

1. Magnetfeld, Magnetismus

1.1 Magnetismus

Stoff	wird festgehalten	wird NICHT festgehalten
Stahl	X	
Alu		X
Kunststoff		X
Kupfer		X
Kobalt, Nickel	X	

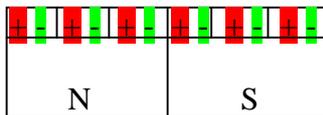
Magnete richten sich im Magnetfeld der Erde aus (Kompassprinzip)

Nordpol der Erde  Südpol der Erde

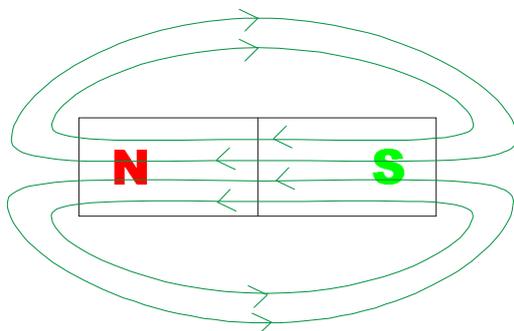
der nach norden zeigende Pol des Magneten nennt man Nordpol, der nach Süden zeigende nennt man Südpol.

Ungleiche Pole ziehen sich an.
Gleiche Pole stoßen sich ab

Ein Magneten kann man sich aus **Elementarmagneten** zusammengesetzt vorstellen.

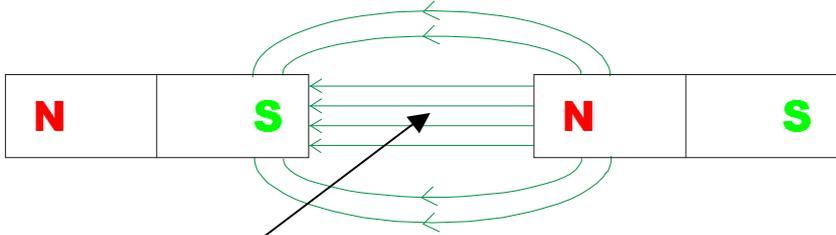


1.2 Das Magnetfeld



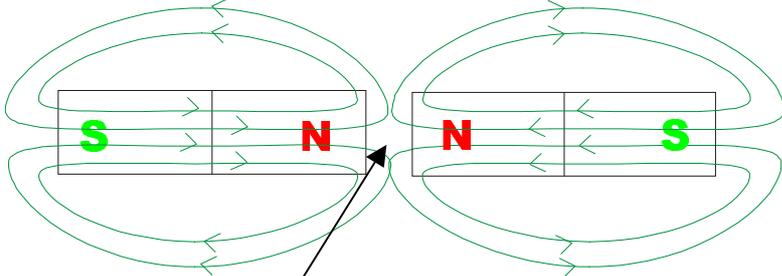
- Feldlinien treten am Nordpol des Magneten aus und am Südpol ein
- Feldlinien verlaufen **im** Magneten vom Südpol zum Nordpol
- magnetische Feldlinien sind geschlossene Linienzüge
- magnetische Feldlinien sind bestrebt sich zu verkürzen

Feldlinienbilder



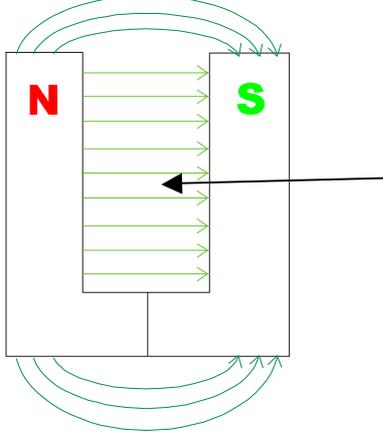
Feldlinien Verstärken sich

b)



