

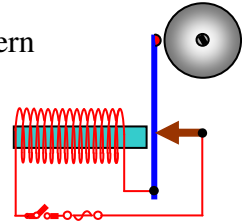
D) Technische und wissenschaftliche Anwendung des Magnetismus

1) Elektromagneten

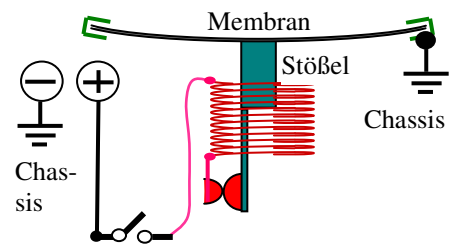
a) Hebemagnete werden in Eisenwerken und auf Schrottplätzen verwendet. Sie brauchen keine Lasthaken und sind wartungsarm. Die Stromstärke beträgt bis zu 150A.



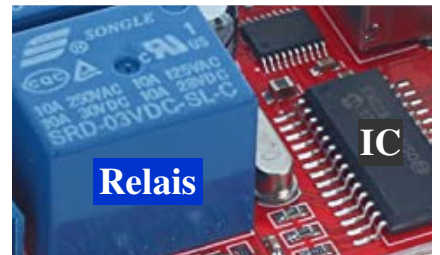
b) Beim Wagnerschen Hammer zieht ein Elektromagnet mit Weicheisenkern den Klingelklöppel zu sich. Dadurch wird der Stromkreis unterbrochen und der Klöppel fällt vom Magneten ab. Dabei schlägt er gegen die Glocke, schließt aber zugleich den Stromkreis, sodass der Elektromagnet ihn wieder anzieht. Das Spiel beginnt dann wieder von neuem.



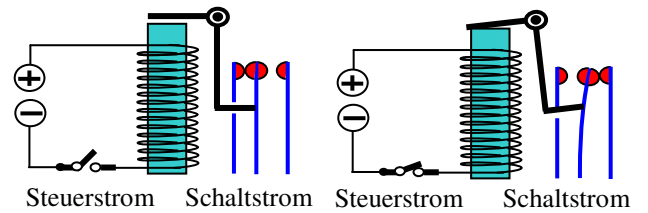
c) Die Autohupe besitzt eine Schallmembran mit Stößel, der gleichzeitig als Kern eines Elektromagneten fungiert. Schließt man den Schalter, so wird der Stößel in die Spule gezogen, wodurch jedoch der Stromkreis unterbrochen wird und der Stößel wieder zurück schwingt, sodass der Kontakt wieder geschlossen wird und der Vorgang von vorne beginnt.



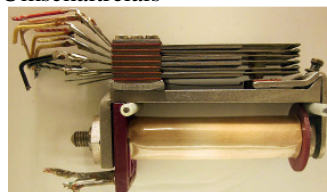
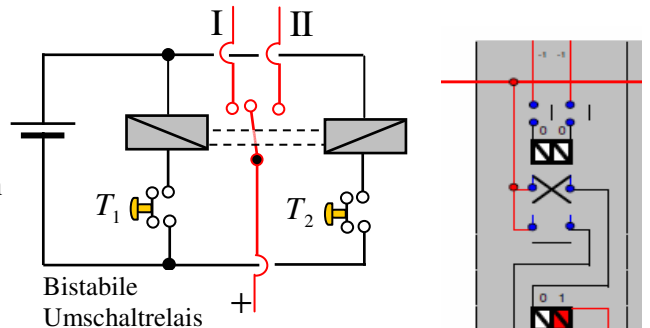
d) Ein Relais ist ein elektromechanischer Schalter, bei welchem ein meist kleiner Steuerstrom einen meist großen Arbeitsstrom schaltet. Da anderes als bei Transistorschaltungen bei „AUS“ kein „Nullstrom“ mehr fließt, sind Relais, gerade im mobilen Bereich, auch heute noch unerlässliche Bauteile. So findet man Elektromechanik und hoch integrierte Schaltung auf der gleichen Platine verlötet.



