

## 2.4 Elektrik

### 2.4.1 Grundlagen

#### 2.4.1.1 Was ist Elektrizität?

Die Elektrik beschäftigt sich mit den Naturvorgängen bei der Erzeugung und Weiterleitung der elektrischen Energie in metallischen Leitern.

Beim Versuch, in das Wesen der Elektrizität einzudringen, stoßen wir auf gewisse Schwierigkeiten. Die Hauptgründe dafür sind:

- Die Elektrizität ist durch andere physikalische, insbesondere durch mechanische Begriffe nicht erklärbar.
- Wir besitzen kein Sinnesorgan, mit dem wir die Elektrizität wahrnehmen können; darum ist beim Umgang mit Elektrizität besondere Vorsicht geboten.

Anwendung findet die Elektrizität in der Druckweiterverarbeitung hauptsächlich bei elektrischen Maschinen, wo die elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt wird, also in Klebebindemaschinen, Schneidemaschinen, Falzmaschinen, Buchfertigungsstraßen etc.

Im technischen Bereich stellt die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes (der Elektromagnetismus) eine der wichtigsten Erscheinungen dar, auf der die Vielfalt der Anwendungen der Elektrizität beruht.

Statische Elektrizität erfahren wir z.B. beim Papiertransport in Falzmaschinen. Das äußere Erscheinungsbild der elektrostatischen Aufladung ist dort dadurch gekennzeichnet, daß die Bogen aneinander haften, eine Trennung durch den Anleger nicht erfolgt oder der Einlauf des Falzbogens durch die Haftung an Maschinenteilen und Rollentischen behindert wird. Ursachen statischer Aufladung können Reibung an glatten Metalloberflächen bei erhöhter Laufgeschwindigkeit, zu geringe Luftfeuchtigkeit (relative Luftfeuchtigkeit kleiner als 55%) oder Papiereigenschaften wie glatte Oberflächen, geringes Papiergewicht und geringe Steifigkeit sein. Hierdurch entsteht eine unterschiedliche Aufladung, denn alle Stoffe, auch Isolatoren (Nichtleiter), enthalten positive und negative Ladungen. Sie sind in Isolatoren unbeweglich. Berühren sich zwei verschiedene Stoffe, so erfolgt Ladungstrennung, indem an der Berührungsfläche Elektronen eines Stoffes zum anderen übergehen. Der Ladungsausgleich geschieht meist über die Luft. Akklimatisierung der Falzbogen, zusätzliches Bogen schütteln, Verdunstung von Flüssigkeit an der Maschine sowie das Einsprühen von Falzwalzen, Taschen und Rollentischen mit Antistatik-Spray helfen meist nur kurze Zeit. Ladungen müssen dann über zusätzliche Hilfsmaßnahmen (aktive Ionisation), wie

#### Vorsicht bei elektrischen Anlagen!

- Niemals die blanken Teile einer elektrischen Leitung berühren!
- Niemals ein elektrisches Gerät mit feuchten Händen betätigen!
- Aus Sicherheitsgründen dürfen Arbeiten an elektrischen Anlagen nur von Fachleuten ausgeführt werden!
- Nicht an angeschlossenen elektrischen Geräten herumbasteln!
- Nicht an Schaltanlagen spielen!
- Elektrische Geräte in Ordnung halten!
- Über aufgetretene Schäden nicht hinwegsehen, sondern für sofortige Abhilfe durch den Fachmann sorgen!
- Der Einbau einer Sicherung befreit nicht von der Pflicht, elektrische Maschinen und Geräte während des Betriebes zu beobachten!
- Überbrücken von Sicherungen durch Drähte ist verboten!
- Vorschriftsmäßige Stecker und Kabel verwenden und darauf achten, daß die Anschlußleitungen keine Knicke und Schleifen bilden!
- Bei Störungen oder Wartungen Spannung abschalten, Stecker ziehen, Hauptschalter ausschalten!
- Vor der Benutzung neuer Geräte die Bedienungsanleitung genau durchlesen!
- Schutzabdeckungen und Zugänge an elektrischen Geräten nie öffnen! Auf Kennzeichnungen achten, die vor Berührung mit unter Spannungen stehenden Leitungen oder Teilen warnen!

Ionisationselektroden<sup>1</sup> (Ionisierstäbe) oder Luft-Ionisationssprühköpfe (Ionenbläser) ausgeglichen werden.

#### Merke

- Statische Aufladung kann durch Akklimatisierung, reibungslosen Transport und geringe Luftfeuchtigkeit vermieden werden.
- Ionisationselektroden und Luft-Ionisationssprühköpfe beseitigen statische Aufladung.
- Das Tragen von Sicherheitsschuhen verhindert, daß sich der menschliche Körper elektrostatisch aufladen kann.

#### 2.4.1.2 Der elektrische Strom

Der in einem Leiter fließende Strom besteht aus Elektronen, die sich mit relativ kleiner Geschwindigkeit vorwärts bewegen. Diese sogenannten freien Elektronen sind elektrisch geladene Teilchen, die sich aus dem Atomverband gelöst haben.

<sup>1</sup> Ionisationselektrode, Ionisierstäbe erzeugen durch hohe Wechselspannung positive und negative Ionen und bauen dadurch eine elektrisch leitfähige Luftsäule auf die zur Entladung führt. Luft-Ionisationssprühköpfe, Ionenbläser blasen stark ionisierte Luft in geschuppte oder gestapelte Bogen.

Die kleinste elektrische Ladung besitzen die Elementarteilchen Elektron (negativ) und Proton (positiv). Man bezeichnet sie als elektrische Elementarladung.

#### Stromstärke

(I) (Intensität) ist Basisgröße des SI-Systems<sup>1</sup> und wird in Ampere (A) gemessen.

Man schreibt  $[I] = 1 \text{ A}$  und liest: Die Einheit der Stromstärke ist ein Ampere.

#### Ampere<sup>2</sup>

ist die Stärke eines elektrischen Stroms, der durch zwei geradlinige parallele Leiter mit einem Abstand von einem Meter fließt, und der zwischen den Leitern je Meter Länge eine Kraft von  $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$  (Newton<sup>3</sup>) hervorruft.

1 Milliampere =  $1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

#### Ladungsmenge

(Q) (Quantität) ist das Produkt aus Strom und Zeit und wird in Amperesekunden (As) gemessen.

$$Q = I \cdot t$$

$[Q] = \text{Amperesekunde (As)} = \text{Coulomb (C)}$

Der elektrische Strom fließt nur in Leitern, denn nur dort ist ein Ladungstransport möglich. Stromleiter sind Metalle, Kohle, Säuren, Basen, Salzlösungen und unter besonderen Umständen auch Luft sowie Gase.

Wichtige Nichtleiter oder Isolatoren sind Bernstein, Glas, Gummi, Keramik, die meisten Kunststoffe, Öl und normalerweise auch Gase (Luft).

#### Merke

Es gibt keine Stoffe, die den elektrischen Strom gar nicht leiten. Was wir Isolatoren nennen, sind Stoffe, die den Strom nicht merklich oder nur unwesentlich leiten. Isolatoren können unter besonderen Bedingungen zu Leitern werden.

### 2.4.1.3 Die elektrische Spannung

Die elektrische Spannung ist eine notwendige Voraussetzung für das Fließen eines Stromes. Sie entsteht, wenn Ladungen in einer Spannungsquelle unter Arbeitsaufwand getrennt werden.

Am Minuspol besteht ein Elektronenüberschuß, am Pluspol ein Elektronenmangel. Beide Zustände werden durch Vorgänge im Innern der Spannungsquelle erzeugt und aufrechterhalten. Die Elektronen fließen außerhalb der Spannungsquelle vom Elektronenüberschuß zum -mangel, also vom Minuspol zum Pluspol. Vor Kenntnis der wahren Verhältnisse war aber bereits die technische Stromrichtung vom Plus-

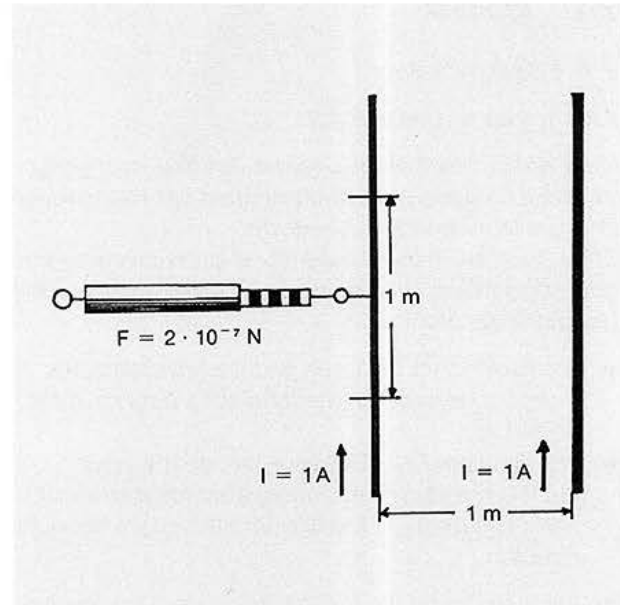


Abb. 2.4-1: Zur Definition des Amperes

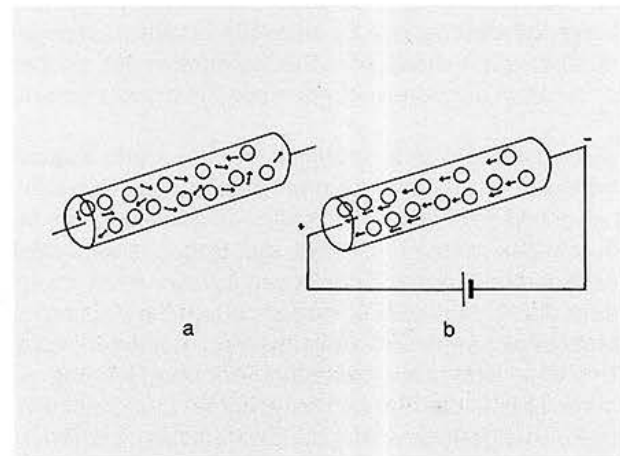


Abb. 2.4-2: Modell der Bewegung freier Elektronen im Leiter: a ohne Spannung, kein Stromfluß, b bei Spannung Stromfluß

<sup>1</sup> SI-Systeme: frz., Système International, Internationales Einheitensystem

<sup>2</sup> Ampere: A. M. Ampère, frz. Physiker (1775 – 1836)

<sup>3</sup> Newton: Isaac Newton, engl. Physiker (1643 – 1727)

zum Minuspol festgelegt worden. Man muß daher stets zwischen der technischen Stromrichtung und der Elektronenbewegung unterscheiden. Als Spannungsabfall bezeichnet man die Spannung zwischen zwei beliebigen Punkten eines stromdurchflossenen Leiters.

**Elektrische Spannung**  
 U ist der Quotient aus der im Verbraucher verrichteten elektrischen Arbeit W (engl. work) und der dabei geflossenen Ladungsmenge Q.

$$U = \frac{W}{Q}$$

[U] = Volt (V)<sup>1</sup>

**2.4.1.4 Der elektrische Widerstand**

Der elektrische Widerstand bestimmt die Stärke des Stromes, der bei einer bestimmten Spannung durch den Stromkreis fließt.

**Widerstand**  
 (R) (engl. resistance) ist das Verhältnis der Spannung zwischen den Enden eines Leiters zur Stärke des Stromes im Leiter.

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

[R] = Ohm (Ω)<sup>2</sup>

Ein metallischer Leiter hat einen elektrischen Widerstand von einem Ohm, wenn zwischen den Endpunkten ein Strom von einem Ampere fließt, bei einer angelegten Spannung von einem Volt. Beim **Schichtwiderstand** ist als Leiter eine dünne Kohle- oder Metallschicht auf ein Porzellanrohr aufgebracht, an den Enden mit Anschlußkappen versehen und zum Schutz lackiert. Farbringe geben den Widerstandswert an. Schichtwiderstände haben einen geringen Platzbedarf, aber auch eine geringe Belastbarkeit. Sie werden z.B. als Vorwiderstände zur Strombegrenzung bei LED<sup>3</sup>-Anzeigelampen an Steuerpulten verwendet. Beim **Drahtwiderstand** ist ein Widerstandsdraht, meist Konstantan<sup>4</sup>, wegen der Temperaturabhängigkeit auf einen isolierten Zylinder gewickelt. Solche Drahtwiderstände werden meist für geringe Widerstandswerte und für höhere Belastungen verwendet. Beim **Potentiometer**, der als Schicht- oder Drahtwiderstand ausgeführt sein kann, wird der Widerstand stetig oder in Stufen über einen Schleifkontakt

Farbe	1. Ziffer	2. Ziffer	Zahl der Nullen	Toleranz in %
schwarz	0	0	0	—
braun	1	1	1	1
rot	2	2	2	2
orange	3	3	3	—
gelb	4	4	4	—
grün	5	5	5	0,5
blau	6	6	6	—
violett	7	7	7	—
grau	8	8	8	—
weiß	9	9	9	—
gold	—	—	×0,1	5
silber	—	—	×0,01	10
ohne	—	—	—	20

Tab. 2.4-1: Internationaler Farbcodex für Widerstände

verändert. Dabei wird nur ein Teil des vorhandenen Widerstandes ausgenutzt. Der Schleifer wird durch Drehbewegungen (Drehwiderstand) auf einer ringförmigen Widerstandsbahn oder geradlinig auf einer flachen Widerstandsbahn (Schiebewiderstand) bewegt. Der Zusammenhang zwischen abgegriffenem Widerstand und Schleiferstellung ist je nach Bauart linear oder logarithmisch. Der Potentiometer wird besonders zur Regelung von Maschinengeschwindigkeiten eingesetzt. Je nachdem, ob die Widerstände hintereinander oder parallel geschaltet sind, spricht man von Reihen- oder Parallelschaltung: Eine Übersicht der geltenden Beziehungen zeigt Tab. 2.4-2.

<sup>1</sup> Volta, Alessandro: it. Physiker (1745 – 1827)  
<sup>2</sup> Ohm, Georg Simon: dt. Physiker (1789 – 1854)  
<sup>3</sup> LED: engl., light emitting diodes, Leuchtdiodenanzeige  
<sup>4</sup> Konstantan: Legierung aus Kupfer und Nickel

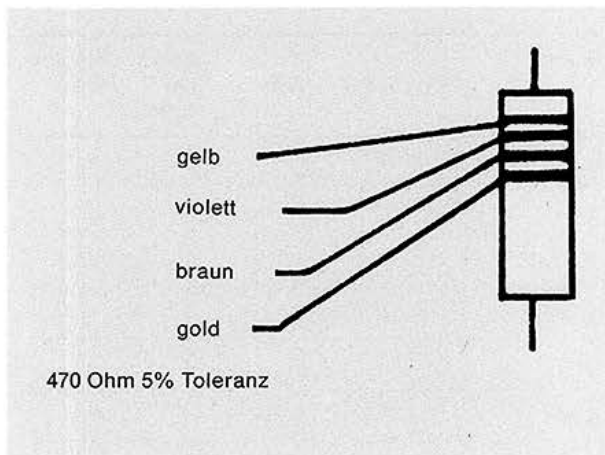


Abb. 2.4-3: Beispiel zur Widerstandsberechnung

**Übung**

- Abb. 2.4-3 zeigt einen Widerstand von 470 Ohm (gelb = 4, violett = 7, braun = 0, gold = 5%)
- Widerstände an Produktionsmaschinen bestimmen und mit Ohmmeter nachmessen (Regeln beim Umgang mit elektrischen Anlagen 2.4.1.2 beachten).