Feldfreier Raum

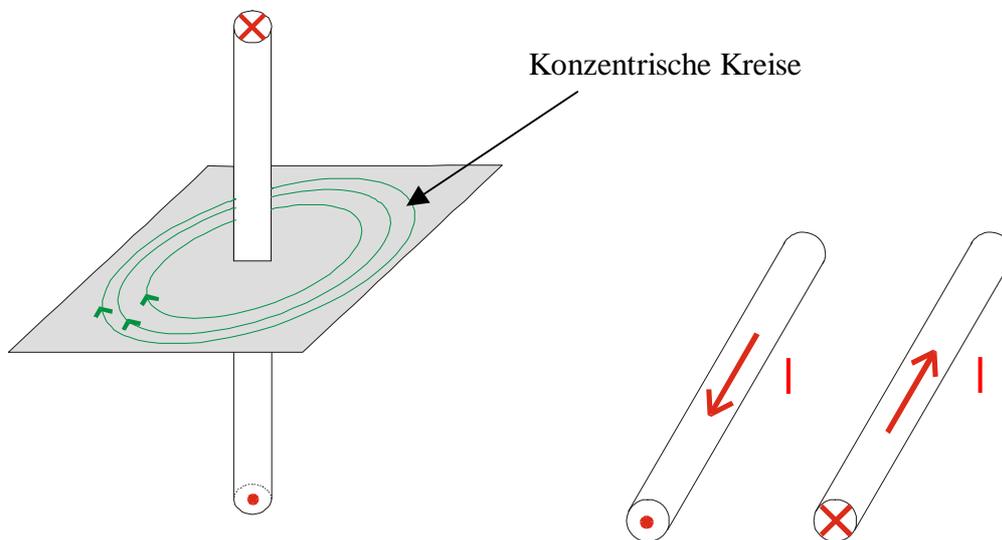
c)



Homogenes Feld
(Feldlinien verlaufen parallel)

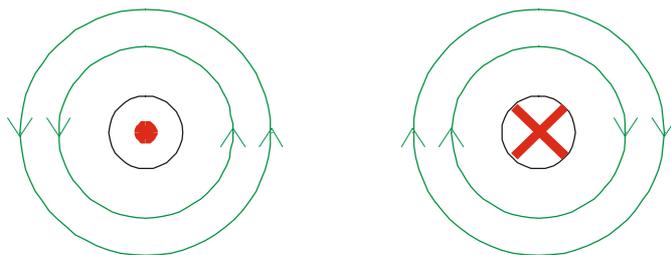
2. Elektromagnetismus

2.1 Magnetfeld des geraden Leiters

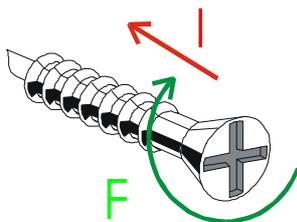


Um einen vom Strom durchflossenen Leiter bildet sich ein Magnetfeld. Die Feldlinien haben dabei die Form von konzentrischen Kreisen.
Die Richtung des Feldes ist abhängig von der Stromrichtung.

