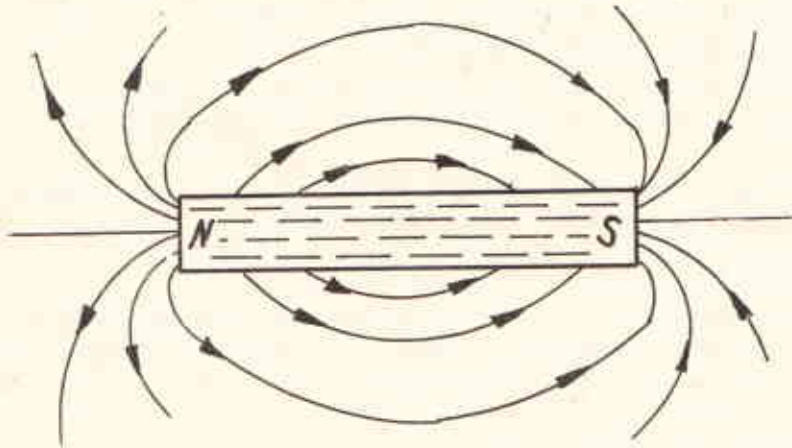
Über die Richtung der magnetischen Kraftlinien wurde vereinbart:

Die Kraftlinien treten am Nordpol eines Magneten aus und am Südpol wieder ein.

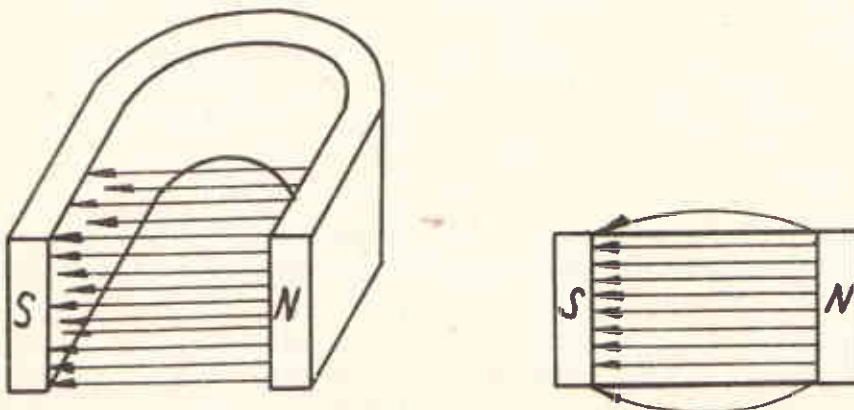
Durch die Beobachtungen von verschiedenen Magnetfeldern lassen sich folgende allgemeingültige Regeln aufstellen:

1. Magnetische Kraftlinien liegen nicht nur in einer Ebene, sondern erfüllen den ganzen Raum um den Magneten.
2. Magnetische Kraftlinien sind immer geschlossene Linien. (Man spricht vom "Magnetischen Kreis")
3. Magnetische Kraftlinien verlaufen immer so, daß sie sich gegenseitig weder berühren noch schneiden.
4. An den beiden Polen ist die Kraftliniendichte am größten.

Magnetisches Feld eines Stabmagneten:



Magnetisches Feld eines Hufeisenmagneten:



## 2.14 Remanenz, Sättigung

Bringt man eine Magnetnadel in ein magnetisches Feld, so richtet sie sich aus; und zwar so, daß die Kraftlinien an ihrem Südpol eintreten und an ihrem Nordpol wieder austreten.



Bringt man unmagnetisches Eisen in ein magnetisches Feld, beginnen die Molekularmagnete unter der Einwirkung der magnetischen Kräfte, die durch die Kraftlinien dargestellt werden, sich auszurichten. Dadurch wird das Eisen magnetisch. Diesen Vorgang nennt man magnetische Influenz.

Wieviele der vorhandenen Molekularmagnete sich dabei ausrichten, hängt ganz von der Größe der vorhandenen magnetischen Kräfte und deren Dichte ( $B$ ) ab, also von der magnetischen Feldstärke.

Bei sehr hoher Feldstärke werden nahezu alle Molekularmagnete ausgerichtet. Sind alle ausgerichtet, dann können keine Molekularmagnete mehr zusätzlich ausgerichtet werden. Diesen Zustand nennt man Sättigung.

Bei Sättigung sind alle Molekularmagnete ausgerichtet!

Nimmt man das Eisen wieder aus dem Magnetfeld heraus, dann gehen die Molekularmagnete wieder in ihre Ausgangsstellung zurück. Lediglich einige wenige bleiben in der neuen, ausgerichteten Lage. Das Eisen weist dadurch einen Restmagnetismus auf, den man als Remanenz bezeichnet.

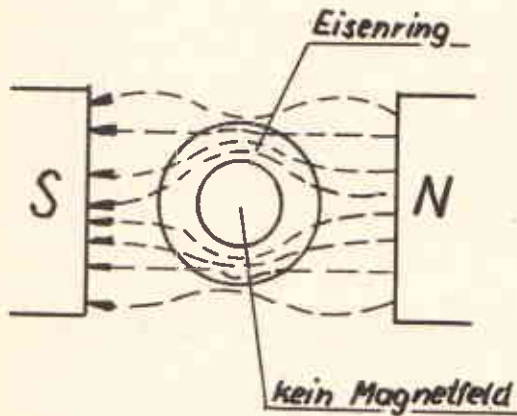
Bei Stahl (jedes ohne Nachbehandlung schmiedbare Eisen mit einem Kohlenstoffgehalt unter 1,7 %) bleiben annähernd alle Molekularmagnete ausgerichtet. Man spricht dann von Dauermagneten oder permanenten Magneten.

Will man wieder ein neutrales Eisen, muß man kurzzeitig entgegengesetzt magnetisieren, erhitzen oder erschüttern. Die Kraft, die notwendig ist, um die Remanenz zu beseitigen, heißt Koerzitivkraft.

## 2.15 Magnetische Leitfähigkeit

Nicht in allen Stoffen kann sich das magnetische Feld gleich gut entfalten. Jeder Stoff, jedes Material setzt dem Magnetismus einen Widerstand, den magnetischen Widerstand  $R_M$  entgegen.

Ein Maß dafür, wie gut oder schlecht ein Material den Magnetismus leitet, ist die magnetische Leitfähigkeit oder Permeabilität. Sie wird bezeichnet mit dem griechischen Buchstaben  $\mu$  (sprich Mü). Für Luft ist  $\mu = 1$ . Die Leitfähigkeit anderer Stoffe wird darauf bezogen. Für Eisen ist je nach Zusammensetzung  $\mu$  bis zu 100 000, d.h. Eisen leitet den Magnetismus 100 000 mal besser als Luft.



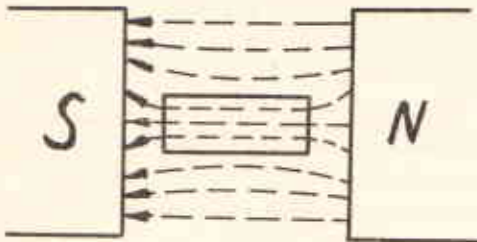
Alle Stoffe, die den Magnetismus so sehr viel besser leiten als Luft, heißen ferromagnetisch.

Zu ihnen gehören z.B. Eisen, Kobalt und Nickel.

Durch die sehr gute magnetische Leitfähigkeit des Eisens kann man es als Abschirmung gegen Magnetfelder verwenden.

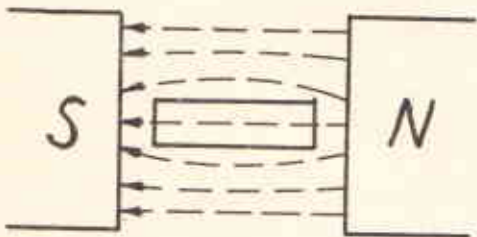
Im Innern einer Eisenabschirmung tritt kein Magnetfeld auf!

Durch die Sättigung des Eisens ist es bedingt, daß die Leitfähigkeit des Eisens nicht immer gleich gut ist. Gesättigtes Eisen hat eine sehr sehr schlechte Leitfähigkeit. Der Wert  $\mu$  ist also bei Eisen (und allen anderen ferromagnetischen Stoffen) veränderlich!



Alle Stoffe, die den Magnetismus weniger gut leiten als Eisen, aber immerhin noch besser als Luft, heißen paramagnetisch.

Der Weg durch diesen Stoff wird von den Kraftlinien deshalb immer noch bevorzugt gegenüber Luft.

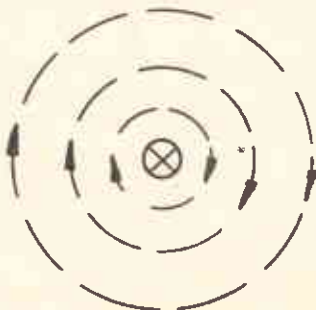


Schließlich gibt es noch Stoffe, die den Magnetismus nicht so gut leiten wie Luft, bei denen  $\mu$  also kleiner ist als Luft. Diese Stoffe heißen diamagnetisch. Sie werden von den Kraftlinien gemieden.

## 2.2 Elektromagnetismus

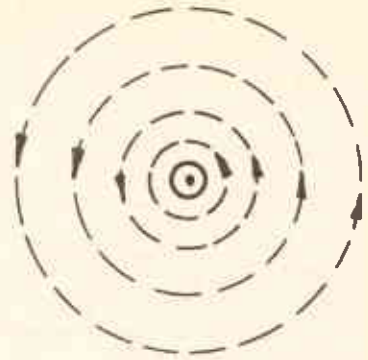
### 2.21 Magnetisches Feld des elektrischen Stromes

Wie sich durch einen Versuch nachweisen läßt, erzeugen fließende Elektronen ein Magnetfeld. Fließt Strom durch einen geraden Leiter, so bildet sich um den Leiter das im Bild dargestellte Magnetfeld (nachweisbar durch Eisenpulver). Die Richtung der Kraftlinien kann mit Magnetonadeln ermittelt werden.



Ein elektrischer Strom erzeugt immer ein Magnetfeld.

Das Zeichen  $\otimes$  bedeutet, daß der Strom in die Zeichenebene hineinfließt. Wollen wir einen Strom darstellen, der aus der Zeichenebene herausfließt, so wird das durch einen Punkt gekennzeichnet:  $\odot$



Durch das Umkehren der Stromrichtung hat sich auch die Richtung der Kraftlinien geändert. Um die Richtung des Feldes zu ermitteln, wendet man die Korkenzieherregel an:

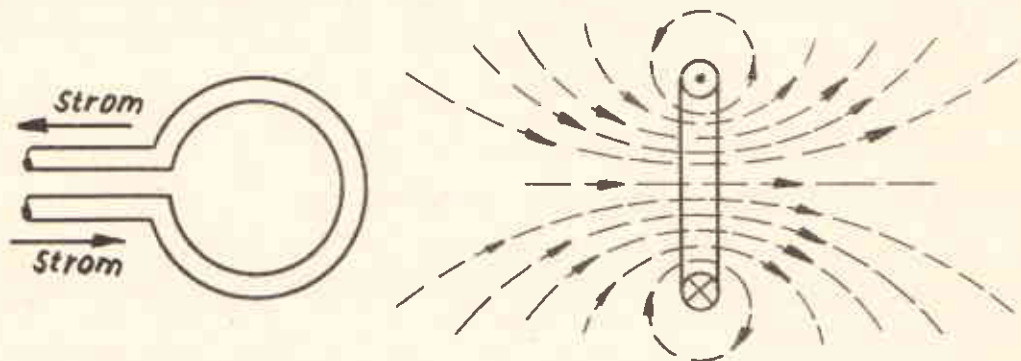
Dreht man einen Korkenzieher so, daß Bewegungsrichtung gleich Stromrichtung ist, dann gibt die Drehrichtung die Richtung des magnetischen Feldes an!

Beim Entstehen eines Magnetfeldes sind also folgende Punkte zu beachten:

1. Ursache: Stromdurchflossener Draht.
2. Größe: Das Magnetfeld ist am Leiter am größten und wird mit zunehmender Entfernung vom Leiter kleiner. Außerdem wächst es mit zunehmender Stromstärke.
3. Richtung: Entsprechend der Stromrichtung durch die Korkenzieherregel zu ermitteln.

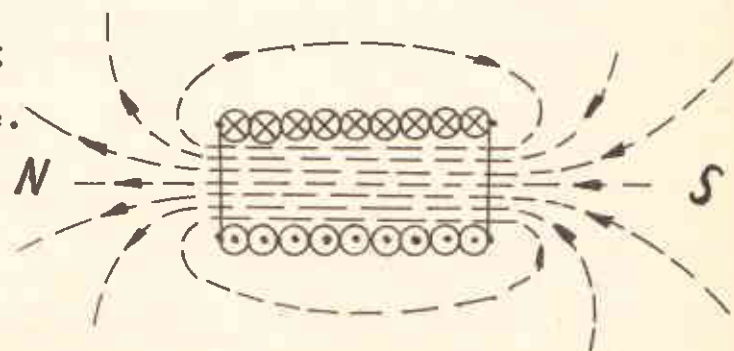
## 2.22 Magnetfeld einer Spule

Biegt man aus dem Draht einen Ring, läßt sich folgendes Magnetfeld nachweisen:



Wird nun eine Drahtwindung neben die andere gesetzt, so erhalten wir eine Spule.

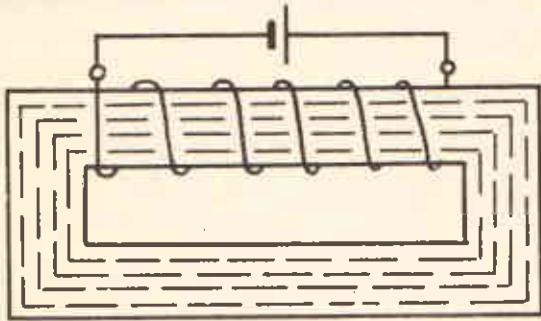
Das Felddbild gleicht dem Magnetfeld eines Stabmagneten.



Für die Ermittlung der Kraftlinienrichtung und damit des Nord- und des Südpols dient folgende Korkenzieherregel:

Dreht man einen Korkenzieher so, daß Drehrichtung gleich Stromrichtung ist, dann bewegt sich der Korkenzieher immer zum Nordpol hin!

Das Magnetfeld im Innern einer Spule ist ein homogenes Feld.



Die Feldlinien schließen sich außen um die Spule. Bei einer Spule, die auf einem geschlossenen Eisenkern gewickelt ist, breiten sich die magnetischen Kraftlinien nur im Eisen aus. Der Grund dafür ist die sehr gute magnetische Leitfähigkeit.

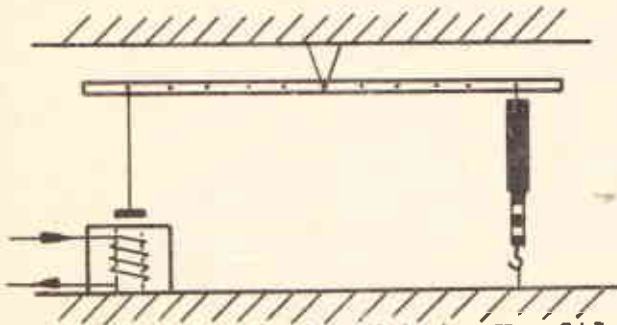
Will man Nord- und Südpol einer Spule vertauschen, muß man entweder die Stromrichtung umkehren oder den Wicklungssinn der Spule ändern.

Beim Entstehen des Magnetfeldes sind also wieder folgende Punkte zu beachten:

1. Ursache: Stromdurchflossene Spule.
2. Größe: Das Magnetfeld wird kleiner mit zunehmender Entfernung. Außerdem wächst es mit zunehmender Stromstärke und zunehmender Anzahl von Windungen.
3. Richtung: Entsprechend der Stromrichtung, des Wicklungssinns durch die Korkenzieherregel zu ermitteln.

## 2.23 Amperewindungszahl (AWZ)

Durch den in der Abbildung dargestellten Versuch zur Untersuchung der magnetischen Kraft (magnetischer Fluß  $\Phi$ , sprich  $\Phi$ ) kann man nachweisen:



Der magnetische Fluß  $\Phi$  ist abhängig von der Amperewindungszahl (AWZ).

Große AWZ: großer magnet. Fluß;  
kleine AWZ: kleiner magn. Fluß.

Die bisher betrachtete Kraftliniendichte  $B$  bezeichnet die Anzahl der Kraftlinien, die einen  $\text{cm}^2$  senkrecht durchsetzen.

Der magnetische Fluß  $\Phi$  dagegen ist nicht auf einen  $\text{cm}^2$  bezogen. Er bezeichnet die Gesamtheit der Kraftlinien, die eine Spule erzeugt. Der Unterschied zwischen Kraftliniendichte und magnetischem Fluß besteht also nur in der Fläche.

Der Teil des magnetischen Flusses, der auf einen  $\text{cm}^2$  entfällt, wird als Kraftliniendichte bezeichnet.

Als Formel geschrieben:  $\Phi = \frac{B}{A} \cdot A$  *B · A mal Fläche*  
magnetischer Fluß =  $\frac{\text{Kraftliniendichte}}{\text{Fläche}}$

Wie im elektrischen Stromkreis eine EMK nötig ist, um den Strom anzutreiben, so ist im magnetischen Kreis die AWZ notwendig, um die Kraftlinien zu erzeugen. Man bezeichnet deshalb die AWZ auch als "Magnetomotorische Kraft" (MMK), oder, in der Fachliteratur, auch als "Durchflutung"  $\Theta$  (sprich Deta).

Wir können die magnetische Kraft bei einer bestimmten AWZ aber auch dadurch vergrößern, daß wir einen Eisenkern in die Spule stecken. Durch die gute Leitfähigkeit des Eisens wird der "magnetische Widerstand" des Kreises, in dem sich die Kraftlinien ausbilden, herabgesetzt. Es ist hier im magnetischen Teil der Zusammenhang ähnlich dem im elektrischen Stromkreis:

$$\text{Magnet. Fluß} = \frac{\text{Amperewindungszahl}}{\text{magn. Widerstand}}$$

$$\Phi = \frac{AWZ}{R_M}$$

$$\text{Vergleiche: Elektr. Strom} = \frac{\text{Elektromotorische Kraft}}{\text{Elektrischen Widerstand}} \quad I = \frac{EMK}{R}$$

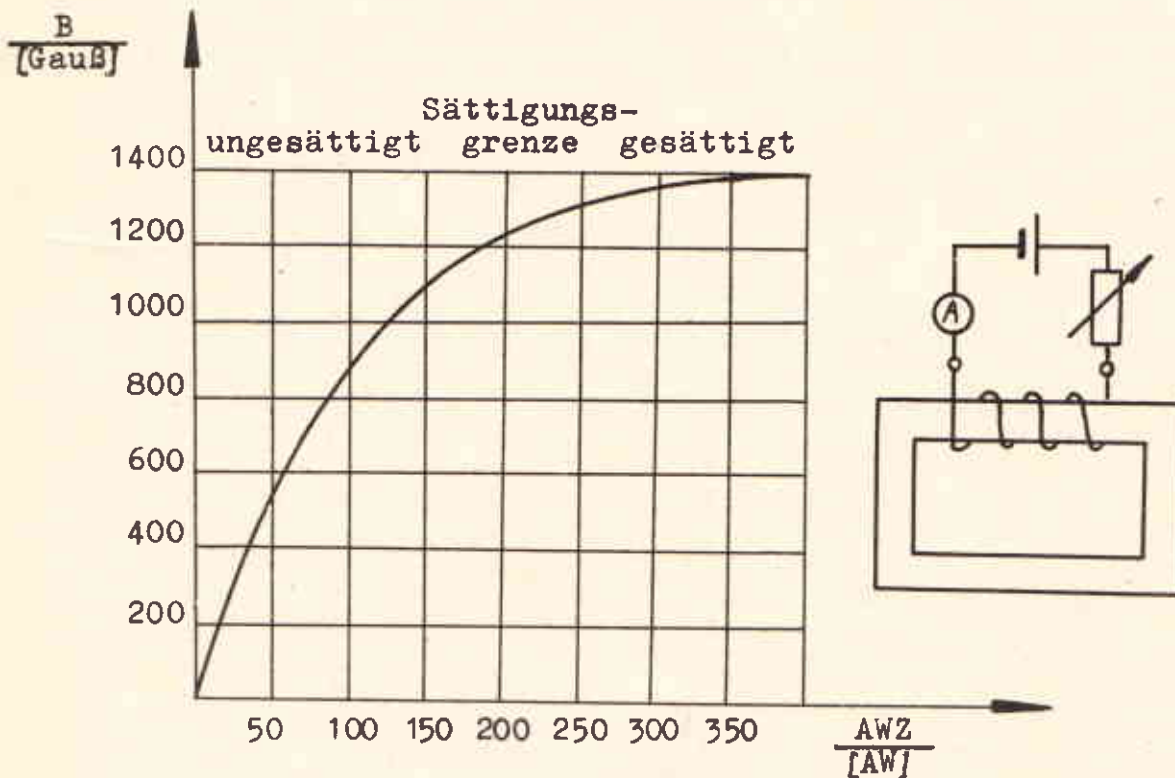
Eine hohe magnetische Kraftliniendichte (= starke magnetische Kraft) erreicht man also mit hoher Amperewindungszahl und geringem magnetischen Widerstand (Eisenkreis).

## 2.24 Magnetisierungskurve des Eisens

Aus dem Zusammenhang zwischen Kraftliniendichte und Amperewindungszahl geht hervor, daß eine Verdoppelung der AWZ eine doppelt so große Kraftliniendichte ergibt. Voraussetzung dabei ist, daß der Widerstand des magnetischen Kreises unverändert bleibt. Dies trifft bei allen Stoffen zu, jedoch nicht bei den ferromagnetischen.

Bei einer Spule mit geschlossenem Eisenkern ist die durch eine geringe AWZ erzeugte Kraftliniendichte wesentlich größer als ohne Eisenkern. Zunächst ergibt sich auch hier bei doppelter AWZ eine doppelt so große Kraftliniendichte. Sobald aber das Eisen die Sättigung (siehe 2.14) erreicht, wird seine magnetische Leitfähigkeit schlechter, d.h. der magnetische Widerstand vergrößert sich. Eine weitere Verdoppelung der AWZ bringt deshalb keine doppelt so große Kraftliniendichte mehr, sondern nur eine geringe Zunahme.

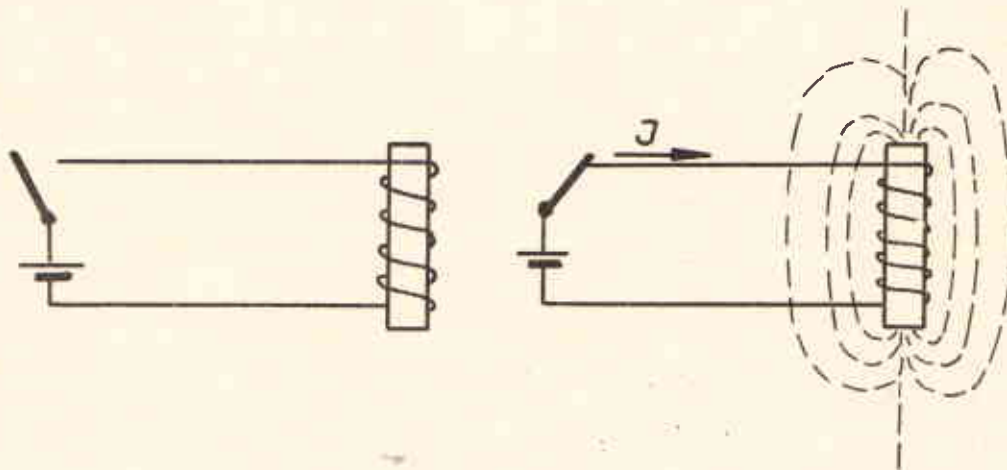
Trägt man die erreichten Kraftliniendichten in Abhängigkeit von der AWZ auf, erhält man folgende "Magnetisierungskurve":



## 2.25 Relais

### 2.251 Neutrales Relais

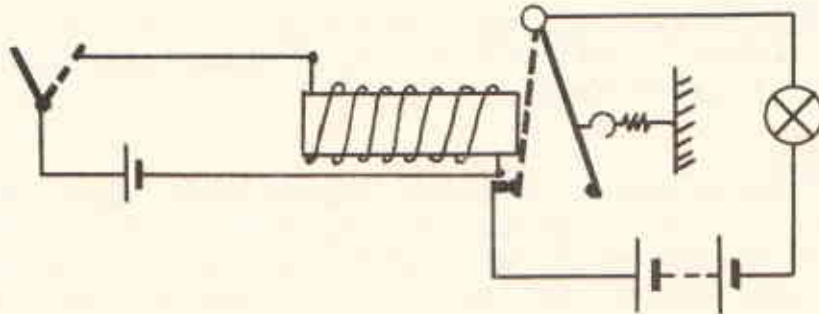
Mit Hilfe des elektrischen Stromes läßt sich ein Elektromagnet herstellen, dessen Magnetismus vom Stromfluß gesteuert werden kann:



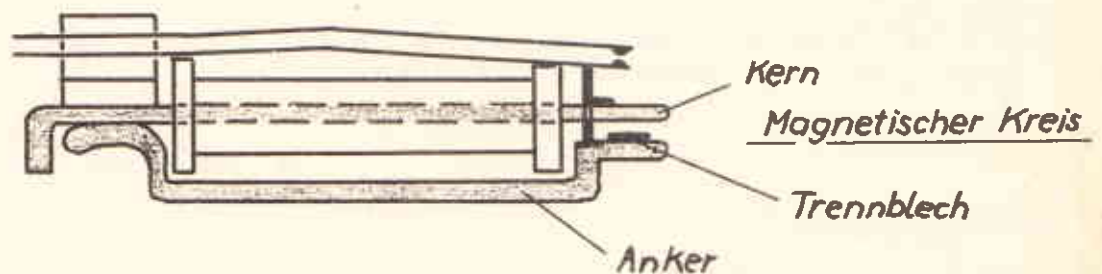
Als Magnetkern findet Weicheisen Verwendung, damit beim Ausschalten des Stromes der Magnetismus wieder verschwindet. Ein ganz kleiner Rest an Magnetismus läßt sich jedoch nicht verhindern.

Ein Relais ist ein elektrischer Schalter. Von einem Steuerkreis aus kann ein zweiter unabhängiger Stromkreis geschaltet werden.

Prinzip des Relais:

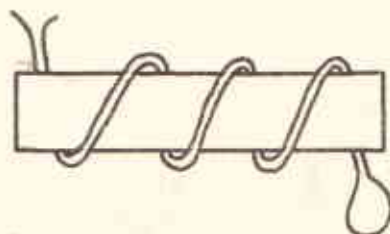


Heute verwendet man in der Fernmeldetechnik hauptsächlich das Flachrelais:



Der Magnetische Kreis verläuft fast ausschließlich im Eisen. Der Magnetische Widerstand ist also klein und das magnetische Feld kann eine große Kraft erzeugen. (Die zum sicheren Anziehen des Ankers benötigte AWZ liegt bei ungefähr 300 AW.) Um ein sicheres Abfallen zu erreichen, wird ein Trennblech (aus Messing) verwendet. Ohne Trennblech würde der angezogene Anker des Relais infolge der Remanenz kleben bleiben.

Reine Widerstandswicklungen werden "bifilar" aufgebracht. Der Draht wird in der Mitte seiner Länge gefaltet und die beiden Enden von der Faltstelle aus wie ein Draht aufgewickelt. Somit fließt der Strom zur Hälfte in der einen und zur anderen Hälfte in der anderen Richtung um den Kern. Die beiden erzeugten Magnetfelder wirken einander entgegen und heben sich auf.



## 2.252 Relaiszeitwerte

In der Fernmeldetechnik sind folgende Begriffe gebräuchlich:

### Ansprechstrom

ist der Mindeststrom, der notwendig ist, um bei einem Relais den Anker sicher bis zum Kern anzuziehen (das Relais muß sicher ansprechen!).

### Haltestrom

ist der Mindeststrom, der den angezogenen Anker noch sicher hält. Da bei angezogenem Anker der magnetische Widerstand des Eisenkreises geringer ist als im abgefallenen Zustand (Luftspalt verringert), ist der Haltestrom kleiner als der Ansprechstrom.

### Abfallstrom

ist der größte Strom, bei dem der Anker bereits sicher abfällt.

### Fehlstrom

ist der größte Strom, bei dem sich der Anker noch nicht bewegt (bzw. nur innerhalb der Stegluft).

### Bezeichnung:

Relaiswicklungen werden mit großen Buchstaben bezeichnet;

z.B.: A, B, C, ...

Die dazugehörenden Kontakte werden mit kleinen Buchstaben bezeichnet;

z.B.: a-Kontakt des A-Relais,  
b-Kontakt des B-Relais, ...