**Merke**

Entsprechend ihrem Aufbau unterscheidet man zwischen Masse-, Schicht-, und Drahtwiderständen. Das Verhältnis zwischen Strom und Spannung ist konstant.

**2.4.1.5 Die elektrische Arbeit**

Bei der elektrischen Arbeit wird elektrische Energie in andere Energiearten (Wärme, mechanische Energie, Licht) umgewandelt. Elektrische Energie entsteht aus anderen Energiearten und läßt sich wieder in andere umwandeln. Auch für sie gilt der Satz von der Erhaltung der Energie.

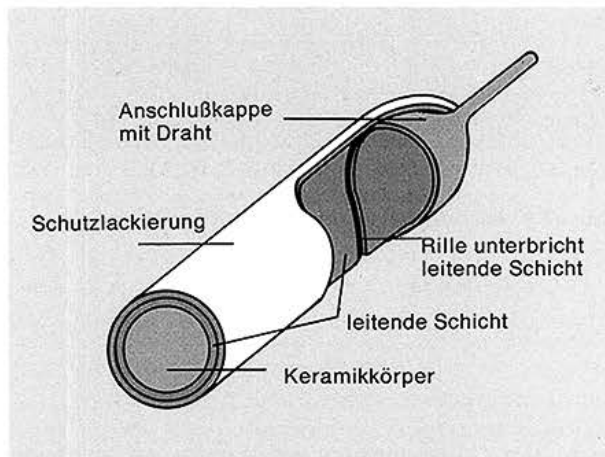


Abb. 2.4-4: Aufbau eines Schichtwiderstandes

**Elektrische Arbeit**

(W) (engl. work) ist das Produkt aus der Spannung U, der Stromstärke I und der Zeit t. Sie wird in Wattsekunden (Ws) gemessen.

$$W = U \cdot I \cdot t$$

[W] = Wattsekunde (Ws). 1 Ws = 1 Volt-Ampere Sekunde (VAs)

Die Arbeit 1 Ws wird verrichtet, wenn während der Zeit 1 s bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A fließt.

**2.4.1.6 Die elektrische Leistung**

Die Leistung von Geräten und Maschinen wird auf dem Typenschild in Watt angegeben.

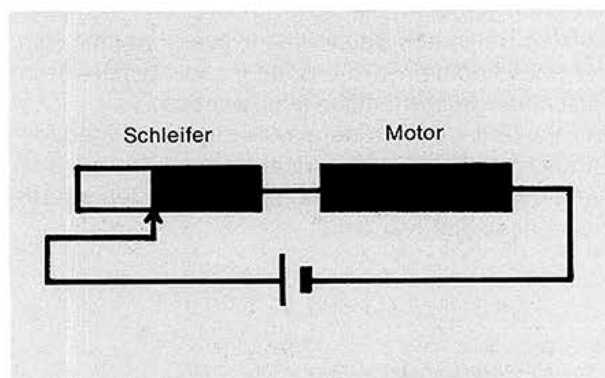


Abb. 2.4-5: Stromkreis mit veränderbarem und festem Widerstand (ausgenutzter Widerstandsbereich schwarz)

**Elektrische Leistung**

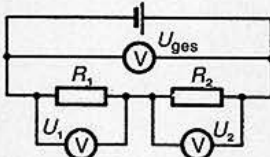
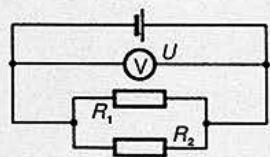
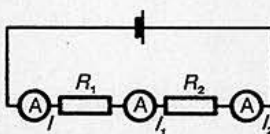
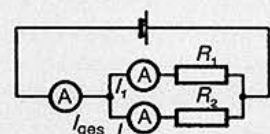
(P) (engl. power) ist der Quotient aus Arbeit und Zeit, oder auch das Produkt aus Spannung U und Stromstärke I.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I$$

[P] = Watt (W)<sup>1</sup>

Die Leistung 1 W wird abgegeben, wenn bei einer Spannung von 1 V ein Strom von 1 A fließt.

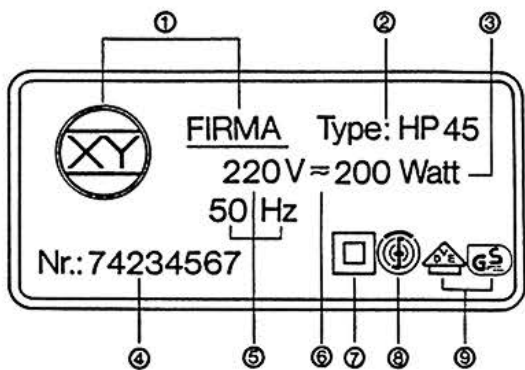
<sup>1</sup> Watt, James: engl. Physiker und Maschinenbauer (1736 – 1819)

	Reihenschaltung unverzweigter Stromkreis	Parallelschaltung verzweigter Stromkreis
Spannungen	$U_{ges} = U_1 + U_2$ Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung 	$U = U_1 = U_2$ An den Zweigwiderständen liegt die gleiche Spannung 
Stromstärken	$I = I_1 = I_2$ Die Stromstärke ist an allen Punkten eines unverzweigten Stromkreises gleich 	$I_{ges} = I_1 + I_2$ Die Summe der Stromstärken in den Zweigen ist gleich der Stromstärke im unverzweigten Teil des Stromkreises 
Widerstände	$R_{ges} = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
Wichtige Proportionen	$U_1 : U_2 = R_1 : R_2$ Die Teilspannungen sind den Teilwiderständen proportional	$I_1 : I_2 = R_2 : R_1$ Die Stromstärken in den Zweigen sind den entsprechenden Widerständen im verzweigten Stromkreis umgekehrt proportional.

Tab. 2.4-2: Übersicht über die Beziehungen bei Reihen- und Parallelschaltung

**Übung**

- Die Abbildung zeigt ein Typenschild eines Motors. Erläutern Sie die Symbole.
- Typenschilder an Produktionsmaschinen analysieren
- Eine Schneidemaschine mit einem Gesamtanschluß von 8 kW soll an einer Nennspannung von 380 V betrieben werden. Mit wieviel Ampère muß der Anschluß abgesichert sein?



1. Hersteller-Firmenzeichen und Hersteller-Firma
2. Typenbezeichnung
3. Nennleistung
4. Geräte- oder Seriennummern; die ersten beiden Ziffern können das Herstellungsjahr andeuten
5. Nennspannung und Nennfrequenz
6. Symbol für Betriebsmöglichkeit
7. Symbol der Schutzklasse; hier Schutzklasse II, schutzisoliert
8. Symbol des Funkstör-schutzes
9. Zeichen für geprüfte Sicherheit

**Angaben auf einem Typenschild**

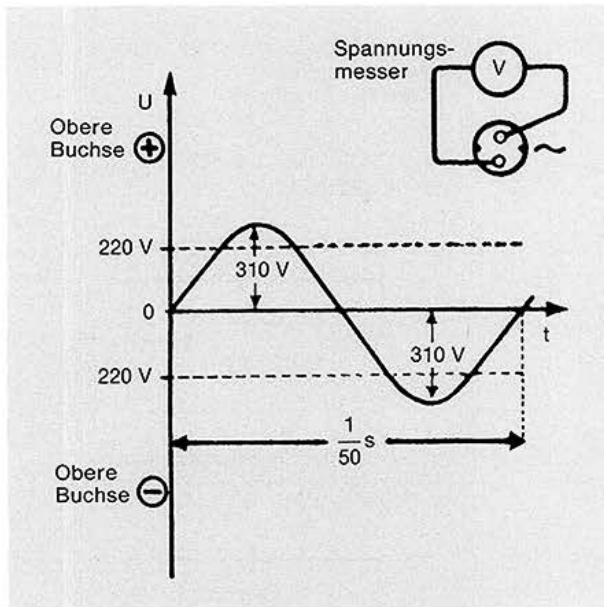


Abb. 2.4-6: Spannungsverlauf an der Steckdose

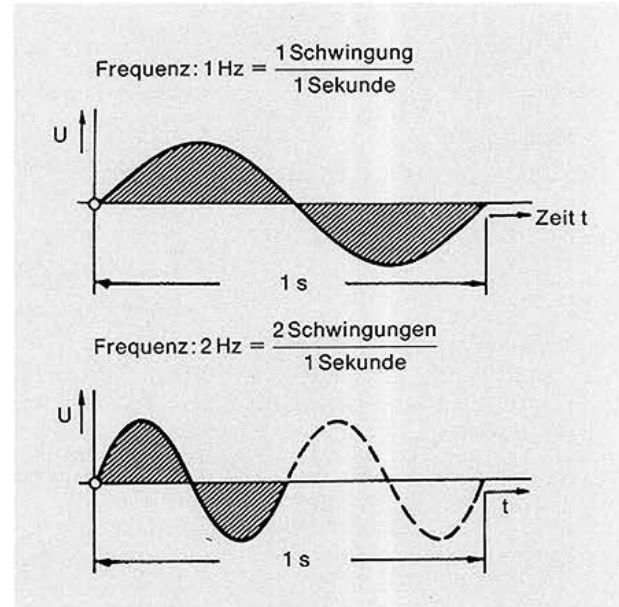


Abb. 2.4-7: Zusammenhang zwischen Anzahl der Schwingungen pro Sekunde und Frequenz

### 2.4.1.7 Die Arten des elektrischen Stromes

Grundsätzlich unterscheidet man zwei verschiedene Arten von Strom: den Gleichstrom und den Wechselstrom. Beim Wechselstrom unterscheidet man noch zwischen dem Zweiphasen-Wechselstrom und dem Dreiphasen-Wechselstrom oder Drehstrom.

#### 2.4.1.7.1 Der Wechselstrom

Der Wechselstrom ist eine elektromagnetische Schwingung, die als zeitlich periodische Änderung der Größen Spannung und Stromstärke technische Bedeutung hat, weil mit seiner Hilfe eine besonders zweckmäßige Energieumwandlung und Energieübertragung über weite Strecken fast verlustlos möglich ist. In Wechselstromkreisen sind die Spannung  $U$  und die Stromstärke  $I$  periodische Funktionen der Zeit. Der Wechselvorgang wird charakterisiert durch die Frequenz  $f$ . Dabei ist die Frequenz die Anzahl der Schwingungen je Sekunde.

Die Frequenz des Wechselstroms im europäischen Stromnetz beträgt einheitlich  $f = 50$  Hz (Hertz)<sup>1</sup>.

Die Gesetze des Gleichstromkreises über die Stromstärke  $I = U : R$  und über die elektrische Arbeit  $W = U \cdot I \cdot t$  gelten in dieser einfachen Form nicht für den Wechselstromkreis. Enthält ein Wechselstromkreis Spulen und/oder Kondensatoren, so kommt es zwischen den elektrischen Bauteilen, dem Leiter und deren Umgebung zu Wechselbeziehungen, und Widerstände werden frequenzabhängig. Es treten besondere Erscheinungen auf, die die Amplituden

(Auslenkung vom Nullpunkt) von Strom und Spannung und ihren zeitlichen Verlauf beeinflussen. Auch stellt im Wechselstromkreis der Kondensator keine Unterbrechung des Stromkreises dar wie im Gleichstromkreis, sondern hat einen Wechselstromwiderstand. Die zeitliche Verschiebung von Strom und Spannung hat einen Einfluß auf die elektrische Leistung.

#### Merke

Im Wechselstromkreis zeigen elektrische Bauteile veränderte Eigenschaften.

#### 2.4.1.7.2 Der Drehstrom

Die meisten Maschinen in den Betrieben der Druckindustrie können nicht an die 220-V-Haushaltssteckdose angeschlossen werden. Meist sind es Maschinen mit hoher Nennleistung.

Die Stecker solcher Maschinen besitzen fünf Stifte, die zugehörige Steckdose fünf Buchsen (Abb. 2.4-8). Man kennzeichnet die fünf Buchsen der Steckdose mit den Kennbuchstaben  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , N, PE (früher R, S, T, N, E) und bezeichnet den diesen Steckdosen entnommenen Strom als Dreiphasenstrom oder Drehstrom und die damit betriebenen Maschinen als Drehstrommaschinen. Den zeitlichen Verlauf der drei Wechselspannungen zeigt die Abb. 2.4-9.