2.2 Schraubenregel

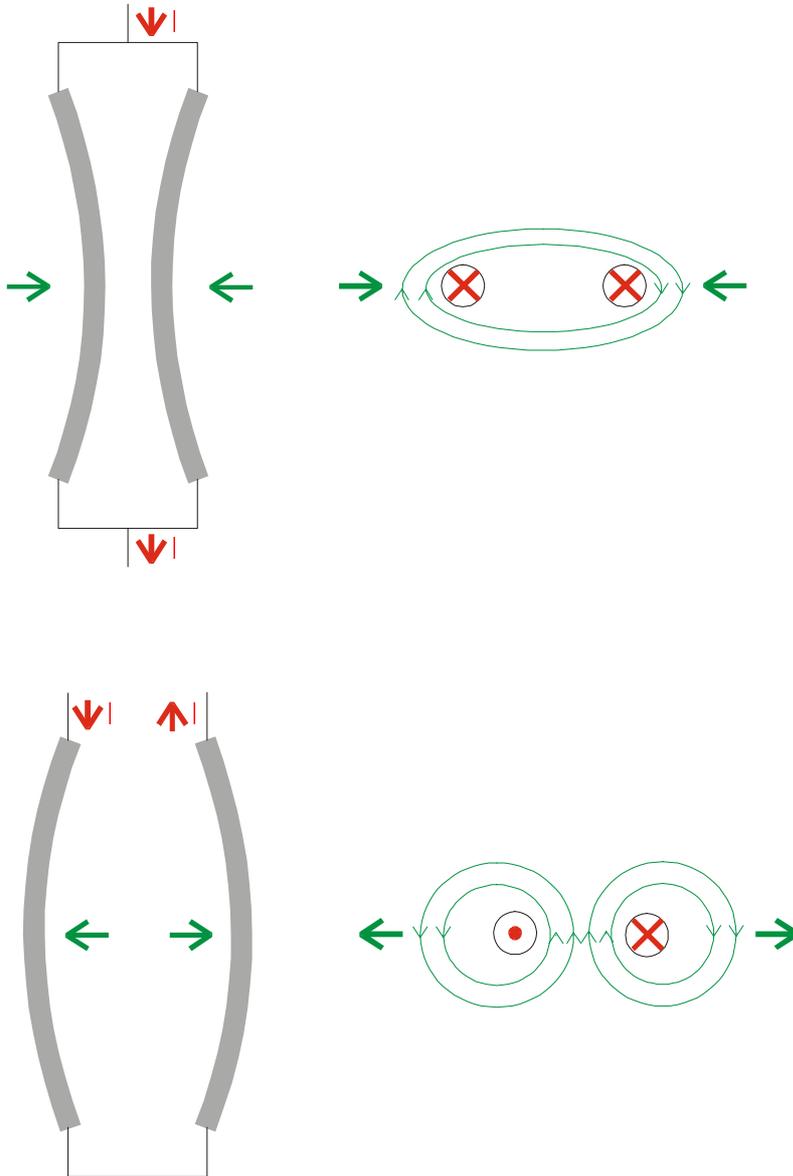


Stromrichtung \Rightarrow Vorwärtsbewegung der Schraube
 Feldlinienrichtung \Rightarrow Drehrichtung der Schraube



Man denkt sich eine Schraube die man in den Leiter in Richtung des Stromes hineinschraubt. Die Drehrichtung der Schraube gibt dann die Richtung der Feldlinien an.

2.3 Magnetfeld des parallelen Leiters



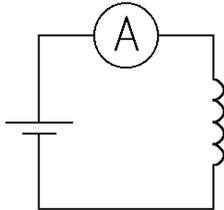
Gleiche Stromrichtung in parallelen Leitern bewirkt ein gegenseitiges Anziehen; entgegengesetzte Stromrichtung hat ein Abstoßen der Leiter zur Folge.

2.4 Magnetfeld der Spule

Siehe Blatt

2.5 Durchflutung

1. Versuch



1. N=600			
Gewicht	Büroklammer	Nagel	Schraubenzieher
I in A	0,62	0,65	2,3
2. Gewicht: Nagel			
N	300	600	1200
I in A	1,6	0,65	0,38

Magnetische Wirkung $\sim N$

Magnetische Wirkung $\sim I$

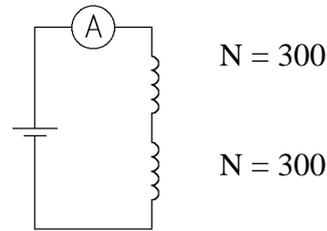
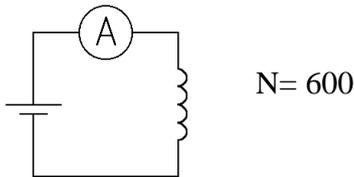
$$\Theta = N \cdot I \quad \text{in [A]}$$

Θ = Durchflutung (groß Theta)

N = Windungen

2.6 Magnetische Feldstärke

2. Versuch



N	600	2 X 200
I	0,65	1,4

Magnetische Wirkung $\sim \Theta$

Magnetische Wirkung $\sim \frac{1}{l}$

$$H = \frac{\Theta}{l} \quad \text{in [A/m]}$$

H = Magnetische Feldstärke

l = mittlere Feldlinienlänge

$$\Theta = \frac{I \cdot N}{l}$$

2.7 Magnetischer Fluss Φ

- Das gesamte Magnetfeld einer Spule nennt man Magnetischen Fluss Φ (Phi)
- Anzahl der magnetischen Feldlinien

$$\Phi \text{ in [Vs] oder [Wb]}$$

Φ = Magnetischer Fluss (groß Phi)

Vs = Voltsekunde

Wb = Weber

Je größer der Magnetische Fluss, desto größer die Kraftwirkung.
(Bei gleicher Fläche, auf die die Feldlinien verteilt sind.)

2.8 Magnetische Flussdichte B

Ein Magnet hat eine umso größere Kraftwirkung, je größer der magnetische Fluss und je kleiner die Fläche ist, die von ihm durchsetzt wird.

Kraftwirkung $\sim \Phi$

Kraftwirkung $\sim \frac{1}{A}$

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \text{in} \quad \left[\frac{Vs}{m} \right] \quad T$$

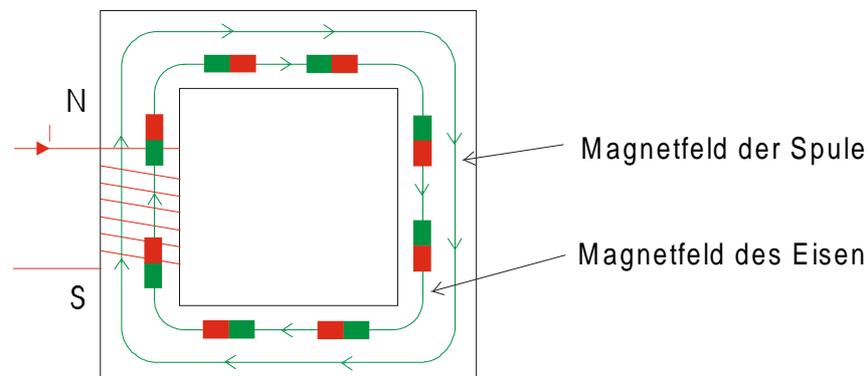
B = Magnetische Flussdichte

T = Tesla

A = Fläche

2.9 Eisen im Magnetfeld

Eisen als Feldlinienleiter



- Eisen verstärkt ein Magnetfeld
- Eisen leitet magnetische Feldlinien besser als Luft