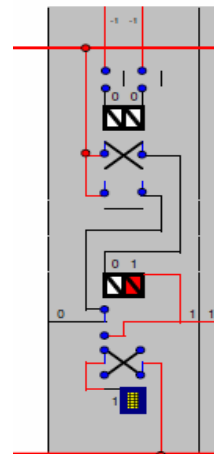
e) Funktion des Relais: Der kleine Steuerstrom magnetisiert den Eisenkern einer Spule. Ein Klappanker bewegt dann die Kontakte. Beim nebenstehenden monostabilen Umschaltrelais benötigt der rechte Kontakt zum Schließen einen Dauerschaltstrom, während der linke Kontakt stromlos geschlossen ist.



f) Das bistabile Umschaltrelais besitzt zwei Elektromagneten mit entgegengesetzten Wicklungen. Mit den Tastern T_1 bzw. T_2 gibt man einen kurzen Stromimpuls auf den jeweiligen Magneten, welcher den Umschalter dann in seine Richtung zieht. Dort bleibt er dann ohne weiteren Steuerstrom stehen. Das bistabile Relais kann daher als ein Ein-Bit Speicher dienen. Der Computerpionier Konrad Zuse verwendete solche Relais als Speicher und im Rechenwerk. Damit baute er den weltweit ersten vollprogrammierbaren Computer.

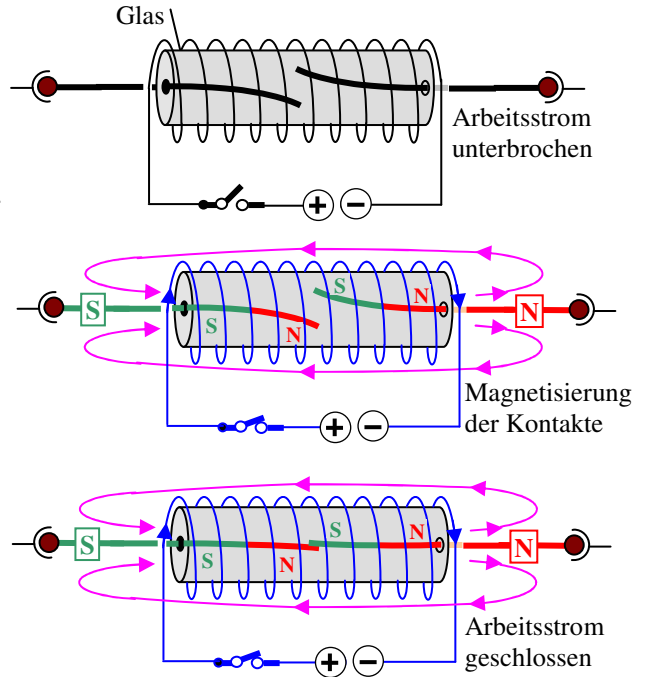


Zuse Postrelais

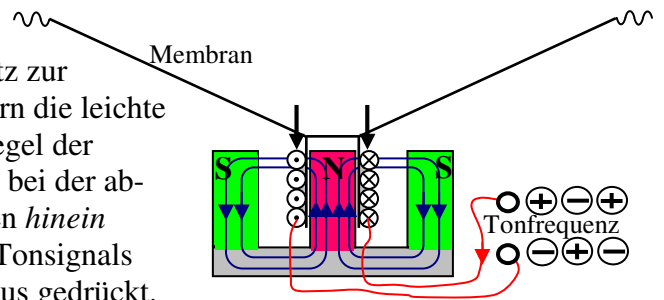


Zuse Binäraddierer mit Übertrag

g) Das Reedrelais hat seinen Namen vom Rohrblatt der Holzblasinstrumente und ist eines der hochwertigsten Relais überhaupt. Seine Schaltkontakte werden in einen Glaskolben luftdicht unter Schutzgas eingeschmolzen, wodurch Korrosion vermieden wird. Die Kontakte bestehen aus gebogenem, silberbeschichtetem, *elastischen* Weicheisen. Fließt durch die äußere Spule der *Steuerstrom*, so werden die Weicheisenkontakte magnetisiert, so dass sich *ungleichnamige* Magnetpole gegenüberstehen. Diese ziehen sich an und schließen den Kontakt. Die Silberbeschichtung sorgt für Kontaktsicherheit im *Arbeitsstromkreis*. Nach Stromabschaltung federn die Kontakte zurück. Weil das Reedrelais wegen der Verkapselung praktisch nicht altert, kann es bei extrem seltenen Vorgängen, wie z.B. beim Registrieren von Frühindikatoren vor Vulkanausbrüchen, verwendet werden. Ein normales Relais oder ein Transistor wäre nach vielleicht zwanzig Jahren *Betriebsruhe* gerade dann verharzt oder defekt, wenn es drauf ankommt. Bei höherem Schutzgasdruck schaltet das Reedrelais sogar Hochspannungen.