<sup>1</sup> Hertz, Heinrich: dt. Physiker (1857 – 1894)

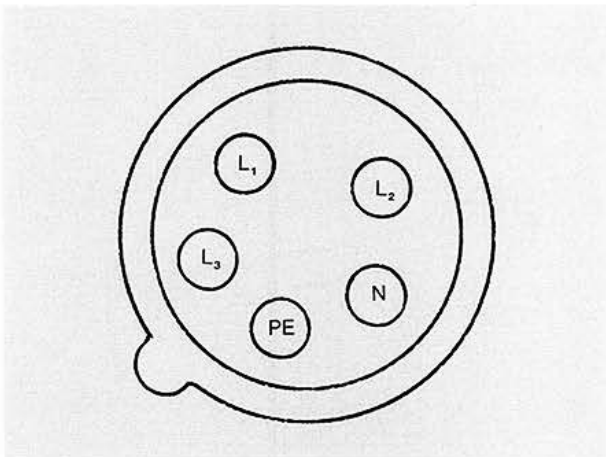


Abb. 2.4-8: Drehstromstecker

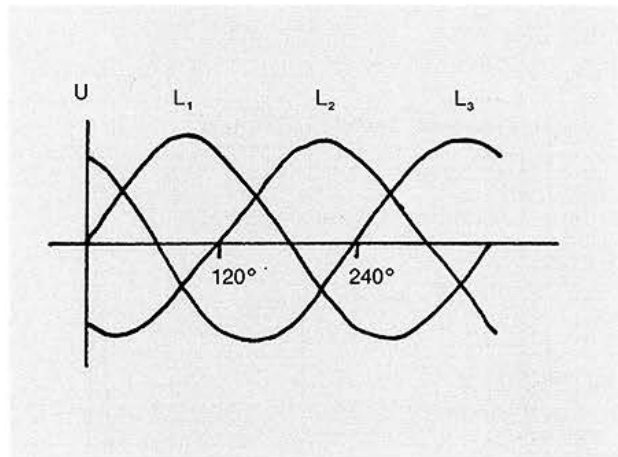


Abb. 2.4-9: Spannungsverlauf bei Drehstrom

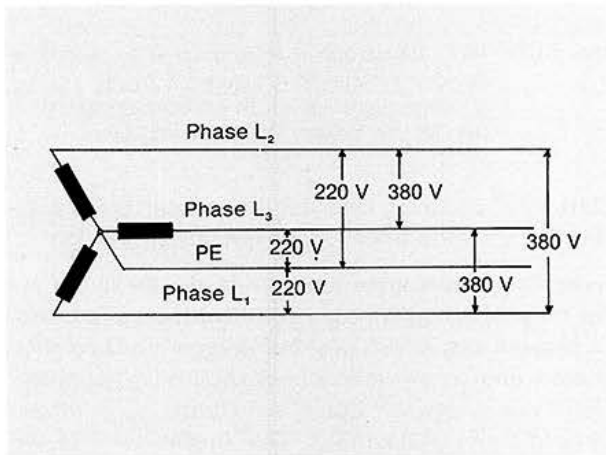


Abb. 2.4-10: Sternschaltung

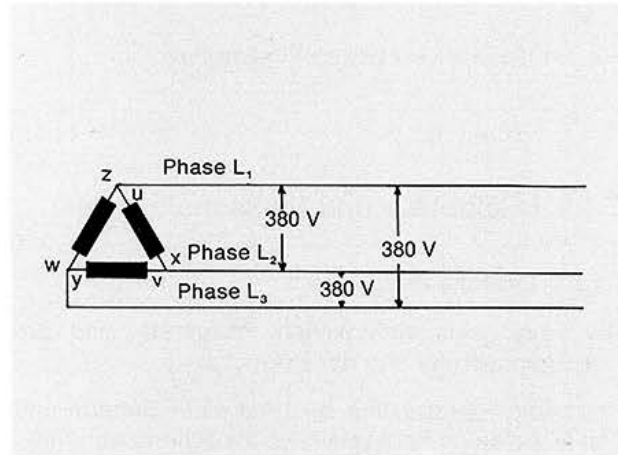


Abb. 2.4-11: Dreieckschaltung

Verbindet man nun die Leitungen miteinander, so ergeben sich zwei gebräuchliche Schaltungen, die Sternschaltung und die Dreiecksschaltung.

Die drei Außenleiter  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  und der Mittelpunktleiter  $M_p$  enden an den Buchsen der Steckdose. Der fünfte Kontakt, der Schutzkontakt, ist mit dem Schutzleiter verbunden.

Der Schutzleiter übt die gleiche Schutzfunktion aus wie das Erdungskabel bei der 220-V-Haushaltssteckdose.

Über die Steckdose wird er mit den Metallteilen der Maschine verbunden, die im Falle eines Körperchlusses keine Spannung gegen Erde führen dürfen. Zwischen einem Außenleiter und dem Mittelpunktleiter herrscht eine effektive Spannung von 220 V, zwischen je zwei Außenleitern von 380 V. Im Vierlei-

terstromnetz ist der Sternpunkt in der Transformatorstation geerdet. Zwischen den Außenleitern und allen mit der Erde leitend verbundenen Metallteilen herrscht deshalb ebenfalls eine effektive Spannung von 220 V. Nur der Mittelpunktleiter führt gegen Erde keine Spannung.

Die Leistung im Drehstromnetz berechnet sich aus  $P = U \cdot I$ . Dabei ist zu beachten, daß  $P_\Delta = 3 \cdot P_Y$  ist.

**Merke**

Im Stern nimmt ein Verbraucher nur ein Drittel der Leistung des Dreiecksbetriebes auf. Aus diesem Grund werden Motoren ab 5 kW im Stern-Dreiecksbetrieb eingeschaltet.

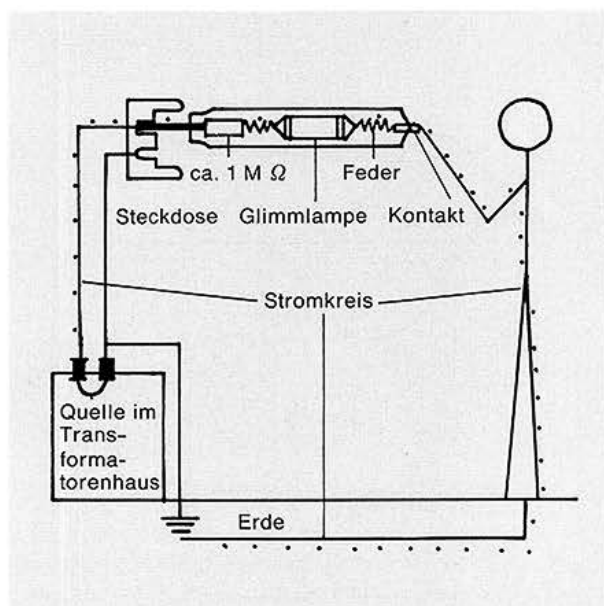


Abb. 2.4-12: Funktionsweise der Polsuchlampe

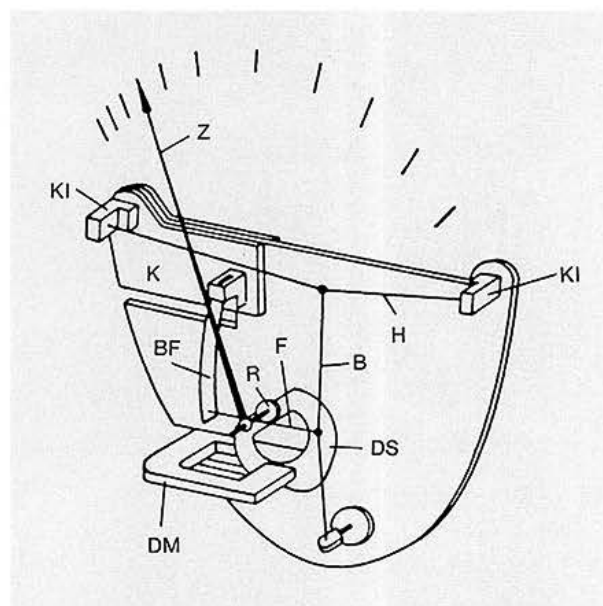


Abb. 2.4-13: Hitzdrahtinstrument: H Hitzdraht, B Brückendraht, F Faden, R Rolle, BF Blattfeder, Z Zeiger, K Kompensationsstück, KI Anschlußklemmen, DM Dämpfermagnet, DS Dämpferscheibe

## 2.4.2 Meßgeräte und Meßschaltungen

### 2.4.2.1 Einfache Prüfgeräte

Die einfachsten elektrischen Prüfgeräte sind der Durchgangsprüfer und der Polsucher.

Beim **Durchgangsprüfer** wird mit einer Batterie und einer Prüflampe festgestellt, ob zwischen zwei Punkten eine leitende Verbindung besteht. Ist diese gegeben, leuchtet die Lampe auf, da der Stromkreis dann geschlossen ist.

Die **Polsuchlampe** leuchtet im Gegensatz zum Durchgangsprüfer nur an der Phasenleitung. Als Teststromkreis benutzt man eine Glimmlampe mit eingebautem Strombegrenzer und einen Hochohmwiderstand. Von der Phasenleitung fließt dann der sehr schwache Strom über den Hochohmwiderstand und den Finger zur Erde. Am Nulleiter bleibt die Glimmlampe dagegen dunkel.

### 2.4.2.2 Technische Meßgeräte

Meßgeräte zeigen Stromstärke, Spannung, Widerstand, Leistung und Energieverbrauch in jeweiligen Maßeinheiten analog (mit Zeiger) oder digital (elektronische Ziffernanzeige) an.

Beim **Hitzdrahtinstrument** wird die Wärmewirkung des elektrischen Stromes ausgenutzt. Ein stromdurchflossener Meßdraht erwärmt und verlängert sich; dabei dient die Verlängerung als Maß für die

Stärke des Stromes. Das Instrument kann bei Gleich- und Wechselstrommessungen eingesetzt werden.

Beim **Dreheiseninstrument** beruht die Messung auf der magnetischen Wirkung des elektrischen Stromes. Es besteht aus einem drehbar gelagerten Dauermagneten und einem feststehenden Elektromagneten. Fließt durch dessen Spule ein Strom, so wird der Dauermagnet abgestoßen. Die Auslenkung ist ein Maß für die Stärke des Stromes. Sie sind für Gleich- und Wechselstrom niedriger Frequenz geeignet.

Das **Drehspulinstrument** besteht aus einer leicht drehbaren Spule, die sich innerhalb der Polschuhe eines Dauermagneten drehen kann. Wird sie vom zu messenden Strom durchflossen, so entsteht durch Überlagerung beider Magnetfelder ein Drehmoment (wie beim Gleichstrommotor). Der Ausschlag ist ein Maß für die Stärke des Stromes. Das Drehspulinstrument kann nur bei Gleichstrommessungen eingesetzt werden.

Für Wechselstrom sind besondere **Wechselstrommeßgeräte** erforderlich, da Drehspulmeßgeräte wegen der Trägheit ihrer Systeme nicht mit der Frequenz der elektromagnetischen Schwingungen im Energienetz schwingen können. Man schaltet zur Wechselstrommessung den Drehspulinstrumenten einen Gleichrichter<sup>1</sup> vor oder verwendet besondere Rundspul-Dreheiseninstrumente.

<sup>1</sup> Gleichrichter: Bauelement, das Wechselstrom in Gleichstrom umwandelt.



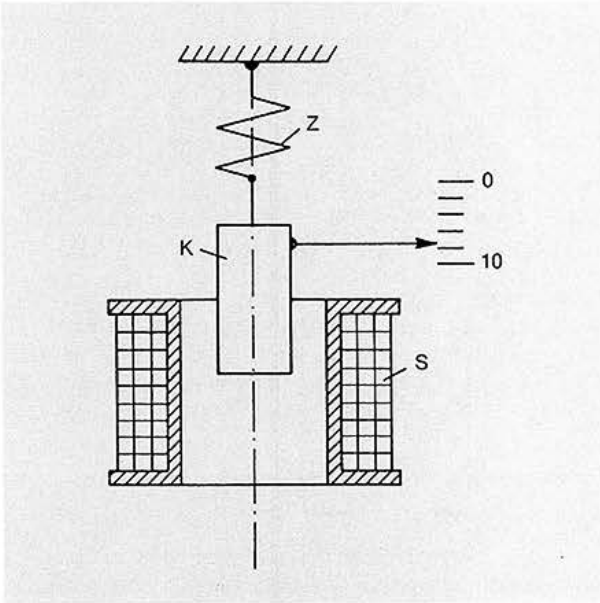


Abb. 2.4-14: Prinzip des Dreheiseninstrumentes

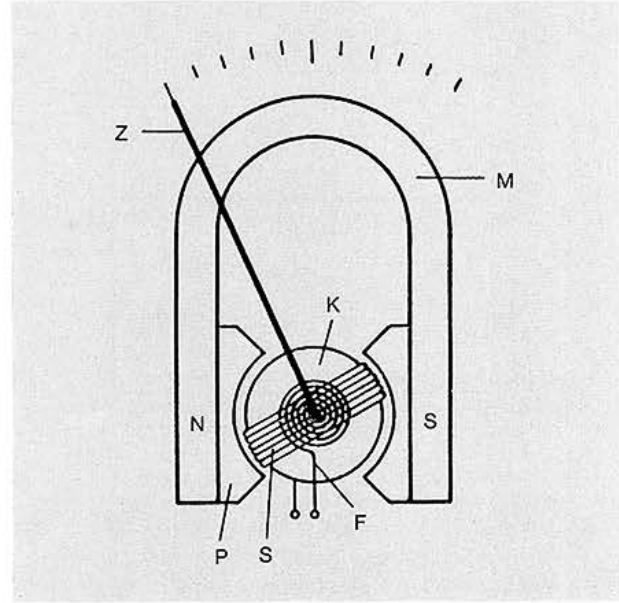


Abb. 2.4-15: Drehspulinstrument: M Magnet, P Polschutz, S Spule, F Feder, Z Zeiger, K Kern

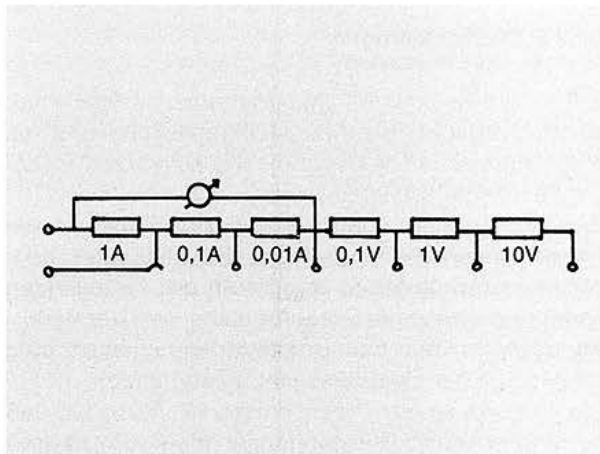


Abb. 2.4-16: Schemazeichnung eines Vielfachmeßinstrumentes

**Übung**  
Meßgeräte im Betrieb analysieren.

Meßinstrumente haben in der Regel nur einen festen Meßbereich. Bei **Vielfachmeßinstrumenten** kann der Meßbereich erweitert werden. Hier werden zur Erweiterung des Meßbereiches eines Strommessers bzw. eines Spannungsmessers Widerstände parallel bzw. in Reihe geschaltet.

Die Messung des Widerstandes geschieht über eine Strommessung. Dazu liefert das Vielfachinstrument die notwendige Meßspannung durch eine eingebaute Batterie.

**2.4.2.3 Schaltung von Meßgeräten**

Strommeßgeräte (Amperemeter) werden **in** die Leitung geschaltet; d. h. der Stromkreis wird aufgetrennt. Spannungsmeßgeräte (Voltmeter) werden **an** die Leitung geschaltet; d. h. der Stromkreis wird nicht aufgetrennt, sondern die beiden Anschlüsse des Spannungsmessers werden vor und nach dem Verbraucher, über dem die Spannung gemessen werden soll, an die Leitung angeschlossen (siehe auch Tab. 2.4-2).