Bekommt eine Spule einen fernmagnetischen Kern, so richten sich die Elementarmagnete des Kerns nach dem Magnetfeld der Spule aus. Somit addieren sich die Feldlinien der Spule und des Kerns => die Flussdichte wird größer.

Eine Spule *mit* Kern hat ein um μ_r größeres Magnetfeld als ohne Kern.

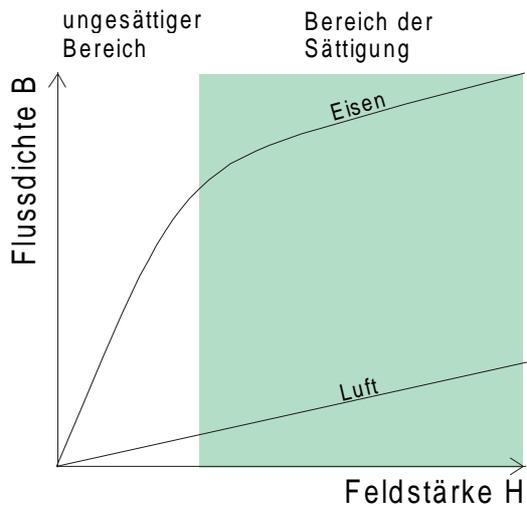
$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

B = magnetische Flussdichte

μ_0 = magnetische Feldkonstante

μ_r = Permeabilitätszahl (relative Permeabilität)

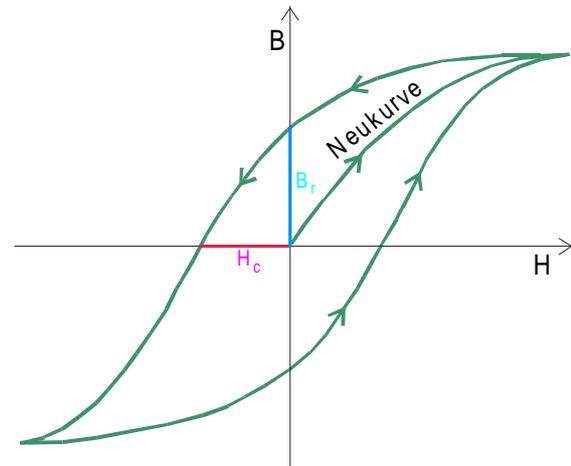
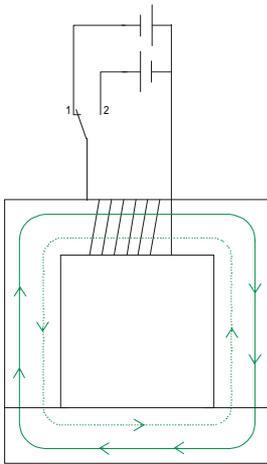
Magnetisierungskennlinie



Die magnetische Flussdichte einer eisenlosen Spule nimmt im gleichen Verhältnis wie der Spulenstrom und damit im gleichen Verhältnis wie der Spulenstrom zu.

Das ist nicht mehr der Fall, wenn man das vorhandene Spulenfeld durch Eisen verstärkt. Wird der Strom größer, richten sich immer mehr Elementarmagnete im Eisenkern aus, bis schließlich der Kern magnetisch gesättigt ist. Dann nimmt die Flussdichte bei weiterer Stromzunahme nur noch wie bei Luft zu.

2.10 Hysteresenschleife (Ummagnetisierungskennlinie)



Versuch 1:

Erregen Sie die Spule auf dem U-Kern bis etwa 2A DC und schalten Sie ab.

Das Joch "klebt" am U-Kern, obwohl die Spule Stromlos ist.

Remenanzflussdichte

Obwohl die magnetische Feldstärke [H] Null ist, bleibt eine restliche magnetische Flussdichte [B], die Remenanzflussdichte B_r (remanente Flussdichte, Restmagnetismus) zurück, die das Joch festhält.