I bedeutet: In der Größe gleichbleibender Strom;

z.B.: 5 Ampere

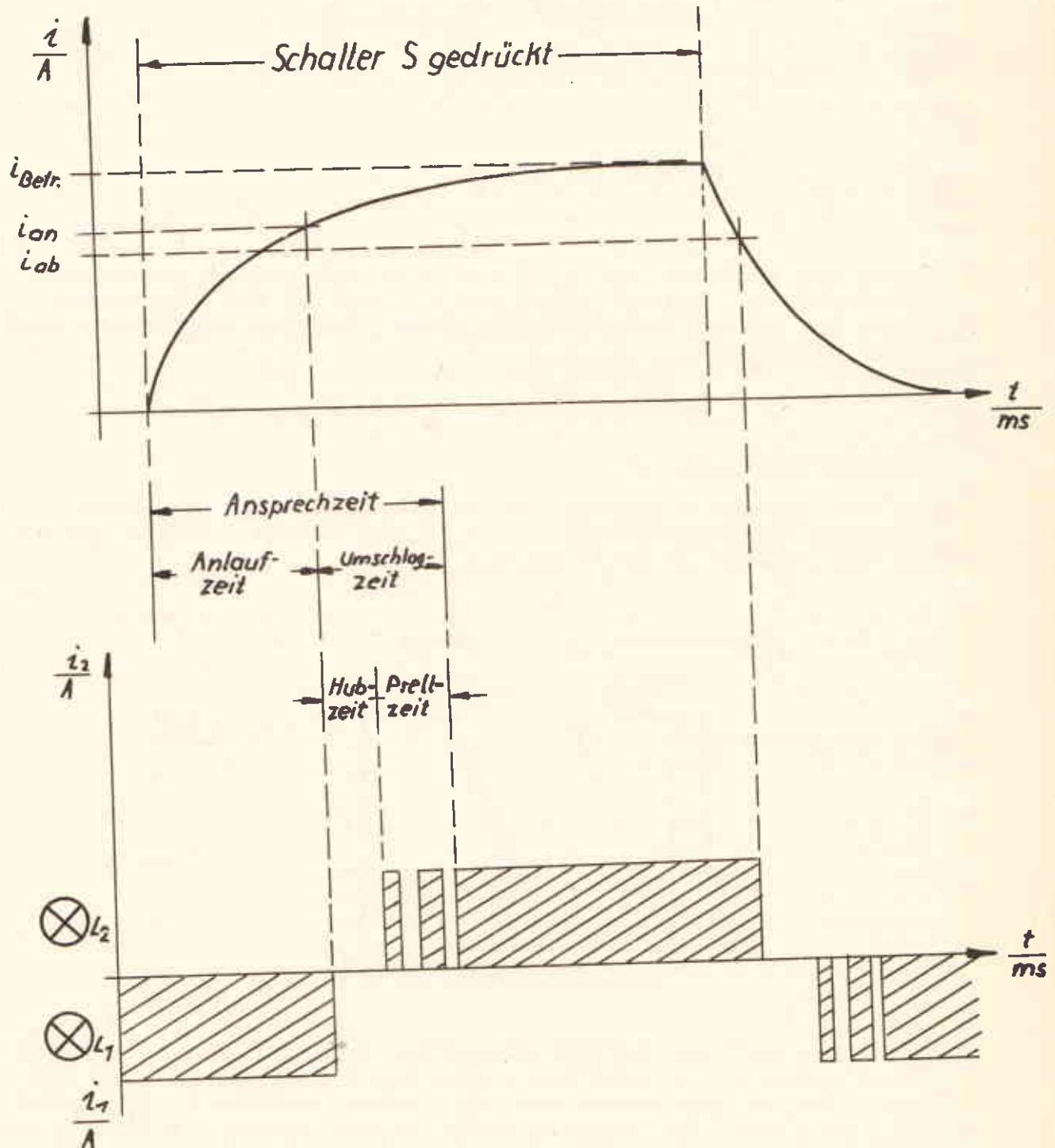
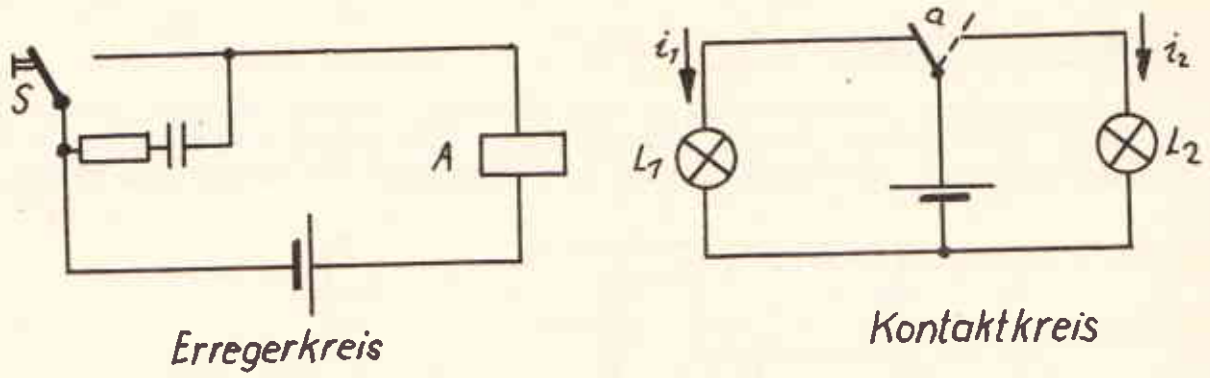
i bedeutet: In der Größe sich verändernder Strom;

z.B.: bei 0 Ampere beginnend,  
nach 1 sec 0,5 A;  
nach 2 sec 1,2 A;  
nach 3 sec 1,6 A; usw.

$i_{\text{Betr}} \hat{=}$  Betriebsstrom

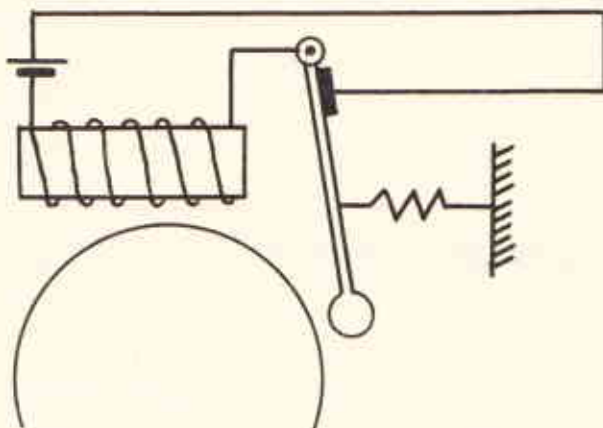
$i_{\text{an}} \hat{=}$  Ansprechstrom

$i_{\text{ab}} \hat{=}$  Abfallstrom



### 2.253 Wagnerscher Hammer

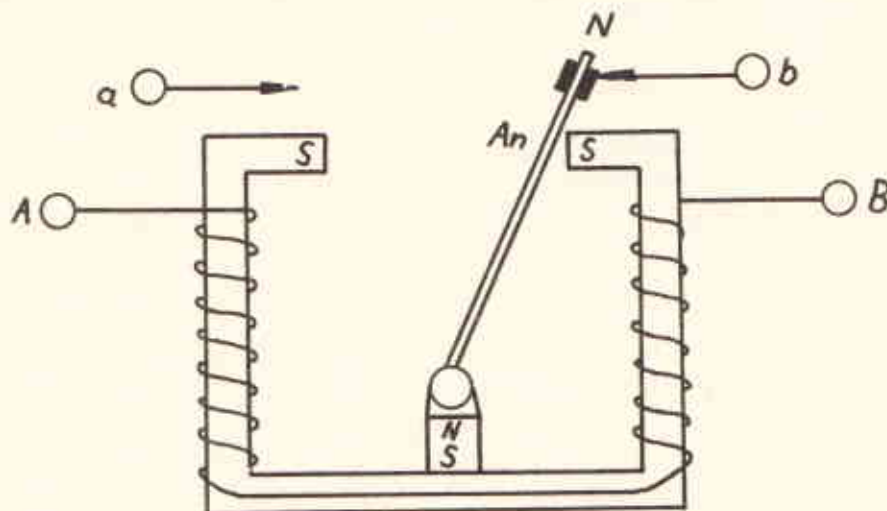
Der Wagnersche Hammer stellt das Prinzip eines Gleichstromweckers mit Selbstunterbrechung dar. Ein Relais wird mit seinem eigenen Ruhekontakt an die Stromquelle angeschlossen:



Durch das Anziehen des Klöppels wird der eigene Stromkreis unterbrochen. Dadurch fällt der Klöppel ab und der Stromkreis ist wieder hergestellt. Dieser Vorgang wiederholt sich immer wieder.

### 2.254 Polarisiertes Relais

Bei dem neutralen Relais ist es gleichgültig, in welcher Richtung der Strom durch die Wicklung fließt. Anders ist es bei dem "polarisierten" Relais:



Der Anker ist als Nordpol<sup>2</sup> beweglich zwischen den beiden Südpolen gelagert. Fließt der Strom von A nach B, so wird der linke Südpol geschwächt und der rechte verstärkt. Der Anker legt sich nach der rechten Seite an den Kontakt b. Bei Stromfluß von B nach A wird der rechte Südpol geschwächt und der linke Südpol verstärkt. Der Anker legt sich nach links an den Kontakt a.

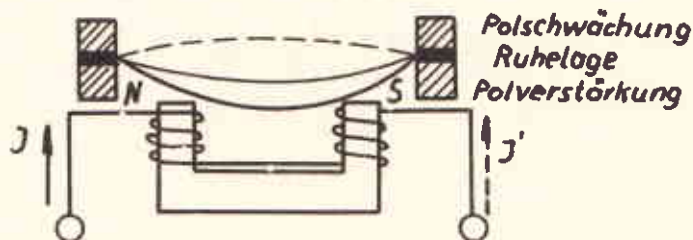
Fließt kein Strom durch die Wicklung, dann bleibt der Anker in seiner jeweiligen Stellung liegen.

Nach dem gleichen Prinzip arbeitet der Wechselstromwecker.

## 2.26 Fernhörer

Auch der Fernhörer enthält einen Dauermagneten. Er hat die Aufgabe, die elektrischen Sprachschwingungen in Schallwellen umzuwandeln.

Prinzip:



Der Dauermagnet wird im Rhythmus der Sprechwechselströme verstärkt und geschwächt. Während der Polverstärkung zieht der Magnet die Membrane M an, wogegen sie bei der Polschwächung durch ihre eigene Elastizität weiter zurückfedert als in die Ruhelage (siehe Abb.). Die Membrane gibt die Schwingungen an die Luft weiter. Das Ohr kann die Schallwellen aufnehmen.

(Einen Elektromagneten mit Weicheisenkern kann man nicht verwenden, weil die Membrane bei der positiven wie bei der negativen Halbwelle angezogen werden würde und daher die wiedergegebene Sprache die doppelte Frequenz hätte!)

## 2.3 Elektromagnetische Induktion

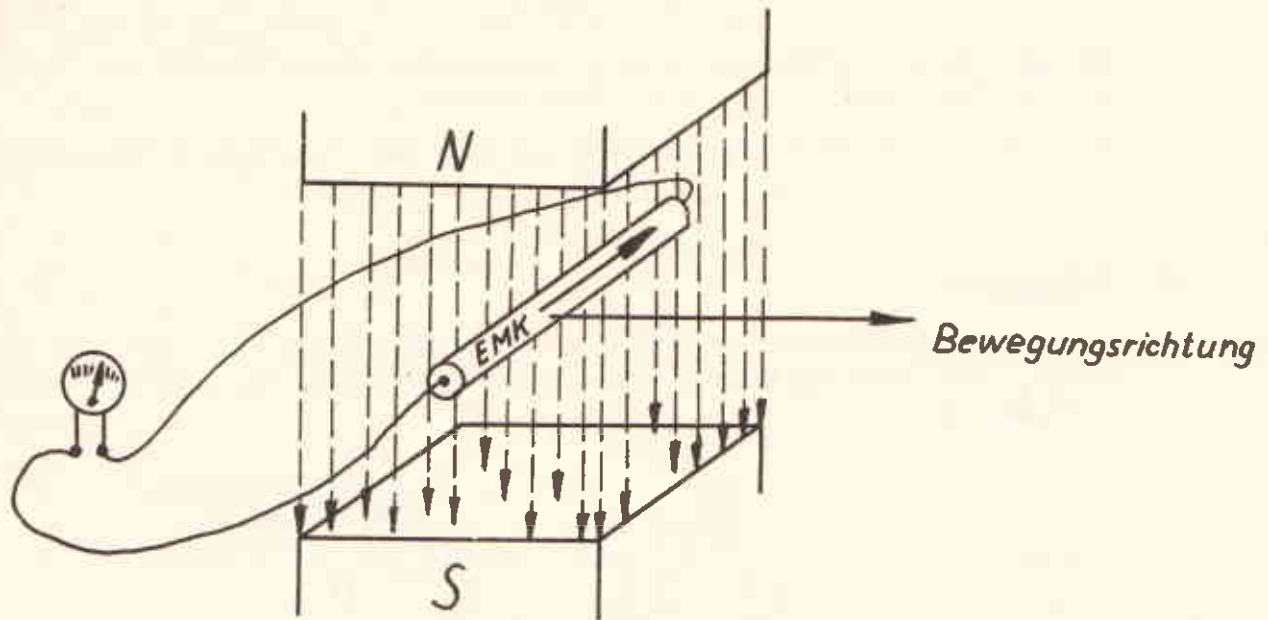
### 2.31 Bewegungsspannung

#### 2.311 Bewegungsspannung als physikalische Erscheinung

Wie bereits bekannt, verursacht ein elektrischer Strom immer ein magnetisches Feld. Zwischen dem elektrischen Strom und dem Magnetismus besteht ein direkter Zusammenhang. Ein weiterer Zusammenhang soll jetzt näher betrachtet werden.

Durch einen Versuch läßt sich nachweisen:

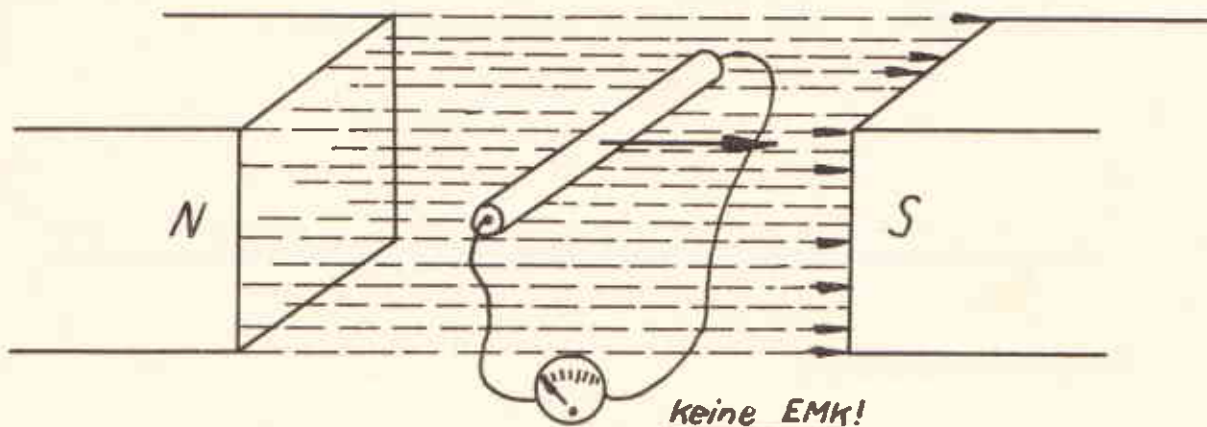
Bewegt man einen Leiter in einem Magnetfeld senkrecht zu den Kraftlinien, so wird in dem Leiter eine EMK "induziert" (erzeugt).



Die EMK ist um so größer:

1. je größer die Geschwindigkeit des Leiters ist,
2. je stärker die magnetische Kraftliniendichte ist,
3. je länger der Leiter ist, der sich in dem Feld bewegt (bzw. je größer die Windungszahl).

Bewegt sich der Leiter in Richtung des Feldes, dann entsteht keine EMK!



Die EMK ist abhängig von der Anzahl der pro Sekunde von dem Leiter geschnittenen Kraftlinien.

$$EMK = B \cdot l \cdot v$$

Die Richtung der EMK, die bei einem geschlossenen Stromkreis gleich der Stromrichtung ist, erhält man nach der Dreifingerregel der rechten Hand.

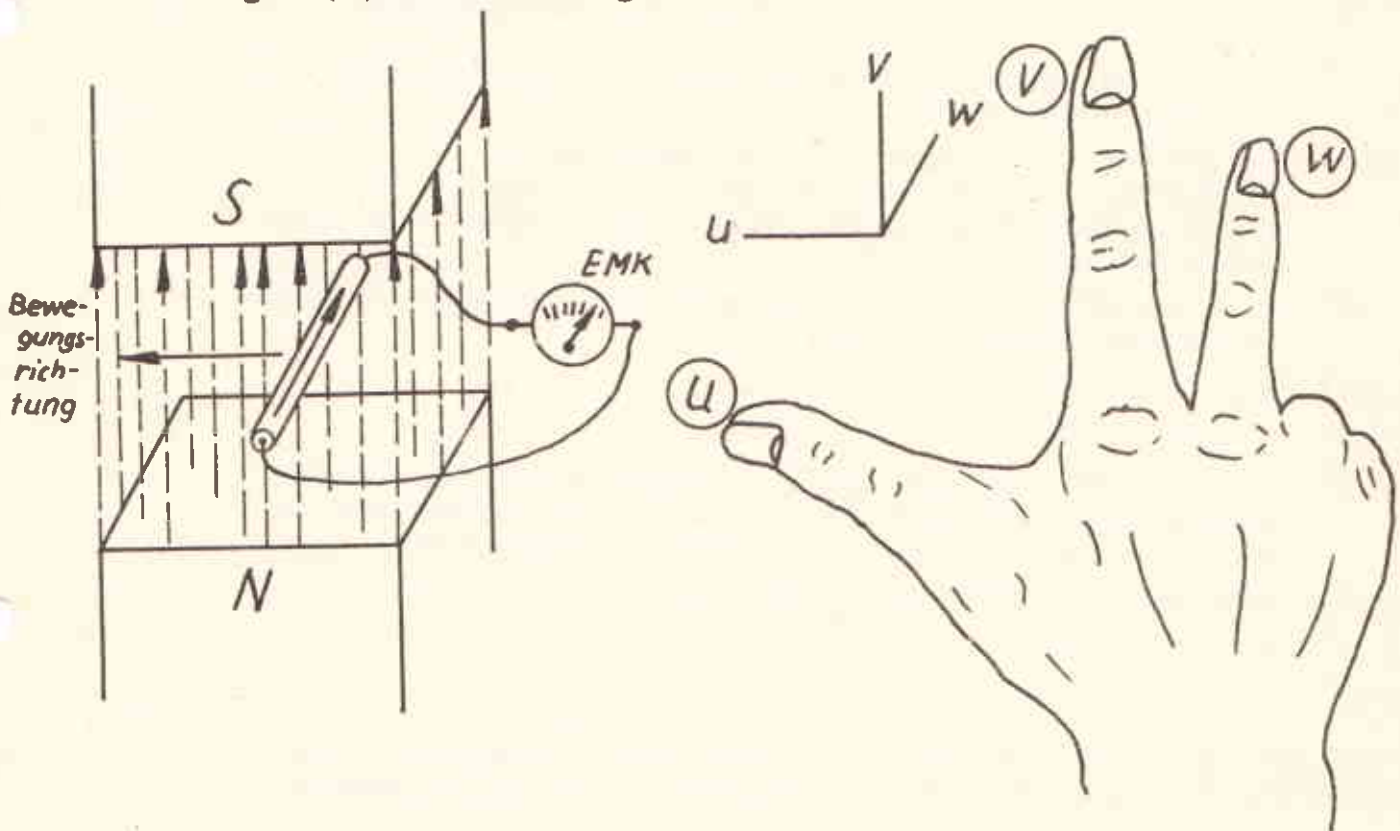
### Dreifingerregel:

|              |     |                            |
|--------------|-----|----------------------------|
| Daumen       | = U | = Ursache                  |
| Zeigefinger  | = V | = Vermittlung (Magnetfeld) |
| Mittelfinger | = W | = Wirkung                  |

In unserem Falle ist:

- U- Ursache für die Entstehung der EMK: die Bewegung
- V- Vermittlung zwischen Bewegung und EMK: das Magnetfeld
- W- Erzielte Wirkung: Entstehung der EMK

Hält man den Daumen (U) in Richtung der Bewegung, den Zeigefinger (V) in Richtung des Feldes, dann gibt der Mittelfinger (W) die Richtung der EMK an:

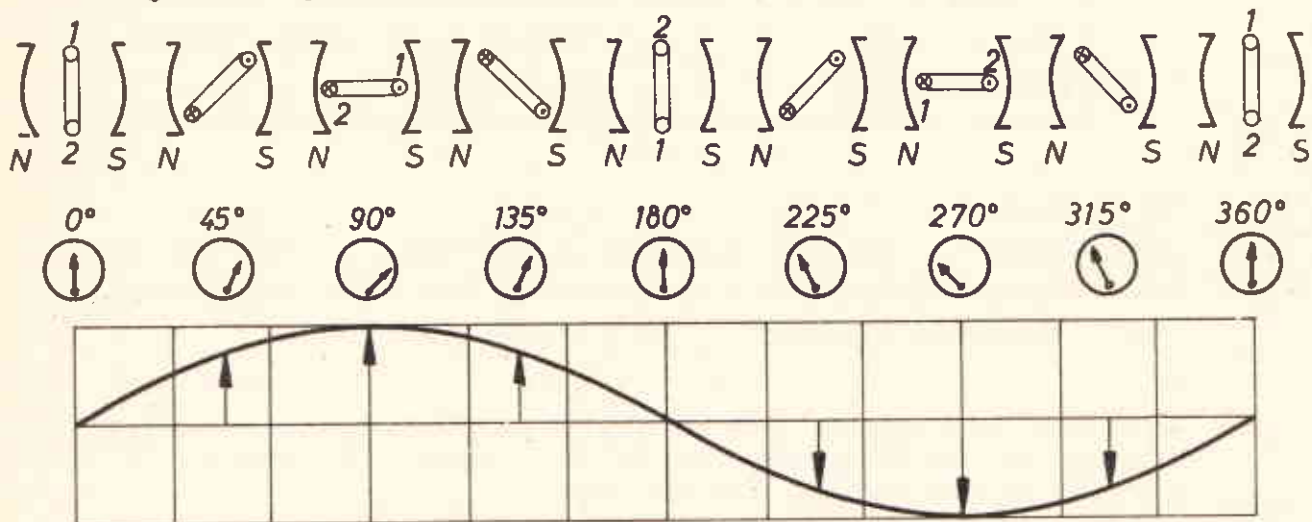


Für die Bewegungsspannung sind also wieder folgende Punkte zu beachten:

1. Ursache: Bewegung eines Leiters in einem Magnetfeld, senkrecht zu den Kraftlinien (Schneiden!).
2. Größe: Anzahl der pro Sekunde geschnittenen Kraftlinien.
3. Richtung: Entsprechend der Bewegungsrichtung und der Feldrichtung durch die Dreifingerregel zu ermitteln.

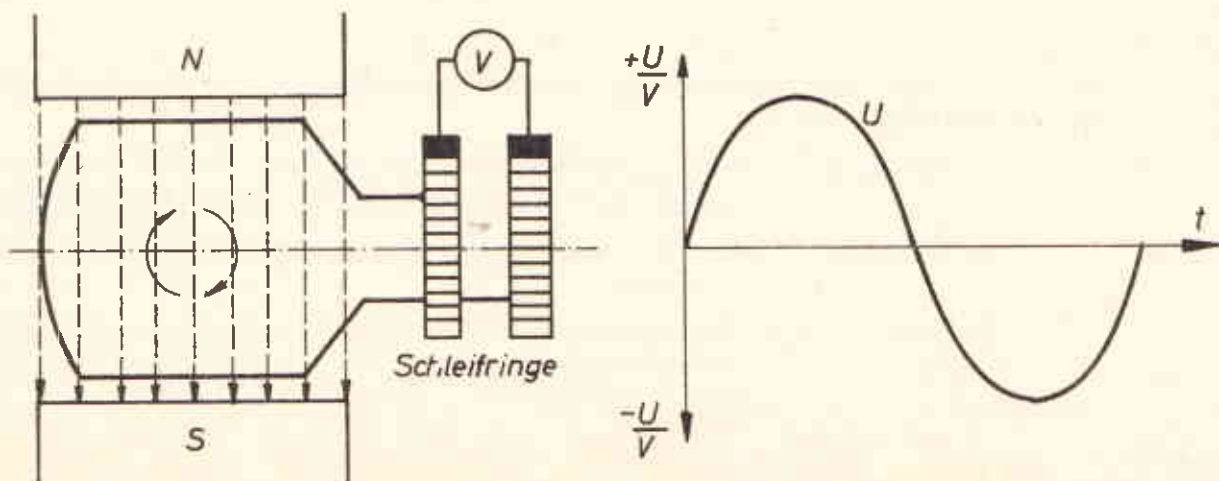
## 2.312 Wechsel- und Gleichstromgenerator

Drehen wir einen Leiterring in einem homogenen Magnetfeld, so zeigt der Spannungsmesser folgende Werte an:



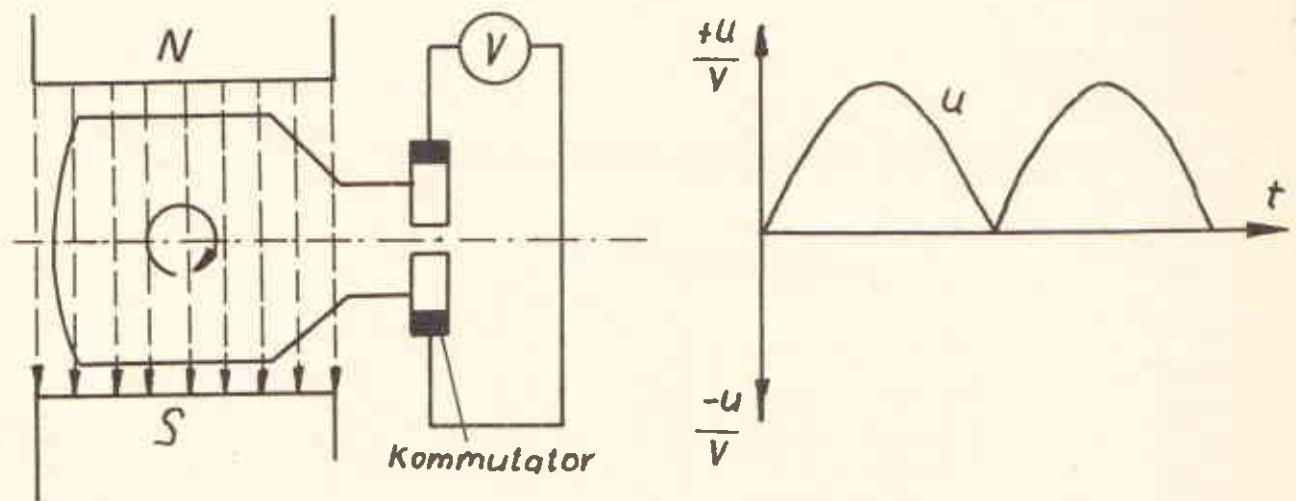
- $0^\circ$  weder der Leiter 1 noch der Leiter 2 schneidet Kraftlinien: keine EMK;
- $45^\circ$  im Leiter 1 entsteht eine EMK nach vorn, im Leiter 2 entsteht eine EMK nach hinten, beide summieren sich (hintereinandergeschaltete Spannungsquellen);
- $90^\circ$  wie bei  $45^\circ$ , jedoch werden mehr Kraftlinien pro Sekunde geschnitten: größere EMK;
- $135^\circ$  wie bei  $45^\circ$ ;
- $180^\circ$  wie bei  $0^\circ$ ;
- $225^\circ$  wie bei  $45^\circ$ , jedoch ist die Richtung der beiden EMK entgegengesetzt (EMK in Leiter 1 nach hinten und im Leiter 2 nach vorn); wende die Dreifingerregel an!
- $270^\circ$  wie bei  $90^\circ$ , aber umgekehrte EMK;
- $315^\circ$  wie bei  $135^\circ$ , " " " ;
- $360^\circ$  wie bei  $0^\circ$ .

Die erzeugte Spannung hat die Form einer Sinuslinie. Ein Wechselstromgenerator ist im Prinzip wie folgt aufgebaut:

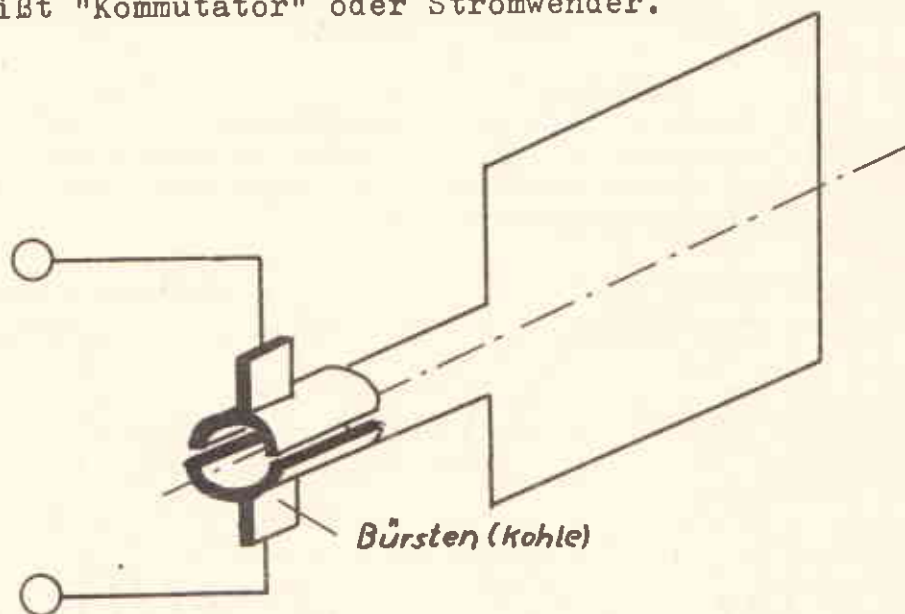


Die Spannung wird über Schleifringe abgenommen. Der feststehende Teil heißt "Stator", der bewegliche Teil "Rotor".

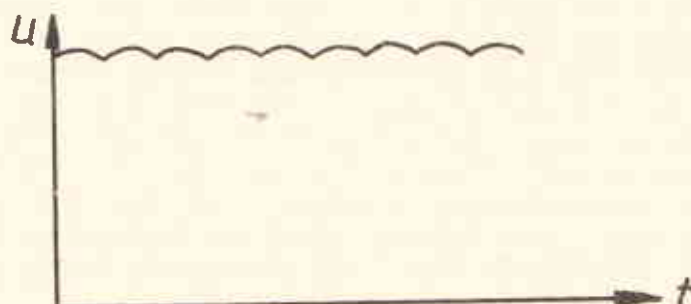
Werden die Enden der Leiterschleife an die voneinander isolierten Hälften eines Schleifringes angeschlossen und die Stromabnehmer wie in der Abb. angeordnet, so wird dadurch die Spannung immer dann umgepolt, wenn sie den Wert 0 hat:



Man erhält eine pulsierende Gleichspannung. Die Umpoleinrichtung heißt "Kommutator" oder Stromwender.