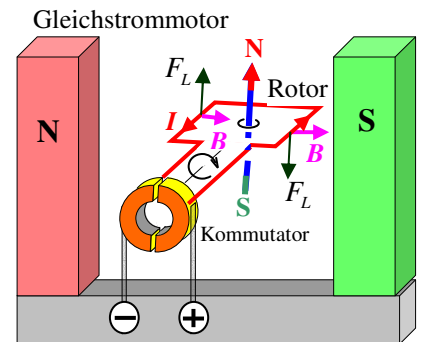


h) Weil die Membran des Lautsprechers bis zu 10 000 mal in der Sekunde auf- und ab-schwingen muss, montiert man, im Gegensatz zur Autohupe, nicht den schweren Stößel, sondern die leichte Spule an die Membran. Die Rechte-Hand-Regel der Lorentzkraft zeigt, dass Spule und Membran bei der abgebildeten Polung in den Permanentmagneten *hinein* gezogen werden. Sobald die Spannung des Tonsignals umgepolt ist, wird die Membran wieder heraus gedrückt.

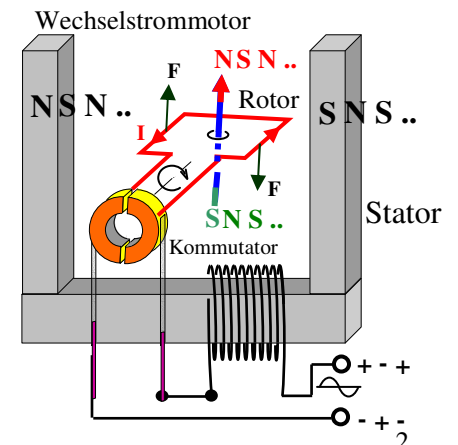


2) Motoren

a) Der Gleichstrommotor enthält einen drehbar gelagerte *Rotor* (Leiterschleife, Spule), welcher durch den Stromdurchfluss zu einem Elektromagneten mit **N** und **S** wird. Dieser Elektromagnet wird von dem permanenten Hufeisenmagneten angezogen und um 90° nach rechts gedreht. Dann wechselt der Kommutator die Stromrichtung, wodurch sich die Krafrichtung umdreht und der Rotor mit Schwung um weitere 180° weiterläuft, usw. Eine entsprechende Erklärung liefert die eingezeichnete Lorentzkraft und die Drei-Finger-Regel.

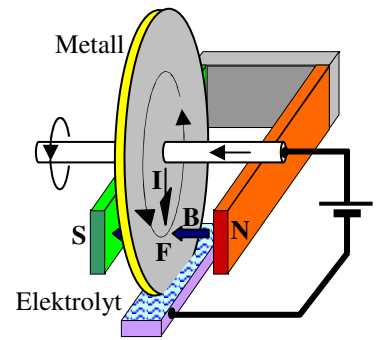


b) Beim Wechselstrommotor überlagert sich der Umpolung durch den Kommutator bei der Drehung noch der Polungswechsel der Spannungsquelle. Dieser wird dadurch abgefangen, dass der Permanentmagnet durch einen Elektromagneten (Stator) ersetzt wird. Da beide Magneten, der Rotor und der Stator beim abgebildeten *Reihenschluss* in *gleicher Weise* mit 50 Hz umgepolt werden, spielt der äußere Stromrichtungswechsel keine Rolle mehr. Außer dem Reihenschluss wird auch der Parallelschluss verwendet, bei welchem sich die doppelte Umpolung auch aufhebt.

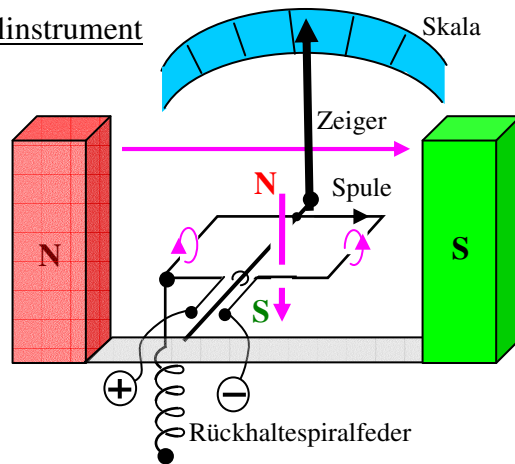


c) Unipolarmotor (Barlow Rad)