**2.4.2.4 Spannungsmesser mit Verstand benutzen!**

Für die Genauigkeit der Messung ist die Widerstandskennzahl, die auf dem Instrument steht, von besonderer Bedeutung, sowie die Genauigkeitsklasse, die ebenfalls auf dem Meßinstrument angegeben ist. Die Widerstandskennzahl gibt in Ohm/Volt den wirkenden Innenwiderstand des Instrumentes an, der nicht immer vernachlässigt werden kann. Die Genauigkeitsklasse gibt den Anzeigefehler des Instrumentes, bezogen auf den Skalenendwert, in Prozent an. Beispiel: Die Genauigkeitsklasse sei 1,5. Beträgt der Skalenendwert 100 V, so kann die gemessene Spannung bei einem Zeigerausschlag von 100 V bei dieser

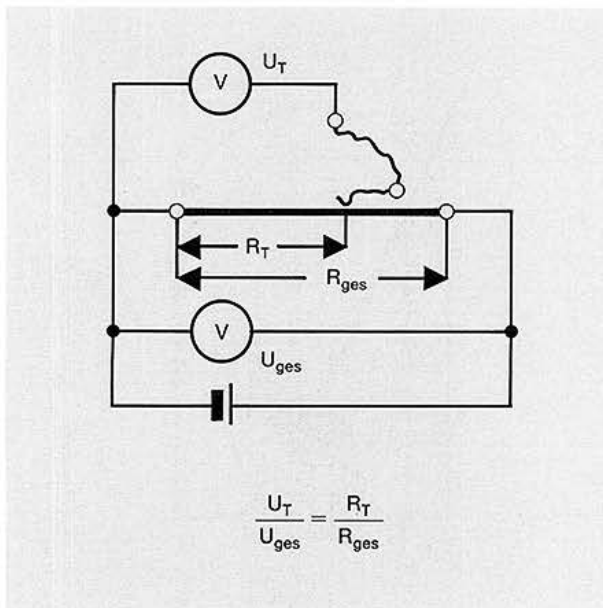


Abb. 2.4-17: Spannungsteilerschaltung

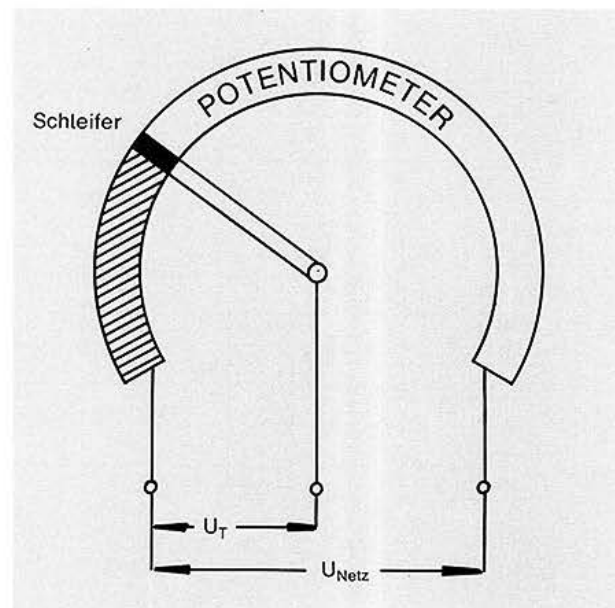


Abb. 2.4-18: Potentiometer

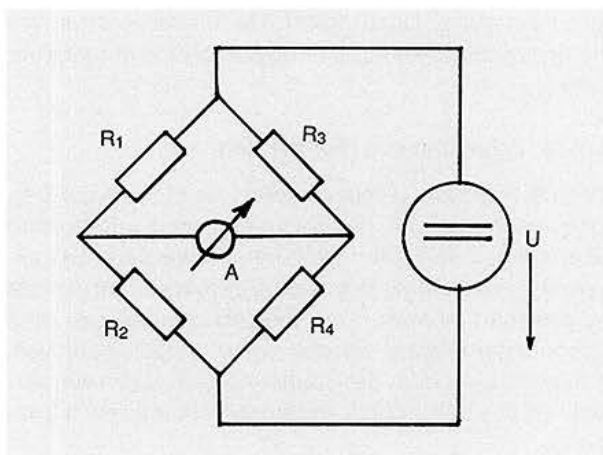


Abb. 2.4-19: Wheatstonesche Brücke

Genauigkeitsklasse um 1,5% über oder unter 100 V liegen. Das heißt – vorausgesetzt, es liegt kein Schaltungsfehler vor –, daß die tatsächliche Spannung zwischen 98,5 V und 101,5 V liegen kann. Bei einem Zeigerausschlag von 10 V liegt die tatsächliche Spannung zwischen 8,5 V und 11,5 V.

Wie man aus obigem Beispiel sieht, ist es vorteilhaft, elektrische Meßinstrumente möglichst im letzten Skalendrittel zu benutzen.

### 2.4.2.5 Meßschaltungen

In der Drucktechnik häufig vorkommende Meßschaltungen sind die Spannungsteilerschaltung und die Wheatstonesche<sup>1</sup> Meßbrücke. Sie kommen z. B. bei der Feuchtigkeitsmessung vor.

Beispiel für eine Spannungsteilerschaltung ist die **Potentiometerschaltung**. Beim Potentiometer liegt der Gesamtwiderstand ständig an der zu teilenden Spannung. Zwischen Schleifer und einem der Widerstandsenden kann man grundsätzlich einen beliebig kleinen Teil der Gesamtspannung abgreifen.

Das Besondere der Potentiometerschaltung ist, daß die abgegriffenen Teilspannungen nicht vom wahren Widerstandswert des gesamten Potentiometers abhängig sind. Die Spannungsverhältnisse werden ausschließlich durch die Widerstandsverhältnisse bestimmt.

Neben dem Spannungsteiler benutzt man zu Meßzwecken vor allem die Wheatstonesche Meßbrücke, die z. B. bei Feuchtigkeitsmessungen eingesetzt wird. Das Ampèremeter zeigt hier Null an, wenn  $R_1$  und  $R_2$  sowie  $R_3$  und  $R_4$  im gleichen Verhältnis zueinander stehen, d. h., der Abgriff  $R_1$ , an dem die Feuchtigkeit auf einer Skala abgelesen werden kann, so eingestellt ist, daß die Brücke mit dem Meßgerät stromlos wird.

<sup>1</sup> Wheatstone, Charles: engl. Physiker (1802 – 1875)

### 2.4.3 Elektrische Maschinen

Elektrische Maschinen sind Energieumformer. Zu ihnen gehören der Transformator, der Motor und der Generator. Der

- Transformator wandelt elektrische Energie mit Hilfe der magnetischen Energie in elektrische Energie um
- Motor wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um
- Generator wandelt mechanische in elektrische Energie um.

#### 2.4.3.1 Der Transformator

Der Transformator (Umspanner) ist eine Maschine, mit der man die Spannung eines Wechselstromes hinauf- oder herabsetzen kann.

Ein Transformator besteht aus zwei Spulen auf einem gemeinsamen Eisenkern, die durch ein magnetisches Wechselfeld gekoppelt sind.

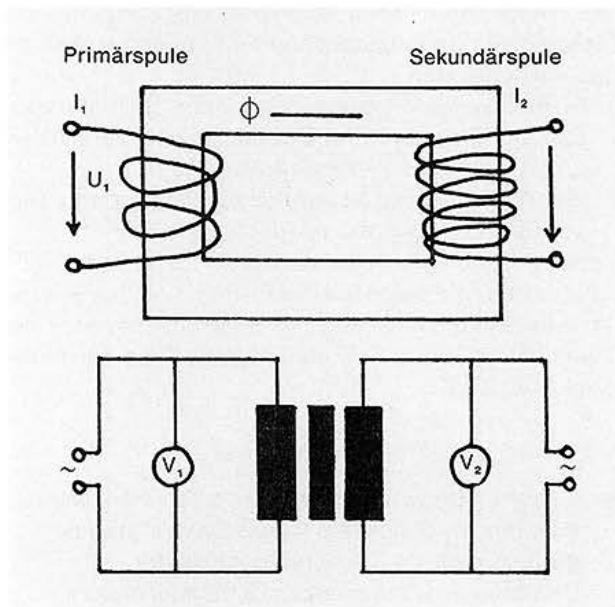


Abb. 2.4-20: Prinzip des Transformators und Schaltbild

**Merke**

Nur Wechselströme lassen sich transformieren.

Wird die Primärspule von einem Strom der Stromstärke  $I_1$  durchflossen, entsteht ein magnetisches Wechselfeld (Faradaysches Induktionsgesetz<sup>1</sup>), dessen Feldlinien die Sekundärspule durchsetzen und darin die Wechselspannung  $U_2$  induzieren. Dabei bezeichnet die Primärspule die Eingangsspule, die Sekundärspule die Ausgangsspule.

Für den Transformator gilt:

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

Beim Transformator verhalten sich die Spannungen ( $U$ ) ebenso wie die Windungszahlen ( $w$ ) der entsprechenden Spulen.

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

Beim Transformator verhalten sich die Ströme in Primär- und Sekundärspule umgekehrt wie die Windungszahlen. Dabei hängt der Primärstrom vom entnommenen Sekundärstrom ab.

<sup>1</sup> Faraday, Michael: engl. Physiker (1791 – 1867)

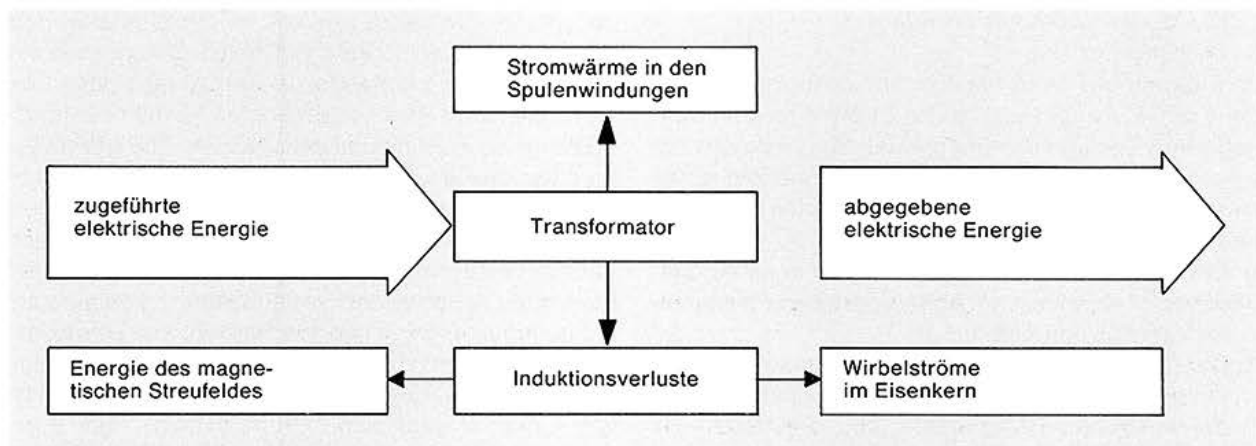


Abb. 2.4-21: Energiefluß beim Transformator

Der Transformator hat als eine Energie umwandelnde Maschine große Vorzüge gegenüber anderen derartigen Vorrichtungen:

1. Er besitzt keine beweglichen Teile. Deshalb weisen seine Bauteile im Betrieb keinen Verschleiß auf. Auch benötigt er keine Wartung.
2. Der Wirkungsgrad ist außerordentlich günstig. Die Verluste betragen nur etwa 2 bis 5%.

Verluste bei der Transformation entstehen dadurch, daß die beiden Spulen auf der Primär- und der Sekundärseite einen Ohmschen Widerstand besitzen. Eine Übersicht über den Energiefluß beim Transformator zeigt Abb. 2.4-21.

Mit einem Transformator kann man

- die Spannung im Sekundärkreis erhöhen, wenn man die Windungszahl  $w_2$  der Sekundärspule größer wählt als die Windungszahl der Primärspule (Hochspannungstransformator),
- die Sekundärspule mit hohen Strömen belasten, wenn man die Windungszahl  $w_2$  wesentlich kleiner als  $w_1$  wählt. Bei einem solchen Hochstromtransformator wird die Netzspannung gleichzeitig „heruntertransformiert“.

In der Druckweiterverarbeitung findet der Transformator hauptsächlich Anwendung als Meßwandler und in Fehlerstrom-Schutzschaltern.

### 2.4.3.2 Der Elektromotor

In einem Motor wird mit Hilfe des magnetischen Feldes und einem fließenden Strom elektromagnetische Energie in mechanische Energie, also in Kraft und Bewegung umgeformt.

Die Elektromotoren lassen sich einteilen in:

1. Gleichstrommotoren (Haupt- und Nebenschlußmotor),
2. Wechselstrommotoren (Synchron- und Asynchronmotor),
3. Drehstrommotoren.

Im Elektromotor wird elektrischer Strom zur Erzeugung einer Drehbewegung des Stromleiters verwendet. Beim Zusammenwirken eines Magnetfeldes mit einem Dauermagneten und dem Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters hat man folgende Gesetzmäßigkeiten festgestellt:

1. Ein stromdurchflossener Leiter wird in einem Magnetfeld abgelenkt in Abhängigkeit von Magnetfeld- und Stromrichtung.
2. Die Größe der Ablenkkraft ist abhängig von dem Leiterstrom  $I$ , der magnetischen Flußdichte  $B$ , der wirksamen Leiterlänge  $L$  und der Anzahl der Leiter  $z$  ( $F = B \cdot I \cdot L \cdot z$ ). Diese Kraft bewirkt eine Bewegung des Leiters.

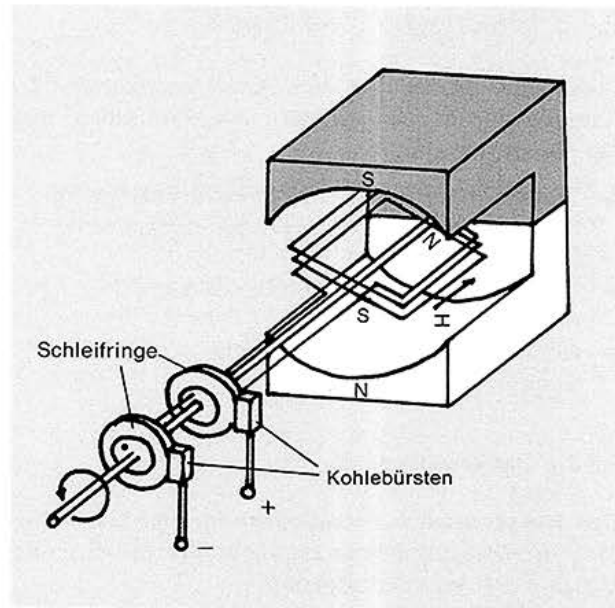


Abb. 2.4-22: Prinzip des Elektromotors

#### 2.4.3.2.1 Der Gleichstrommotor

Beim Gleichstrommotor ordnet man den Leiter als Spule in einem Magnetfeld an. So kommt es zu einer Drehbewegung. Die Spule steht dabei auf einem Spitzenlager und wird oben durch die Bohrung des Hufeisenmagneten gehalten. Sie stellt sich in die Richtung der Feldlinien zwischen den Polen des Hufeisenmagneten ein. Die Spule tut dies mit Schwung, der sie zunächst über das Ziel hinaustreibt. Ihre Bewegung wird nun aber vom Magnetfeld abgebremst und pendelnd nimmt sie die Endstellung ein. Wird der Spulenstrom gerade dann abgeschaltet, wenn die Spulenachse die Richtung der magnetischen Feldlinien hat, setzt sie ihre begonnene Drehung durch ihren Schwung fort. Kehrt man in diesem Augenblick sogar die Stromrichtung um, was man mit einem Stromwender oder Kommutator erreicht, so erfolgt jetzt wegen der umgekehrten Polung ein neuer Drehantrieb im gleichen Sinn. Holt man fortlaufend gerade dann um, wenn die Spule ihren sogenannten toten Punkt (Endstellung) erreicht hat, so erhalten wir eine gleichsinnige Dauerdrehung der Spule.