In der Praxis werden viele Leiterschleifen (die alle in Serie geschaltet sind) auf den sehr oft unterteilten Kommutator geführt. Die Gleichspannungskurve hat dann folgenden Verlauf:

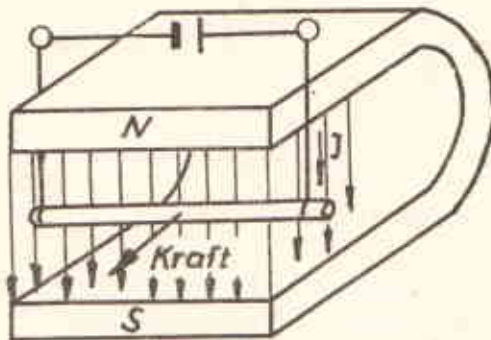


Das Magnetfeld wird i.a. durch einen Elektromagneten erzeugt. Man muß deshalb unterscheiden zwischen der

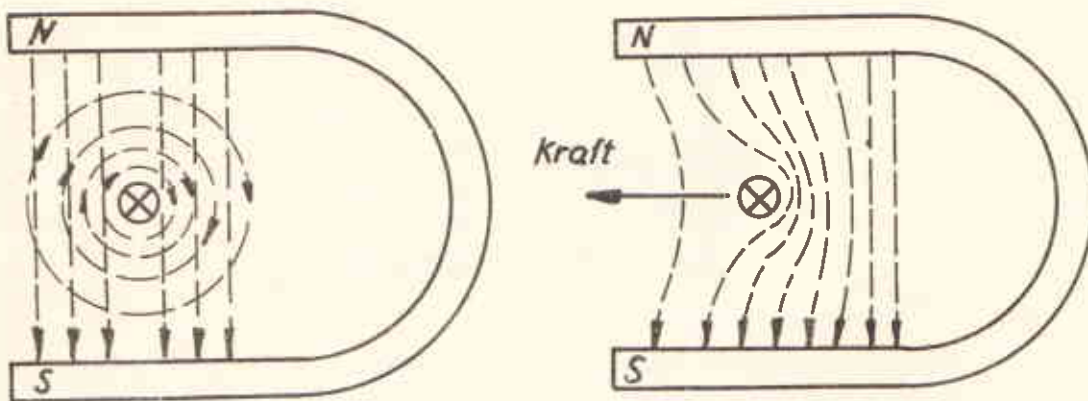
- a) Erregerwicklung, die das Magnetfeld erzeugt, und der
- b) Ankerwicklung, in der die EMK entsteht.

## 32 Elektromotore

### 321 Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld



Durch einen Versuch läßt sich nachweisen, daß auf einen stromdurchflossenen Leiter, der sich in einem Magnetfeld befindet, eine Kraft einwirkt. Das Entstehen der Kraft kann man sich folgendermaßen erklären:



Um den stromdurchflossenen Leiter entsteht ein Magnetfeld. Das Feld des Leiters überlagert sich dem Feld des Dauermagneten. Auf der linken Seite des Leiters wird also das Dauermagnetfeld geschwächt und auf der rechten Seite verstärkt (bei der angenommenen Stromrichtung). Die Kraftlinien, die dadurch gekrümmt verlaufen, versuchen sich auszurichten (vergleiche die Kraftlinien mit Gummi) und drücken den Leiter in die Richtung des geschwächten Feldes. Ist der Leiter beweglich, so gibt er nach und bewegt sich in Richtung der Kraft. Die Richtung der Kraft bzw. der Bewegung des Leiters kann mit der Dreifingerregel bestimmt werden.

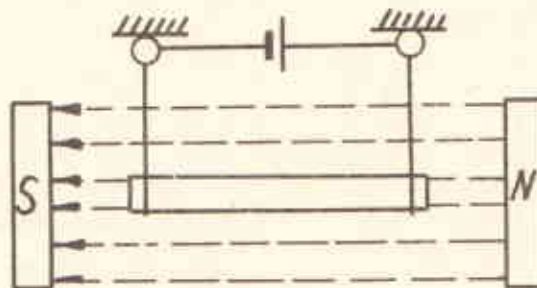
- U- Ursache für die Bewegung: der Strom  $I$
- V- Vermittlung zwischen Strom und Bewegung: das Magnetfeld
- W- erzielte Wirkung: die Bewegung des Leiters

Hält man also den Daumen der rechten Hand in Richtung des Stromes, den Zeigefinger in Richtung des Feldes, so gibt der Mittelfinger die Richtung an, in der sich der Leiter bewegt.

Die Kraft ist um so größer:

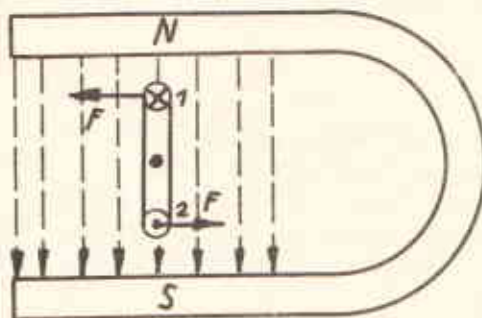
1. je größer der fließende Strom ist,
2. je stärker das Magnetfeld ist,
3. je länger der Leiter ist, der sich in dem Feld befindet (bzw. je größer die Windungszahl).

Auf dem Leiter wird keine Kraft ausgeübt, wenn seine Lage im Magnetfeld mit der Richtung der Feldlinien übereinstimmt:

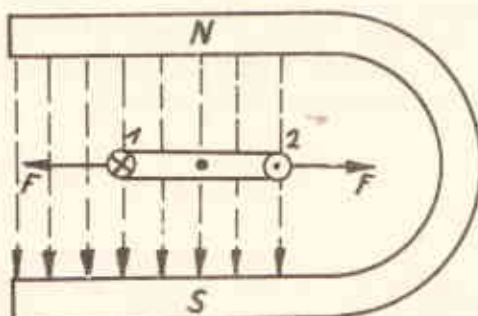


Keine  
Kraftwirkung

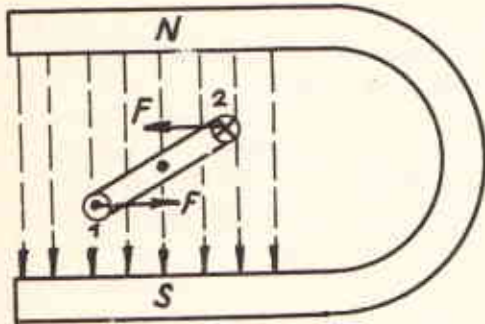
## 2.322 Der Gleichstrommotor



Bringt man eine drehbar gelagerte Leiterschleife zwischen die Pole eines Hufeisenmagneten und wählt die Stromrichtung wie im Bild angegeben, dann wird der Leiter 1 nach links, der Leiter 2 nach rechts bewegt.

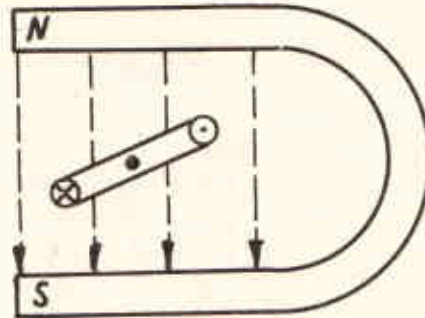
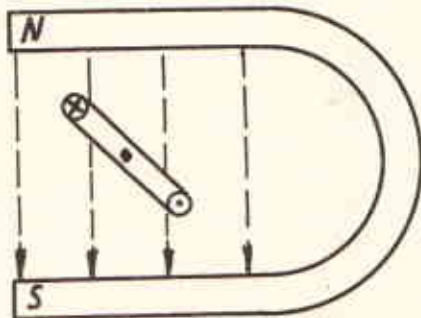


Die Leiterschleife dreht sich also, und zwar bis in folgende Stellung:



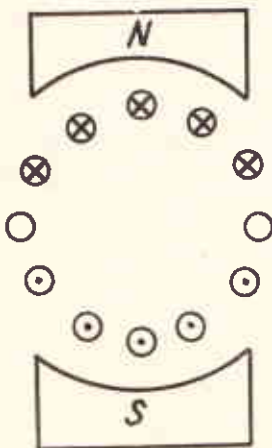
Drehen wir in dieser Stellung den Strom um (ändern die Polarität der Spannung), so dreht sich zunächst durch den vorhandenen Schwung die Leiterschleife noch etwas weiter:

Jetzt wirkt aber auf den Leiter 1 eine Kraft nach rechts und auf den Leiter 2 eine Kraft nach links. Dadurch wird die Leiterschleife wieder weitergedreht. Bei der nächsten waagrechten Stellung müssen wir die Stromrichtung abermals ändern:



Die Leiterschleife dreht sich also fortlaufend weiter, wenn jeweils in der waagrechten Stellung die Stromrichtung geändert wird. Die Stromrichtungsänderung im richtigen Zeitpunkt erreicht man mittels eines Kommutators (hier auch "Kollektor" genannt).

Eine bessere Wirkung erzielt man mit mehreren Leiterschleifen. Jede von ihnen muß dann umgepolt werden, wenn sie sich in waagrechter Stellung befindet (sog. "neutrale Zone"). Der Kollektor weist demnach viele einzelne von einander isolierte Lamellen auf, von denen jeweils zwei gegenüberliegende mit einer Leiterschleife verbunden sind. Eine Leiterschleife kann auch aus mehreren Windungen bestehen.



Die einzelnen Leiterschleifen sind so miteinander verbunden, daß die jeweils zwischen den zwei Bürsten liegenden Leiterschleifen in Reihe geschaltet sind. Im Anker erhält man dadurch folgenden Stromfluß:

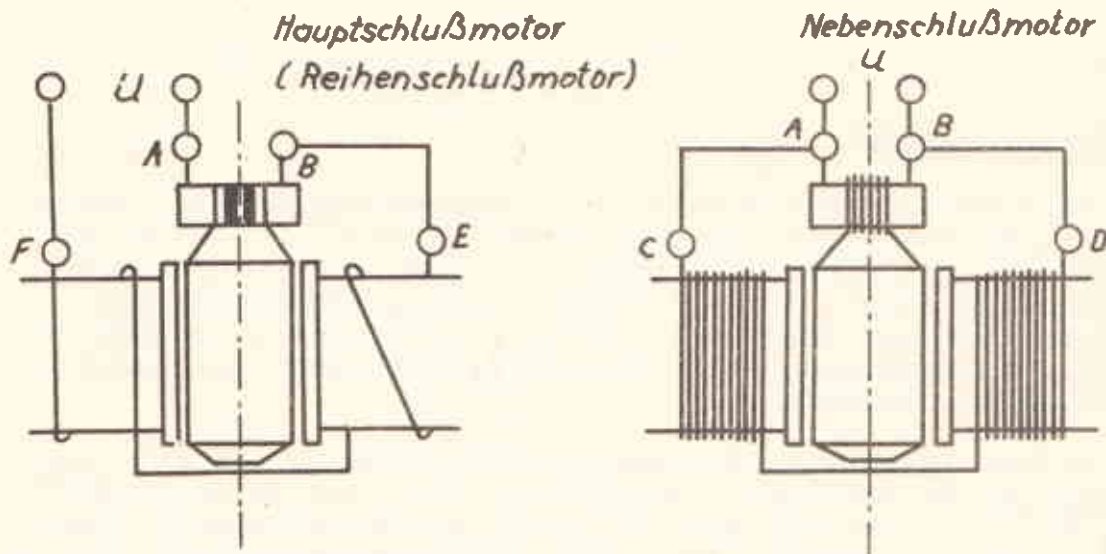
Zusammenfassend sind wieder die drei Punkte zu beachten:

1. Ursache: Stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld.
2. Größe: Die Bewegung wird größer, je mehr Strom fließt, je stärker das Magnetfeld ist und je größer die Länge des Leiters im Magnetfeld ist.
3. Richtung: Entsprechend der Stromrichtung und der Feldrichtung durch die Dreifingerregel zu ermitteln.

In der Praxis verwendet man keine Dauermagnete, sondern erzeugt den Magnetismus mittels Erregerwicklung, die auf dem Eisenkern sitzt.

Die Drehrichtung eines Gleichstrommotors kann geändert werden, indem man die Stromrichtung entweder im Anker oder in der Erregerwicklung umkehrt!

Die Erregerwicklung kann geschaltet werden als:



Beim Nebenschlußmotor liegen Anker- und Erregerwicklung parallel.  
Erregerwicklung: Hochohmig, viele Windungen, dünner Draht.

Beim Hauptschlußmotor liegen Anker und Erregerwicklung in Reihe.  
Erregerwicklung: Niederohmig, wenig Windungen, dicker Draht

Wirkungsweise:

Wenn sich der Rotor dreht, wird in der Ankerwicklung eine Gegen-EMK erzeugt. Da diese Gegen-EMK mit zunehmender Drehzahl anwächst, ergibt sich folgender Zusammenhang:

|                 |                  |                    |
|-----------------|------------------|--------------------|
| große Drehzahl  | große Gegen-EMK  | kleiner Ankerstrom |
| kleine Drehzahl | kleine Gegen-EMK | großer Ankerstrom  |

Die Leistung, die der Motor der Stromquelle entnimmt, ist  $P = U \cdot I$ . Da sich die Spannung nicht ändert, ist die aufgenommene Leistung also von der Stromaufnahme abhängig.

Im Leerlauf ist die Stromaufnahme sehr klein, die Drehzahl groß. Es wird wenig Leistung aufgenommen. Bei Belastung des Motors (z.B. Antreiben einer Pumpe) geht die Drehzahl zurück. Der aufgenommene Strom steigt an, weil mit kleinerer Drehzahl die Gegen-EMK auch kleiner wird.

Bei starker Belastung ist die Stromaufnahme eines Motors groß, bei kleiner Belastung klein.

Der Hauptschlußmotor entwickelt beim Anlaufen eine größere Kraft als der Nebenschlußmotor. Im Leerlauf ist seine Drehzahl jedoch sehr groß! Deshalb

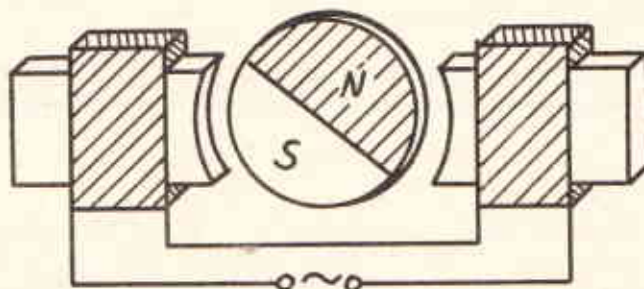
einen Hauptschlußmotor nie im Leerlauf betreiben!

### .323 Wechselstrommotor

Gleichstrommotore mit elektrisch erregtem Magnetfeld laufen auch mit Wechselstrom. Da der Strom im Anker und in der Erregerwicklung gleichzeitig umgepolt wird, ändert sich die Drehrichtung nicht. In der Praxis wird hauptsächlich der Reihenschlußmotor verwendet (als Kleinmotor, z.B. Haushaltsgeräte). Wechselstrommotore dieser Bauart haben eine stark lastabhängige Drehzahl.

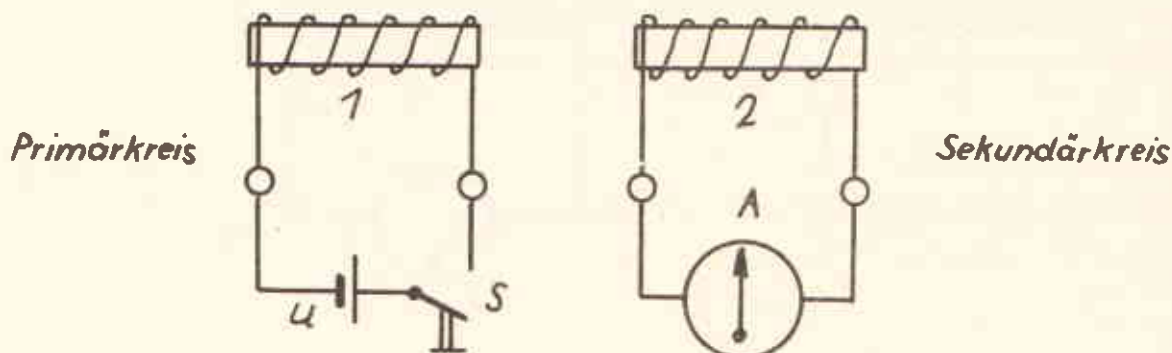
Eine andere Ausführung des Wechselstrommotores ist der Synchronmotor. Er zeichnet sich dadurch aus, daß seine Drehzahl, die in einem festen Verhältnis zur Netzfrequenz steht, nicht veränderlich ist. Er läuft nur mit Wechselstrom und kann ausschließlich für sehr kleine Leistungen verwendet werden. Ein Synchronmotor ist einfacher Ausführung und läuft auch nicht von alleine an.

Anwendungsbeispiel: elektrische Uhren.



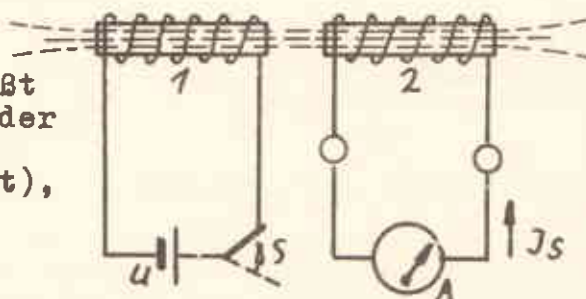
## 2.33 Transformationsspannung

Wir stellen zwei Spulen nebeneinander. An der Spule 1 schließen wir über einen Schalter S eine Spannungsquelle  $E$  an. Diesen Stromkreis nennen wir "Primärstromkreis". Die Spule 2 wird kurzgeschlossen und in den Stromkreis, der als "Sekundärstromkreis" bezeichnet wird, ein Strommesser A (Amperemeter) eingeschleift.

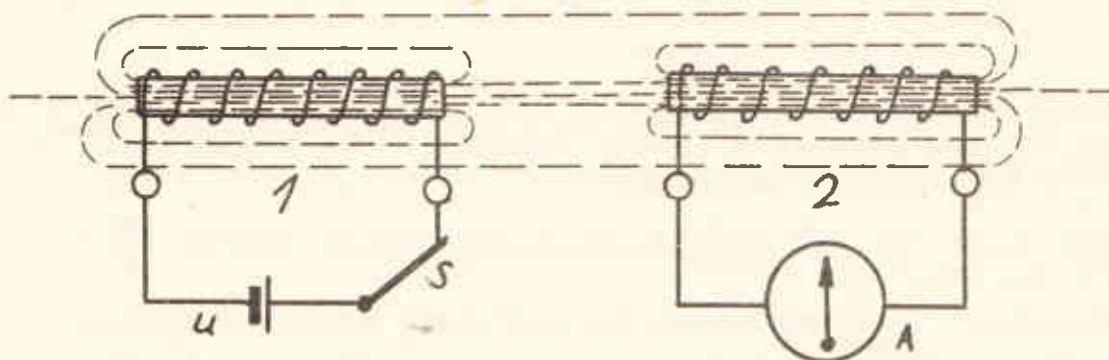


Wird der Schalter S geschlossen, so baut sich um die Spule 1 ein Magnetfeld auf. Während dieses Feld aufgebaut wird, schlägt das Amperemeter kurz aus.

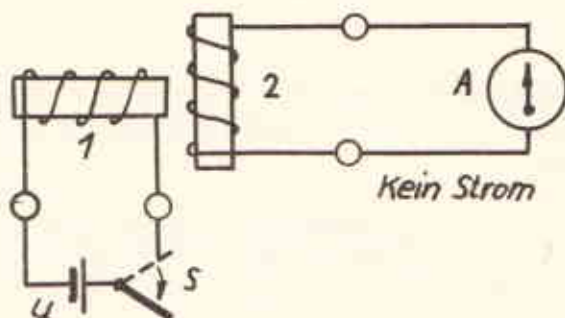
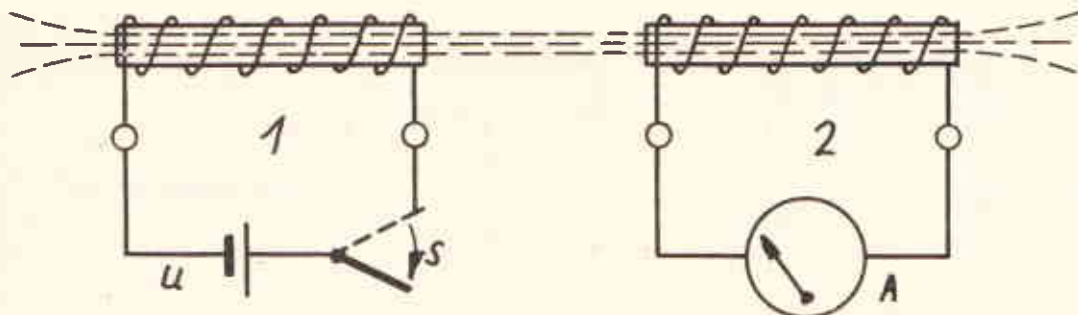
Im Sekundärstromkreis fließt also während der Zeit, in der sich das Magnetfeld ändert (von 0 Gauß auf den Endwert), ein "Sekundärstrom".



Lassen wir das Magnetfeld unverändert bestehen, so bleibt das Amperemeter in seiner Nullstellung.



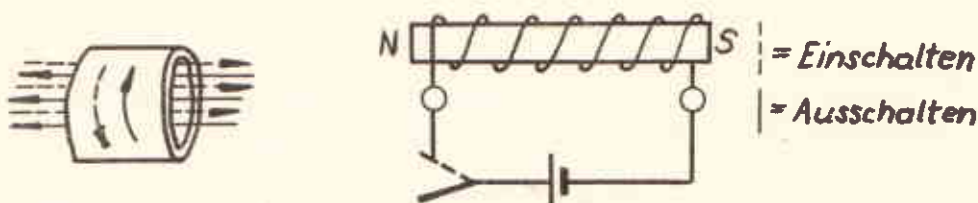
Wird aber der Stromkreis in der Spule 1 durch Öffnen des Schalters S unterbrochen, dann bricht das Magnetfeld zusammen. Während der Zeit, in der das Feld zusammenbricht, fließt in der Spule 2 wieder ein Strom. Dieser Strom ist jedoch, wie am Amperemeterauschlag zu erkennen ist, entgegengesetzt gerichtet zu dem Stromfluß beim Einschalten des Schalters S. Das kommt daher, weil sich auch das Magnetfeld "in der anderen Richtung verändert hat" (vom Endwert auf 0 Gauß).



Drehen wir die Spule 2 um  $90^\circ$ , so tritt diese Erscheinung des Sekundärstromes nicht auf:

Für die Richtung des Sekundärstromes gilt die Lenzsche Regel:

Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, daß er den Vorgang, durch den er entsteht, zu hemmen sucht.



Die Spannung, die durch die Änderung eines Magnetfeldes erzeugt wird und den Stromfluß in der Sekundärspule verursacht, wird Transformationsspannung genannt.

Es sind auch hier bei der Transformationsspannung wieder die drei Punkte zu beachten:

1. Ursache: Änderung eines Magnetfeldes in einer Spule.
2. Größe: Größe der Änderung des Magnetfeldes und Windungszahl.
3. Richtung: Durch die Lenzsche Regel zu ermitteln.

## 2.34 Windungsfluß

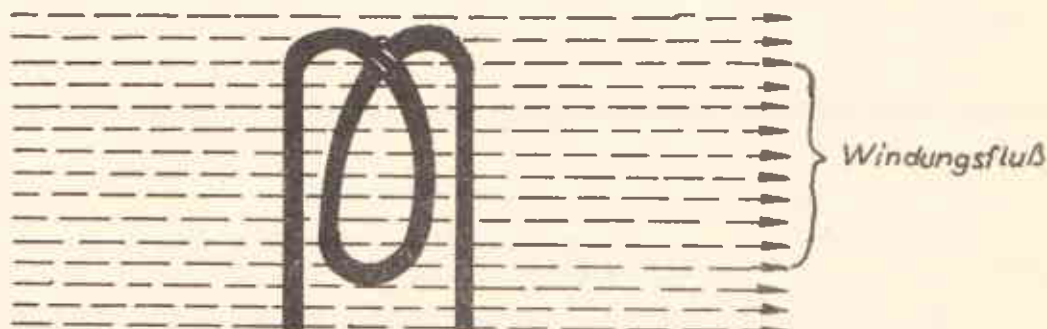
Befindet sich eine Leiterschleife (oder mehrere Windungen) in einem Magnetfeld, so ist ein Teil des magnetischen Flusses (ein Teil der Kraftlinien) mit der Windung "verkettet". Diesen Flußanteil nennt man Windungsfluß!

Wir müssen also unterscheiden zwischen:

Magnetischer Fluß  $\Phi$  bezeichnet die Gesamtheit der Kraftlinien, die eine Spule erzeugt.

Kraftliniendichte  $B$  bezeichnet den Teil des magnetischen Flusses, der auf einen  $\text{cm}^2$  senkrecht einfällt.

Der Windungsfluß  $\Phi_w$  bezeichnet den Teil des magnetischen Flusses, der sich innerhalb einer Windung befindet.



Zunächst sieht es so aus, als ob Bewegungsspannung und Transformationsspannung ganz verschiedene Ursachen hätten. Bei genauerer Betrachtung stellt sich aber heraus, daß beide Spannungen gleichartig sind. Dazu dient folgende Erklärung:

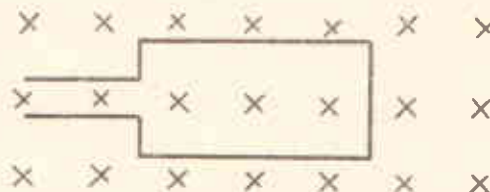
Ändert sich der Windungsfluß, so wird in der Windung eine EMK induziert (Induktionsspannung). Oder anders ausgedrückt:

Ändert sich die Anzahl der magnetischen Kraftlinien, die sich innerhalb einer Windung befinden, so wird in dieser Windung eine EMK erzeugt.

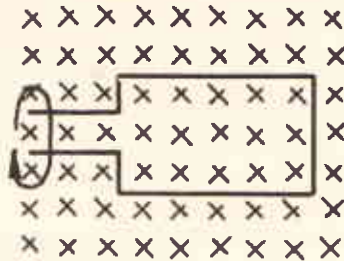
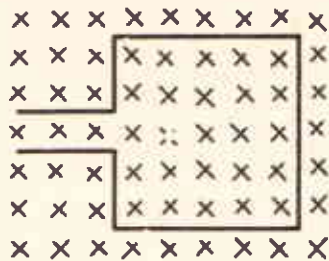
Eine Windungsflußänderung erzeugt eine Induktions-EMK

Eine Änderung des Windungsflusses kann auftreten:

a) wenn das Magnetfeld geändert wird (Transformationsspannung)



b) wenn die Windung bewegt wird (Bewegungsspannung).



Die Größe der induzierten EMK hängt davon ab, wie schnell sich der Windungsfluß ändert.

Die Induktions-EMK ist um so größer, je größer die Änderung des Windungsflusses in 1 Sekunde ist! Ferner wächst die EMK mit zunehmender Windungszahl.

Oder als Formel: Induktions-EMK =  $w \cdot$  Windungsflußänderung pro Sekunde

Auch bei der Induktions-EMK sind wieder die drei Punkte zu beachten:

1. Ursache: Windungsflußänderung.
2. Größe: Windungsflußänderung pro Sekunde mal Windungszahl.
3. Richtung: Durch die Lenzsche Regel zu ermitteln.

## 2.35 Die Induktivität

### 2.351 Selbstinduktion

Wir haben gesehen, daß in einer Sekundärspule eine Transformationsspannung auftritt, wenn sich der Strom in der Primärspule ändert. Durch die Stromänderung, die mit einer Änderung des Magnetfeldes verbunden ist, wird aber auch in der Primärspule eine Transformationsspannung induziert. Lassen wir die Sekundärspule ganz weg, so ist das für diesen Vorgang in der Primärspule bedeutungslos.

Wir stellen also fest:

Ändert sich die Stromstärke in einer Spule, so wird während der Zeit der Stromstärkeänderung in der Spule selbst eine EMK induziert. Diesen Vorgang nennt man Selbstinduktion

Die Induktionsspannung ist um so größer, je stärker sich der Strom innerhalb 1 Sekunde ändert. Ferner ist die Größe der Induktionsspannung von verschiedenen Eigenschaften der Spule abhängig. Diese Eigenschaften faßt man als Induktivität  $L$  zusammen.

Induzierte EMK =  $L \cdot$  Stromänderung pro Sekunde.

Induktivität ist die Eigenschaft der Spule, Selbstinduktion zu erzeugen!

Die Maßeinheit der Induktivität ist das Henry!

Eine Spule hat dann die Induktivität 1 Henry (H), wenn bei einer Stromstärkeänderung von 1 Ampere in 1 Sekunde eine EMK von 1 Volt induziert wird.

## 2.352 Abhängigkeit

Da die Induktivität etwas über die Eigenschaften einer Spule aussagt, wollen wir näher betrachten, wodurch die Größe der Induktivität beeinflusst wird. Wir stellen zunächst fest:

Die Induktivität wächst:

1. mit der Windungszahl quadratisch,
2. mit sinkendem magnetischen Widerstand.

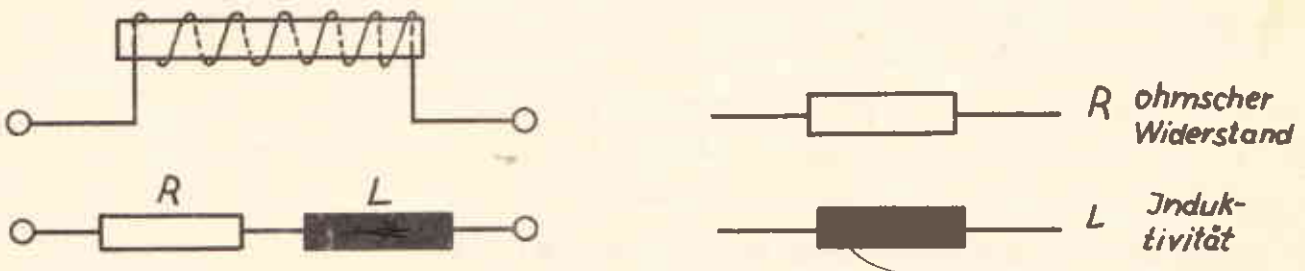
Wird bei einer Spule die Windungszahl verdoppelt, so wächst die Induktivität auf den vierfachen Wert.

Der magnetische Widerstand hängt außer von den Abmessungen der Spule hauptsächlich von der Permeabilität  $\mu$  des Stoffes ab, auf den die Spule gewickelt ist.

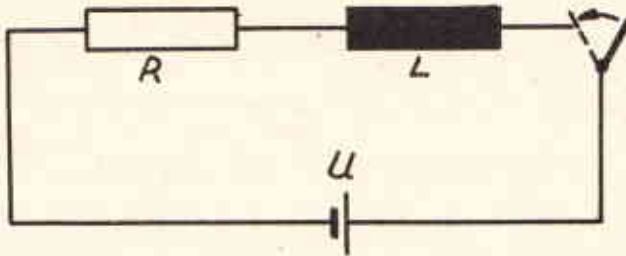
Bei Luft sowie bei den meisten Stoffen ist  $\mu$  ein fester Wert. Die Induktivität einer solchen Spule ist deshalb auch eine bestimmte unveränderliche Größe (z.B. 10 mH). Anders ist es bei Spulen mit Eisenkern. Diese haben im ungesättigten Zustand eine große Induktivität (großes  $\mu$ ), im gesättigten Zustand des Eisens dagegen eine geringe Induktivität (kleines  $\mu$ ). Um große Induktivitäten herzustellen, muß man aber auf Eisenkerne zurückgreifen, weil Eisen mit Abstand die größte Permeabilität besitzt. Durch den Eisenkern erhöht sich die Induktivität um das 1000-fache und mehr gegenüber Luft.