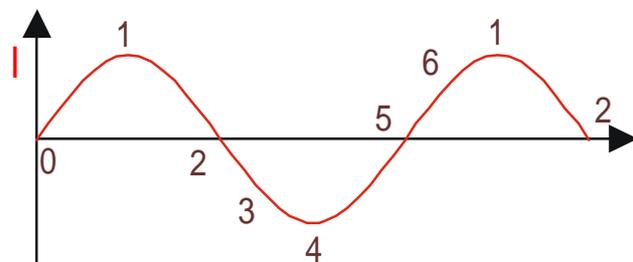
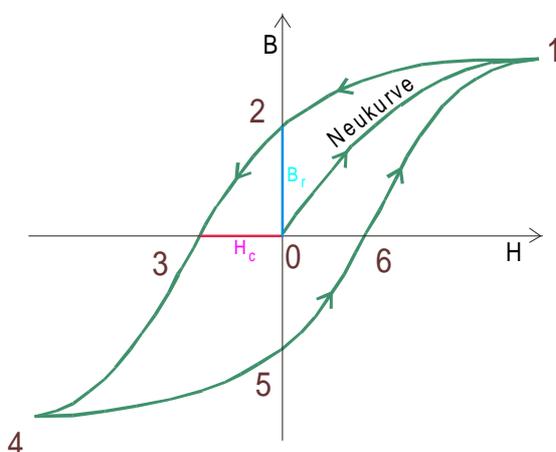
Versuch 2:

Ändern Sie die Stromrichtung und steigern sie langsam den Strom.

Das Joch lässt sich schon bei einer geringen entgegengesetzter Erregung abheben

Koerzitivfeldstärke

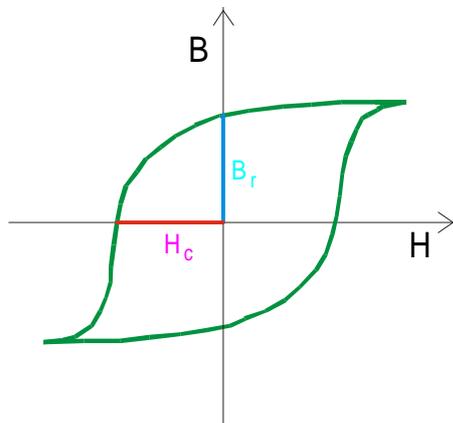
Die entgegengesetzt gerichtete Feldstärke hat die Remanenz beseitigt. Die Spule erzeugt zwar eine Feldstärke, im Eisen ist aber keine magnetische Flussdichte [B] mehr vorhanden. Die Feldstärke, die notwendig ist, um den Restmagnetismus zu beseitigen, nennt man Koerzitivfeldstärke H_c (Koerzitivkraft).



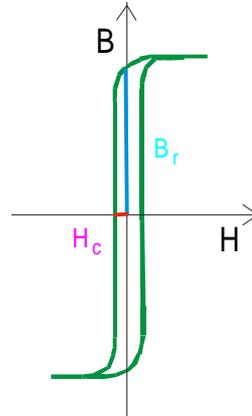
Diese zwei Bilder verdeutlichen die einzelnen Punkt der Hysteresekurve mit den Augenblickswerten des durch die Spule fließenden Stromes.

Hystereseschleife von

a) hartmagnetischem Werkstoff



b) weichmagnetischem Werkstoff

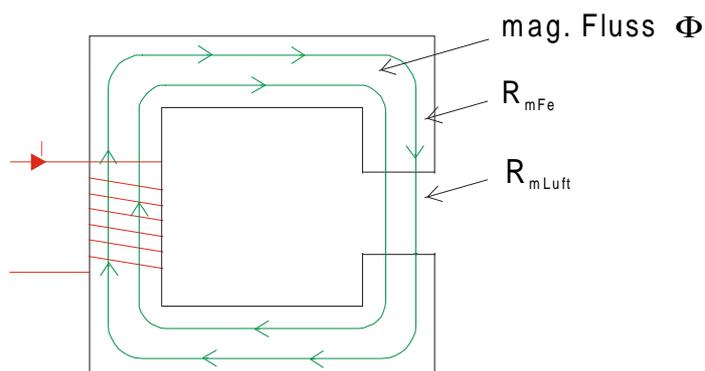


2.11 Entmagnetisieren

- langsames Herausziehen aus einem Wechselstrom durchflossenen Spule
- -Spulenstrom langsam auf Null reduzieren
- ➔ Hystereseschleife wird immer kleiner, bis auf Null

- Erwärmen auf die Curie - Temperatur (z.B. Eisen 770°C)
- Starke Erschütterungen, Stöße

2.12 Magnetischer Kreis



Den in sich geschlossenen Weg der magnetischen Feldlinien nennt man magnetischen Kreis.