Um eine Umkehrung der Stromrichtung zum falschen Zeitpunkt zu verhindern, baut man den Kommutator auf die Welle, welche die Spule trägt (Abb. 2.4-23). Die Enden A und E der Spule in Abb. 2.4-24 sind an die gegeneinander isolierten Halbzylinder des Kommutators angeschlossen. Die Stromzuführung erfolgt über die beiden Kontaktfedern  $F_1$ ,  $F_2$ . Der Strom fließt von A nach E (praktische Stromrichtung). Nach dem Überschreiten des „Totpunktes“ erfolgt die Umschaltung: Die Spule wird umgepolst; sie setzt die Drehbe-

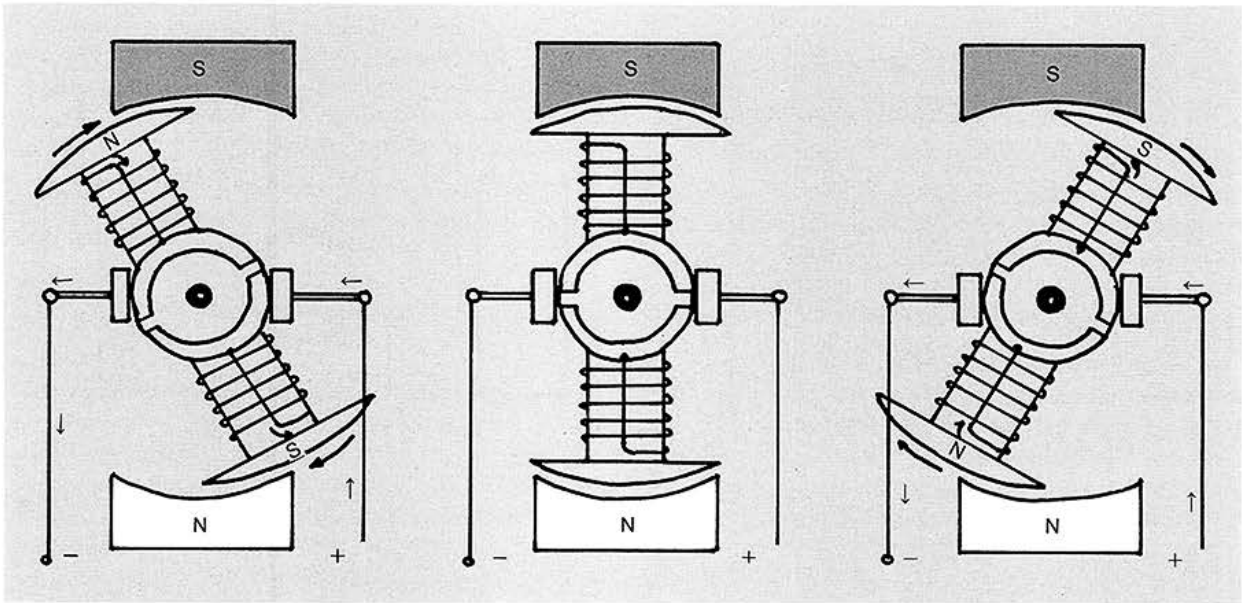


Abb. 2.4-23: Wirkungsweise des Kommutators

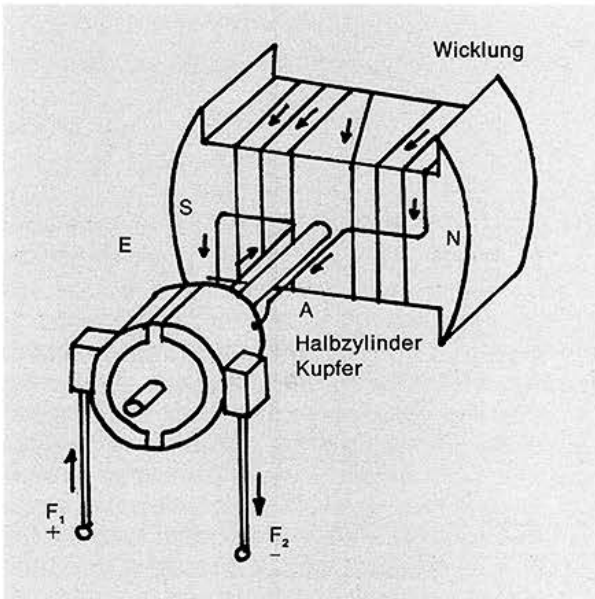


Abb. 2.4-24: Doppel-T-Anker mit Kommutator und Bürsten

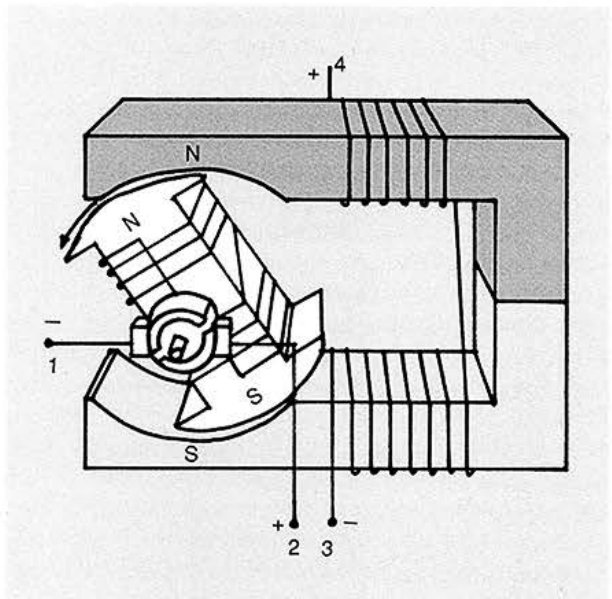


Abb. 2.4-25: Elektromotor mit Elektromagnet als Felderreger

wegung gleichsinnig fort. Damit ist im Prinzip ein Gleichstrommotor gefunden, der nur noch technisch zu verbessern ist.

Zur Verstärkung der magnetischen Wirkung wird wie beim Drehspulinstrument die Spule mit einem Eisenkern versehen, der sich nun mit der Spule dreht. Die Mitdrehung des Eisenkerns erhöht die Gleichmäßigkeit der Drehung, was wichtig ist, da die Antriebskraft nicht in jedem Augenblick gleich groß ist. Der Eisenkern nimmt in zwei rechteckigen Ausfräsungen die

Spulendrähte auf. Da der Eisenkern die Rolle einer magnetischen Brücke oder eines Ankers zwischen den Polen des Hufeisenmagneten spielt, heißt er auch Anker, wegen seiner besonderen Form auch Doppel-T-Anker.

Bei einem Doppel-T-Anker sind die anziehenden bzw. abstoßenden Kräfte groß, wenn sich die Ankerpole nahe bei den Feldpolmagneten befinden, und klein, wenn sie genau zwischen den Feldpolmagneten sind. Ein belasteter Elektromotor – das ist ein Motor, der

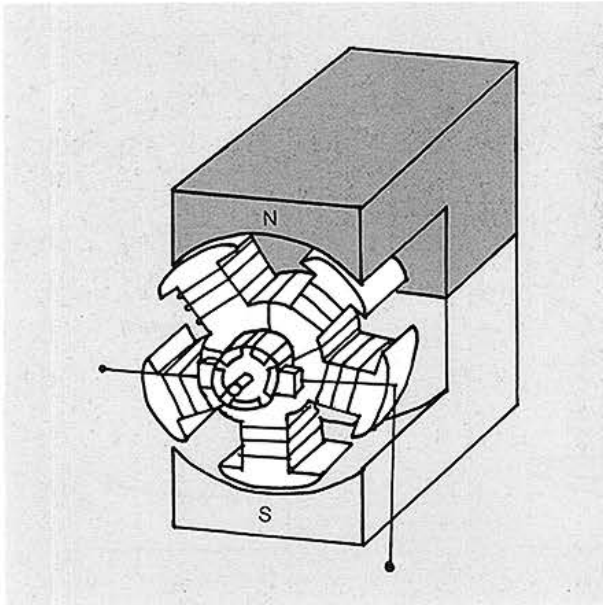


Abb. 2.4-26: Fünffach-T-Anker

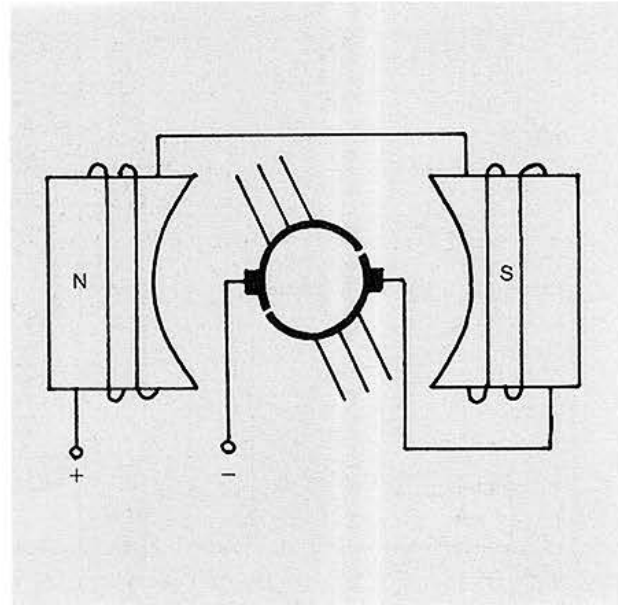


Abb. 2.4-27: Hauptschlußmotor

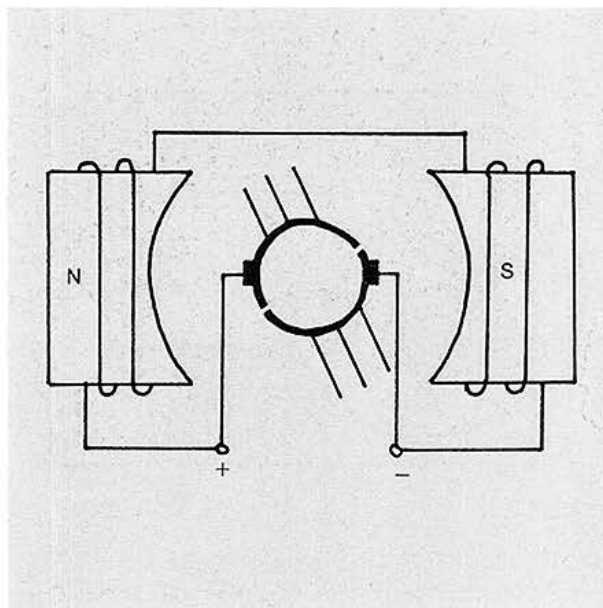


Abb. 2.4-28: Nebenschlußmotor

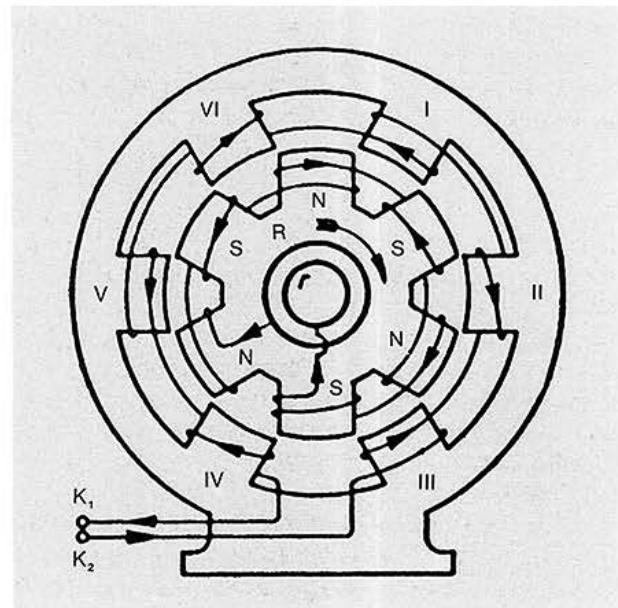


Abb. 2.4-29: Schema einer Wechselstrommaschine mit Innenpolung

eine Maschine antreiben muß – wird daher ruckend laufen. Der Schwung des Ankers wird rasch aufgezehrt. Ersetzt man den Permanentmagneten durch einen Elektromagneten, so lassen sich mit ihm sehr starke Magnetfelder erzeugen. Die Feldmagnetspulen und die Ankerspulen des Motors werden dabei von der gleichen Stromquelle versorgt (z.B. Anschlüsse 2 u. 3 kurzgeschlossen in Abb. 2.4-25). Man erhält aufgrund des starken Magnetfeldes einen starken Motor.

Fließt der Strom nacheinander durch die Feldspulen und die Ankerspule, so spricht man von einem **Hauptschlußmotor** (Abb. 2.4-27). Bilden die Ankerspule und die Feldspulen je einen eigenen Stromkreis, spricht man von einem **Nebenschlußmotor** (Abb. 2.4-28).

Beim Vertauschen der Anschlüsse beider Typen bleibt die Drehrichtung erhalten. Kleinere Motoren dieser Art kann man auch mit Wechselstrom betreiben.

Der Nebenschlußmotor zeichnet sich durch konstante Drehzahl aus, da bei schneller Umdrehung (z. B. bei Leerlauf) nur der Ankerstrom durch die starke, induzierte Gegenspannung, nicht aber der Feldstrom geschwächt wird. Er läßt sich vorteilhaft dort verwenden, wo es auf eine gleichmäßige Drehzahl ankommt.

Der Hauptschlußmotor (oder Reihenschlußmotor) zieht bei großer Arbeit stärker an, weil nicht nur der Feldstrom, sondern auch der Ankerstrom ansteigt. Er läßt sich vorteilhaft dort verwenden, wo es auf große Arbeit ankommt.

2.4.3.2.2 Der Wechselstrommotor

Wechselstrommotoren unterteilt man in Synchronmotoren und Asynchronmotoren. Eine andere Unterteilung ist noch die in Zweiphasen-Wechselstrommotoren und Dreiphasen-Wechselstrommotoren, wobei der letztere als Drehstrommotor bezeichnet wird. Zunächst wollen wir den **Synchronmotor**<sup>1</sup> (hier als Innenpolmaschine) betrachten.

In der technischen Ausführung baut man Wechselstrommotoren fast ausschließlich als sog. Innenpolmaschinen, bei denen im Gegensatz zu den bisher betrachteten Maschinen der Anker feststeht (Ständer oder Stator), während im Innern der Maschine die Pole des Feldmagneten rotieren (Läufer oder Rotor).