## 2.353 Induktivität im Gleichstromkreis

In der Praxis ist es nicht möglich, eine reine Induktivität herzustellen. Die Induktivität ist stets mit dem Widerstand des Drahtes vereinigt. In der Zeichnung jedoch stellt man die Induktivität getrennt vom Widerstand dar, den man dann als "ohmschen" Widerstand bezeichnet (ohne Induktivität):



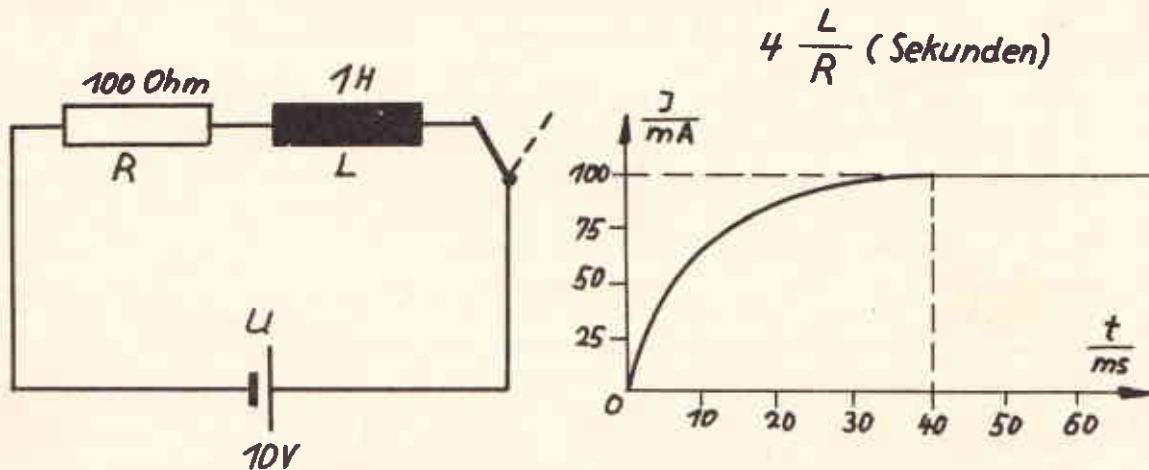
# 1. Schließen des Gleichstromkreises



Wir stellen fest, daß in dem induktiv belasteten Stromkreis der Gleichstrom erst nach einer gewissen Zeit, die "Schaltzeit" genannt wird, seinen Höchstwert erreicht. Der Höchstwert des Stromes wird nur von dem ohmschen Widerstand  $R$  des Stromkreises bestimmt ( $I = U/R$ ).

Die Schaltzeit ist von der Induktivität  $L$  abhängig (große Induktivität - große Schaltzeit).

Stromanstieg beim Einschalten:



## Erklärung:

Beim Einschalten verursacht das sich aufbauende Magnetfeld eine Selbstinduktion der Spule. Dadurch entsteht eine EMK, die nach der Lenzschen Regel der angelegten Spannung entgegengerichtet ist. Sie wird daher Gegen-EMK genannt. Der Strom kann deshalb nicht sofort seine volle Größe annehmen, sondern muß erst diese Gegen-EMK überwinden. Hat der Strom langsam seinen Höchstwert erreicht, dann ist keine Gegen-EMK mehr vorhanden, weil dann auch keine Magnetfeldänderung mehr auftritt. In der Praxis kann man damit rechnen, daß der Strom seinen Höchstwert nach einer Zeit von

$$t = 4 \frac{L}{R}$$

erreicht hat (98 % des Höchstwertes).

## 2. Geschlossener Gleichstromkreis

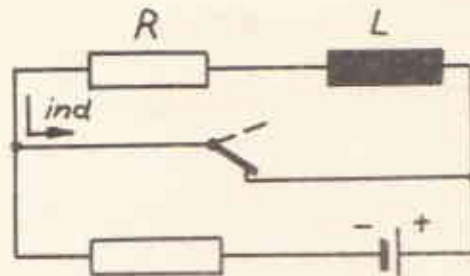
Eine Induktivität wirkt sich in einem geschlossenen Gleichstromkreis überhaupt nicht aus. Da ein gleichmäßiger Strom fließt, bleibt auch das Magnetfeld gleich groß und es treten keine Induktionerscheinungen auf. Bei der Berechnung eines solchen Kreises bleibt die Induktivität unberücksichtigt.

## 3. Öffnen des Gleichstromkreises

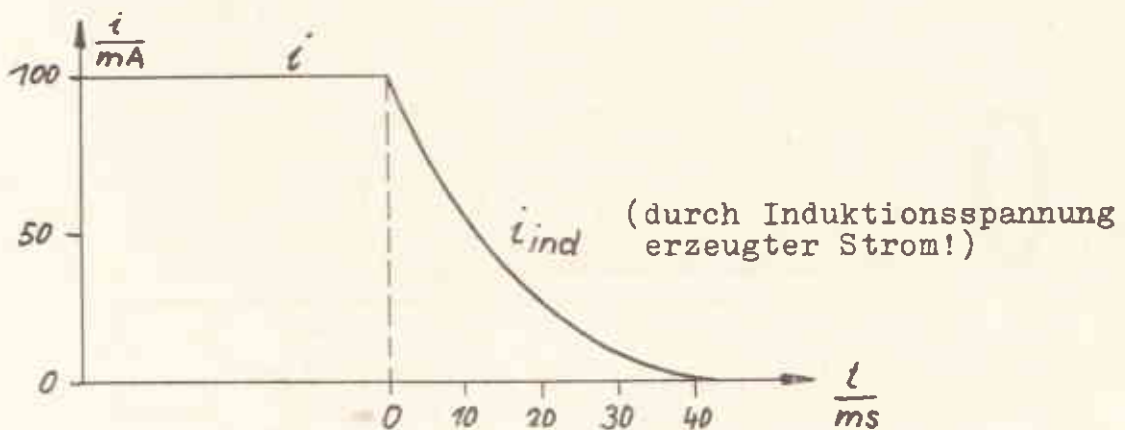
Wird der induktiv belastete Gleichstromkreis unterbrochen, so bricht das Magnetfeld plötzlich zusammen. Dadurch wird eine sehr hohe EMK in der Spule induziert.

Nach der Lenzschen Regel hat die EMK die gleiche Richtung wie der unterbrochene Strom. Die EMK kann bei genügend großer Induktivität so groß werden, daß an der Öffnungsstelle ein Funke überschlägt (bei 1 mm Funkstrecke sind ca. 2,5 kV nötig). Die Funkenbildung ist sehr unerwünscht, weil dadurch die Kontakte verschmoren.

Bricht das Magnetfeld dadurch zusammen, daß man die Spule kurzschließt, so kann der Strom, den die Induktionsspannung antreibt, ungehindert fließen:



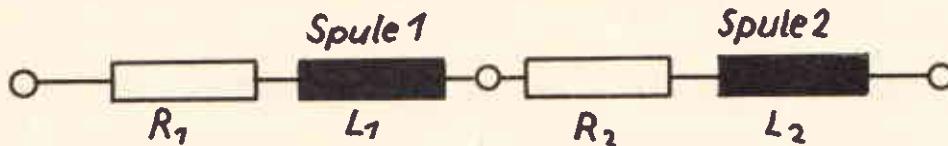
Die Stromkurve sieht wie folgt aus:



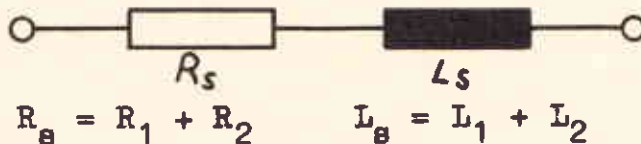
Das Magnetfeld wird langsam abgebaut  
(Beispiel: Abfallverzögerung von Relais)

## 2.354 Reihen- und Parallelschaltung

Bei der Reihenschaltung von Spulen liegen die ohmschen Widerstände und die Induktivitäten in Serie.

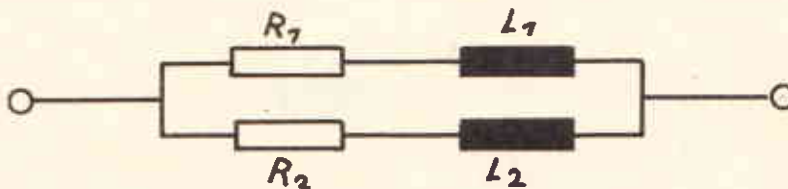


Wir können die ohmschen Widerstände und die Induktivitäten getrennt voneinander, aber nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten zusammenfassen.



Induktivitäten können wie Widerstände zusammengefaßt werden.

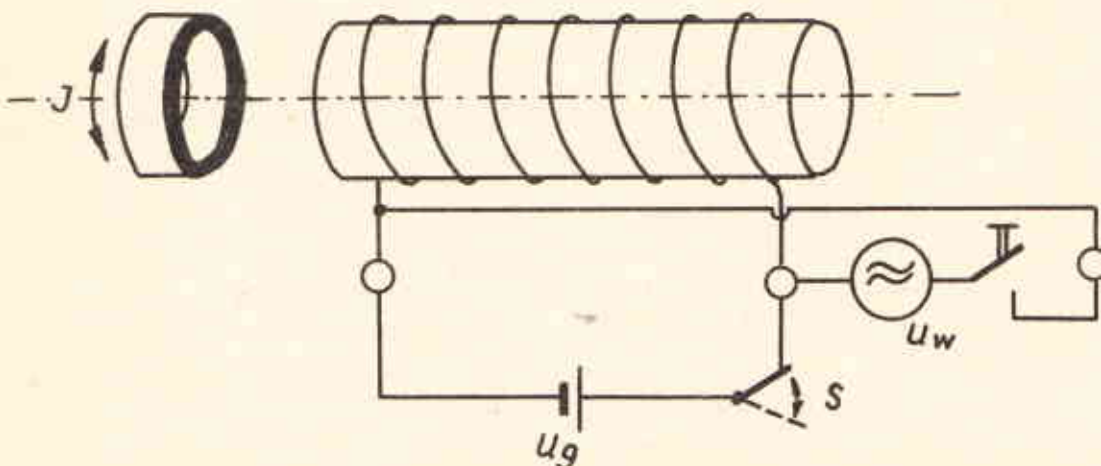
Bei der Parallelschaltung von Spulen liegt in Reihe mit der Induktivität stets der ohmsche Widerstand.



Da hier keine reine Parallelschaltung vorliegt, ist eine getrennte Zusammenfassung nicht möglich.

## 2.36 Wirbelströme

Wir halten einen Leiterring vor die Spule mit Eisenkern:

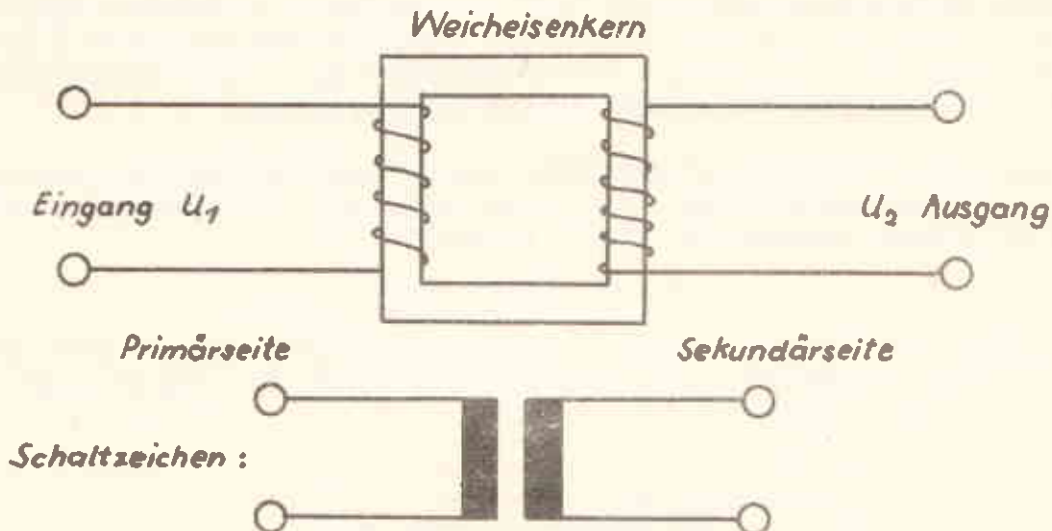


Wird der Schalter S wechselweise geöffnet und geschlossen, so wird das Magnetfeld der Spule dauernd auf- und abgebaut. In dem Leiterring fließt dann ein Strom, dessen Richtung sich im gleichen Rhythmus ändert. Dasselbe erreichen wir, wenn wir statt der Gleichstromquelle  $U_g$  und des Schalters S eine Wechselstromquelle  $U_w$  an die Spule anschließen. In dem Leiterring wird dann ein Wechselstrom induziert. Wir stellen fest, daß sich der Leiter erwärmt. Die Energie muß die Stromquelle liefern.

Die gleichen Magnetfeldänderungen wie in dem Leiterring treten aber auch in dem Eisenkern der Spule auf. Da Eisen den Strom leitet, entstehen also auch hier Wechselströme, die man als Wirbelströme bezeichnet. Der Eisenkern erwärmt sich ebenfalls und entzieht der Stromquelle Energie. Das ist in den meisten Fällen unerwünscht. Man setzt deshalb den Eisenkern aus einzelnen Blechstücken zusammen, die gegeneinander isoliert werden. Dies geschieht entweder durch Papierzwischenlagen oder durch Lackieren der Bleche.

## 2.37 Transformator

Der Transformator (auch Übertrager genannt) besteht aus einem geschlossenen Eisenkreis aus geschichteten Weicheisenblechen. Auf diesem Eisenkern sitzen eine Primär- und eine Sekundärwicklung.



Wird an die Primärwicklung eine Wechselspannung angeschlossen, so entsteht in dem Eisenkern ein magnetisches Wechselfeld. Abgesehen von dem geringen Streufluß bleiben alle magnetischen Kraftlinien innerhalb des Eisens. Durch die Induktionswirkung wird in der zweiten Spule eine Sekundärspannung  $U_2$  erzeugt. Die Größe der Sekundärspannung ist von der Windungszahl abhängig. Wir stellen fest:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = \ddot{u}$$

$U_1$  Primärspannung  
 $U_2$  Sekundärspannung  
 $w_1$  Primärwindungen  
 $w_2$  Sekundärwindungen  
 $\ddot{u}$  Übersetzungsverhältnis

Bei einem Übertrager verhalten sich die Spannungen wie die Windungszahlen.

Die Sekundärspule können wir als Stromquelle auffassen. Da die Spule jedoch einen bestimmten Widerstand aufweist, geht die Sekundärspannung bei Belastung zurück (Innenwiderstand der Stromquelle). Bei einem belasteten Übertrager stimmt die oben angegebene Gleichung nicht mehr; sie gilt nur für die Leerlaufspannung!

Wie sich durch Versuche nachweisen läßt, ist (abgesehen von den geringen Verlusten) die Primärleistung gleich der Sekundärleistung:

$$\boxed{P_1 = P_2} \quad \text{oder} \quad U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Aus dieser Formel kann man ableiten, daß sich die Ströme umgekehrt wie die Windungszahlen verhalten:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{w_2}{w_1}$$

## 2.38 Induktion in der Praxis

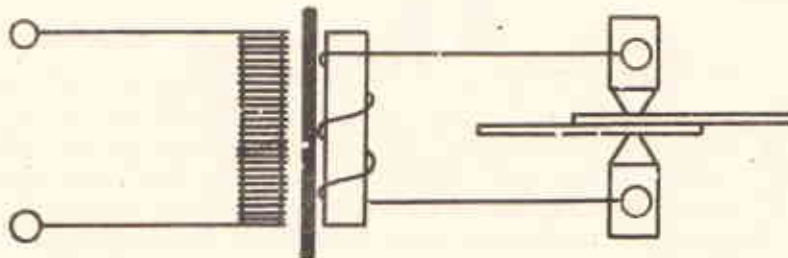
### 2.381 Hochstromtransformator

Die hohe Primärspannung wird auf einige Volt heruntertransformiert. Dadurch können dem Trafo hohe Ströme entnommen werden (Primärleistung gleich Sekundärleistung). Ein Kurzschluß auf der Sekundärseite bringt keine Überlastung.

Man verwendet den Hochstromtrafo zur Widerstandsschweißung, z.B. beim Punktschweißen. Die Leistung, die in einem Widerstand in Wärme umgesetzt wird, beträgt

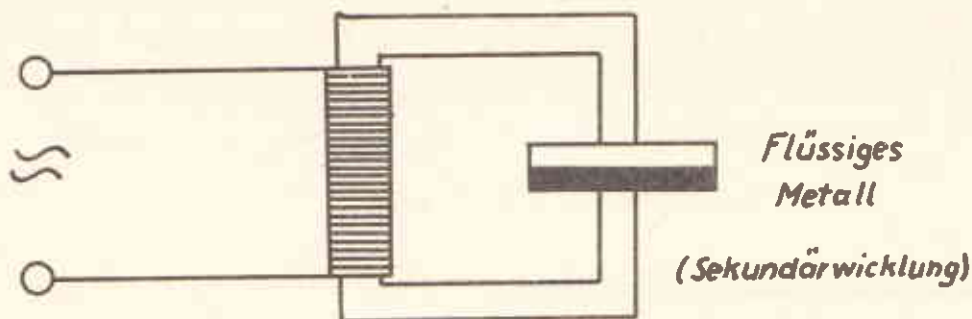
$$P = I^2 \cdot R$$

Den Widerstand stellen z.B. die beiden Bleche dar, durch die der Sekundärstromkreis geschlossen wird und die zusammengeschweißt werden sollen:



Das Metall wird so heiß, daß es zu schmelzen beginnt. Dadurch tritt das Verschweißen ein.

Auf ähnlichem Prinzip beruht die Induktionsheizung, die hauptsächlich zum Schmelzen von Metallen Verwendung findet. Dabei bildet das Metall die Sekundärwindung des Transformators. Es fließt ein sehr hoher Strom, der das Metall zum Schmelzen bringt.

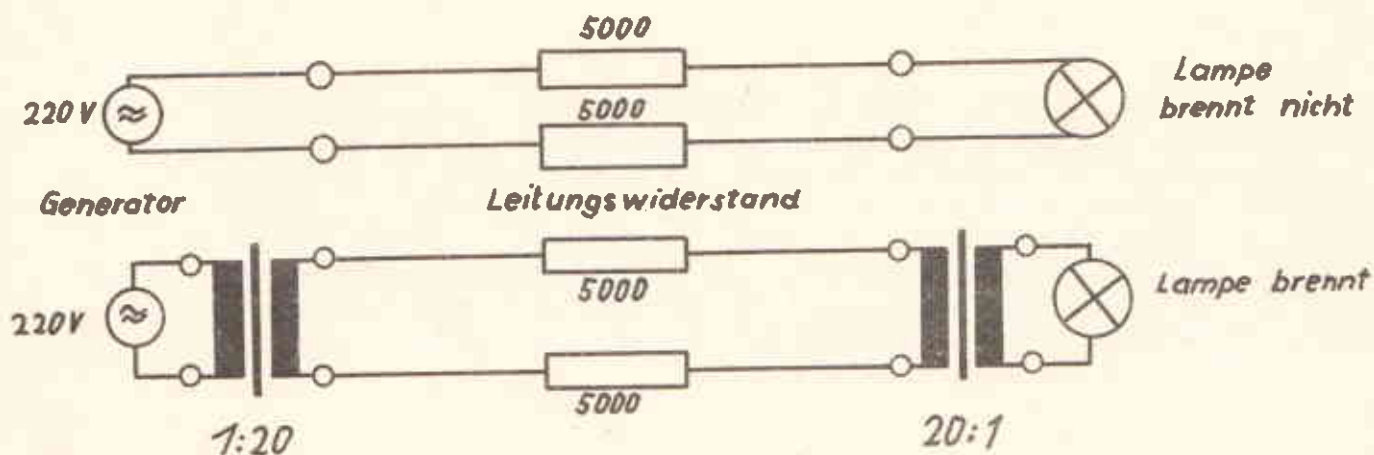


### 2.382 Hochspannungstransformator

Will man elektrische Energie über weite Strecken leiten, so muß man die im Generator erzeugte Spannung hochtransformieren.

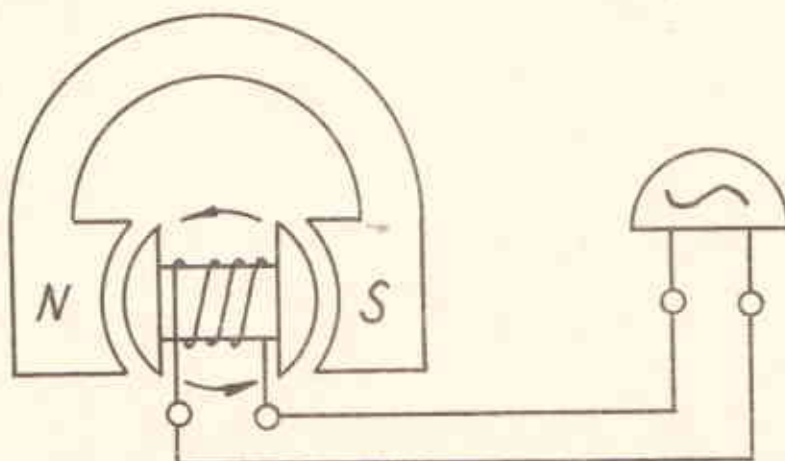
Bei geringer Spannung auf dem Übertragungsweg wird bei großen Leistungen die Stromstärke zu groß. Auf der Leitung wird bei großer Stromstärke zu viel Leistung verloren ( $P = I^2 \cdot R$ ), für den am Leitungsende angeschlossenen Verbraucher bleibt nichts mehr übrig.

Beispiel zur elektrischen Energieübertragung:



### 2.383 Kurbelinduktor

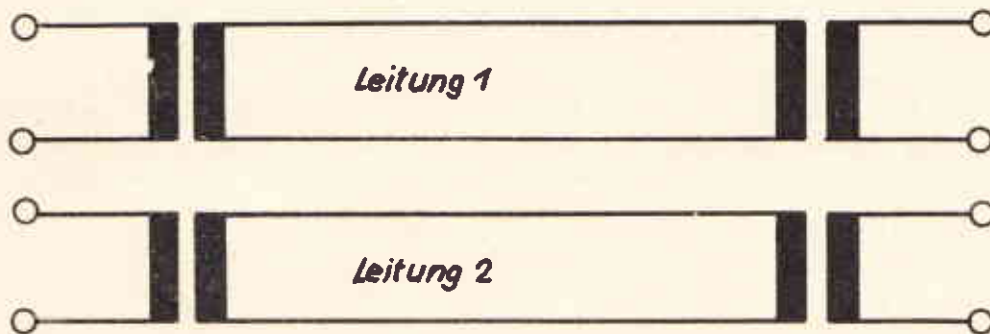
Der Kurbelinduktor dient zur Erzeugung von Rufstrom, d.h. Wechselstrom der einen unter 2.254 beschriebenen Wechselstromwecker erregen soll. Er arbeitet nach folgendem Prinzip:



Auf einen Doppel-T-Anker aus lamelliertem Weicheisen sind mehrere Windungen aufgebracht. Der Anker ist zwischen den zwei Polen eines Dauermagneten drehbar gelagert. Wird der Anker durch eine Kurbel in Drehung versetzt, so wird das Weicheisen durch den Dauermagneten fortwährend ummagnetisiert. Die dauernde Windungsflußänderung induziert in der Spule eine Wechselspannung. Diese ist jedoch nicht sinusförmig.

## 2.384 Induktion auf Fernmeldeleitungen

Laufen zwei (oder mehrere) Freileitungen über eine längere Strecke nebeneinander, so treten auch hier Induktionsercheinungen auf.



Wechselströme, die auf der Leitung 1 fließen, erzeugen ein wechselndes Magnetfeld. Die Leitungsschleife 2 ist mit einem Teil des Magnetflusses verkettet. In der Leitung 2 tritt daher ein Induktionsstrom auf. Wird auf der Leitung 1 gesprochen, so kann man auf der Leitung 2 mithören. Laufen Freileitungen über 5 km nebeneinander, so sind Schutzmaßnahmen erforderlich (Schleifenkreuzung, Platzwechsel). Man bezeichnet diese Erscheinung als "Induktives Nebensprechen".

# C H E M I E - S T R O M V E R S O R G U N G

|                                                        | Seite          |
|--------------------------------------------------------|----------------|
| 1. <u>Grundaufbau der Materie</u> . . . . .            | <u>3 - 9</u>   |
| 1.1 Allgemeine Wortbegriffe . . . . .                  | 3              |
| 1.2 Atomaufbau . . . . .                               | 3 - 7          |
| 1.3 Verhalten der Elemente . . . . .                   | 7 - 9          |
| 2. <u>Chemische Grundbegriffe</u> . . . . .            | <u>9 - 12</u>  |
| 2.1 Chemische Symbole . . . . .                        | 9              |
| 2.2 Chemische Formeln . . . . .                        | 9              |
| 2.3 Analyse . . . . .                                  | 9              |
| 2.4 Synthese . . . . .                                 | 10             |
| 2.5 Oxydation . . . . .                                | 10             |
| 2.6 Reduktion . . . . .                                | 11             |
| 2.7 Säuren . . . . .                                   | 11             |
| 2.8 Laugen - Basen . . . . .                           | 11 - 12        |
| 2.9 Salze . . . . .                                    | 12             |
| 3. <u>Elektrolyse</u> . . . . .                        | <u>13 - 20</u> |
| 3.1 Allgemeines . . . . .                              | 13             |
| 3.2 Vorgänge während der Elektrolyse . . . . .         | 13 - 15        |
| 3.3 Abscheidung von Stoffen aus Elektrolyten . . . . . | 15 - 17        |
| 3.4 Anwendung der Elektrolyse . . . . .                | 17 - 20        |
| 4. <u>Galvanische Elemente</u> . . . . .               | <u>21 - 38</u> |
| 4.1 Allgemeines . . . . .                              | 21 - 22        |
| 4.2 Elektrochemische Spannungsreihe . . . . .          | 22 - 24        |
| 4.3 Elektrolytische Polarisation . . . . .             | 24             |
| 4.4 Anwendungen . . . . .                              | 24 - 28        |
| 4.41 Zink-Kohleelement . . . . .                       | 24 - 26        |
| 4.42 Elektrochemische Korrosion . . . . .              | 26 - 27        |
| 4.43 Korrosionsschutz . . . . .                        | 27 - 28        |

|                                                                      | Seite       |
|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| 4.5    Akkumulatoren . . . . .                                       | 29 - 38     |
| 4.51    Allgemeines . . . . .                                        | 29          |
| 4.52    Bleiakkumulator . . . . .                                    | 29 - 37     |
| 4.521    Aufbau . . . . .                                            | 29 - 30     |
| 4.522    Wirkungsweise . . . . .                                     | 31 - 35     |
| 4.523    Technische Daten . . . . .                                  | 35 - 37     |
| 4.53    Stahl-Akkumulatoren . . . . .                                | 37 - 38     |
| <br>5. <u>Schaltung von Spannungsquellen</u> . . . . .               | <br>38 - 39 |
| 5.1    Allgemeines . . . . .                                         | 38          |
| 5.2    Reihenschaltung . . . . .                                     | 38          |
| 5.3    Parallelschaltung . . . . .                                   | 39          |
| <br>6. <u>Stromversorgung bei der Deutschen Bundespost</u> . . . . . | <br>39 - 44 |
| 6.1    Grundsätzliche Forderung . . . . .                            | 39 - 40     |
| 6.2    Verbraucherspannungen . . . . .                               | 40 - 42     |
| 6.3    Betriebsverfahren der Gleichstromversorgung . . . . .         | 42 - 44     |
| 6.31    Batteriebetrieb . . . . .                                    | 42          |
| 6.32    Parallelbetrieb . . . . .                                    | 42 - 43     |
| 6.33    Umschaltebetrieb . . . . .                                   | 43 - 44     |
| <br>7. <u>Technische Schutzmaßnahmen</u> . . . . .                   | <br>44 - 50 |
| 7.1    Sicherungen . . . . .                                         | 44          |
| 7.11    Spannungssicherungen . . . . .                               | 44 - 45     |
| 7.12    Stromsicherungen . . . . .                                   | 45 - 46     |
| 7.2    Erdung - Schutzmaßnahmen . . . . .                            | 47 - 50     |
| 7.21    Erdung . . . . .                                             | 47          |
| 7.22    Schutzmaßnahmen . . . . .                                    | 47 - 50     |
| 7.221    Allgemeines . . . . .                                       | 47 - 48     |
| 7.222    Schutzisolierung . . . . .                                  | 48          |
| 7.223    Schutztrennung . . . . .                                    | 48          |
| 7.224    Schutzerdung . . . . .                                      | 49 - 50     |
| 7.225    Nullung . . . . .                                           | 50          |

## I. CHEMISCHE WIRKUNG DES STROMES

### 1. Grundaufbau der Materie

#### 1.1 Allgemeine Wortbegriffe

Die kleinsten Grundbestandteile aller Stoffe sind die Atome (griechisch atomos = unteilbar!). Gegenüber der früheren Meinung, daß Atome unteilbar seien, hat man heute herausgefunden, daß durch starke Kräfte auch diese Grundbestandteile = Atome teilbar sind (Atombombe!).

Atome sind die kleinsten Teile der Materie

Besteht nun ein Stoff aus e i n e r Atomart, so ist er ein Grundstoff = Element.

Ein Element besteht aus Atomen der gleichen Art

Von diesen Elementen kennen wir 92 Stück (10 weitere Elemente, sogenannte Transurane, sind nicht beständig und werden nicht mit aufgeführt). Elemente sind z.B. Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff.

Vereinigen sich Atome verschiedener oder gleicher Elemente, so spricht man von Molekülen, z.B.

2 Wasserstoffatome + 1 Sauerstoffatom = 1 Wassermolekül oder

1 Sauerstoffatom + 1 Sauerstoffatom = 1 Sauerstoffmolekül.

Die Vereinigung mehrerer Atome heißt Molekül

Verbinden sich verschiedenartige Moleküle, so spricht man von einer Verbindung z.B.