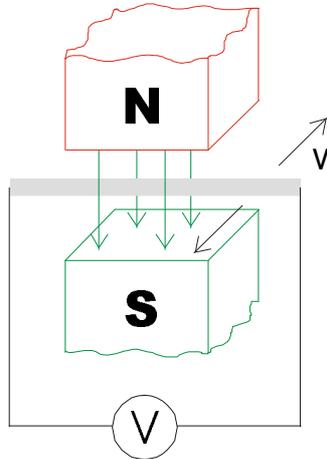
Im magnetischen Kreis ist die Durchflutung $[\Theta]$, auch mag. Spannung genannt, die Ursache für den magnetischen Fluss $[\Phi]$.

Durchflutungsgesetz:

Die Gesamtdurchflutung ist gleich der Summe der Teildurchflutung, d.h. der Durchflutung im Luftspalt und im Magnetwerkstoff.

3. Induktion

3.1 Induktion der Bewegung (Generatorprinzip)



Wird der Leiter so im Magnetfeld bewegt das er Magnetfeldlinien Schneidet wir in ihm eine Spannung induziert.

Wird eine Leiterschleife in einem Magnetfeld so bewegt, dass sich der magnetische Fluss in der Schleife ändert, wir in ihr während der Bewegung eine Spannung induziert. Diesen Vorgang nennt man Induktion.

- $U \sim N$ (N = Leiterschleifen)
- $U \sim v$ (v = Geschwindigkeit)
- $U \sim B$ (B = mag. Flussdichte)
- $U \sim l$ (l = Länge des Leiters im Magnetfeld)

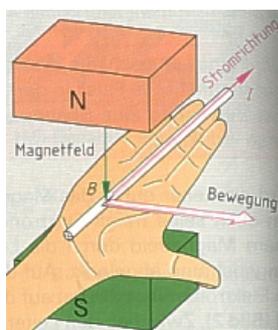
$$U = B \cdot l \cdot v \cdot N$$

Generatorprinzip:

Magnetfeld und Bewegung eines Leiters erzeugen eine Spannung.

Die Richtung der Induzierten Spannung hängt von der Richtung der Bewegung und des Magnetfeld ab.

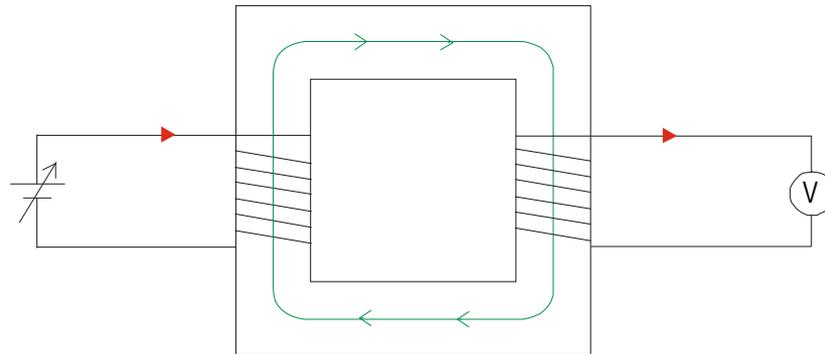
Ist der Stromkreis geschlossen, so ruft die Induzierte Spannung einen Strom hervor.



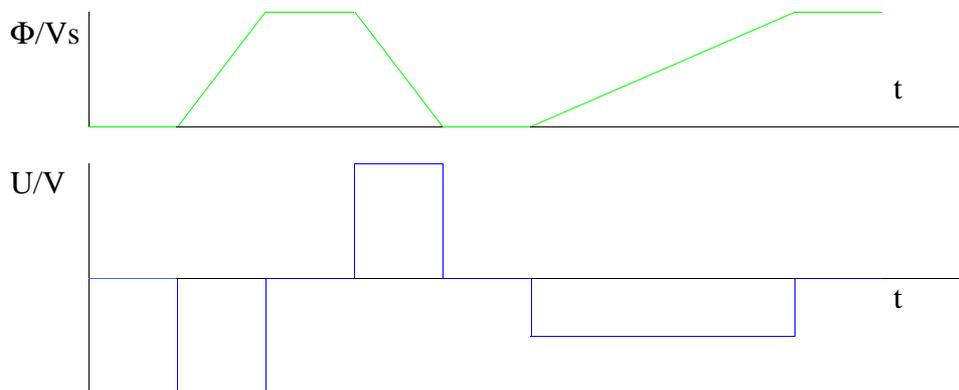
Generatorregel:

Hält man die rechte Hand so, dass die Feldlinien vom Nordpol her auf die Innenfläche der hand treffen und der abgespreizte Daumen in die Bewegungsrichtung zeigt, so fließt der Induktionsstrom in Richtung der ausgestreckten Finger.