Für die Spulen des Läufers ist Gleichstrom nötig, denn die Läuferpole müssen unverändert bleiben, während sich die Ständerpole im Takt der Wechselstromperioden ändern.

In Abb. 2.4-30 wird der konstante Südpol S des Läufers von dem Nordpol N des Ständers angezogen. Der Ständerpol S müßte bei N stehenbleiben, wenn dieser Außenpol nicht rechtzeitig zu einem Südpol würde, so daß der Südpol des Läufers jetzt von ihm fortgedrückt wird und weiterläuft.

Der Läufer kann sich nur mit der Geschwindigkeit drehen, mit der die Pole im festen Ständer umlaufen. Wechselstrom und Motor müssen zeitlich übereinstimmend arbeiten, so daß ein solcher Motor nicht allein anlaufen kann, sondern erst auf die Umdrehungszahl gebracht werden muß, welche der Periodenzahl des Wechselstroms entspricht. Derartige Motoren sind für viele Fälle unzweckmäßig. Sie kommen, wenn sich die Drehzahl des Motors bei starker Belastung ändert, außer Takt und bleiben stehen.

In der Druckweiterverarbeitung kommen daher vor allem **Asynchronmotoren** als Antriebe vor.

Der Asynchronmotor ist die Umkehrung eines Gleichstromgenerators und müßte deshalb als Gleichstrommotor mit Gleichstrom betrieben werden. Er kann aber auch als Wechselstrommotor laufen, weil Anker- und Feldmagnetspulen immer gleichzeitig umgepol

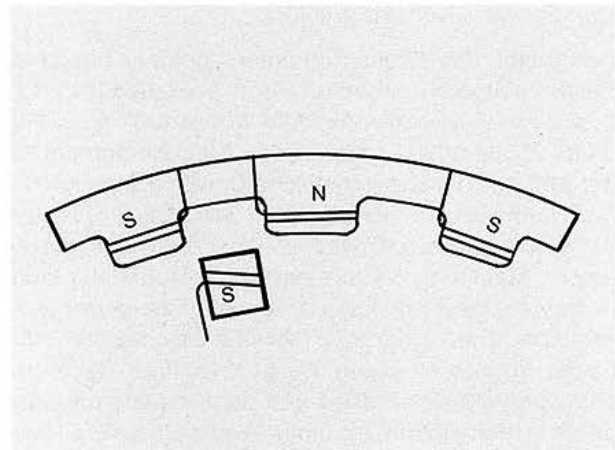


Abb. 2.4-30: Prinzip des Synchronmotors

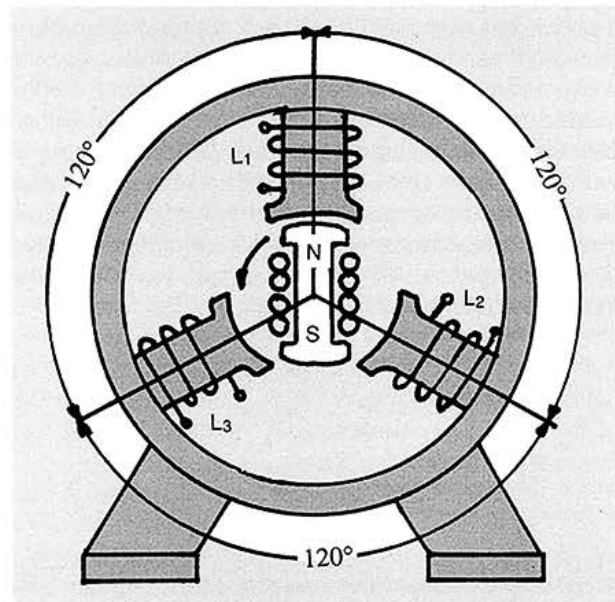


Abb. 2.4-31: Prinzip des Drehstrommotors

werden, und deshalb eine Änderung der Stromrichtung ohne Wirkung bleibt. Die Drehzahl des Motors ist frequenzunabhängig. Der Motor läuft asynchron, d. h. mit einer geringeren Drehzahl als der Synchronmotor. Er wird häufig als Universalmotor bezeichnet.

**Merke**

Bei Asynchronmotoren ist die Drehzahl des Läufers frequenzunabhängig. Er ist stärkeren Belastungen gewachsen.

<sup>1</sup> Synchronmotor: syn (gr.), mit, chronos (gr.) Zeit

### 2.4.3.2.3 Der Drehstrommotor

Der Stator des Drehstrommotors besteht aus drei Elektromagneten, die an die drei Außenleiter  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  angeschlossen werden. Die Abb. 2.4-31 zeigt die um  $120^\circ$  versetzt angeordneten Elektromagnete. In der Mitte wird das magnetische Drehfeld erzeugt.

Der Rotor des Motors ist in sich geschlossen, in der Art eines Käfigs, an dessen Ende die Stäbe durch einen Metallring untereinander verbunden sind (Kurzschlußläufermotor); er benötigt keinerlei Anschlüsse. Das rotierende Magnetfeld induziert im Läufer Ströme. In dieser Weise kommt es zwischen dem Drehfeld des Stators und dem induzierten Magnetfeld des Rotors zu einer Wechselwirkung. Der Rotor wird in Richtung des Drehfeldes mitgedreht. Das Drehfeld zieht den Läufer gewissermaßen mit.

Das Drehfeld läuft 50mal in der Sekunde um. Die Umdrehungszahl des Läufers könnte also 3 000 U/min (Umdrehungen pro Minute) betragen. Dennoch kann der Läufer diese Umdrehungszahl nicht erreichen, denn bei gleicher Drehzahl wären Läufer und das Drehfeld relativ zueinander in Ruhe. Der Grund für die Induktion des Stroms im Läufer würde entfallen. Der Läufer muß sich also stets etwas langsamer drehen als das Magnetfeld: er besitzt einen „Schlupf“. Dieser wächst mit zunehmender Belastung des Motors. Für den Schlupf gilt, wenn  $n_L$  Drehzahl des Läufers und  $n_F$  Drehzahl des Feldes ist:

$$\text{Schlupf} = \frac{n_F - n_L}{n_L}$$

Die Drehzahl des Läufers liegt bei ca. 2 800 U/min. Sie verhält sich daher in bezug auf die Drehzahl des Feldes „asynchron“. Da der Läufer dieses Drehstrom-Asynchronmotors keine Schleifkontakte besitzt, ist er unempfindlich gegen Staub und Verschmutzung. Es können weiterhin keine Funken an Kohlebürsten auftreten, der Motor kann in explosionsgefährdeten Anlagen eingesetzt werden, er ist völlig rundfunkstörfrei.

Beim Anlaufen eines Kurzschlußläufermotors ist die Relativgeschwindigkeit zwischen Drehfeld und dem Läufer besonders groß. Deshalb wird im Läufer eine hohe Spannung induziert und damit ein starker Strom hervorgerufen. Eine entsprechende Leistung muß auch im Stator hervorgerufen werden.

Um den hohen Einschaltstrom herabzusetzen, werden häufig die dreieckförmig geschalteten Erreger- spulen bis zum Erreichen einer gewissen Drehzahl sternförmig mit Hilfe eines Stern-Dreieck-Schalters umgeschaltet.

### 2.4.3.2.4 Drehzahlstellung

Die Arbeitsweise vieler technischer Arbeitsmaschinen erfordert Motoren, deren Drehzahl verändert werden kann. Diese Veränderbarkeit nennt man Drehzahleinstellung oder kurz Drehzahlstellung. Die Frage, ob und wie die Drehzahl verändert werden kann, hängt von der Art des Motors ab.

Von der Drehzahlstellung wird das Drehzahlverhalten unterschieden. Das Drehzahlverhalten gibt an, wie sich ein Motor an konstanter Klemmspannung bei Lastveränderung verhält. Die Einstellung der Drehzahl hat mit Regeln und Steuern zu tun.

Beim Steuern soll eine Betriebsgröße – hier die Drehzahl – in gewünschter Weise verändert werden. Beim Regeln wird die Drehzahl des Motors dadurch konstant gehalten, daß sie dauernd gemessen und mit einem Sollwert verglichen wird. Abweichungen vom Sollwert werden korrigiert. Hier wird also die Motordrehzahl unabhängig von Schwankungen in der Belastung durch die angetriebene Arbeitsmaschine konstant gehalten.

### 2.4.3.2.5 Servomotor, Stellmotor, Schrittmotor

Das „Servoprinzip“ bedeutet strenggenommen die Steuerung eines mechanischen Vorgangs durch eine Hilfskraftmaschine. Demnach hat ein Servomotor die Aufgabe, mit geringem Energieaufwand einen Vorgang zu steuern, bei dem wesentlich größere Energien umgesetzt werden. Man kann von dem Wort „servo“ (lat. servus = dienstbar) ausgehend einen Elektromotor immer dann Servomotor nennen, wenn er eine Teilarbeit eines Gesamtvorganges leistet. Man kann den Motor zur Bewegung des Preßbalkens bei Planschneidern als Servomotor bezeichnen. Dies umso mehr, als dieser Motor zugleich die Funktion eines Stellmotors ausübt. Wenn man von einem Stellmotor spricht, dann ist damit ein Motor gemeint, der entweder begrenzte Lageveränderungen (Verschiebung, Verdrehung) bewirkt oder mit geringem Kraftaufwand Steuervorgänge durchführt.

Der Schrittmotor ist ebenfalls ein Servomotor. Wie der Name sagt, führt er schrittweise Drehungen um einen bestimmten Winkel aus.

### 2.4.3.2.6 Betriebsbedingungen von Elektromotoren

Der Vielfalt der Betriebsanforderungen und damit der Betriebsbedingungen entspricht die Vielfalt der Typen und Größen von Elektromotoren. Ein Motor muß nicht nur zu der von ihm anzutreibenden Arbeitsmaschine bzgl. Drehmoment und Drehzahl passen, er muß auch so gebaut sein, daß seine Umgebung nicht gefährdet werden kann.

Zwei Arten von Umwelteinflüssen können einen Motor gefährden: Fremdkörper jeglicher Art (besonders Papierstaub) und Wasser. Dazu kommen hohe und



niedrige Umgebungstemperaturen. Schließlich spielen auch mechanische Beanspruchung wie Erschütterung und Schwingung eine wichtige Rolle. Die Erwärmung eines Motors würde bei ununterbrochenem Betrieb seine Sicherheit gefährden. Dem wirkt die Kühlung entgegen, die aber nur innerhalb bestimmter Grenzen anwendbar und wirtschaftlich ist.

Genannte Betriebsarten schreiben vor, wie lange ein Motor arbeiten darf, und welche Pausen zur Abkühlung eingelegt werden müssen. Die wichtigsten Betriebsarten sind: Dauerbetrieb (S1), Kurzzeitbetrieb (S2) und Aussetzbetrieb (S3 bis S5).

Alle wichtigen Daten eines Elektromotors werden auf dem in Abb. 2.4-32 dargestellten Leistungsschild angegeben. Typenschilder geben die für den betreffenden Motor charakteristischen Werte an.

Nach dem Fernmeldegesetz müssen Motoren, deren Betrieb zu Funkstörungen führen können, entstört sein. Abb. 2.4-33 zeigt das Funkschutzzeichen eines entstörten Motors. Der Buchstabe N bedeutet: Entstörungsgrad „normal“.

**2.4.3.3 Der Generator**

Ein Generator formt mechanische Energie in elektrische Energie um. Auch hierbei ist das magnetische Feld maßgeblich beteiligt. Der Generator basiert auf dem **Generatorprinzip**: In einem bewegten Leiter wird durch ein magnetisches Feld eine Spannung induziert. Die Polarität hängt von der Bewegungsrichtung und der Richtung des Magnetfeldes ab. Den Vorgang nennt man Induktion.

Die Größe der erzeugten elektrischen Spannung ist abhängig von: Geschwindigkeit  $v$  der Leiterbewegung, magnetischer Flußdichte  $B$ , wirksamer Leiterlänge  $L$  und Anzahl der Leiter  $z$ .

$$U_o = B \cdot L \cdot v \cdot z$$

Bei geschlossenem Stromkreis fließt ein induzierter Strom. Bei diesem Vorgang wird mechanische in elektrische Energie umgewandelt (Umkehrung des elektromotorischen Prinzips).

Auch die Generatoren lassen sich in Gleichstromgeneratoren und Wechselstromgeneratoren unterteilen. Sie sind genauso wie die entsprechenden Motoren aufgebaut, mit dem Unterschied, daß an den Stromzuführungspunkten der Strom entnommen und nicht eingespeist wird und der Rotor von einer Turbine angetrieben wird.

In der Druckweiterverarbeitung wird der Generator vor allem als Meßgenerator zu Meßzwecken benutzt. Dieser liefert linear, in Abhängigkeit von der Drehzahl  $n$ , eine Spannung  $U$ . Als Anzeigeinstrument kommt häufig das Drehspulmeßwerk zum Einsatz.