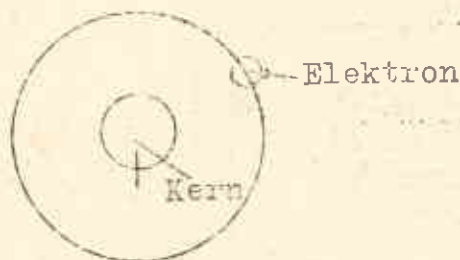
1 Schwefelmolekül + 1 Eisenmolekül = Verbindung (Schwefeleisen),

Die Vereinigung mehrerer Moleküle heißt Verbindung

#### 1.2 Atomaufbau

Jedes Atom zeigt einen ganz bestimmten Aufbau. Es besteht aus einem Atomkern und den um den Atomkern kreisenden Elektronen. Die Elektronen kreisen hierbei auf Kreis- bzw.

Ellipsenbahnen um den Kern. Der Einfachheit halber werden in den folgenden Darstellungen nur Kreisbahnen angenommen.

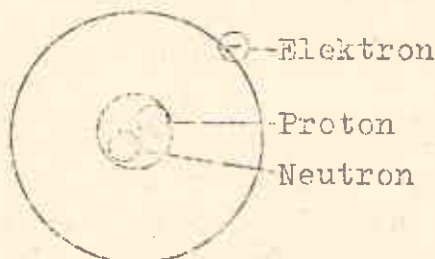


Ein Atom besteht aus dem Atomkern und den Elektronen

Damit das Elektron immer um den Kern kreisen kann und nicht aus seiner Kreisbahn herausgeschleudert wird (Zentrifugalkraft), muß der Atomkern eine anziehende Kraft auf das Elektron ausüben. Aus Versuchen konnte man ermitteln, daß der Atomkern positiv und die Elektronen negativ geladen sind; da sich ungleichnamige Elektrizitätsmengen anziehen, wird das Elektron also in der Kreisbahn gehalten (Anziehungskraft hebt Zentrifugalkraft auf). Nach außen hin erscheint das Atom aber neutral (Ladungen heben sich auf).

Der Atomkern zeigt eine positive, die Elektronen eine negative Ladung. Ein Atom erscheint nach außen hin neutral.

Der Atomkern wiederum besteht aus Protonen und Neutronen.



Das Proton trägt die positive Ladung, das Neutron ist vollkommen ladungsfrei (elektrisch neutral).

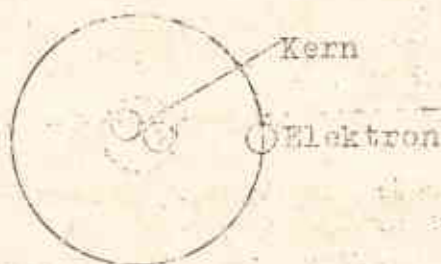
Die Masse eines Protons bzw. Neutrons beträgt etwa  $1,675 \times 10^{-21}$  kg. Das Elektron ist dagegen fast masselos (1847ter Teil der Protonenmasse).

Der Durchmesser eines Atoms beträgt  $10^{-8}\text{cm}$ , der Atomkern-  
durchmesser  $10^{-13}\text{cm}$ . Denkt man sich den Atomkern so groß  
wie einen Stecknadelkopf, so kreist in 100 m Entfernung  
das Elektron.

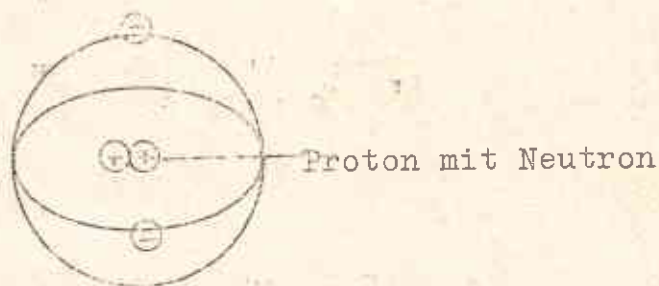
Die 92 Elemente haben im Atomkern verschieden viele Pro-  
tonen und Neutronen; die Elektronenzahl ist in der Regel  
genau so groß wie die Protonenzahl.

Damit man die verschiedenen Elemente einteilen kann, hat  
man sie nach der Zahl der Protonen (= Zahl der Elektronen)  
geordnet. Man spricht hier von der Ordnungszahl  $Z$ . Sind  
in einem Atomkern 3 Protonen (um den Atomkern kreisen  
also 3 Elektronen, die die positive Ladung der Protonen  
ausgleichen), so ist die Ordnungszahl  $Z = 3$ .

Das Element mit der Ordnungszahl  $Z = 1$  ist der Wasserstoff.  
Um den Atomkern mit einem Proton kreist also 1 Elektron.



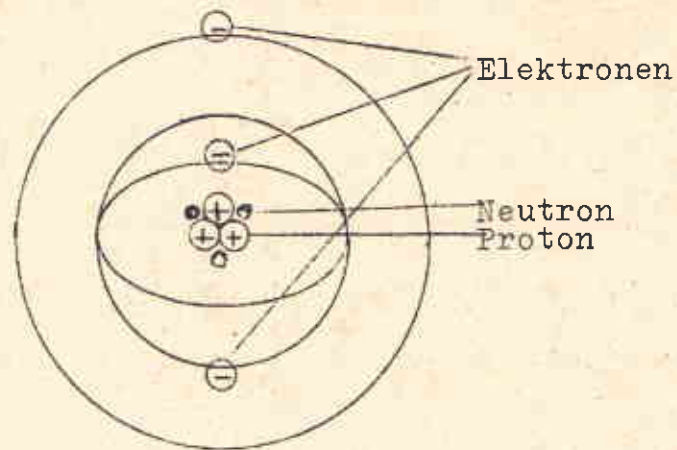
Das Element mit der Ordnungszahl  $Z = 2$  ist Helium. Man hat  
herausgefunden, daß in einer Elektronenbahn immer nur ein  
Elektron kreisen kann, d.h. bei 2 Elektronen müssen 2 Bah-  
nen im gleichen Abstand vom Atomkern vorhanden sein.



Auf jeder Bahn kreist nur ein Elektron

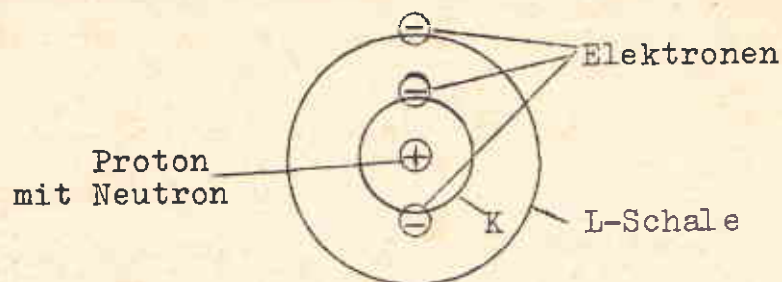
Das Element mit der Ordnungszahl  $Z = 3$  ist Lithium. Um  
den Atomkern mit 3 Protonen kreisen 3 Elektronen.

Man hat herausgefunden, daß sich zwei Elektronen auf den  
gleichen Bahnen wie beim Helium bewegen, das 3. Elektron  
aber einen größeren Abstand vom Atomkern hat als die bei-  
den ersten. Das dritte Elektron bewegt sich auf einer an-  
deren S c h a l e (größerer Abstand vom Atomkern).

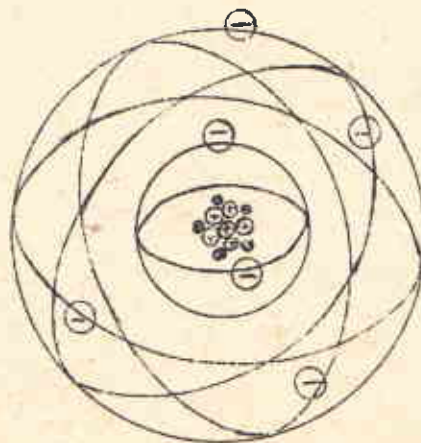


Die Elektronen bewegen sich auf verschiedenen Schalen um den Atomkern; in jeder Schale wiederum ist ein bestimmter Bahnverlauf vorgeschrieben

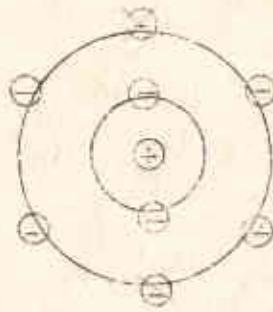
Zur Vereinfachung der Zeichnung werden die Bahnen nun nicht mehr getrennt dargestellt, sondern die Elektronen werden in den Schalen eingezeichnet. Zur Unterscheidung hat man die einzelnen Schalen mit Buchstaben gekennzeichnet, die 1. Schale trägt den Buchstaben K, die 2. den Buchstaben L. Die nächstfolgenden Schalen werden nach dem weiteren alphabetischen Verlauf gekennzeichnet.



Zum besseren Verständnis wird die vollkommene Darstellung des Elementes Kohlenstoff  $Z = 6$  untenstehend aufgeführt.



Die vereinfachte Darstellung sieht bei Kohlenstoff  $Z = 6$  wie folgt aus:



Ist die L-Schale mit 8 Elektronen gefüllt, wird eine neue Schale aufgebaut = M-Schale.

Die Höchstzahl der Elektronen ist, wie wir gesehen haben, in den einzelnen Schalen verschieden.

| Schale         | K  | L | M  | N  | O  | P | Q |
|----------------|----|---|----|----|----|---|---|
| Elektronenzahl | 2  | 8 | 18 | 32 | 21 | 9 | 2 |
|                | 10 |   |    |    |    |   |   |
|                | 28 |   |    |    |    |   |   |
|                | 60 |   |    |    |    |   |   |
|                | 81 |   |    |    |    |   |   |
|                | 90 |   |    |    |    |   |   |
|                | 92 |   |    |    |    |   |   |

Die einzelnen Schalen werden mit Buchstaben bezeichnet. Jede Schale kann nur eine ganz bestimmte Anzahl von Elektronen aufnehmen.

### 1.3 Verhalten der Elemente

#### 1.31 Edelgas

Die Elemente haben das Bestreben, ihre Schalen mit der entsprechenden Höchstzahl von Elektronen zu füllen. Ist die äußerste Schale eines Atomes nicht voll gefüllt, so versucht es, von anderen Atomen Elektronen aufzunehmen. Atome, die auf der äußersten Schale nur wenige Elektronen haben, sind bestrebt, diese abzugeben, um so außen eine volle Schale aufzuweisen. Sind alle Schalen gefüllt, handelt es sich um Stoffe, die keine weiteren Elektronen aufnehmen bzw. abgeben; diese Stoffe sind Edelgase.

z.B. ist die K-Schale gefüllt (mit 2 Elektronen, entsteht das Edelgas Helium; ist die L-Schale gefüllt (mit zusätzlich 8 Elektronen = 10 Elektronen gesamt), entsteht das Edelgas Neon.

Atome zeigen das Bestreben, die äußerste Schale zu füllen

Der Aufbau der Edelgase mit höheren Elektronenzahlen geschieht nach ähnlichen, aber schwierigen Gesetzen.

### 1.32 Elemente mit großer spezifischer Leitfähigkeit

In der Elektrotechnik benötigen wir Stoffe, die der Weiterleitung von Elektronen einen kleinen Widerstand entgegensetzen. Solche Stoffe, die Elektronen besitzen, welche nur schwach an den Kern gebunden sind - das sind meist nur Elektronen auf der äußersten Schale - werden nach Anlegen einer Spannung eine gute Leitfähigkeit aufweisen.

Beispiel: Kupfer besitzt 29 Elektronen; davon 2 auf der K-Schale, 8 auf der L-Schale, 18 auf der M-Schale und 1 Elektron auf der N-Schale; dieses eine Elektron auf der N-Schale ist nun sehr schwach an den Atomkern gebunden. Man bezeichnet diese Außen-Elektronen als Valenzelektronen. Diese Elektronen bilden das bereits bekannte "Elektronengas".

Elektronen, die sich auf der äußersten Schale befinden, heißen Valenzelektronen.

Sind dagegen auf der äußersten Schale mehrere freie Elektronen vorhanden, wird die Beweglichkeit der einzelnen Elektronen sehr gehemmt, sie stoßen bei Stromfluß des öfteren mit anderen Ladungsträgern zusammen und die Leitfähigkeit verringert sich (z.B. Eisen).

### 1.33 Stoffe mit kleiner spezifischer Leitfähigkeit

Bei Stoffen, deren Außenelektronen stark an den Kern gebunden sind - die also keine bzw. wenig "freie" Elektronen besitzen - werden wir nach Anlegen einer Spannung eine kleine Leitfähigkeit beobachten können.

### 1.34 Ionen

Wird aus einem Atom, das nach außen hin neutral erscheint, ein Elektron abgespaltet, so ist das Atom nicht mehr neutral, d.h. die positive Gesamtladung des Atomkernes überwiegt um eine positive Ladung.

Solch ein Stoff, der jetzt nach außen hin elektrisch geladen erscheint, heißt Ion. In dem angeführten Fall, wenn ein Elektron abgespaltet wird, handelt es sich um ein positives Ion.

Hätte das Atom ein Elektron aufgenommen, so würde die negative Ladung überwiegen und das Ion würde nach außen hin negativ erscheinen = negatives Ion.

Ionen sind elektrisch geladene Atome

## 2. Chemische Grundbegriffe

### 2.1 Chemische Symbole

Um nicht immer die einzelnen Wörter der Stoffe ausschreiben zu müssen, hat man eine Abkürzung geschaffen. Die chemischen Symbole sind die Anfangsbuchstaben - der meist lateinischen Namen - der Elemente.

|      |    |   |             |
|------|----|---|-------------|
| z.B. | H  | = | Wasserstoff |
|      | O  | = | Sauerstoff  |
|      | Cl | = | Chlor       |
|      | N  | = | Stickstoff  |
|      | Na | = | Natrium     |
|      | S  | = | Schwefel    |
|      | Cu | = | Kupfer      |

### 2.2 Chemische Formeln

Die chemischen Formeln bezeichnen die Art und die Anzahl der Atome in einer chemischen Verbindung.

z.B. Kochsalz: ein Molekül Kochsalz besteht aus 1 Atom Natrium und 1 Atom Chlor.  
 $\text{NaCl}$

Wasser: ein Molekül Wasser besteht aus 1 Atom Sauerstoff und 2 Atomen Wasserstoff.  
 $\text{H}_2\text{O}$

### 2.3 Analyse

Genauso wie Gemenge (z.B. Sand mit Steinen) getrennt werden können, können chemische Verbindungen (z.B. Wasser) in ihre Grundbestandteile (Wasserstoff und Sauerstoff) zerlegt werden. Dieser chemische Vorgang heißt Analyse.

Analyse ist die chemische Zerlegung einer Verbindung.

## 2.4 Synthese

Synthese ist das Gegenteil der Analyse. Wenn man Sand und Steine zusammenwirft, entsteht ein Gemenge; gibt man mehrere Grundbestandteile (z.B. Wasserstoff und Sauerstoff) in entsprechender Menge zusammen, so entsteht eine chemische Verbindung (Wasser), dieser Vorgang heißt Synthese.

Synthese ist die chemische Verbindung mehrerer Stoffe.

Im Gegensatz zum Gemenge vereinigen sich bei einer chemischen Verbindung die beiden Stoffe und es entsteht ein völlig neuer Stoff.

## 2.5 Oxydation

Geben wir in einen Ofen einen brennbaren Stoff und entzünden diesen (Erreichen der Entzündungstemperatur), so verbrennt dieser Stoff. Wie wir aus Erfahrung wissen, erlischt das Feuer wieder, wenn wir die Luftklappe schließen. Öffnen wir dagegen die Luftklappe - lassen also Luft in den Ofen - brennt unser Feuer.

Wir sehen also, daß zum Verbrennen Luft notwendig ist. Die Luft selber besteht aus verschiedenen Gasen (20 % Sauerstoff, 78 % Stickstoff, 2 % andere Gase). Zum Verbrennen von Gegenständen ist der Sauerstoff notwendig.

Wir können eine Verbrennung beschleunigen, wenn wir Sauerstoff hinzugeben (Anwendung von Oxydationsmitteln = sauerstoffabgebende Stoffe in der Technik).

Solche Vorgänge, bei denen Sauerstoff aufgenommen wird, nennt man Oxydationsvorgänge,

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| z.B. Kupfer + Sauerstoff | Kupferoxyd |
| Eisen + Sauerstoff       | Eisenoxyd  |

Unter Oxydation versteht man also die Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff.

Solche Oxydationsvorgänge können:

- a) langsam erfolgen: z.B. die Vereinigung von Eisen mit Sauerstoff = Rost, die Verwesung von tierischen und pflanzlichen Stoffen.
- b) normal erfolgen: z.B. normale Verbrennung
- c) schnell erfolgen: z.B. Explosion.

## 2.6 Reduktion

Bei der Reduktion wird - im Gegensatz zur Oxydation - der Sauerstoff aus einer Verbindung weggenommen.

Unter Reduktion versteht man die Wegnahme von Sauerstoff aus einer Verbindung.

Damit die Wegnahme des Sauerstoffes schnell vor sich geht, benötigt man neben einer Wärmequelle (bei Oxydation wird Wärme meist frei, bei Reduktion muß Wärme zugeführt werden) noch ein Reduktionsmittel, das den Sauerstoff stark an sich bindet.

Oft verwendete Reduktionsmittel sind der Wasserstoff, der sich mit Sauerstoff leicht zu Wasser verbindet, und der Kohlenstoff.

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| z.B. Kupferoxyd + Wasserstoff | Kupfer + Wasser       |
| Eisenoxyd + Kohlenstoff       | Eisen + Kohlendioxyd. |

## 2.7 Säuren

Säuren sind wässrige Lösungen von Nichtmetalloxyden.

Nichtmetall + Sauerstoff = Nichtmetalloxyd + Wasser = Säure  
Oxydation

Säuren werden aus Nichtmetallen gebildet

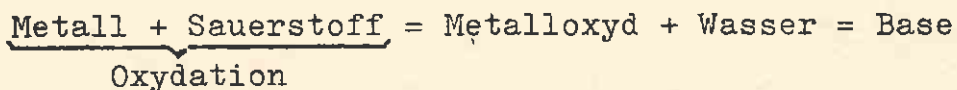
Nichtmetalle: Schwefel  
Phosphor  
Kohlenstoff

Säuren haben folgende Eigenschaften:

- a) schmecken sauer,
- b) machen die Haut rau und rissig,
- c) verändern bestimmte Farbstoffe: z.B. Lackmus wird rot gefärbt,
- d) greifen unedle Metalle an,
- e) in allen Säuren ist der Wasserstoff enthalten: u.B. Salzsäure  $\text{HCl}$  - Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- f) Säuren leiten den Strom unter Zersetzung.

## 2.8 Laugen - Basen

Basen (Laugen) sind wässrige Lösungen von Metalloxyden.



Basen werden aus Metallen gebildet

Metalle:     Natrium = Na  
              Kalzium = Ca  
              Kalium  = K

Basen haben folgende Eigenschaften:

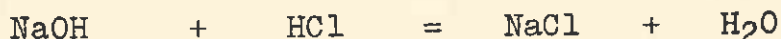
- a) schmecken laugenhaft (seifig),
- b) machen die Hände geschmeidig und quellen sie auf,
- c) verändern bestimmte Farbstoffe, z.B. Lackmus wird blau gefärbt,
- d) greifen unedle Metalle an,
- e) in allen Basen ist der Wasserstoff und der Sauerstoff enthalten (HO-Gruppe = Hydroxylgruppe) z.B. Natronlauge NaOH - Kalilauge KOH - Kalziumlauge Ca(OH<sub>2</sub>)
- f) Basen leiten den elektrischen Strom unter Zersetzung.

## 2.9 Salze

Bringt man eine Säure und eine Base zusammen, so entsteht ein Salz und nebenbei bildet sich Wasser. Dabei verliert die Säure bzw. die Base ihre Eigenschaft, die Säuren bzw. Basen werden "neutralisiert". Man spricht dabei von einer Neutralisation.

Bringt man eine Säure und eine Base zusammen, entsteht Salz und Wasser.

Natronlauge + Salzsäure = Kochsalz + Wasser



Salze können auch durch andere chemische Reaktionen gebildet werden:

Salze in wässriger Lösung leiten den elektrischen Strom unter Zersetzung der Salzlösung.

### 3. Die Elektrolyse

#### 3.1. Allgemeines

Geben wir in ein Gefäß chemisch reines Wasser und lassen zwei Elektroden eintauchen, an die eine Spannung gelegt wurde, so können wir auf einem eingeschalteten Amperemeter sehen, daß kein Ausschlag erfolgt, also kein Strom fließt.

Schütten wir in dieses Wasser dagegen eine Säure, eine Base oder ein Salz, werden wir einen Aus schlag feststellen können.

Daraus können wir entnehmen, daß Wasser mit bestimmten aufgelösten Stoffen den Strom leiten kann.

Die Flüssigkeit, welche den Strom zu leiten vermag, heißt Elektrolyt.

Ein Elektrolyt ist ein Leiter zweiter Klasse (Leiter erster Klasse sind Metalle).

Bei einem Leiter erster Klasse ist die gute Leitfähigkeit auf die leichte Elektronenbeweglichkeit, bei den Leitern zweiter Klasse ist die noch ausreichende Leitfähigkeit auf andere - im folgenden erklärte - Gegebenheiten zurückzuführen.

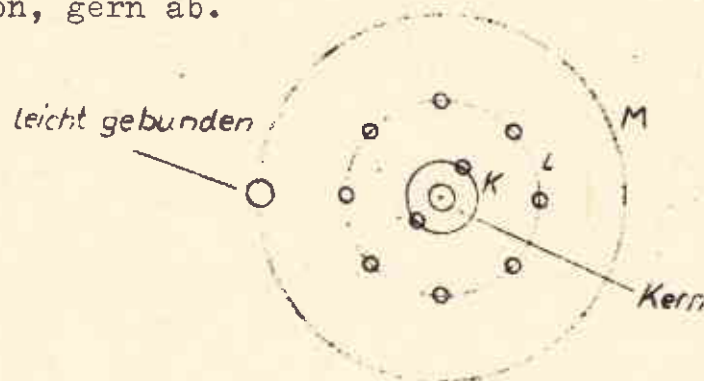
#### 3.2. Vorgänge während der Elektrolyse

Wir schütten in chemisch reines Wasser, welches wie wir wissen nicht leitet, konzentrierte Kochsalzlösung ( $\text{NaCl}$  = Natriumchlorid) und können sehen, daß eine elektrische Leitfähigkeit hervorgerufen wird. Diese Leitfähigkeit ist also nur auf die Zugabe der Kochsalzlösung zurückzuführen.

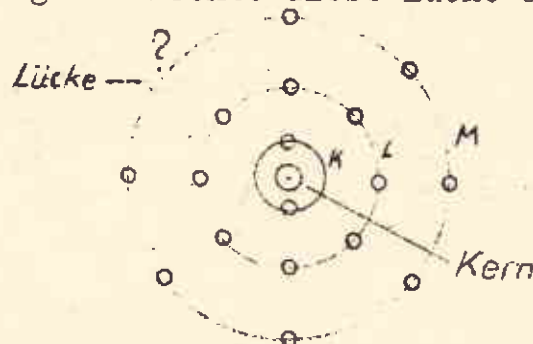
Betrachten wir nun Kochsalz näher, so können wir feststellen, daß dieses aus Natrium (Na) und Chlor (Cl) besteht = Natriumchlorid ( $\text{NaCl}$ ). Diese chemische Verbindung Natriumchlorid wird nun durch den elektrischen Strom in Moleküle aufgespaltet = Dissoziation.

Die Aufspaltung einer wässrigen chemischen Verbindung in Moleküle nennt man Dissoziation.

Bei dieser Aufspaltung gibt das Natrium, welches entsprechend seinem Atomaufbau auf der äußersten Schale (M) ein Elektron besitzt, dieses, leicht an den Kern gebundene Elektron, gern ab.

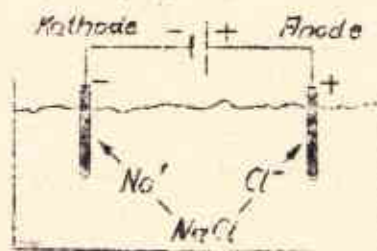


Chlor dagegen besitzt auf seiner äußersten Schale (M) ein Elektron zu wenig und möchte diese Lücke auffüllen.



Bei der Aufspaltung = Dissoziation von Natriumchlorid, gibt Natrium sein Elektron ab und Chlor nimmt dieses auf.

Nun fehlt dem Natrium aber eine negative Ladung und es erscheint nach außen hin positiv geladen. Wie wir bereits gehört haben, spricht man hier von "positiven Ionen". Chlor dagegen nimmt die negative Ladung auf und erscheint nach außen hin "negativ" geladen.

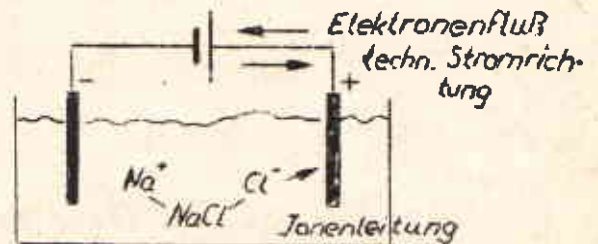


Die positiven Ionen wandern entsprechend der Polregel (ungleichnamige Pole ziehen sich an) zum negativen Pol = Kathode, die negativen Ionen dagegen zum positiven Pol = Anode.

Treffen die negativen Ionen auf die Anode auf, geben sie die Elektronen, die sie zuvor bekommen haben, wieder ab. An der Anode häufen sich also die abgeschiedenen Elektronen.

Die Katode dagegen muß, da die auftreffenden positiven Ionen zu wenig Elektronen besitzen, negative Ladungsträger nachliefern. Diese Ladungsträger zieht sie von der Anode ab, zu der die negativen Chlor-Ionen gewandert sind. Dadurch bekommen wir einen Elektronenfluß in dem äußeren Stromkreis und einen Ionenfluß im Elektrolyten.

Durch die Dissoziation beim Anlegen einer Gleichspannung erhalten wir negative und positive Ionen. Diese Ionen rufen die Leitfähigkeit eines Elektrolyten hervor.



### 3.3. Abscheidung von Stoffen aus Elektrolyten

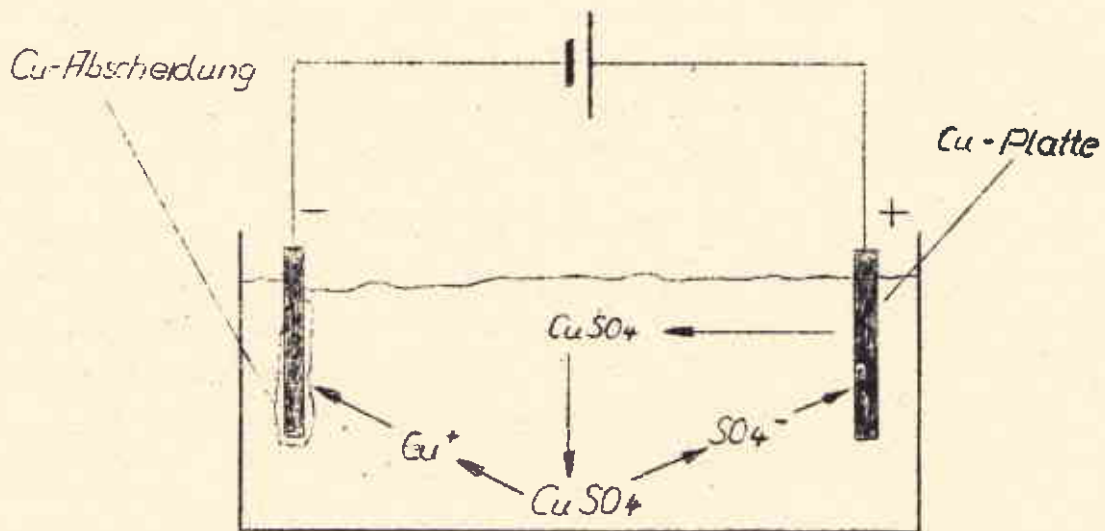
Wie wir gesehen haben, spaltet sich der Elektrolyt nach Anlegen einer Gleichspannung in zwei Bestandteile auf = Dissoziation. Diese Aufspaltung bedingt einen Elektronenfluß, der für die elektrische Leitfähigkeit maßgebend ist. Die Ionen wandern zu den Elektroden und geben Elektronen ab bzw. nehmen Elektronen auf und werden somit wieder neutral. Der jetzt wieder neutrale Stoff scheidet sich an der Elektrode ab.

Geben wir z.B. in eine Kupfersulfatlösung 2 beliebige Elektroden und legen eine Gleichspannung an, so werden wir feststellen, daß sich eine Elektrode mit Kupfer überzieht. Stellen wir die Polarität der Elektrode fest, an der sich Kupfer abgeschieden hat, so werden wir sehen, daß diese Elektrode die Katode ist.

Ist die Kupfersulfatlösung ( $\text{CuSO}_4$ ) vollständig dissoziiert, so ist die Abscheidung des Kupfers an der Katode beendet.

In vielen Fällen aber möchte man eine dauernde Abscheidung erhalten. Aus diesem Grunde nimmt man nun nicht zwei beliebige Elektroden, sondern verwendet als Anode denselben Elektrodenstoff, der an der Katode abgeschieden werden soll. Möchten wir also in unserem vorherigen Beispiel an der Katode Kupfer abscheiden, so müssen wir eine Cu-Anode verwenden.

Es werden die negativen  $\text{SO}_4^-$ -Ionen, die zur Anode wandern, positive Kupfer-Ionen aus der Kupferelektrode herauslösen und sofort die neutrale Kupfersulfatlösung bilden. Diese Lösung kann nun wieder dissoziiert werden. Der Vorgang läuft so lange ab, bis die Kupferanode vollkommen verbraucht ist.



Alle Metall- und Wasserstoff-Ionen (Positive Ionen) wandern zur Katode.

Die abgeschiedene Metallmenge an der Katode ist der Stärke des Stromes und der Zeit verhältnismäßig (proportional). So wird z.B. von der Stromstärke 1 Ampere in

|           |                 |
|-----------|-----------------|
| 1 Sekunde | 1,118 mg Silber |
|           | 0,329 mg Kupfer |
|           | 0,304 mg Nickel |

abgeschieden.