Im Barlowschen Rad fließt der angelegte Strom von der Achse zum Elektrolytbad hinab. Der Bereich wird von der Flussdichte B eines Hufeisenmagneten durchsetzt, sodass die bewegten Elektronen eine Lorentzkraft nach unten erfahren. Die Elektronen übertragen diese Kraft durch "Reibung" auf das Rad und setzen es so in Bewegung. In der Abb. ist die technische Stromrichtung eingezeichnet, so dass die 3-Finger-Regel der rechten Hand zu nehmen ist. Im Umkehrbetrieb erzeugt man durch gleichförmiges Drehen der Scheibe eine konstante Gleichspannung. Heute gibt es dafür bessere Möglichkeiten, sodass die Maschine nur noch historische Bedeutung hat.



d) Drehspulinstrument



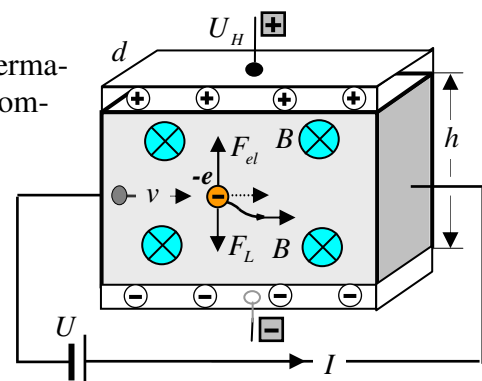
Das Drehspulinstrument ein „festgehaltener Gleichstrommotor“. Das Drehspulinstrument ist ein wichtiges Messinstrument der Elektrotechnik. Im B -Feld eines Permanentmagneten wird eine drehbar gelagerte Spule angeordnet. Bei Stromdurchfluss dreht sich diese wie im Gleichstrommotor. Die Spule wird jedoch durch eine Spiralfeder zurückgehalten. Bei geeigneter Anordnung und Formung des Magneten ist der Drehwinkel dann proportional zur Stärke des zu messenden Stromes.

Mit geeigneter Schaltung lassen sich auch Spannungen messen, so dass das Instrument zu einem hochpräzisen „Multimeter“ der Elektrotechnik wird.



3) Der Halleffekt

Ein quaderförmiges Plättchen aus Leiter- oder Halbleitermaterial wird in der Abb. von rechts nach links (techn. Stromrichtung) von einem Strom I durchflossen. Die frei bewegliche *Elektronen* wandern dann mit einer Geschwindigkeit v von links nach rechts. Im B -Feld erfahren die Elektronen dann gemäß der Linken-Drei-Finger-Regel eine Lorentzkraft F_L nach unten. Beim Barlow Rad nehmen die Elektronen das Rad mit. Weil die Platte hier aber feststeht, rutschen die Elektronen ohne äußeren Effekt lediglich innerhalb des Plättchen nach unten. Wenn sich Elektronen unten ansammeln, dann fehlen sie oben. Dadurch entsteht oben eine Schicht von (positiven) Löchern, während sich unten eine Schicht von (negativen) Elektronen herausbildet. Diese beiden Ladungsschichten bilden die „Platten“ eines Kondensators, zwischen denen sich ein elektrisches Feld der Feldstärke E aufbaut. Die Ladungsverchiebung endet, sobald die elektrische Kraft F_{el} die Größe der Lorentzkraft F_L erreicht hat.



Schematische Darstellung eines Hallplättchen

Dann herrscht Kräftegleichgewicht und das Platteninnere bleibt kräftefrei, so dass die Elektronen nach Abschluss der Aufladung geradeaus durch das Plättchen wandern.

a) Messung der magnetischen Flussdichte mit der Hallsonde

Der **Halleffekt** ermöglicht eine fast punktgenaue Messung der Flussdichtenverteilung eines Magnetfeldes: Senkrecht zu den Feldlinien des zu untersuchende Magnetfeldes wird ein sog. Hallplättchen gehalten. Durch dieses Plättchen wird ein Strom der vorgegebenen Stärke I geleitet.