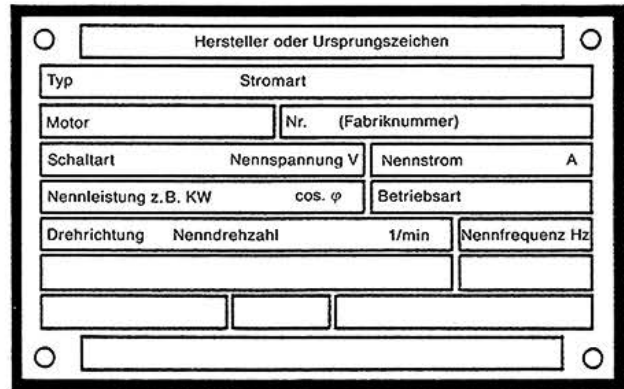


Abb. 2.4-32: Leistungsschild eines Motors

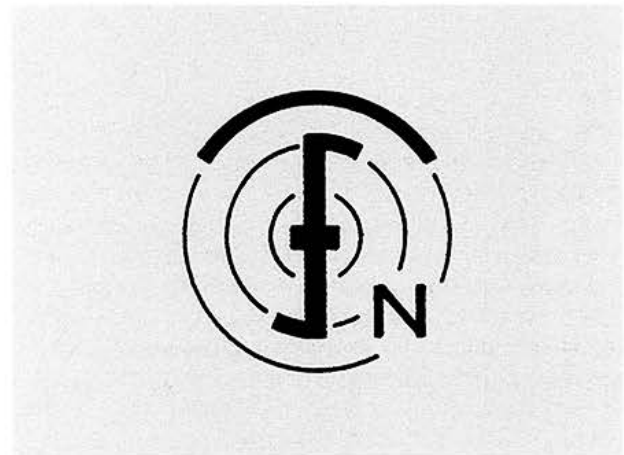


Abb. 2.4-33: Funkschutzzeichen

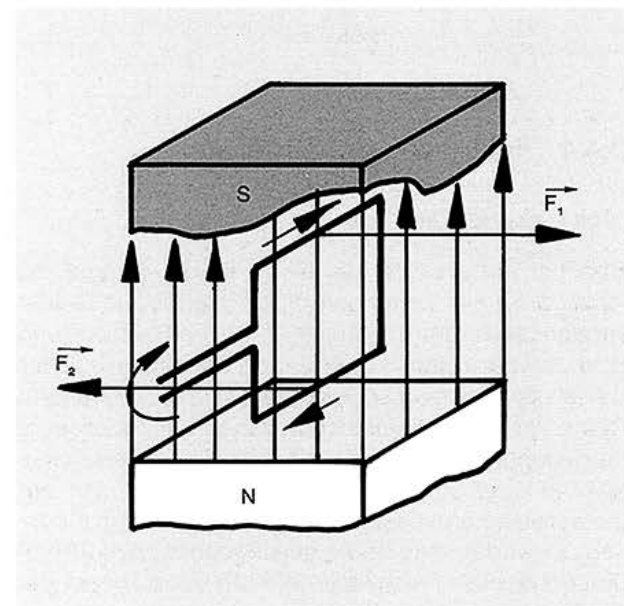


Abb. 2.4-34: Drehung einer stromdurchflossenen Spule im Magnetfeld

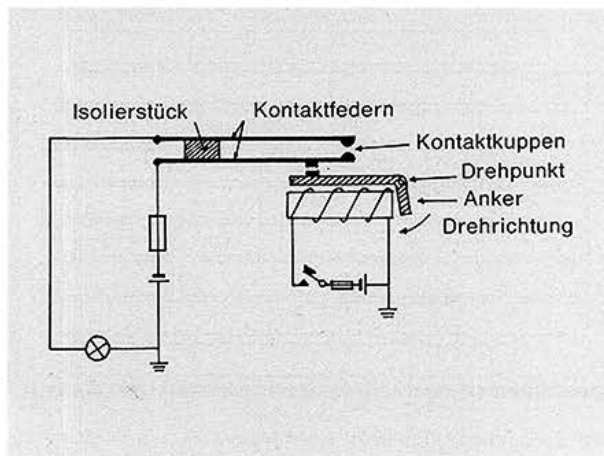


Abb. 2.4-35: Aufbau eines Relais

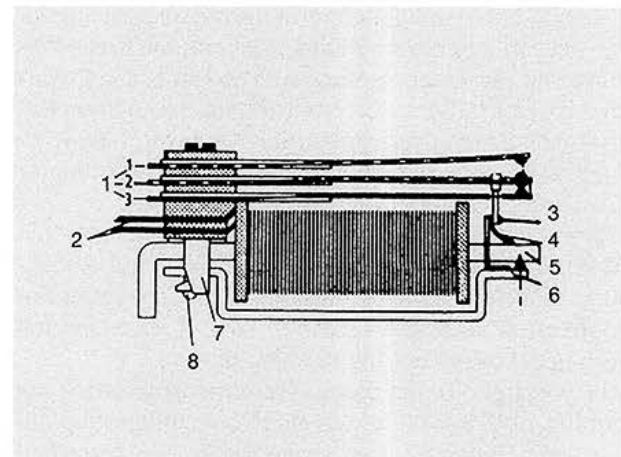


Abb. 2.4-36: Relais: 1 Kontakte, 2 Lötstifte, 3 Anschlagwinkel, 4 Anschlaglappen, 5 Flacheisenkern, 6 Trennblech, 7 Ankerhaltewinkel, 8 Ankerlagerung

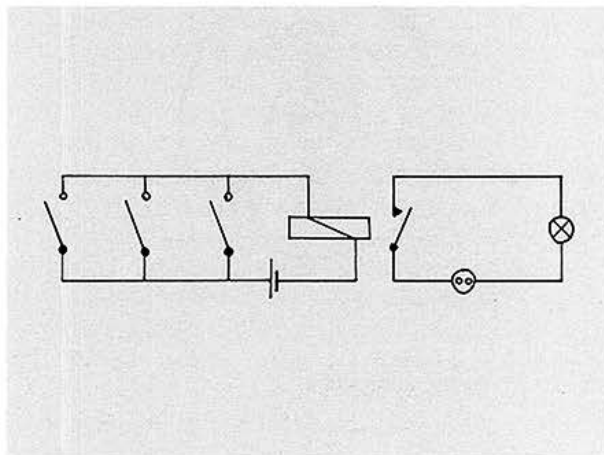


Abb. 2.4-37: Stromschrittrelais

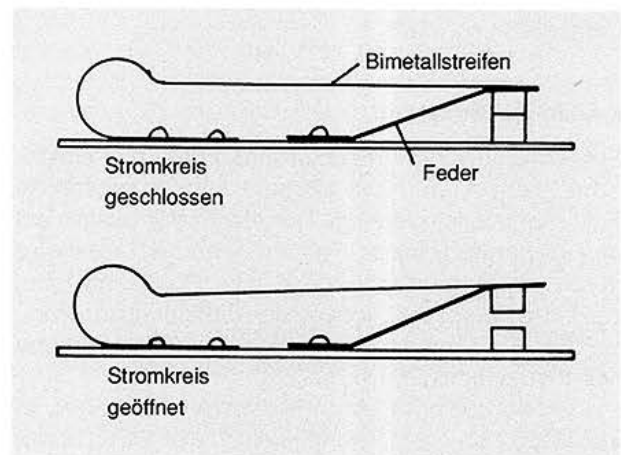


Abb. 2.4-38: Thermorelais geschlossen und geöffnet

## 2.4.4 Elektrische Schaltgeräte

### 2.4.4.1 Das Relais<sup>1</sup>

Benötigt ein elektrisches Gerät starke Ströme, so müssen für die Leitungen dicke, also teure Drähte verwendet werden, da dünne Drähte heiß werden und Brandursache sein können. Zur Schaltung solcher Geräte benutzt man sogenannte Relais. Unter einem Relais versteht man einen durch Elektromagnetismus betriebenen Schalter, mit dessen Hilfe Stromkreise ab-, an- und umgeschaltet werden können. In der einfachsten Form besteht ein Relais aus einem Eisenkern, über den eine Spule geschoben ist; bei Stromdurchfluß bildet sich also ein Elektromagnet. Vor einem Pol des Elektromagnets ist ein Weicheisenkern drehbar angebracht, der beim Anziehen bzw. Abfallen einen Kontaktfedersatz öffnet oder schließt.

Der Kontaktfedersatz ist seinerseits mit den ein- oder auszuschaltenden Stromkreisen verbunden, in denen ein Elektromotor oder andere elektrische Geräte liegen (Arbeits- oder Hauptstromkreis).

Ein Relais hat also die Aufgabe, mit verhältnismäßig schwachen Steuerströmen starke Arbeits- oder Ruhestrome oft über große Entfernungen zu schalten, zum Beispiel Ein- oder Ausschaltung von Kompressormotoren.

Ein Relaiskontakt, der einen Stromkreis zu schließen hat, wird Arbeitskontakt, ein solcher, der einen geschlossenen Stromkreis zu öffnen hat, Ruhekontakt genannt. Die Schaltungen unterscheiden sich nur durch die gegensätzliche Arbeitsweise der Kontakte.

<sup>1</sup> Relais: (frz.), Wechsel, in der Starkstromtechnik auch Schütz

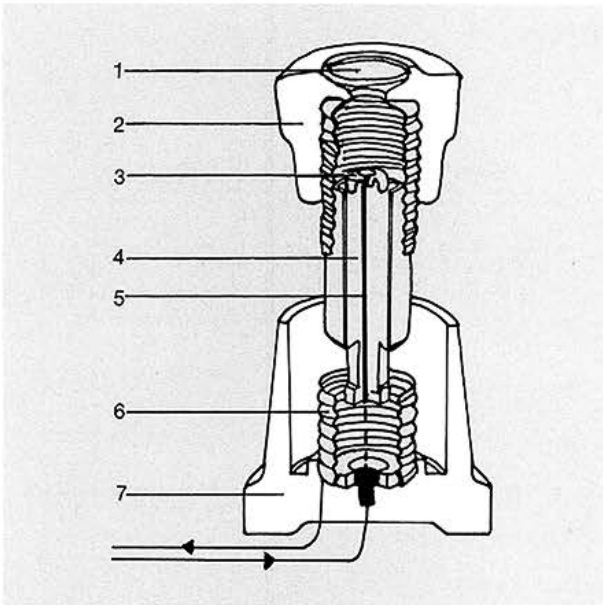


Abb. 2.4-39: Schmelzsicherung: 1 Glasscheibe, 2 Schraubkappe, 3 Kennplatte, 4 Patrone, 5 Schmelzdraht, 6 Blechgewinde, 7 Sockel

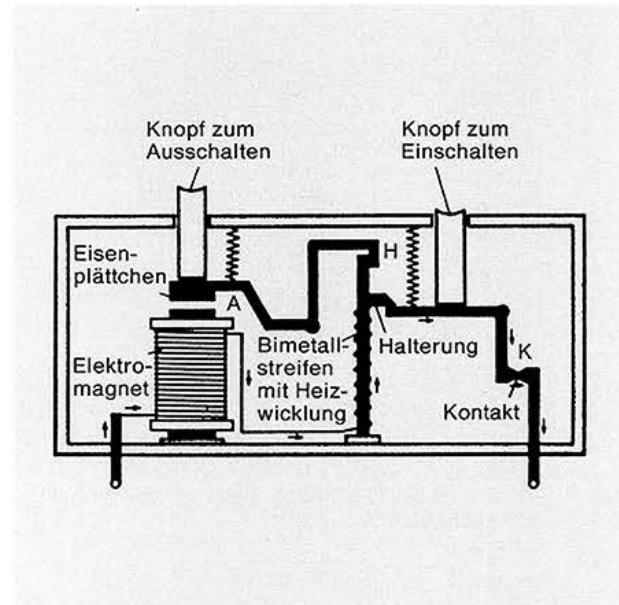


Abb. 2.4-40: Automatische Sicherung

Man kann den Arbeitskontakt mit einem Einschalter und den Ruhekontakt mit einem Ausschalter vergleichen.

Es gibt Relais, bei denen ein kurzer Stromstoß genügt, um einen Dreh- oder Kippschalter für dauernd einzuschalten. Ein weiterer Stromstoß schaltet ihn wieder aus. Das in der Abb. 2.4-37 gezeigte Relais ist ein solches Stromschrittrelais.

**2.4.4.2 Das Thermorelais**

Es gibt jedoch auch Relais, die sich zur Betätigung der Schaltvorrichtung anderer Kräfte bedienen, z.B. elektrischer Anziehungskräfte oder mechanischer, etwa der Biegungskräfte eines Bimetallstreifens beim Thermorelais.

Solche automatische Schalter, die durch die am Gerät herrschende Temperatur geregelt werden, sichern das Gerät vor Überhitzung und halten die Temperatur in engen Grenzen konstant, da sie den Stromkreis auch wieder schließen, sobald sich das Gerät etwas abgekühlt hat. Sie heißen deshalb auch Temperaturregler und werden als Überhitzungsschutz bei Motoren verwendet.

**2.4.4.3 Schmelzsicherung und Leitungsschutzschalter**

**Sicherungen** schalten selbsttätig ab, sobald der Strom höher ansteigt als für die Leitung zulässig ist. Der in der Schmelzsicherung angespannte Schmelzdraht (Abb.2.4-39) mit geringem Querschnitt schmilzt und unterbricht dadurch den Stromkreis.

**Kennfarben der Sicherungskennplatten**

- 6A grün 25A gelb
- 10A rot 35A schwarz
- 16A grau 50A weiß
- 20A blau 63A kupfer

**Leitungsschutzschalter** (LS-Schalter) werden oft als Sicherungsautomaten bezeichnet und ersetzen in immer stärkerem Maße die früher üblichen Schmelzsicherungen.

Ein Vorteil des Leitungsschutzschalters ist darin zu sehen, daß er im Gegensatz zur Schmelzsicherung beliebig oft zur Auslösung gebracht werden kann. Beim LS-Schalter werden zwei Arten der Stromkreisunterbrechung unterschieden: Auslösung durch Überlastung und bei Kurzschluß. Der Stromkreis wird in kürzester Zeit unterbrochen.

Beim Kurzschluß treten sehr große Ströme auf. Diese erzeugen in der Spule (Abb.2.4-40) ein starkes Magnetfeld. Die Spule zieht nach plötzlicher beträchtlicher Überschreitung der zulässigen Höchststromstärke den Anker A gegen die hemmende Federkraft aus seiner Lage und trennt dadurch die Kontakte bei K. Diese Auslösung erfolgt ohne Verzögerung innerhalb von Sekunden.

Die Auslösung bei Überlastung erfolgt über den thermischen Auslöser. Bei länger dauernder, geringfügiger Überschreitung der Höchststromstärke biegt sich der Bimetallstreifen infolge der Erwärmung nach links und löst dabei die Halterung bei H. Die Kontakte bei K werden getrennt. Der Stromkreis ist unterbrochen.

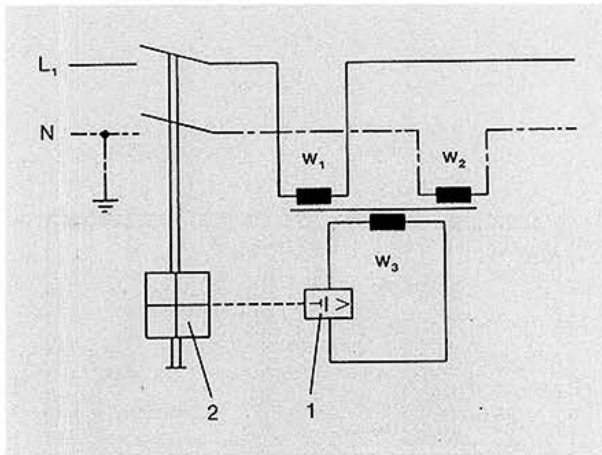


Abb. 2.4-41: Prinzip des FI-Schutzschalters: 1 Auslöseorgan, 2 Schaltschloß

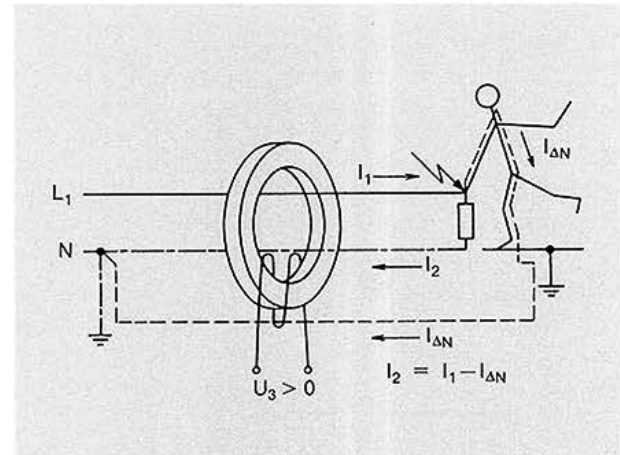


Abb. 2.4-42: FI-Schutzschalter bei Erdschluß (Stromlaufplan)

#### 2.4.4.4 Der Fehlerstrom-Schutzschalter

Im Fehlerstrom-Schutzschalter werden die zwei stromführenden Leiter, die ein Elektrogerät mit der Spannungsquelle verbinden, über einen kleinen Transformator kern geführt (Abb. 2.4-41). Über die Wicklung  $w_1$  fließt der Strom zum Verbraucher, über die Wicklung  $w_2$  fließt er zurück zur Stromquelle. Sind beide Ströme gleich, sind auch ihre Magnetfelder gleich.