3.2 Induktion der Ruhe (Transformatorprinzip)



Fließt Strom durch die Spule 1, erzeugt er ein Magnetfeld. Beim einschalten wird das Magnetfeld aufgebaut, beim Abschalten abgebaut. Diese Feldänderung induziert in Spule 2 eine Spannung.



Stromänderung ΔI in Spule 1 ergibt eine Flussänderung $\Delta\Phi$. Die Flussänderung $\Delta\Phi$ induziert eine Spannung U in Spule 2.

$$\begin{aligned}
 U &\sim N && \text{Windungen} \\
 U &\sim \Delta\Phi && \text{mag. Feldänderung} \\
 U &\sim \frac{1}{\Delta t} && \text{Änderungszeitdauer}
 \end{aligned}$$

$$U = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Die induzierte Spannung ist umso größer, je schneller sich der magnetische Fluss ändert.

Die in einer Spule induzierten Spannung ist umso größer, je größer die Windungszahl der Spule, je stärker die Flussänderung und je kürzer die Zeitdauer ist, in der die Flussänderung ist.

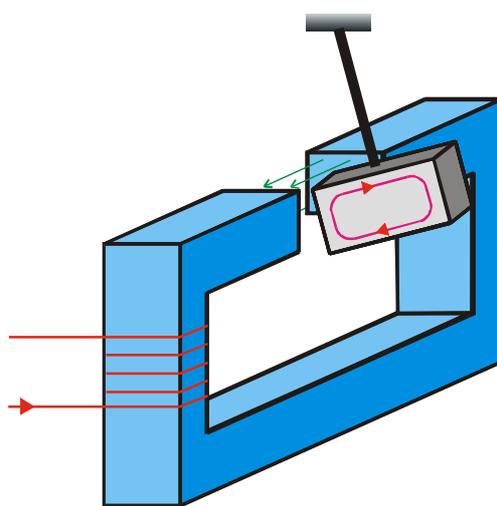
3.3 Lenz'sche Regel

Bei der Bewegung des Leiters durch das Magnetfeld wird im Leiter eine Spannung induziert, die einen Strom zur Folge hat. Durch diesen Strom wird ein Magnetfeld um den Leiter hervorgerufen, das sich dem Polfeld überlagert. Das Feld um den Leiter ist so gerichtet, dass sich das gemeinsame resultierende Feld vor dem Leiter verdichtet und deshalb auf den Leiter eine Kraft gegen die Bewegung ausübt. Aus der Richtung des Feldlinienstaus vor dem Leiter lässt sich die Stromrichtung bestimmen.

Lenz'sche Regel:

Der durch eine Induktionsspannung hervorgerufene Strom ist stets so gerichtet, dass er der Ursache der Induktion entgegenwirkt.

3.4 Wirbelströme



Zwischen den Polen eines Elektromagneten ist eine Aluminiumscheibe pendelnd aufgehängt. Das schwingende Pendel kommt beim Erregen des Magnetfeldes augenblicklich zum Stillstand.

Die Bewegung der Aluminiumscheibe im Magnetfeld induziert in ihr eine Spannung, die einen großen Strom verursacht, weil die Scheibe wie in eine in sich geschlossene Leiterschleife wirkt. Den Strom findet in der Scheibe keinen genauen Weg und wir deshalb Wirbelstrom genannt.

Wird Metall in einem Magnetfeld bewegt, so entstehen im Metall Wirbelströme, deren Magnetfeld die Bewegung bremst.

Wir als Pendel statt einer geschlossenen Metallscheibe eine geschlitzte Metallscheibe verwendet. Setzt das Pendel bei Erregtem Magnetfeld seinen Weg fast ungebremst fort.



Die Schlitze in der Metallscheibe unterbrechen die Wirbelströme, die sich daher kaum ausbreiten können.

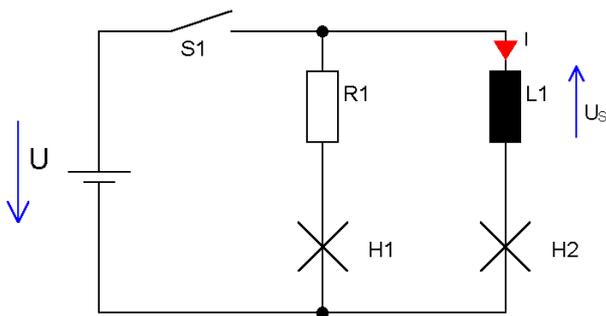
Durchdringt ein magnetisches Wechselfeld Metall, so werden im Metall Wirbelströme erzeugt.