Hallplättchen: 2 mm^3

Oben wurde hergeleitet, dass sich die Ober- und Unterseite des Hallplättchens elektrisch aufladen, wenn der durchfließende Strom rechtwinklig ein Magnetfeld kreuzt. Die Aufladung endet sobald das Kräftegleichgewicht $F_{el} = F_L$ gilt. Angewandt auf ein Elektron bedeutet das $e \cdot E = e \cdot v \cdot B$. Also erreicht die elektrische Feldstärke E zwischen den „Kondensatorplatten“ den Wert $E = v \cdot B$. Die Feldstärke E geht aber mit einer Spannung einher. Hat das Plättchen die Höhe h , so gilt $U = E \cdot h$. Damit gilt $U_H = v \cdot h \cdot B$. Die Spannung wird zu Ehren des Entdeckers Edwin Hall „Hall-Spannung“ genannt. Die Geschwindigkeit v der Ladungsträger lässt sich über die Stromstärke I regeln. Damit liefert die Gleichung $U_H = v \cdot h \cdot B$ eine proportionale Beziehung zwischen der zu messenden Flussdichte B und der am Voltmeter ablesbaren Spannung U_H .

b) Wissenschaftliche Aussage: Hallkonstante R_H

Die Elektronengeschwindigkeit v ist proportional zur Stromstärke I . Also gilt $B \sim U_H / I$.

Der Proportionalitätsfaktor ist

- (1) von der Dicke d und
- (2) von Materialeigenschaften des Plättchens abhängig.

Diese fasst man in der Größe R_H zusammen.

Material	R_H in $T/m \cdot \Omega$
Kupfer	$1,89 \cdot 10^{10}$
Silber	$1,12 \cdot 10^{10}$
Indium-Arsenid	$1,05 \cdot 10^4$

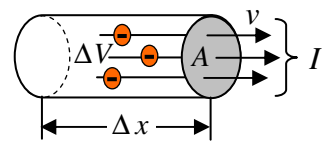
Daher lautet die Messformel der Flussdichte mittels Hallsonde $B = d \cdot R_H \cdot U_H / I$

Beispiel: Ein Hallplättchen aus Silber hat die Dicke $d = 1\mu\text{m}$. Bei einer Stromstärke von $I = 2\text{ A}$ wird eine Hallspannung von $U_H = 28\mu\text{V}$ gemessen. Berechne B .

Ergebnis: $B = \frac{d \cdot R_H \cdot U_H}{I} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 1,12 \cdot 10^{10} \text{ T} \cdot 28 \cdot 10^{-6} \text{ V}}{2 \cdot \text{ A} \cdot \text{ m} \cdot \Omega} = 0,157 \cdot \frac{\cancel{\text{m}} \cdot \text{ T} \cdot \text{ V}}{\text{ A} \cdot \cancel{\text{m}} \cdot \text{ V} / \text{ A}} = \underline{\underline{0,157 \text{ T}}}$

c) Wissenschaftliche Aussage: Ladungsdichte ρ_e der freien Ladungsträger

Bewegen sich die Ladungsträger mit der Geschwindigkeit v , so durchqueren diejenigen während der Zeit Δt die Querschnittsfläche A , welche zuvor maximal den Abstand $\Delta x = v \cdot \Delta t$ von A hatten, die also in dem Volumen $\Delta V = A \cdot v \cdot \Delta t$ waren. Die Ladungsdichte ρ_e ist das Verhältnis von Ladung ΔQ zu Volumen ΔV , also $\rho_e = \Delta Q / \Delta V$. Für die Stromstärke gilt $I = \Delta Q / \Delta t$. Setzt man $\Delta Q = \rho_e \cdot \Delta V = \rho_e \cdot A \cdot v \cdot \Delta t$ ein, so erhält man $I = \rho_e \cdot A \cdot v$ bzw. $v = I / \rho_e \cdot A$. Dies wird jetzt in



$U_H = v \cdot h \cdot B$ eingesetzt: $U_H = h \cdot B \cdot I / \rho_e \cdot A$ bzw. $\rho_e = h \cdot I \cdot B / U_H \cdot A$.

Mit Hilfe dieser Gleichung lässt sich bestimmen, wieviel Ladungsträger die jeweiligen Stoffe für die Stromleitung zur Verfügung stellen.

d) Technische Anwendung des Halleffektes in der Energietechnik

Die Skizze zeigt das Prinzip des MHD-Generators eines Heizkraftwerkes.

Aufgabe:

Ermittle mit Hilfe der Literatur die Funktion dieses hochmodernen Gerätes. Beschreibe die Funktionsweise und fertige eine Skizze an.