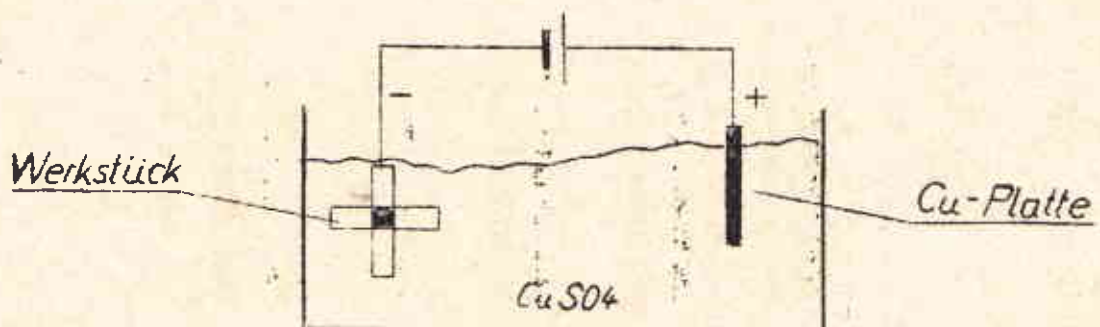
Die abgeschiedene Metallmenge entspricht der transportierten Elektrizitätsmenge (Coulomb)

### 3.4. Anwendung der Elektrolyse

#### 3.41 Galvanische Überzüge

Möchte man ein Werkstück gegen Witterungseinflüsse schützen, so hängt man diesen Gegenstand als Katode in eine wässrige Lösung eines entsprechenden Metallsalzes (Gold, Silber, Nickel, Chrom usw); die Anode hierbei muß aus einer Platte des selben Metalles bestehen. Nach Anlegen der Gleichspannung wird sich der Gegenstand nach einer bestimmten Zeit mit dem Schutzmetall überziehen.

\* Das Überziehen mit Schutzmetallen auf elektrolytischem Weg heißt Galvanisieren.



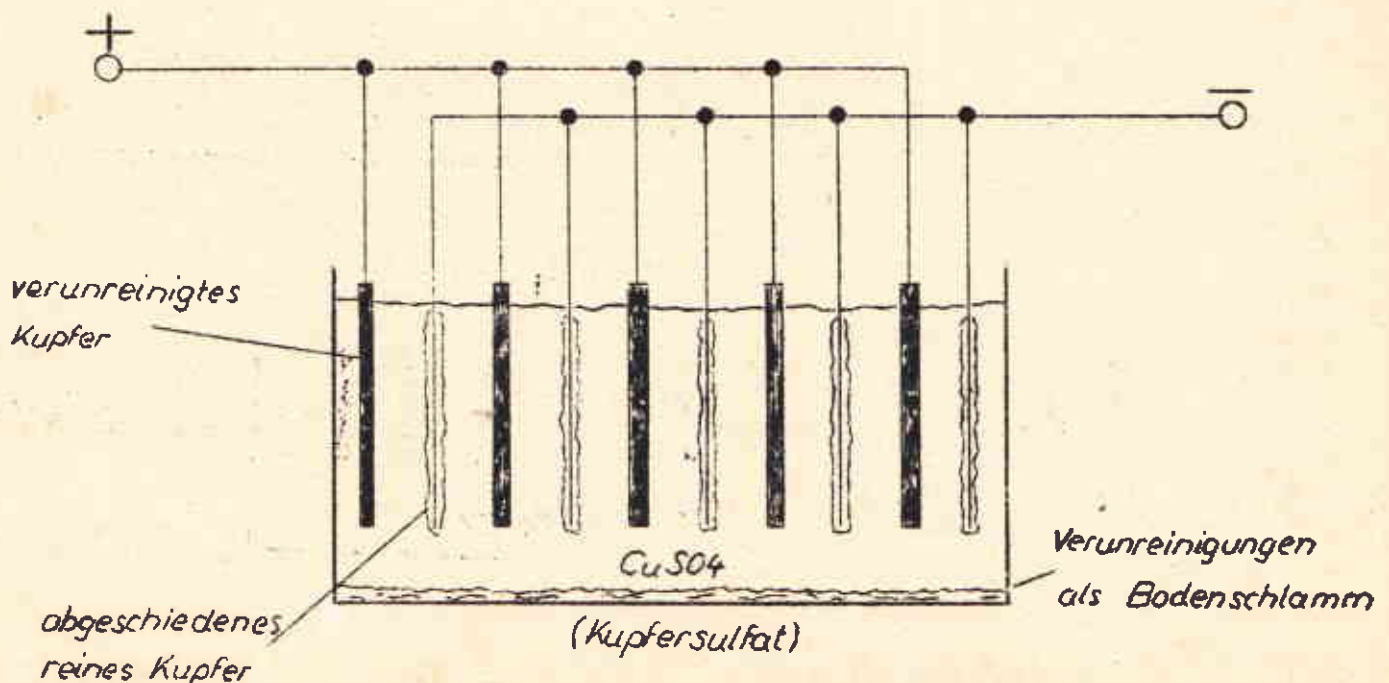
### 3.42 Galvanoplastik

Bestreut man einen Gips- oder Wachsabdruck mit einem leitenden Stoff z.B. Graphit und unterwirft diese Anordnung der Elektrolyse, so wird der Abdruck mit einer Metallschicht = Matrize überzogen. Von dieser Matrize können nun weitere Abzüge gefertigt werden. Diese Technik findet bei der Schallplattenherstellung Verwendung.

### 3.43 Gewinnung reiner Metalle

#### 3.431 Elektrolytkupfer

Das zu reinigende Rohkupfer (Kupfer mit Verunreinigungen) wird als Anode in den Elektrolyten = Kupfersulfat getaucht. Bei Stromdurchgang werden die Kupferionen von der Anode zur Katode wandern und scheiden sich dort als reines Kupfer ab.



### 3.432 Aluminium

Aluminium kommt in der Natur in Verbindungen vor. Man hat also die Aufgabe, das Element Aluminium von den anderen in der Verbindung vorkommenden Elementen zu trennen.

In der Verbindung Tonerde = Bauxit ist z.B. viel Aluminium enthalten. Man gibt geschmolzene Tonerde in eine große mit Kohle ausgekleidete Eisenwanne. Die Kohlewandung bildet hierbei den negativen Pol = Katode; den positiven Pol stellen Kohleelektroden dar, die in die Schmelze hineinragen. Beim Anlegen des Gleichstromes (40 000 Ampere) dissoziiert die Tonerde zu Aluminium und Sauerstoff. Man hat nun die Möglichkeit, das reine Aluminium aus der Wanne zu entnehmen.

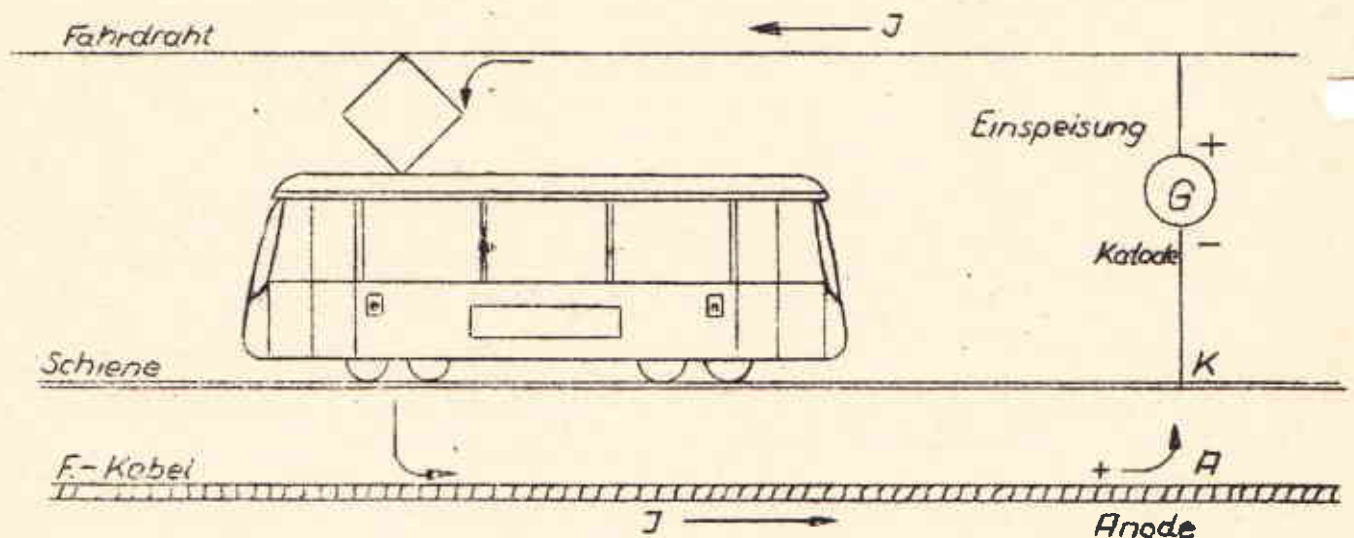
### 3.44 Elektrolytische Kondensatoren

Beim Elektrolytkondensator hat man eine Aluminiumfolie als Anode und einen Elektrolyten (meist Borsäure) als Katode verwendet. Beim Stromdurchgang bildet sich nun auf der Anode eine nicht leitende Aluminiumoxydschicht von  $10^{-4}$  mm Stärke.

Infolge dieses außerordentlich dünnen Dielektrikums bilden Aluminiumfolie und der Elektrolyt einen Kondensator großer Kapazität, wobei aber zu beachten ist, daß derartige Kondensatoren nur für Gleichspannung geeignet sind (Polarität beachten). Die Durchschlagfestigkeit ist begrenzt.

### 3.45 Elektrolytische Korrosion

Bei unseren Fernmeldekabeln mit Metallmantel kommt es häufig vor, daß sich im Metallmantel Löcher bilden, durch die die Feuchtigkeit eindringt und das Kabel beschädigt. Diese Bildung von Löchern hängt meist mit der elektrolytischen Korrosion zusammen. Beim Betrieb von elektrischen Bahnen (Straßenbahn), die hohe Gleichströme aufnehmen, wird der Strom über den Fahrdraht zugeführt und über die Schienen zurückgeleitet. Ein Teil des Stromes wird dabei auch über die in der Erde verlegten Fernmeldekabel fließen. Zwischen der Stelle A (Anode) des Kabels und der Erdungsstelle K (Katode) des Generators bildet sich durch das feuchte Erdreich (Elektrolyt) ein elektrolytischer Vorgang. Beim Stromdurchgang geht ein Teil des Kabelmantels dauernd in Lösung. (Abscheidung des Metalles von der Anode), so daß sich allmählich Löcher bilden.



#### 4. Galvanische Elemente

##### 4.1 Allgemeines

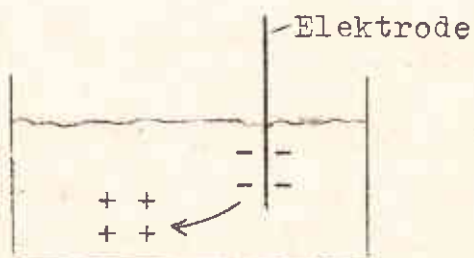
Taucht man zwei Elektroden aus verschiedenen Metallen in einen Elektrolyten, so kann man zwischen den Elektroden eine elektrische Spannung messen.

Zwischen zwei verschiedenen Metallelektroden, die in einen Elektrolyten getaucht werden, entsteht eine elektrische Spannung

Der Vorgang der Entstehung einer elektrischen Spannung lässt sich wie folgt erklären:

Jeder feste Körper hat einen für sich charakteristischen Lösungsdruck, d.h. er hat beim Eintauchen in eine Flüssigkeit das Bestreben, sich aufzulösen. Der gelöste Anteil verteilt sich dann auf die gesamte Flüssigkeit.

Die Ionen des Elektrolyten dagegen zeigen das Bestreben, auf die Elektroden zurückzuwirken; diese Wirkung nennt man osmotischen Druck. Der osmotische Druck arbeitet also dem Lösungsdruck entgegen, so daß je nach der Größe beider entweder Ionen des festen Stoffes in Lösung gehen oder aber Metallionen des Elektrolyten sich an den festen Stoff anlagern. Beim Überwiegen des Lösungsdruckes wandern die positiven Ionen des festen Stoffes in den Elektrolyten hinein und machen ihn positiv, während die feste Elektrode infolge Elektronenüberschusses jetzt negativ wird. Überwiegt dagegen der osmotische Druck, so setzen sich die Metallionen des Elektrolyten an die feste Elektrode und machen sie nunmehr positiv, während der Elektrolyt infolge Elektronenüberschusses jetzt negativ wird.



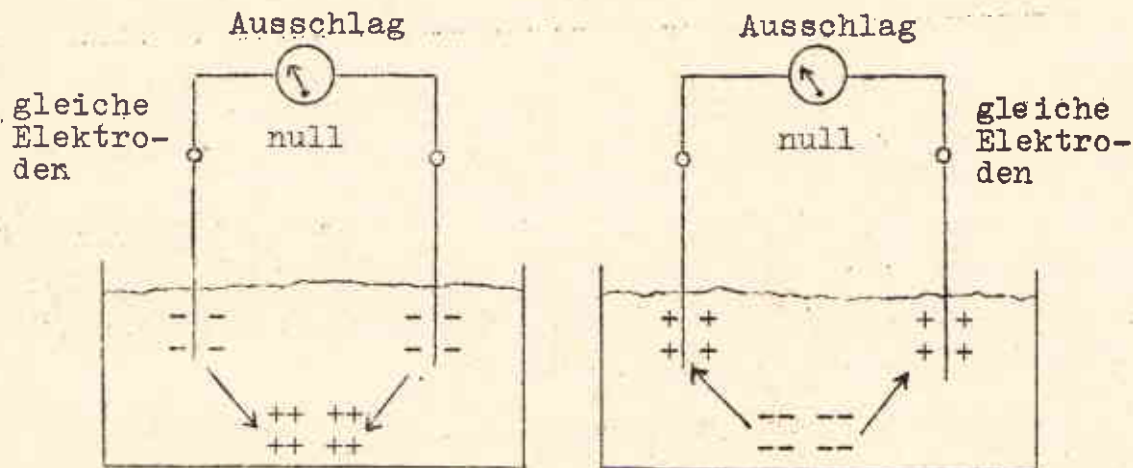
Lösungsdruck größer als  
osmotischer Druck



osmotischer Druck größer  
als Lösungsdruck

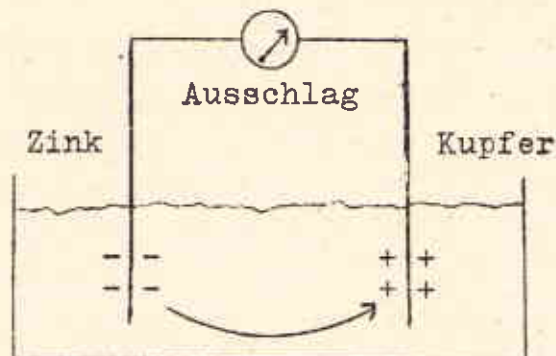
Um jetzt die Spannung nach außen hin wirksam werden zu lassen, muß noch eine Elektrode in den Elektrolyten getaucht werden.

Ist diese zweite Elektrode aus dem gleichen Metall wie die erste Elektrode, so werden wir merken, daß jetzt zwischen den beiden Elektroden keine Spannung auftritt. Die entstehenden Einzelspannungen zwischen den Elektroden und dem Elektrolyten sind zwar gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet und heben sich so auf.



#### 4.2 Elektrochemische Spannungsreihe

Taucht man anstelle gleicher Metallelektroden verschiedenartige Elektroden ein, so kann man auf einem Meßgerät feststellen, daß jetzt ein Stromfluß zustande kommt.

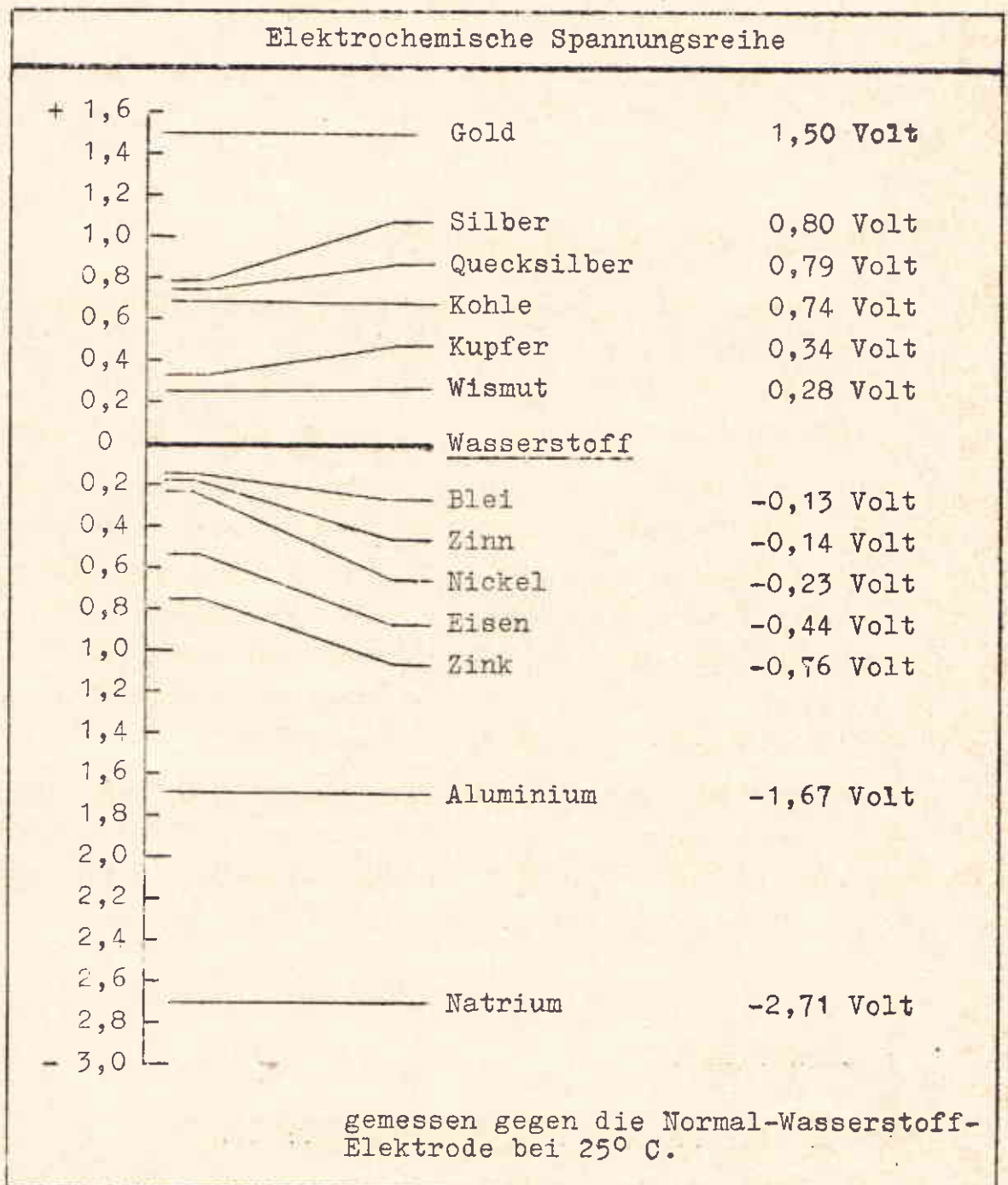


Das eine Metall zeigt einen größeren Lösungsdruck als das andere, d.h. die positiven Metallionen verlassen die Elektrode, dadurch wird diese negativ. Die zweite Elektrode wird durch auftreffende Ionen positiv. Zum Ausgleich der beiden Ladungen müssen nun die Elektronen vom negativen Pol wandern,

das bedeutet, daß wir eine Elektronenbewegung haben und diese Bewegung ist ein Stromfluß.

Die Spannung hängt, wie mit Versuchen nachgewiesen werden kann, von den beiden verwendeten Metallelektroden ab.

Der Italiener Volta hat die einzelnen Spannungsunterschiede gemessen und eine sogenannte elektrochemische Spannungsreihe aufgestellt.



Die Höhe der Spannung eines galvanischen Elementes hängt vom Werkstoff der Elektroden ab.

Je weiter die beiden Stoffe eines galvanischen Elementes in der Spannungsreihe auseinander liegen, desto größer ist die Spannung, die zwischen ihnen in einem Elektrolyten besteht. Bei jeder Zusammenstellung wird das Metall mit der größeren negativen Spannung verbraucht, da es sich auflöst.

Die Polarität der Elektroden ergibt sich aus der Spannungsreihe.

Die Spannung ist in geringem Maße auch von der Konzentration des Elektrolyten abhängig.

#### 4.3 Elektrolytische Polarisierung

Schalten wir an ein galvanisches Element (aufgebaut aus Zink und Kupfer in einer Säure = 1,1 Volt) eine Glühlampe an, so werden wir feststellen, daß die Helligkeit im Laufe der Zeit nachläßt und die Lampe am Ende ganz erlischt.

Dieser Vorgang hängt damit zusammen, daß die Wasserstoffionen der Säure zur Kupferplatte wandern. Der Wasserstoff bildet auf der Kupferplatte eine isolierende Schicht. Wie wir aus der Spannungsreihe entnehmen können, hat das galvanische Element Zinkwasserstoff nur einen Spannungsunterschied von 0,76 Volt. Diese Spannung reicht nicht mehr aus, den Glühfaden zum Leuchten zu bringen.

Um das Überziehen der Kupferplatte mit Wasserstoff zu vermeiden, muß man einen Stoff anbringen, der den Wasserstoff bindet. Dieser Stoff heißt Depolarisator, der Vorgang heißt Depolarisation.

#### 4.4 Anwendungen

##### 4.41 Zink-Kohleelement (Leclanché-Element)

##### 4.411 Naßelement

Beim Naßelement ist der Minuspol ein Zinkzylinder. Die positive Elektrode besteht aus einem Gemisch von Braun-

stein, Ruß und Graphit, das um einen Kohlestab gepreßt ist. Der Elektrolyt ist eine Salmiaklösung.

Braunstein dient zur Depolarisation. Der an der positiven Elektrode entstehende Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff des Braunsteins zu Wasser.

Betrachten wir die elektrochemische Spannungsreihe, so können wir bei Zink die Spannung minus 0,76 Volt und bei Kohle die Spannung plus 0,74 Volt ablesen. Zwischen den beiden Elektroden entsteht eine Spannung von 1,5 Volt.

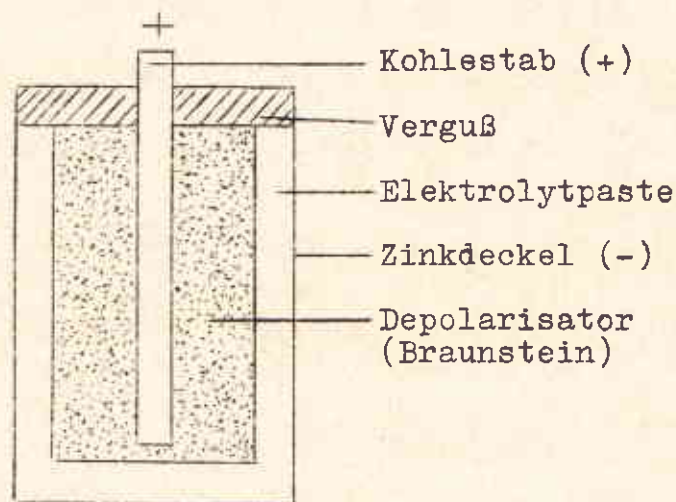
Da Zink den negativen Pol darstellt, wird diese Elektrode = Becher zersetzt.

Zink-Kohleelemente sind nur bedingt lagerfähig.

#### 4.412 Trockenelement

Trockenelemente sind nach außen hin luftdicht abgeschlossen und können deshalb nicht auslaufen. Der Raum zwischen dem Zinkbecher und dem Pluspol ist mit einer eingedickten Salmiaklösung ausgefüllt.

Diese Elemente finden als Taschenlampenbatterie und Transistoren Batterien Verwendung.



Um ein Selbstentladen zu verhindern, gibt man in bestimmte Zellen keinen flüssigen Elektrolyten, sondern gibt nur das Salz in Pulverform hinein. Will man nun das Element als Spannungsquelle verwenden, gießt man Wasser dazu; das Salz löst sich auf und es entsteht ein wässriger Elektrolyt.

#### 4.413 Quecksilberoxydzellen

Bei der Quecksilberoxydzelle dient als negative Elektrode gepreßtes Zinkpulver. Als positive Elektrode und gleichzeitig Depolarisator wird Quecksilberoxyd ( $\text{HgO}$ ) verwendet. Als Elektrolyt nimmt man mehrere Lagen Papier, das mit Kalilauge getränkt ist.

Der Energieinhalt dieser Zellen ist größer als bei anderen Trockenelementen.

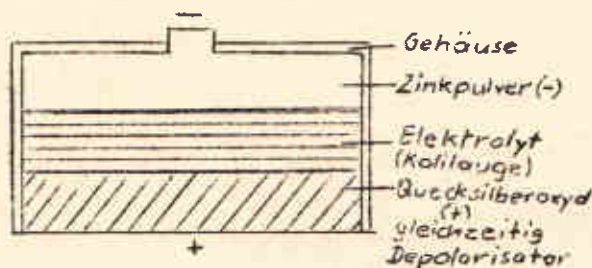
Verwendet werden diese Zellen bei tragbaren elektronischen Kleingeräten, z.B. Hörgeräte, tragbare Fernsehgeräte.

#### 4.414 Knopfzellen

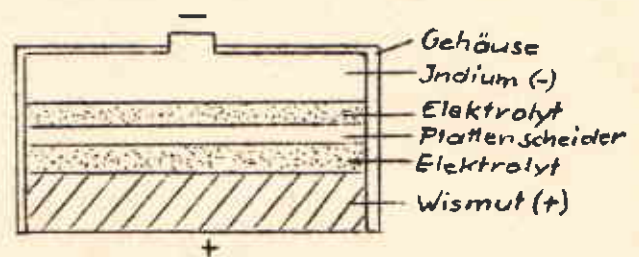
Elemente dieser Art sind besonders flach gebaut und werden z.B. zum Antrieb von elektrischen Armbanduhren oder von automatischen Kameras benutzt. Die negative Elektrode besteht meist aus Indium, die positive Elektrode aus einer Wismutverbindung. Die beiden Elektroden sind durch einen Plattenscheider getrennt. Die ganze Zelle ist in ein völlig dichtes Gehäuse aus Stahl eingeschlossen.

Besonders vorteilhaft ist, daß sich fast kein Gas entwickelt und deshalb auch nahezu keine Polarisierung eintritt. Die Selbstentladung ist nur sehr gering.

Quecksilberoxydzellen (Skizze)



Knopfzellen (Skizze)



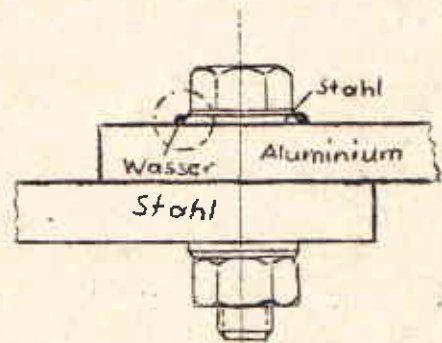
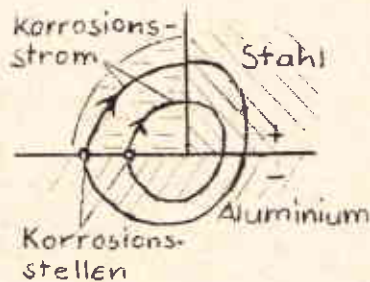
#### 4.42 Elektrochemische Korrosion

Berühren sich Werkstücke aus verschiedenen Metallen und kommt ein Elektrolyt hinzu = galvanisches Element, so tritt eine elektrochemische Korrosion auf.

Die Stärke der Korrosion hängt von der Größe des Korrosionsstromes ab. Da dieser Strom von kurzgeschlossenen Elementen hervorgerufen wird, ist er um so größer, je höher die Spannung ist. Die Spannung hängt vom gegenseitigen Abstand der Stoffe in der Spannungsreihe und von der Art des Elektrolyten ab.

Das Metall, welches in der Spannungsreihe den **negativeren** Wert besitzt, wird dabei zerstört.

Beispiel: a) Sammelschienenverbindung

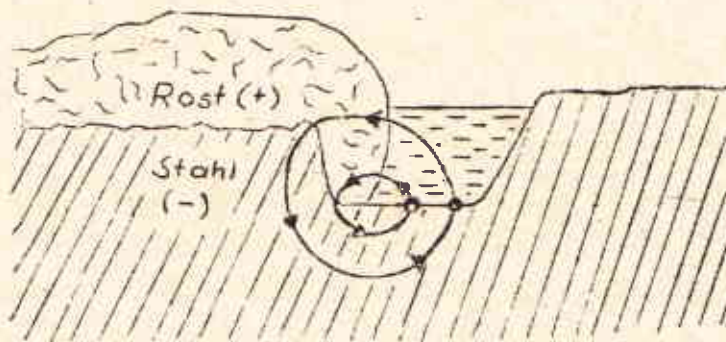


In diesem Fall hat Aluminium den negativeren Wert und wird somit zersetzt.

b) Rostvergrößerung

Zeigen sich an einem Eisenstück Roststellen (Verbindung des Eisens mit Sauerstoff), so bilden die Stoffe Eisen, Rost und Wasser ein galvanisches Element, wobei das Eisen in der Spannungsreihe den negativeren Wert besitzt und dadurch zerstört wird.

Zeigen sich die ersten Roststellen, nimmt die Korrosion verstärkt zu. Roststellen sind also möglichst schnell zu beseitigen.

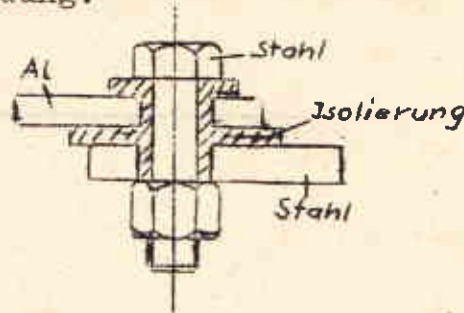


#### 4.43 Korrosionsschutz

##### 4.431 Konstruktive Maßnahmen

Hierbei wird besonderer Wert darauf gelegt, daß verschiedene Metalle nicht übereinander zu liegen kommen. Dies kann durch bestimmte Isolierstoffe erreicht werden.