Anders jedoch, wenn im Elektrogerät ein Fehler auftritt, z. B. ein Körperschluß: Eine Zuleitung berührt Metallteile, so daß ein Fehlerstrom über den Schutzleiter bzw. über den Menschen zur Erde abfließt.

In diesem Augenblick sind die Stromstärken im hin-führenden und rückführenden Leiter nicht mehr gleich groß. Die Differenz der Stromstärken führt dazu, daß in einer weiteren Spule  $w_3$  eine Spannung induziert wird. Diese Induktionsspannung wird dazu genutzt, einen Schalter (Abb. 2.4-41 [2]) zu betätigen, der Hin- und Rückleiter vom Elektrogerät trennt. Vom Elektrogerät geht jetzt keine Gefahr mehr aus. Handelsübliche Fehlerstrom-(FI-)Schutzschalter können schon bei einem Fehlerstrom von ca. 30 mA innerhalb 10 ns (Nanosekunden,  $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$ ) abschalten.

### 2.4.5 Gefahren und Schutzmaßnahmen

#### 2.4.5.1 Gefahren

Trotz zuverlässiger Schutzmaßnahmen und ausreichender Sicherheitsvorschriften kommen leider immer wieder elektrische Unfälle vor.

Viele, die schon einmal einen „elektrischen Schlag“ bekommen haben, sind nur deshalb schlimmeren Folgen entgangen, weil sie zufälligerweise gut gegen Erde isoliert standen oder nur ein Teil ihres Körpers

(Hand, Finger) im Stromkreis lag. An dieser Stelle sind auch die „Sekundärnfälle“ (Sturz von der Leiter) zu erwähnen, die oft nur durch einen geringen Strom verursacht werden und meist schlimmere Folgen haben können, als der Elektrounfall selbst.

Im langjährigen Mittel sind rund 2,5% aller meldepflichtigen Arbeitsunfälle in der gewerblichen Wirtschaft auf Einwirkungen des elektrischen Stroms zurückzuführen. Gemessen an der Vielfalt der Anwendung und Umwandlung von elektrischer Energie ist dieser Anteil erfreulich gering. Dies ist in erster Linie den strengen und umfassenden Sicherheitsbestimmungen, wie den VDE-Bestimmungen<sup>1</sup> sowie den Unfallverhütungsvorschriften zu verdanken.

#### 2.4.5.2 Was ist gefährlicher – Strom oder Spannung?

Diese Frage läßt sich nicht ohne weiteres beantworten. Nachfolgend ein paar Beispiele zur Erläuterung:

- Ein Vogel kann sich auf einer Hochspannungsfreileitung niederlassen (110 kV oder sogar 380 kV), und es passiert nichts, solange er nicht in einen Stromkreis gerät. Das wäre z. B. der Fall, wenn er gleichzeitig zwei Leiter berühren würde.
- Bei der statischen Elektrizität können ebenfalls sehr hohe Spannungen auftreten (bis zu 10 kV). Doch der kurze und sehr geringe Entladestrom, der als Funken übertritt, ist im allgemeinen ungefährlich und bewirkt meist nur ein leichtes Zucken, das mitunter als unangenehm empfunden wird.

<sup>1</sup> VDE: Verband Deutscher Elektrotechniker

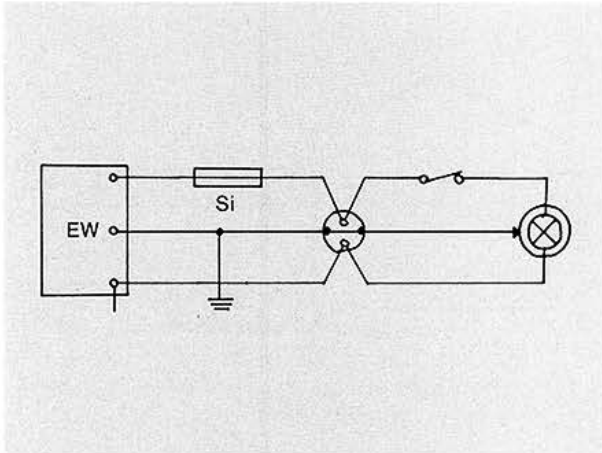


Abb. 2.4-43: Übersicht über die Anordnung eines Netzanschlusses

- Ein weiteres Beispiel für eine „ungefährliche“ Hochspannung ist der elektrische Weidezaun. Hier wird die Stromstärke auf einen niedrigen Wert begrenzt und nur als Impuls auf die Leitung gegeben.
- Andererseits können schon bei geringen Spannungen (etwa ab 14 V) durch abrutschende Werkzeuge Lichtbogenunfälle verursacht werden, wenn dabei ein hoher Strom zum Fließen kommt (wenn z. B. die beiden Pole einer Autobatterie durch einen Schraubendreher verbunden werden). Die außerordentlich hohe Temperatur des Lichtbogens (bis zu 5000 °C) führt zu schweren und manchmal lebensgefährlichen Verbrennungen der Haut und zu Verblindungen der Augen. Der hohe Strom fließt dabei nicht über den menschlichen Körper.

Ausschlaggebend ist also beides, einmal die Spannung, die vom berührenden Menschen abgegriffen wird, und – in Abhängigkeit aller im Stromkreis vorhandenen Widerstände – der über den menschlichen Organismus fließende Strom.

### 2.4.5.3 Schutzmaßnahmen

Maßnahmen, die den Schutz im Normalfall (bei ordnungsgemäßem Betrieb des Gerätes oder der Anlage) sicherstellen, werden als Schutzmaßnahmen **gegen direktes Berühren** bezeichnet. Maßnahmen, die eine Gefährdung im Fehlerfall ausschließen sollen, werden als Schutzmaßnahmen **bei indirektem Berühren** bezeichnet.

Der Schutz gegen direktes Berühren geschieht beim Herstellen oder Einrichten überwiegend konstruktiv

- durch Isolierung aktiver Teile (das sind Leiter und leitfähige Teile, die im Normalbetrieb unter Spannung stehen),

- durch Abdeckungen oder Umhüllungen,
- durch Anbringen von Hindernissen,
- durch Abstand.

Der Schutz bei indirektem Berühren wird im wesentlichen durch Abschalten der fehlerhaften Geräte oder Anlagenteile oder (zunächst) durch Fehlermeldung bewirkt. Hierbei müssen die Schutzeinrichtungen auf die Netzform der Energiequelle abgestimmt sein. Hauptsächlich wird hier bei Wechselstrom der Fehlerstrom-Schutzschalter verwendet.

Die Grenze für die dauernd zulässige Berührungsspannung im Fehlerfall liegt aufgrund internationaler Vereinbarungen bei 50 V Wechselspannung und 120 V Gleichspannung.

Als weitere Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren gelten:

- Schutzisolierung
- Standortisolierung
- Schutzkleinspannung
- Schutzerdung
- Nullung
- Schutzleitungssystem
- Fehlerspannungs-(FU)-Schutzschaltung
- Fehlerstrom-(FI)-Schutzschaltung
- Schutztrennung der Maschine vom speisenden Netz.

Wenn bei elektrischen Maschinen ein Personenschutz gegen das Berühren von unter Spannung stehenden Teilen und ein Sachschutz gegen Fremdkörper und Wasser erforderlich ist, werden die Schutzarten durch zwei stets gleichbleibende Kennbuchstaben IP<sup>1</sup> und durch zwei nachfolgende Kennziffern angegeben. Die erste Kennziffer (0 bis 6) gibt den Schutzgrad gegen Berühren und Fremdkörper, die zweite Kennziffer (0 bis 8) den Schutzgrad gegen Eindringen von Wasser an. Beispiele: Bei IP 00 ist kein Schutz gegen Berühren und Fremdkörper und kein Schutz gegen Wasser vorhanden. Bei IP 68 besteht ein vollständiger Berührungsschutz, Staub kann nicht eindringen, beim Untertauchen dringt kein Wasser ein.

**Schutzleitungssystem** (Potentialausgleich) ist die leitende Verbindung aller Körper untereinander und mit den der Berührung zugänglichen leitenden Gebäudekonstruktionsteilen, Rohrleitungen und dergleichen sowie mit Fundamenterdern in ungeerdeten Netzen, um bei Isolationsfehlern das Auftreten einer zu hohen Berührungsspannung zu verhindern.

<sup>1</sup> IP: International Protection = Internationale Schutzart

**Berührungs- und Fremdkörperschutz**

IP 0	Kein Schutz
IP 1	Große Fremdkörper (50 mm)
IP 2	Mittelgroße Fremdkörper (12 mm)
IP 3	Kleine Fremdkörper (2,5 mm)
IP 4	Kornförmige Fremdkörper (1 mm)
IP 5	Schädliche Staubablagerung
IP 6	Staubeintritt (nur in Sonderausführung)

Bezeichnung	IP	6	5
International Protection			
Berührung und Fremdkörper			
Wasser			

**Wasserschutz**

IP - 0	Kein Schutz
IP - 1	Senkrecht fallendes Tropfwasser
IP - 2	$\pm 15^\circ$ schräg fallendes Tropfwasser
IP - 3	$\pm 60^\circ$ schräg fallendes Sprühwasser
IP - 4	Spritzwasser aus allen Richtungen
IP - 5	Strahlwasser 50 l/min
IP - 6	Strahlwasser 100 l/min
IP - 7	Eintauchen 1 m für 1 min
IP - 8	Untertauchen nach Vereinbarung

Tab. 2.4-3: Schutzgrade

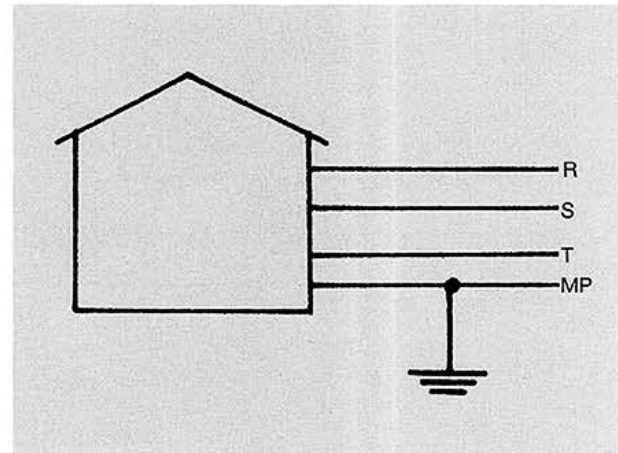


Abb. 2.4-44: Betriebserdung

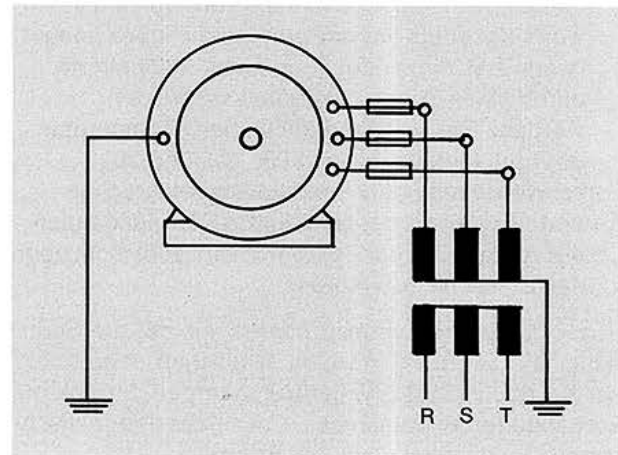


Abb. 2.4-45: Schutzerdung

**Schutzisolierung** ist eine zusätzliche Isolierung zur Betriebsisolierung derart, daß Körper entweder beim Versagen der Betriebsisolierung keine Spannung aufnehmen können oder außen isoliert sind.

**Standortisolierung** ist eine Schutzisolierung, bei der der Mensch durch seinen Standort gegen Erde und gegen die im Handbereich befindlichen mit Erde in Verbindung stehenden Körper und sonstigen leitfähigen Teile isoliert ist.

**Fehlertenspannung (FU) Schutzschaltung** ist eine Schaltung, bei der ein FU-Schutzschalter selbstständig mittelbar oder unmittelbar auslöst, wenn zwischen den Körpern und einem Hilfserder eine zu hohe Berührungsspannung auftritt.

**Schutztrennung** ist die galvanische Trennung eines Verbrauchers vom speisenden Netz mit Hilfe eines Trenntransformators, um zu bewirken, daß bei einem Isolationsfehler keine Berührungsspannung auftritt.

Durch die Verbindung aller metallischen Anlagen gegenüber der Erde können keine Spannungsdifferenzen auftreten, denn die Person, die das defekte Gerät berührt, hat durch die Verbindung mit der Erde deren Nullpotential; gegenüber dem Gerät können keine Spannungsdifferenzen auftreten.

Man unterscheidet zwischen Betriebserdung (Abb. 2.4-44), Schutzerdung (Abb. 2.4-45) und Nullung.

**Betriebserdung** heißt, daß in Mehrleiteranlagen mit Betriebsspannungen über 250 V der Mittel-(Stern-) Punkt (Mp) zu erden ist. Der Widerstand der Betriebserdung darf 2 Ohm nicht übersteigen.

**Schutzerdung** heißt, daß der Gehäusekörper mit der Erde verbunden ist. Zwischen Gehäuse und dem geerdeten Netzpunkt (Mp) besteht keine Drahtverbindung. Die Schutzerdung bewirkt, daß bei einem Isolationsfehler (vollkommener Körperschluß) eine Abschaltung durch Überstromschutzorgane eintritt.

**Merke**

Die Sicherheitsmaßnahmen bei Arbeiten an elektrischen Anlagen sind in VDE 0105, Teil 1, für Starkstromanlagen festgelegt.

**Nullung** heißt, daß der Gehäusekörper mit dem geerdeten Mittel-(Null-)Punkt (Mp) verbunden ist. Jeder Körperschluß wird zu einem Kurzschluß. Die Querschnitte der Nullungsleiter müssen für den Abschaltstrom der letzten Sicherung, also gleich den Außenleitern bemessen werden. In Netzen, in denen die Nullung angewendet wird, ist Betriebs- oder Schutzerdung ohne leitende Verbindung mit dem Nulleiter unzulässig. ■