Z.B. Sammelschienenverbindung:

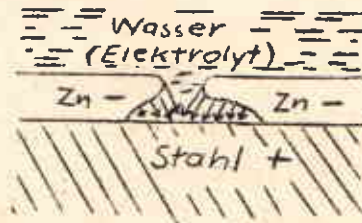


4.432 Oberflächenschutz

Unter Oberflächenschutz versteht man das Auftragen von Schutzstoffen auf das Werkstück.

Die bekannteste Methode ist das Anstreichen mit Rostschutzfarben (Bleioxyd) und Deckfarben.

Eine weitere Art eines Oberflächenschutzes sind bestimmte Metallüberzüge (Galvanisieren). So kann z.B. Eisen durch Aufbringen von Zink geschützt werden.

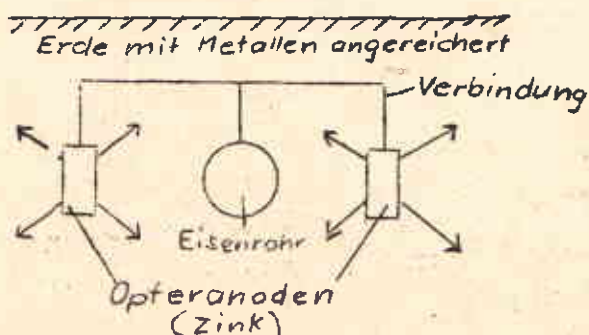


Wird der Überzug zerstört, so bildet Zink, Eisen und Wasser ein galvanisches Element, wobei Zink in der Spannungsreihe den negativeren Wert (-0,76 V, Eisen -0,44 V) aufweist. Hierbei wird also der Überzug und nicht das Werkstück zerstört.

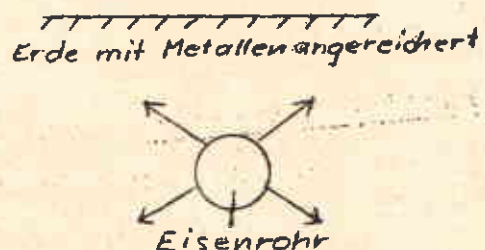
4.433 Verwendung von "Opferanoden"

Das zu schützende Metall wird mit einer "Opferanode" verbunden, die in der Spannungsreihe einen negativeren Wert als das Metall aufweist. Dadurch wird bei einer elektrochemischen Wirkung nicht das Werkstück, sondern die "Opferanode" zersetzt.

Mit Opferanode



Ohne Opferanode



## 4.5 Akkumulatoren (Sekundärelemente)

### 4.51 Allgemeines

Im Absatz 4.2 wurde die Entstehung einer Spannung durch zwei verschiedenartige Metallelektroden erklärt; dabei zersetzt sich die Elektrode, die den größeren Lösungsdruck hat, also die, welche in der Spannungsreihe den größeren negativen Wert besitzt. Ist diese Elektrode mit dem größeren Lösungsdruck vollkommen zersetzt, findet kein elektrolytischer Vorgang mehr statt und die Spannung wird Null.

Sämtliche Primärelemente sind also nur so lange zu gebrauchen, bis eine Elektrode völlig zersetzt ist.

Im Gegensatz dazu können die Sekundärelemente, nachdem sich die Elektroden verändert haben, wieder in den Ausgangszustand überführt werden, das bedeutet, daß diese Elemente theoretisch unbegrenzt haltbar sind.

### 4.52 Bleiakkumulator

#### 4.521 Aufbau

Der Bleiakkumulator ist aus mehreren Akkumulatorzellen aufgebaut, diese wiederum bestehen aus positiven Platten, negativen Platten, Plattenscheidern (Separatoren), einem Elektrolyten und Teilen, die zum Zusammenbau notwendig sind.

#### Positive Platte

Eine positive Platte besteht im geladenen Zustand aus dunkelbraunem Bleioxyd. Dieses Bleioxyd wird auf verschiedene Arten den Platten aufgebracht:

##### a) Gitterplatte:

Bei dieser Bauart wird das Bleioxyd in ein Gitter aus Hartblei eingebracht. Die Lebensdauer dieser Platten beträgt ca. 10 Jahre.

b) Großoberflächenplatte:

Die Platte selbst besteht aus Blei, welches meist auf elektrochemischem Wege zu Bleioxyd verwandelt wird. Zur Vergrößerung der Plattenoberfläche hat man dieser Platte viele feine Rippen gegeben. Die Lebensdauer beträgt ca. 20 Jahre.

c) Panzerplatte:

Die Panzerplatte besteht aus vielen durchlöcherten Isolierröhrchen, in denen sich das Bleioxyd befindet. Mehrere dieser Röhrchen werden zu einer Platte verbunden. Die Lebensdauer beträgt ca. 10 Jahre.

Negative Platte

Die negativen Platten bestehen im geladenen Zustand aus grauem Blei. Dieses Blei wird meist auf zwei Arten auf die Platten aufgebracht:

a) Gitterplatte:

Hier wird das Blei in ein Gitter aus Hartblei eingebracht.

b) Kastenplatte:

Auf eine Platte mit unterteilten Kästchen wird die wirksame Bleimasse eingebracht.

Plattenscheider - Seperator

Die positiven und die negativen Platten werden ineinander geschoben. Um ein Berühren der beiden Platten zu vermeiden, werden zwischen die Platten Plattenscheider = Separatoren eingebaut. Diese Separatoren bestehen meist aus Kunststoff, der nicht nur säurefest, sondern auch porös sein muß, damit der Ionenaustausch stattfinden kann.

Elektrolyt

Als Elektrolyten verwendet man Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ). Bei geladenem Zustand bewegt sich die Säuredichte zwischen 1,2 - 1,28  $\frac{g}{cm^3}$ . Ist die Dichte kleiner als 1,18  $\frac{g}{cm^3}$ , ist der Akkumulator entladen und muß wieder neu aufgeladen werden. Die Dichtemessungen werden mit einem Aerometer durchgeführt.



#### 4.522 Wirkungsweise

Ein Sekundärelement ist ebenfalls ein galvanisches Element; es spielen sich also die gleichen Vorgänge wie bei einem Primärelement ab.

#### 4.5221 Entladen

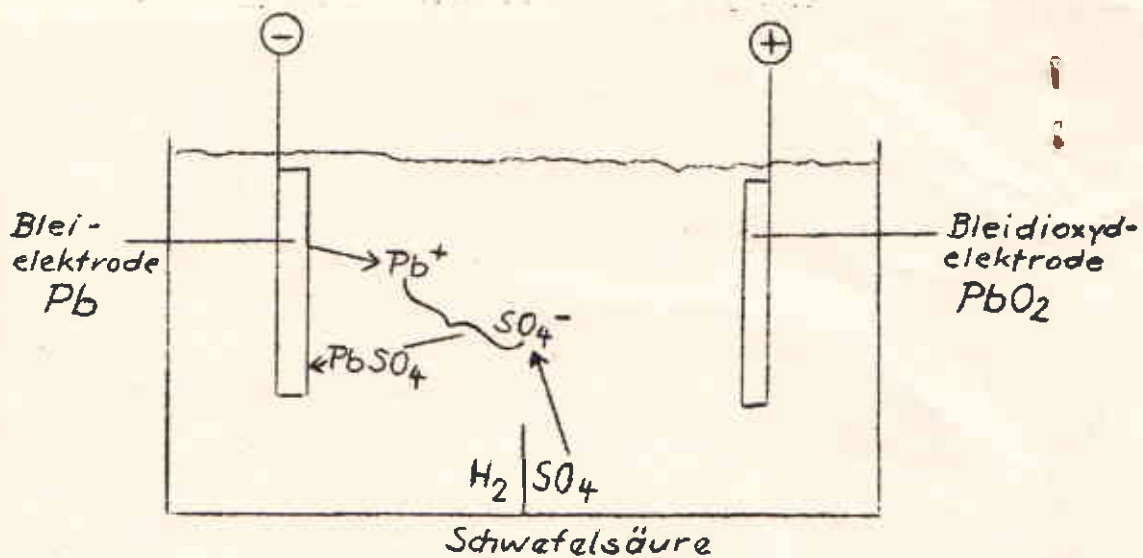
Wollen wir an dem Bleisammler eine Spannung abnehmen, so müssen die beiden Elektroden aus verschiedenen Stoffen (Bleiodoxyd und Bleiplatte) aufgebaut sein.

##### Vorgänge an der negativen Elektrode

Die positiven Bleiionen gehen in Lösung; dadurch wird diese Elektrode negativ.

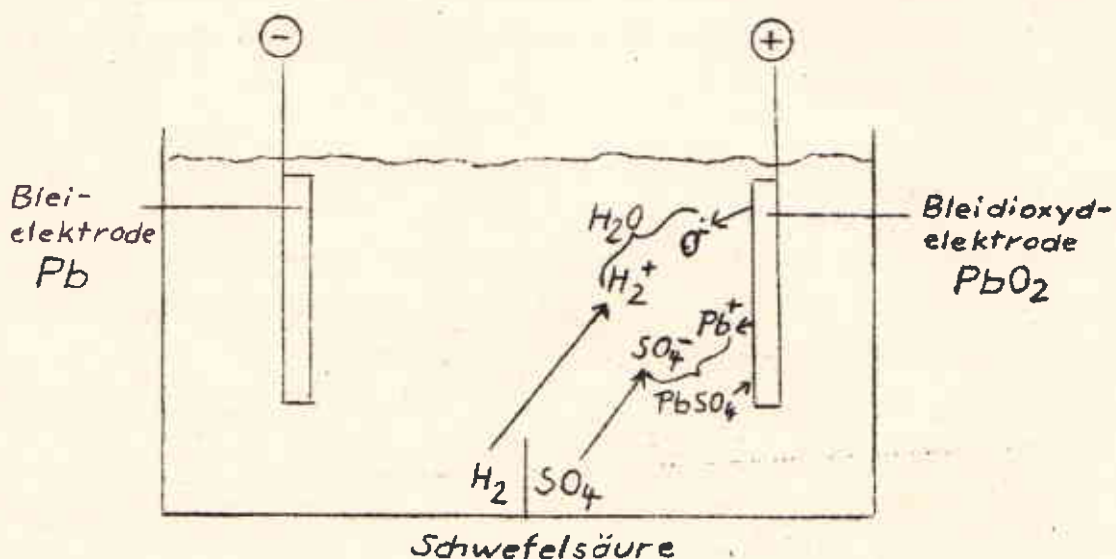
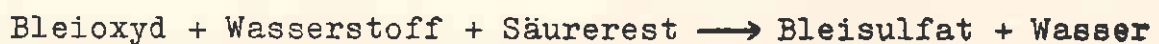
Die positiven Bleiionen verbinden sich jetzt mit dem negativen Säurerest ( $\text{SO}_4^-$ ) des Elektrolyten ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) zu Bleisulfat ( $\text{PbSO}_4$ ), welches sich an der negativen Platte niederschlägt.





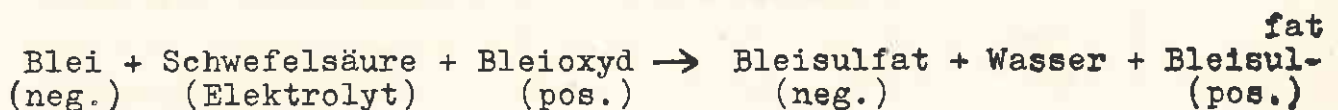
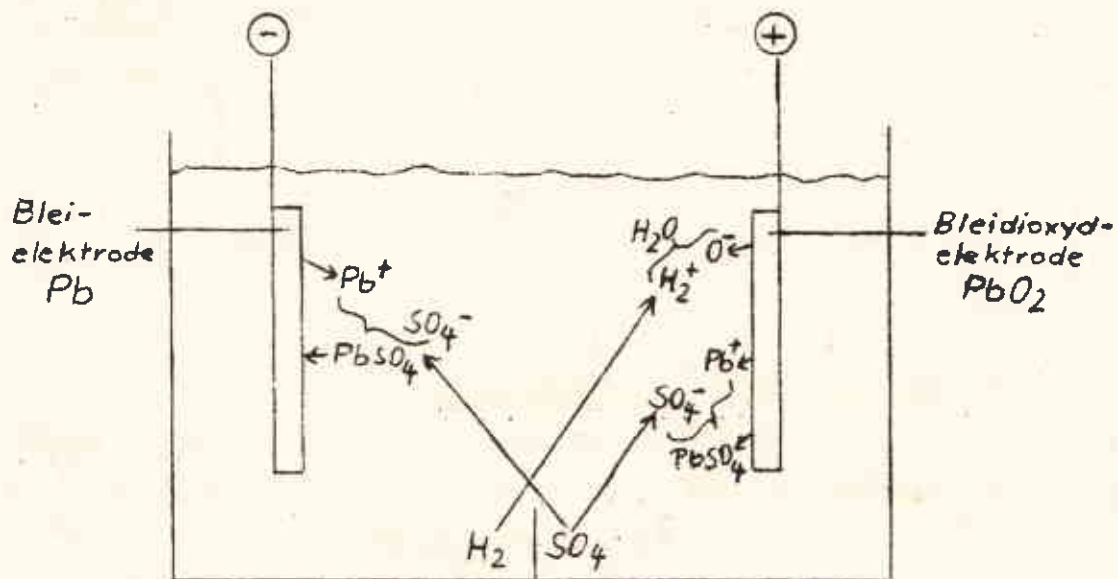
#### Vorgänge an der positiven Elektrode

Die positiven Wasserstoffionen der Säure ( $H^{+}$ ) verbinden sich mit den negativen Sauerstoffionen ( $O^{-}$ ) des Bleidioxydes ( $PbO_2$ ). Die übrigbleibenden positiven Bleiionen ( $Pb^{+}$ ) gehen mit negativen Säureresten ( $SO_4^{-}$ ) eine Verbindung ein. Diese Verbindung = Bleisulfat ( $PbSO_4$ ) schlägt sich an der positiven Platte nieder.



Sind nun beide Elektroden mit Bleisulfat überzogen, kann keine galvanische Spannung mehr erzeugt werden (Elektroden aus gleichem Material!) und die Batterie ist entladen. Durch die Bildung des Wassers erniedrigt sich die Säuredichte.

Gesamtvorgang beim Entladen



4.5222 Laden

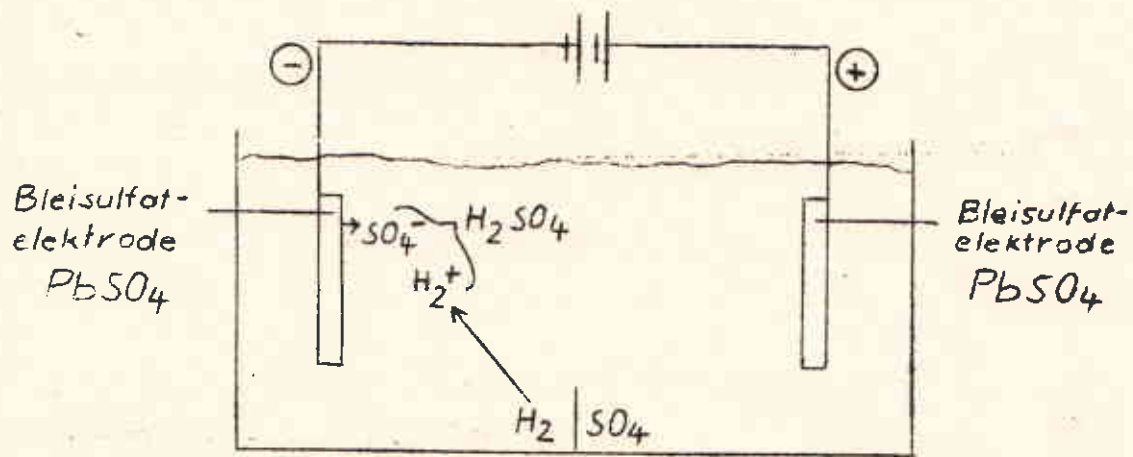
Die Sekundärelemente bieten den großen Vorteil, daß sie durch Anlegen einer Gleichspannung wieder aufgeladen werden können.

Die Ladung entspricht einem elektrolytischen Vorgang.

Vorgänge an der negativen Elektrode

Durch Anlegen der Gleichspannung wird die Schwefelsäure gespalten (dissoziiert). Die positiven Wasserstoffionen ( $H^+$ ) wandern zum negativen Pol und vereinigen sich dort mit den negativen  $SO_4$ -Ionen ( $SO_4^-$ ) zu neutraler Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ). Die negative Platte wird also wieder eine reine Bleiplatte.



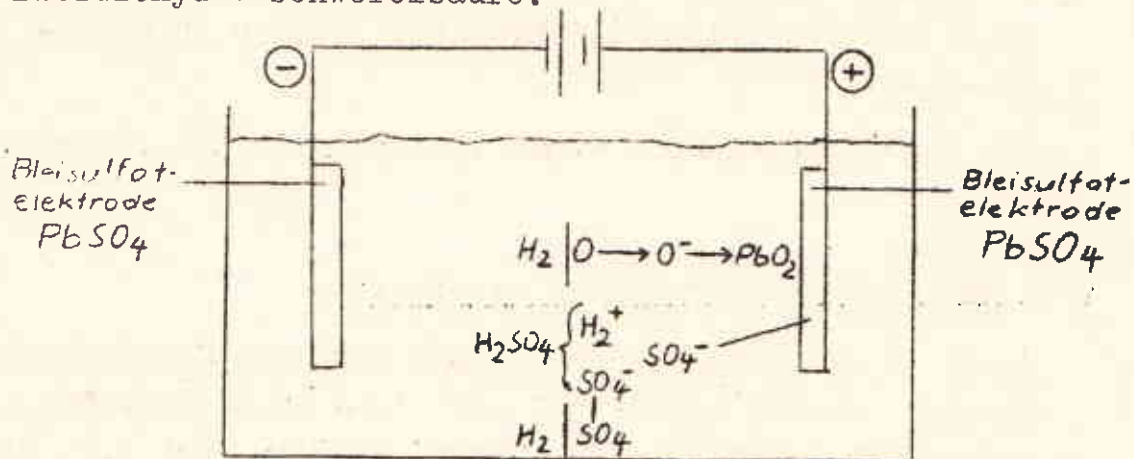


### Vorgänge an der positiven Elektrode

Neben der Schwefelsäure wird auch das beim Entladen entstehende Wasser in positive Wasserstoffionen ( $H^+$ ) und negative Sauerstoffionen ( $O^-$ ) dissoziiert.

Die negativen Sauerstoffionen ( $O^-$ ) wandern zum positiven Pol und verdrängen dort die negativen  $SO_4$ -Ionen. Die negativen  $SO_4$ -Ionen der Platte und die negativen  $SO_4$ -Ionen der dissoziierten Schwefelsäure vereinigen sich mit den positiven Wasserstoffionen des dissoziierten Wassers zu Schwefelsäure.

Bleisulfat + Säurerest + Wasserstoff + Sauerstoff  $\longrightarrow$   
Bleidioxid + Schwefelsäure.

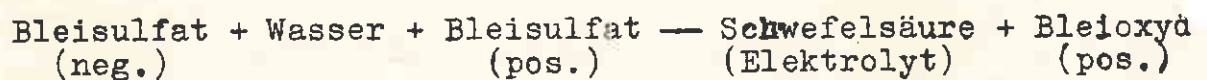
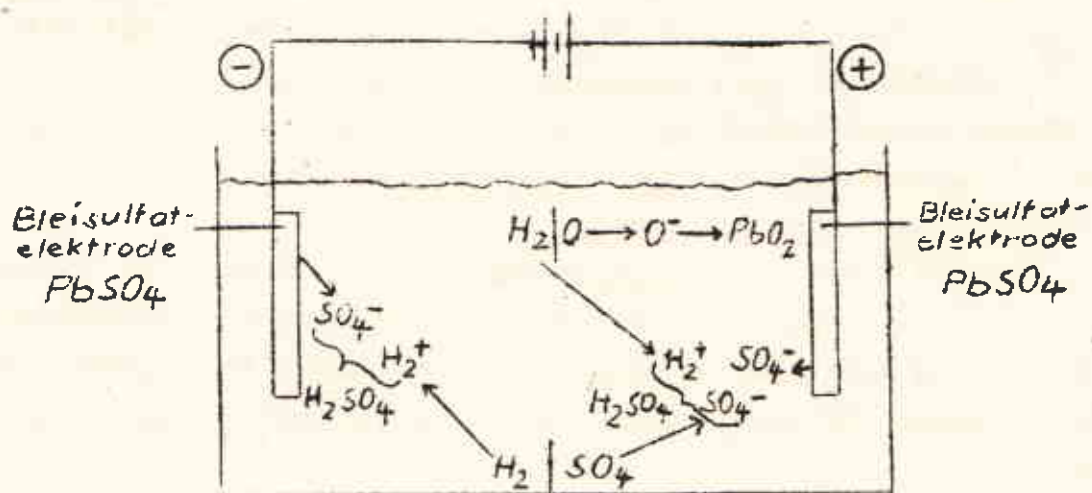


Durch das Laden werden die Elektroden wieder in den Anfangszustand überführt.

Die positive Elektrode wird wieder Bleidioxid, die negative Elektrode reines Blei.

Außerdem steigt durch die Bildung von Schwefelsäure und durch die Dissoziation des Wassers die Säuredichte.

### Gesamtvorgang beim Laden

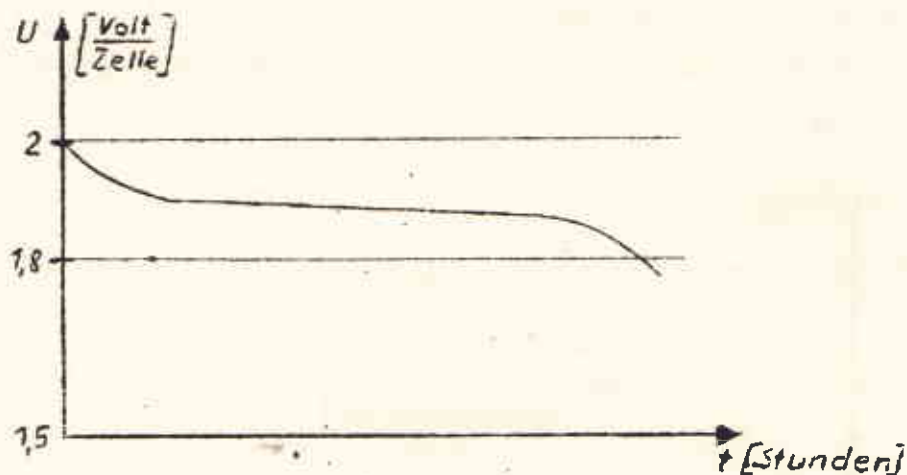


### 4.523 Technische Daten

#### Entladung

Bei der Entladung können wir der Batterie pro Zelle anfangs eine Spannung von 2,0 Volt entnehmen.

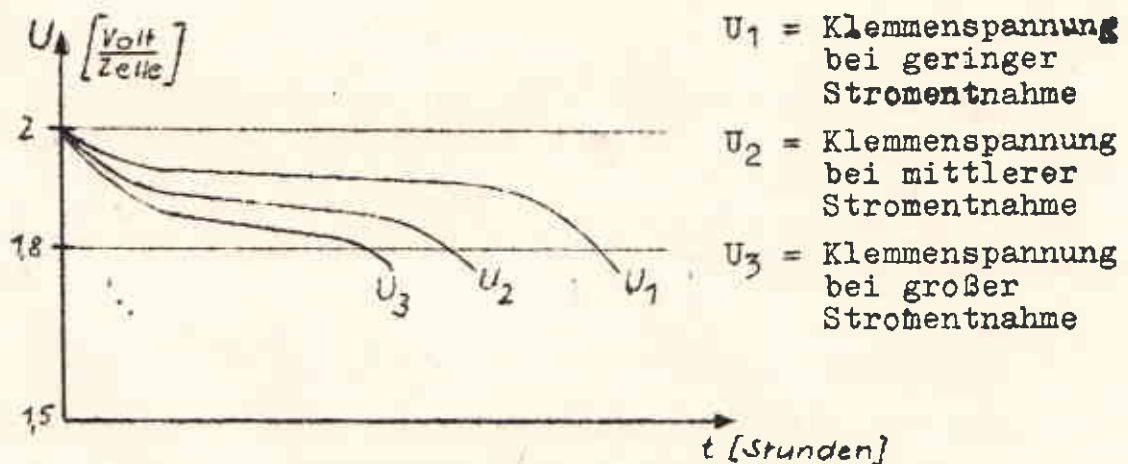
Benötigen wir diese Spannung über eine längere Zeitdauer, so erniedrigt sich die Klemmenspannung nach untenstehender Zeichnung.



Fällt die Klemmenspannung unter 1,8 V ab, ist die Entladung zu beenden, da sonst die Platten zerstört werden.

Die Dauer der Stromentnahme richtet sich nach dem Fassungsvermögen = Kapazität des Bleisammlers. Die Kapazität wird in Amperestunden [Ah] angegeben. Erkennen wir z.B. auf einer Bleisammleraufschrift die Größe 58 Ah, so bedeutet dies, es kann theoretisch z.B. eine Stromstärke von 5,8 Ampere 10 Stunden lang entnommen werden.

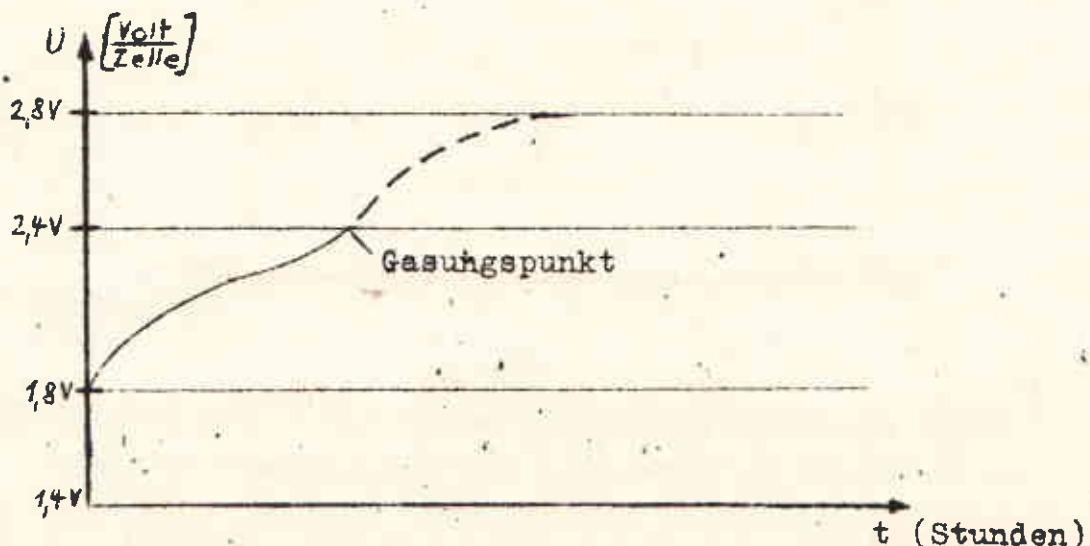
Die Zeit bis die Batteriespannung von 2,0 V auf 1,8 V abgefallen ist, hängt sehr stark von der Größe der entnommenen Stromstärke ab. Wird eine große Stromstärke entnommen, fällt die Spannung früher ab, als wenn die Stromentnahme klein wäre.



### Ladung

Die an die Batterie angelegte Ladespannung darf höchstens 2,8 V/Zelle betragen. Bei der Deutschen Bundespost beträgt die Wiederaufladespannung 2,4 V/Zelle.

Die Batteriespannung steigt dabei nach untenstehender Darstellung an:



Erreicht die Batteriespannung den Wert 2,4 V/Zelle (= Gasungsspannung) wird das Wasser zersetzt, wobei der Wasserstoff und der Sauerstoff frei werden. Das Gemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff = Knallgas kann zu Explosionen führen!

Der Nennladestrom, der beim Aufladen der Batterie fließt, soll, um die Platten nicht zu beschädigen, nicht größer sein als 10% des Zahlenwertes der Kapazität, z.B. Kapazität 58 Ah, Nennladestrom 5,8 A. Wird die Aufladung nach dem Gasungspunkt nicht beendet, soll der Ladestrom auf die Hälfte des Nennladestromes verringert werden.

#### Temperatureinwirkung & Selbstentladung

Batterien sind stark temperaturabhängig. Weicht die Temperatur vom Wert 20°C um 1°C ab, so sinkt die Kapazität um 1 %. Ebenfalls sinkt die Batteriespannung um 0,01 V/Zelle je 5°C unter oder über dem Bereich -20°C bis +20°C,

Wird eine Batterie nicht benutzt, so verringert sich der Kapazitätswert um ca. 1 % pro Tag; das bedeutet, daß eine Batterie laufend unter Kontrolle gehalten werden muß. Sie muß also auch geladen werden, wenn sie nicht belastet wurde. Diese Erhaltungsspannung beträgt 2,23 V/Zelle; der Ladeerhaltungsstrom liegt bei 1 % des Nennstromes.

#### 4.53 Stahl-Akkumulatoren (Edison-Elemente)

Beim Edison-Element besteht im geladenen Zustand die positive Platte aus einer Nickelverbindung (Nickelhydroxyd  $\text{Ni(OH)}_3$ ) und die negative Platte aus Eisen (Nickel-Eisen-Element) oder aus Cadmium (Nickel-Cadmium-Element).

Die positiven Platten werden als Taschenplatten (ähnlich Gitterplatten bei Bleisammlern) oder als Röhrenplatten ausgebildet. Die negativen Platten sind immer Taschenplatten. Als Elektrolyten verwendet man Kalilauge.

### Vorteile des Stahllakkumulators gegenüber dem Bleiakкумуляtor

- a) geringeres Gewicht und größere mechanische Festigkeit,
- b) Behandlungsfehler wirken sich nicht so stark aus,
- c) geringe Wartung,
- d) geringe Selbstenladung, längeres Stehen ohne Nachladung möglich.

### Nachteile des Stahllakkumulators gegenüber dem Bleiakкумуляtor

- a) geringere Zellennennspannung von 1,2 V/Zelle (Bleisammler 2,0 V/Zelle),
  - b) bei Entladung stärkerer Spannungsabfall;  
bei 10-stündiger Entladung fällt die Batteriespannung
    - 1. bei Bleisammlern von 2,0 V auf 1,8 V = 10 % Spannungsverlust,
    - 2. bei Stahlsammlern von 1,2 V auf 1,0 V = 17 % Spannungsverlust
- ab.

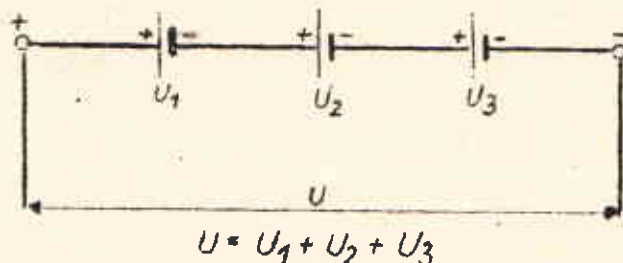
## 5. Schaltung von Spannungsquellen

### 5.1 Allgemeines

Spannungsquellen können in Reihe (hintereinander), parallel oder gemischt geschaltet werden. Man erhält auf diese Weise eine Batterie. Eine Batterie besteht aus mehreren Zellen, die zu einer Einheit parallel oder in Reihe zusammengeschaltet sind.

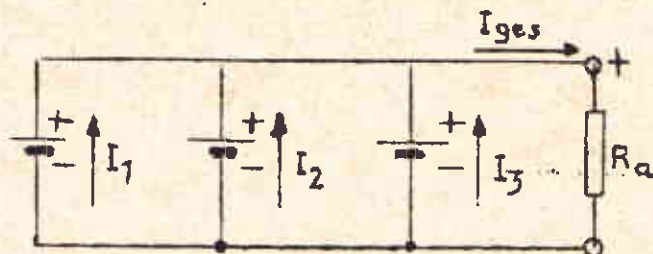
### 5.2 Reihenschaltung

Bei Reihenschaltung von Elementen sind immer ungleiche Pole miteinander zu verbinden. Die Spannung der Batterie ist gleich der Summe der Spannungen der einzelnen Elemente. Die Spannung läßt sich durch Reihenschaltung also erhöhen.



### 5.3 Parallelschaltung

Bei Parallelschaltung von Elementen müssen immer gleiche Pole miteinander verbunden werden. Der Gesamtstrom ist so groß wie die Summe der Einzelströme. Der verfügbare Strom läßt sich also durch Parallelschaltung erhöhen. Die Gesamtspannung ist gleich groß wie die Spannung jedes Elements.



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Nur Stromquellen mit gleicher Einzelspannung darf man parallel schalten.

## 6. Stromversorgung bei der Deutschen Bundespost

### 6.1 Grundsätzliche Forderungen

#### 6.11 Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Damit der Nachrichteninhalt nicht gestört wird (Falschwahl, Zusammenfallen von Gesprächen, falsche Zeichenübertragung bei Fernschreibverbindungen), mißt man diesem Punkt große Bedeutung bei.

Zur Sicherstellung eines unterbrechungsfreien Betriebes gehört auch die Bereitstellung von Ersatzstromquellen, auf die die Verbraucher bei Ausfall oder Störung der Betriebsquelle ohne Unterbrechung umgeschaltet werden (Dazu Punkt 6.3 ).

#### 6.12 Geringe Spannungstoleranz

Damit die Nachrichtenübermittlung sicher gewährleistet wird (Änderung der Ansprech- und Abfallzeitwerte von Relais, Änderung von Übertragungseigenschaften), dürfen sich die Spannungswerte nur in bestimmten Toleranzen bewegen.

### 6.13 Abhalten von Fremd- und Störspannungen

Um die Qualität der Nachrichtenübertragung nicht zu beeinträchtigen (Störspannungen würden ein Gespräch eventuell unverständlich machen), muß darauf geachtet werden, daß Fremd- und Störspannungen abgehalten werden.

### 6.2 Verbraucher-Spannungen

#### 6.21 Gleichspannungen

Bei der Deutschen Bundespost verwendet man, um die grundsätzlichen Forderungen ohne großen technischen Aufwand erfüllen zu können, an sehr vielen Stellen Gleichspannung.

Folgende Spannungswerte finden Anwendung:

|               |                                                          |
|---------------|----------------------------------------------------------|
| - 60 V        | Fernsprechvermittlungsstellen, große Nebenstellenanlagen |
| + 60 / - 60 V | Fernschreibeinrichtungen                                 |
| - 24 V        | kleine Nebenstellenanlagen                               |
| - 12 V        | Röhrenheizung für gleichstrombeheizte Verstärker         |
| + 212 V       | Anodenspannung für Verstärkerröhren                      |

Aus wirtschaftlichen Gründen wird ein Pol immer geerdet. Ist der negative Pol an Erde gelegt, spricht man von einer Plusanlage, weil gegen Erde eine positive Spannung besteht; ist der positive Pol an Erde gelegt, spricht man von einer Minusanlage.

Für den Betrieb von Wähleinrichtungen, bei denen es betrieblich gesehen gleichgültig wäre, ob der positive oder der negative Pol der Stromquelle geerdet ist, wird der +Pol geerdet (Minusanlage), weil, wie wir wissen, der Gleichstrom infolge elektrolytischer Vorgänge Materialwanderungen hervorruft. Bei bereits geringen Isolationsfehlern an Wicklungen transportiert der auftretende Fehlerstrom Metallteilchen vom positiven zum negativen Pol, der positive Pol wird also zersetzt.

Wäre der negative Pol geerdet, würden Kupferteilchen des Drahtes zum Eisenkern des Relais transportiert werden. Nach kurzer Zeit wäre der Kupferdraht durch Materialwanderung zerstört. Ist dagegen der Pluspol der Anlage geerdet, tritt eine Materialwanderung vom Relaiskern zum Spulendraht auf, die keinen weiteren Schaden verursacht.

Aus technischen Gründen erfordert eine Röhrenverstärkerschaltung eine positive Anodenspannung. Da mit dieser hohen Spannung keine Wähleinrichtungen (Relais) betrieben werden, besteht die Gefahr der elektrolytischen Korrosion hierbei nicht.

#### 6.22 Wechselspannungen

Wechselspannungen werden bei der Deutschen Bundespost in der Übertragungstechnik verwendet.

Folgende Spannungswerte finden Anwendung:

|                  |                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------|
| (f=50 Hz)        |                                                       |
| 20 V             | Heizwechselspannung bei Röhren                        |
| 750 V            | Fernspeisung unbemannter, kleiner Vermittlungsstellen |
| 1500 V und höher | Funkeinrichtungen                                     |

#### 6.23 Spannungen anderer Frequenz

Der Wechselstrom von 25 Hz für den Ruf und der Wechselstrom von 450 Hz für die Hörzeichen (Wählton, Freiton, Besetztton) werden einer besonderen Maschine, der Ruf- und Signalmaschine (RSM) entnommen. Die Rufspannung liegt zwischen 75 und 55 V, die Hörzeichenspannung zwischen 6 und 4 V.

Werte mit noch höheren Frequenzen (Übertragungstechnik) werden durch Quarze und Schwingkreise erzeugt.

#### 6.24 Spannungstoleranzen

Die Gleichspannung für Wähleinrichtungen soll, um ein einwandfreies Arbeiten der für den Spannungsbereich von 58 - 64 V berechneten Relais und Wähler sicherzustellen, den Wert 58 V nicht unter- und 63 V nicht überschreiten.

Bei anderen Spannungen soll die Änderung im allgemeinen nicht größer als  $\pm 2\%$  sein.

### 6.3 Betriebsverfahren der Gleichstromversorgung

Zur Versorgung der Verbraucher mit Gleichspannung kennen wir 3 verschiedene Betriebsverfahren:

- a) den reinen Batteriebetrieb,
- b) den Parallelbetrieb und
- c) den Umschaltebetrieb.

#### 6.31 Batteriebetrieb

Der Verbraucherstrom wird von der Batterie geliefert und der Stromerzeuger (Netz) dient ausschließlich zum Laden der Batterie. Da während des Ladens die Batterie vom Verbraucher abgeschaltet wird, übernimmt eine zweite Batterie die Speisung. Diese Betriebsart wird deshalb auch Zweibatteriesystem oder auch Lade- und Entladebetrieb genannt.

Heute findet diese Betriebsart kaum mehr Anwendung.

#### 6.32 Parallelbetrieb

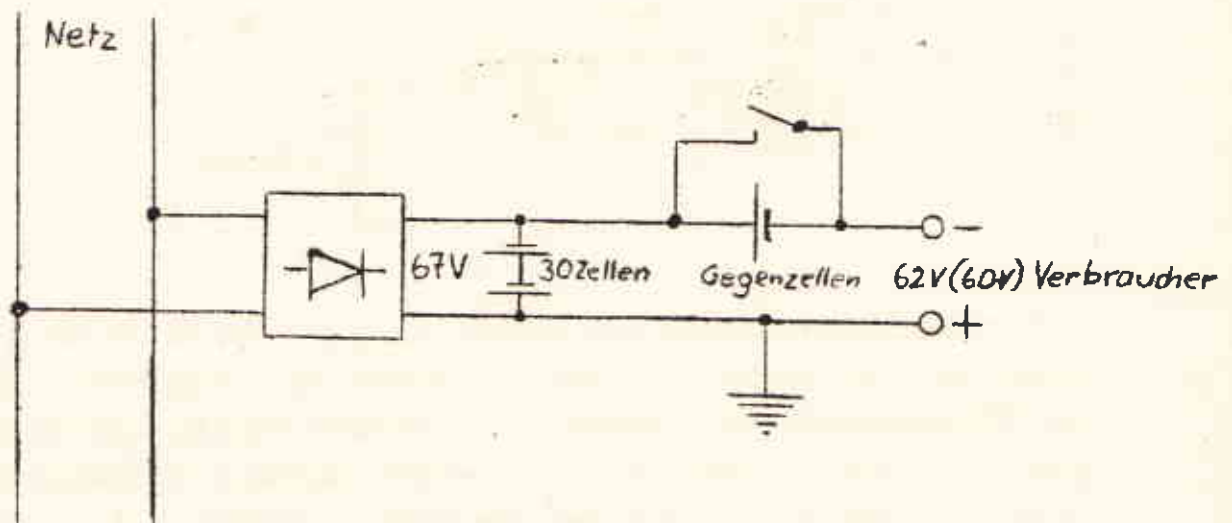
Beim Parallelbetrieb sind Gleichrichtergerät (Netz), Batterie und Verbraucher parallel geschaltet.

Die Ausgangsspannung des Gleichrichtergerätes beträgt 67 V. Die Batterie ist aus 30 Zellen aufgebaut und liegt am Gleichrichter. Die Spannung ergibt an der Batterie pro Zelle einen Spannungswert von 2,23 V = Erhaltungsspannung ( $30 \times 2,23 \text{ V} = 67 \text{ V}$ ). Die Batterie liegt also dauernd an der Erhaltungsspannung.

Da an dem Verbraucher aber nur eine Spannung von höchstens 62 V liegen darf, müssen die überschüssigen 5 V vernichtet werden. Die Spannung von 67 V wird durch Regeleinrichtungen (Gegenzellen oder elektromotorische Gegenspannungen) auf 62 V gehalten.

Fällt nun das Gleichrichtergerät aus (Netz), so kann die Verbraucherspannung über einen längeren Zeitraum (entsprechend der Amperestundenzahl der Batterie) der Batterie entnommen werden ( $30 \times 2 \text{ V} = 60 \text{ V}$ ). Hierbei wird die Regeleinrichtung abgeschaltet.

Da bei dieser Betriebsart im Normalfall die überschüssige Spannung von 5 V immer vernichtet werden muß, findet dieses Verfahren nur noch bei kleinen Vermittlungsstellen und Nebstellenanlagen Verwendung.

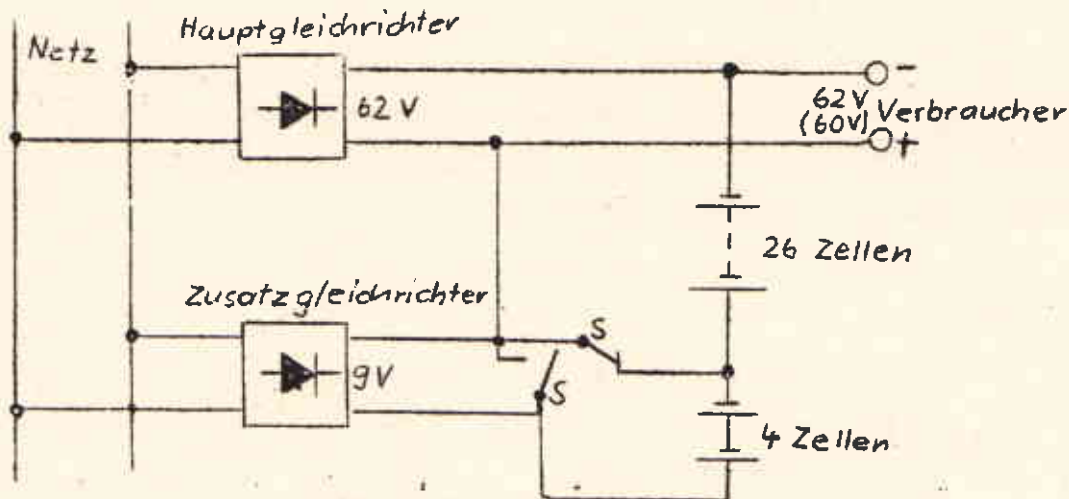


### 6.33 Umschaltebetrieb

Hierbei wechseln Parallelbetrieb und reiner Batteriebetrieb durch Umschaltung miteinander ab. Die Batterie steht im normalen Zustand unter Erhaltungsspannung und beteiligt sich nicht an der Stromlieferung.

Der Hauptgleichrichter arbeitet mit einer Spannung von 62 Volt auf den Verbraucher. Mit dieser Spannung werden zugleich über ein elektrisches Ventil 26 Zellen der Batterie auf die erforderliche Erhaltungsspannung von 2,23 Volt pro Zelle ( $26 \times 2,23V = 62 \text{ Volt}$ ) gebracht, während für die restlichen 4 Zellen ein Zusatzgleichrichter die erforderliche Erhaltungsspannung liefert.

Bei Netzausfall wird die Batterie unterbrechungsfrei (Umschalten der Kontakte "S") mit ihrer vollen Spannung ( $30 \times 2 \text{ V} = 60 \text{ V}$ ) an den Verbraucher geschaltet.



Fällt die Netzspannung für einen längeren Zeitraum aus, so kommt der Zeitpunkt, wo auch die Spannung der Batterie unter den Toleranzwert 58 V abfällt. In diesen Fällen muß in einer großen Vermittlungsstelle eine meist fahrbare Netzersatzanlage, die aus Diesemotor und Generator besteht, eingeschaltet werden, um die notwendige Spannung zu erzeugen.

## 7. Technische Schutzmaßnahmen

### 7.1 Sicherungen

Man unterscheidet Spannungs- und Stromsicherungen.

#### 7.11 Spannungssicherungen

Eine Spannungssicherung findet dort Anwendung, wo mit Überspannungen zu rechnen ist. Sie hat die Aufgabe, etwaige Überspannungen (Blitzentladung) von den Geräten fernzuhalten.

Alle Spannungssicherungen arbeiten nach dem Prinzip, daß sie im Augenblick des Auftretens der hohen Spannung einen kleinen Überbrückungswiderstand erhalten. Man unterscheidet vor allem zwei Bauformen:

##### a) Kohleüberspannungsableiter

Hier stehen sich zwei Kohleelektroden gegenüber. Tritt nun eine Überspannung ein, so bildet sich zwischen diesen Elektroden ein Überschlag (pro 1 mm Abstand ca. 1000 V Überspannung). Diese Bauform von Spannungsableitern wird bei einer Spannung von ca. 500 Volt wirksam; bei der Deutschen Bundespost finden sie neuerdings keine Anwendung mehr.

### b) Überspannungsableiter

Wesentlich empfindlicher (z.B. 230 Volt  $\pm$  10 %) und zuverlässiger als die Kohlespannungsableiter arbeiten die Überspannungsableiter.

Diese bestehen aus einem gasgefüllten Glaskörper, in dem sich zwei Elektroden befinden. Der Übergangswiderstand im Ruhezustand beträgt ca. 100 MOhm. Tritt eine Überspannung auf, so "zündet" der Ableiter (Erniedrigung des Widerstandes auf einige Ohm) und die gefährliche Spannung wird von den Geräten ferngehalten.

Diese Form (4 verschiedene Größen) findet bei der Deutschen Bundespost Verwendung.

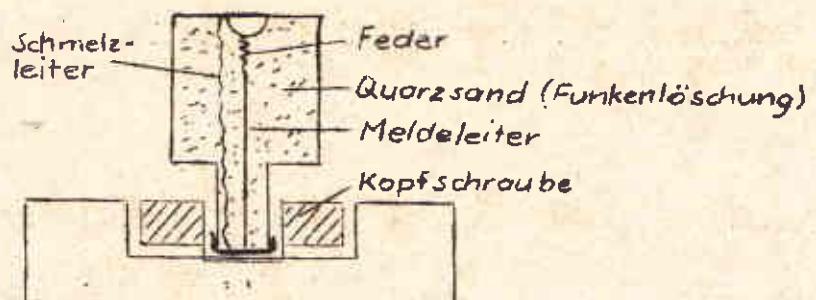
## 7.12 Stromsicherungen

Diese haben die Aufgabe, die Stromkreise gegen übermäßige Erwärmung und gefährliche Überlastung zu schützen. Die Stromsicherungen enthalten Schmelzeinsätze, die so bemessen sind, daß sie den schwächsten Punkt des Stromkreises darstellen. Sie schmelzen bei Überlastungen durch und bewahren so die technischen Einrichtungen vor Schäden. Die Stromsicherungen unterscheidet man entweder nach dem Verwendungszweck (Leitungsschutzsicherung ab 10 A - Geräteschutzsicherung von 0,01 A bis 10 A - Überstromauslöser), der Stromstärke (Fein-Grobsicherung) oder nach der Ansprechzeit (Zeit-Momentsicherung).

### 7.121 Leitungsschutzsicherung

Mit diesen Sicherungen werden alle üblichen Niederspannungsleitungen (110, 220, 380 V) abgesichert.

Das Sicherungselement besteht aus der eigentlichen Sicherung und einer der Stromstärke entsprechenden Kopfschraube. Der Aufbau eines Sicherungselementes geht aus unten stehender Skizze hervor:



### 7.122 Geräteschutzsicherung

Geräteschutzsicherungen werden bis zu einer Spannung von 250 V und bis zu einem Strom von 10 A hergestellt.

Für die Deutsche Bundespost werden sogenannte Überstromauslöser für eine Nennspannung von 60 V verwendet. Diese Sicherungen haben den Vorteil, daß sie nicht sofort auf einen momentanen Überstrom ansprechen. So spricht diese Sicherung beim 4-fachen Nennstrom erst nach 60 Sekunden an. Bei direktem Kurzschluß dagegen verringert sich die Ansprechzeit beträchtlich.

Die in diesem Falle hohe Ansprechzeit wird dadurch erreicht, daß der Strom nicht direkt wie bei normalen Sicherungen durch einen Schmelzdraht fließt, sondern erst durch eine Heizspule geleitet wird, die dann wiederum eine Weichlötstelle zum Schmelzen bringt.

Als Überstromauslöser werden neuerdings bei der Deutschen Bundespost Umkehrauslöser (F 49) verwendet, die - bedingt durch einen besonderen Aufbau - einen wiederholten Einsatz gestatten.

### 7.123 Unterscheidung nach der Stromstärke

Diese Sicherungen werden für bestimmte Nennströme bemessen. Übersteigt der Überstrom den Nennstrom um einen bestimmten Wert, so muß die Sicherung den Stromkreis unterbrechen.

Steigt z.B. der Überstrom auf den 1,6-fachen Wert des Nennstromes an, so muß die Sicherung diesem Wert mindestens noch eine Stunde standhalten; erreicht der Überstrom dagegen den 4-fachen Wert, so muß die Sicherung innerhalb einiger Zehntelsekunden ansprechen.

### 7.124 Unterscheidung nach der Ansprechzeit

Für bestimmte Zwecke werden Sicherungen benötigt, die entweder:

- a) sehr schnell = flink (Momentsicherung),
- b) langsam = träge (Zeitsicherung) oder
- c) mittelträge abschalten.

## 7.2 Erdung - Schutzmaßnahmen

### 7.21 Erdung

Unter Erdung versteht man die leitende Verbindung zwischen der zu erdenden Anlage und dem Erdreich.

Der Erdungswiderstand ist der Widerstand des Erdleiters plus Übergangswiderstand vom Erder zum Erdreich. Feuchtes Erdreich hat einen sehr kleinen Widerstand. Um einen möglichst kleinen Übergangswiderstand zu erreichen, gibt man dem Erder eine möglichst große Oberfläche. Am günstigsten liegt der Erder, wenn er in den Grundwasserspiegel hineinragt.

Man unterscheidet:

#### a) Banderder

Von einem gemeinsamen Mittelpunkt werden in 30 cm Tiefe sternförmig etwa 20 m lange Kupferseile oder Stahlbänder ausgelegt.

#### b) Rohrerder

Ein Rohr wird bis zum Grundwasser in das Erdreich getrieben, wobei die Außen- und die Innenfläche des Rohres die wirksame Oberfläche des Erders bilden.

#### c) Plattenerder

Eine Platte mit großer Oberfläche wird nach Möglichkeit so tief in das Erdreich gebracht, daß sie in den Grundwasserspiegel hineinragt.

## 7.22 Schutzmaßnahmen

### 7.221 Allgemeines

Schutzmaßnahmen sind erforderlich, um etwaige Fehlspannungen vom menschlichen Körper fernzuhalten.

Bei Spannungen unter 65 V (Kleinspannungen) sind im allgemeinen keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

Bei Spannungen über 65 V besteht die Gefahr, daß der menschliche Organismus - bedingt durch die auftretende Stromstärke - geschädigt wird.

Vor allem treten folgende Erscheinungen auf:

- a) Muskulaturlähmung,
- b) Zellstoffumwandlung - Verbrennung,
- c) Atmungs- und Herzlähmung.

Um den Strom durch den menschlichen Körper möglichst gering zu halten, ist es vor allem wichtig, daß der Untergrund, auf dem man steht, einen möglichst großen Widerstand besitzt (Gummiunterlage).

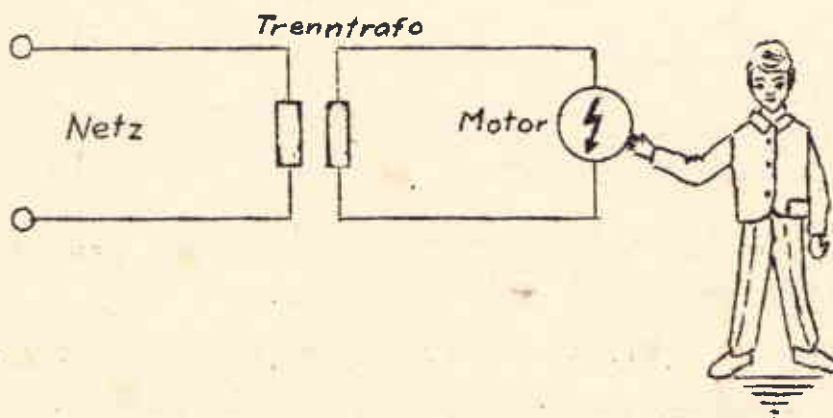
#### 7.222 Schutzisolierung

Bei der Schutzisolierung wird ein elektrisches Gerät nach außen hin vollkommen isoliert (z.B. elektrischer Rasierapparat). Man erreicht dies, indem man ein elektrisch nicht leitendes Gehäuse (Kunststoff) verwendet und keine leitende Verbindungen vom spannungsführenden Innenteil nach außen zuläßt.

Auf solchen schutzisolierten Geräten wird das Zeichen  angebracht.

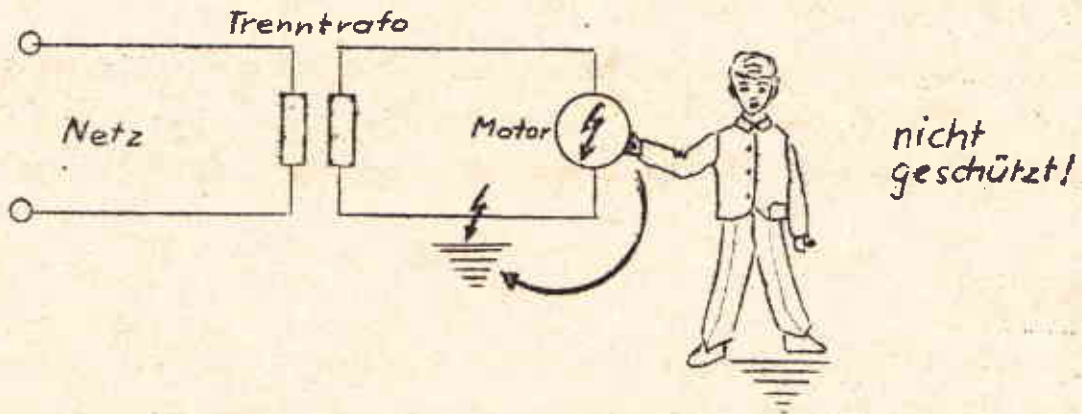
#### 7.223 Schutztrennung

Blockt man stromführende Adern durch Transformatoren (Übertrager) ab, so wirkt sich - solange an der Geräte-zuleitung kein Schaden auftritt - die Berührungsspannung am Gerät auf den menschlichen Körper nicht aus (offener Stromkreis).



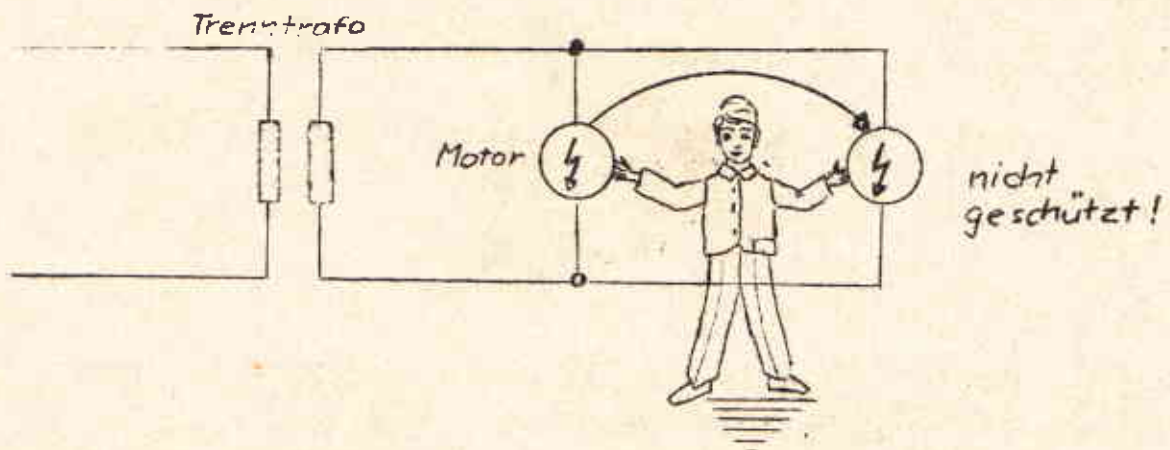
Geschützt.  
Kein Stromfluß  
durch den Körper  
möglich!

Tritt dagegen auf der Zuleitung ein Fehler auf, wird der Stromkreis über den menschlichen Körper geschlossen.



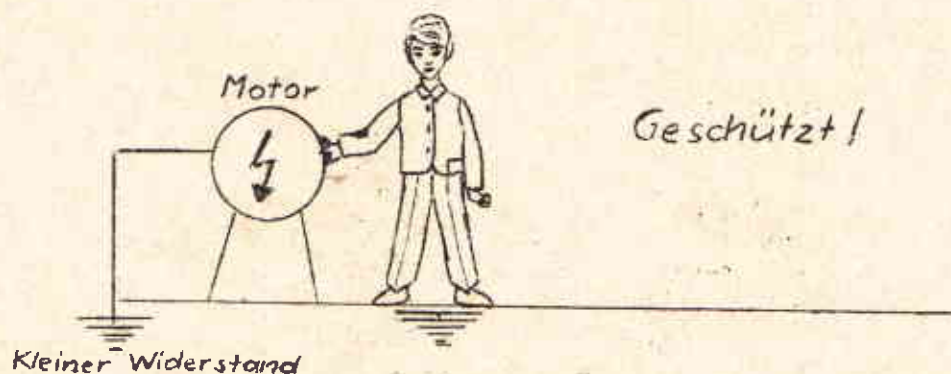
Auf den Trenntrafos muß das Zeichen  $\frac{0}{0}$  angebracht sein.

Zwei Geräte dürfen nicht an der Sekundärseite angeschaltet werden, da sonst ebenfalls Gefahr für den menschlichen Körper besteht.



#### 7.224 Schutzterdung

Durch die Schutzterdung soll eine Berührungsspannung von den leitenden Außenteilen eines elektrischen Gerätes zur Erde abgeleitet werden.

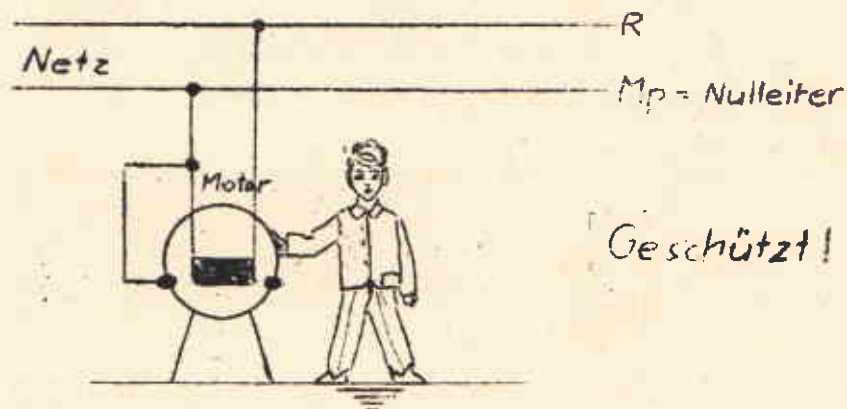


Es ist darauf zu achten, daß der Erdungswiderstand sehr klein ist (einige Ohm).

Neben der Schutzerdung werden Anlagenteile oft noch "geerdet". Diese Erdung stellt noch einen zusätzlichen Schutz dar. Der Erdungswiderstand hat einen verhältnismäßig hohen Wert.

### 7.225 Nullung

Durch die Nullung soll ebenfalls eine Berührungsspannung von den leitenden Außenteilen eines elektrischen Gerätes abgeleitet werden. Hierbei werden die zu schützenden Anlagenteile mit dem Nulleiter der Spannungszuführung verbunden.



Ist in einem Netzbereich die Nullung durchgeführt, darf keine Schutzerdung, ist die Schutzerdung durchgeführt, darf keine Nullung angewandt werden. Es könnten sonst an den geschützten Anlagen Berührungsspannungen auftreten.

Im Raum Nürnberg wird von der Nullung Gebrauch gemacht.