3.5 Selbstinduktion

Versuch: Selbstinduktion beim Einschalten

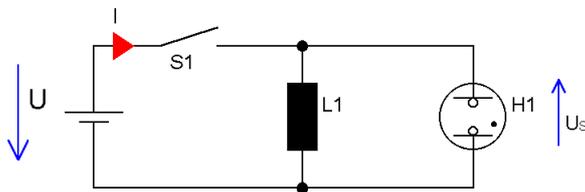
S1 schließen

→ H2 leuchtet später als H1



Nach dem Einschalten erreicht der Strom in der Spule nicht sofort seinen Höchstwert. Das Magnetfeld wird erst durch den Strom aufgebaut. Diese Feldänderung bewirkt eine Selbstinduktionsspannung, die so gepolt ist, dass sie das Ansteigen des Stromes und somit den Aufbau des Magnetfeldes verzögert (Lenz'sche Regel).

Versuch: Selbstinduktion beim Ausschalten

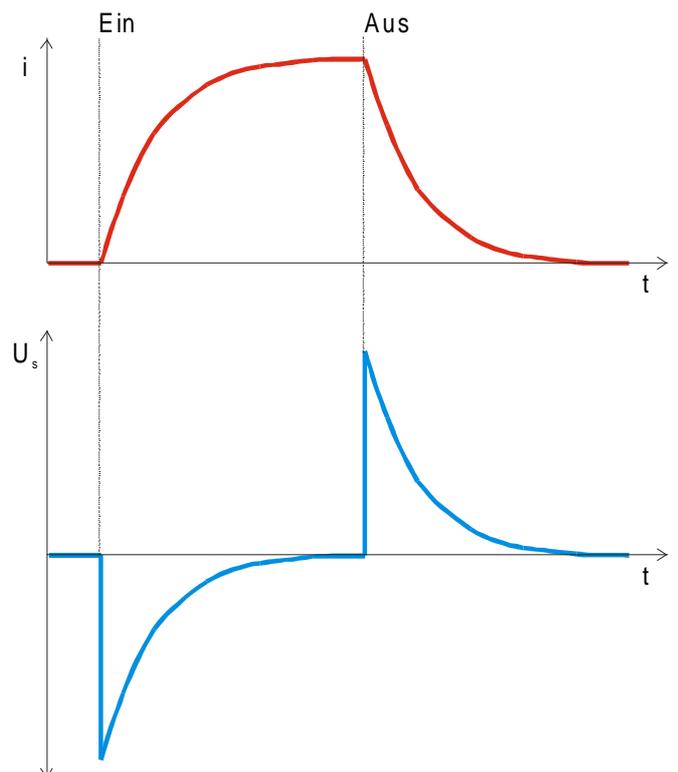


S1 schließen und öffnen

→ H1 leuchtet kurz beim Öffnen

H1 = Glimmlampe Zündspannung ~ 60V

Beim Öffnen des Stromkreises wird in der Spule durch das zusammenbrechende Magnetfeld eine sehr hohe Spannung induziert.



Die Selbstinduktionsspannung ist umso größer, je schneller sich das magnetische Feld ändert und je größer die Induktivität der Spule ist.

Die Induktivität wächst mit dem Quadrat der Windungszahl und hängt außerdem von den Abmessungen der Spule sowie von den Eigenschaften des Eisenkerns ab.

Eine Spule hat eine Induktivität von 1 H (Henry), wenn bei einer gleichförmigen Stromänderung von 1A in 1 Sekunde die Spannung von 1V induziert wird.

$$u_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

u_s = Selbstinduktionsspannung
 L = Induktivität in Henry

$$[L] = \frac{Vs}{A} = \Omega s = H$$

3.6 Induktivität einer Spule

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{lm}$$

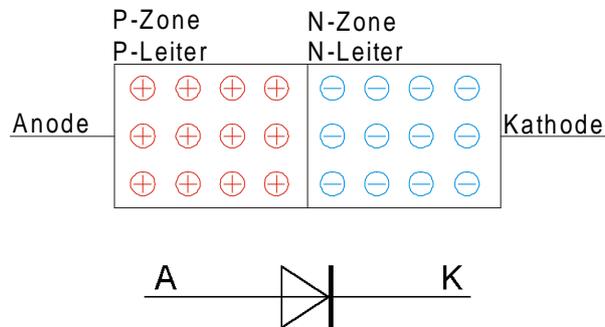
$$L = N^2 \cdot A_L$$

$$A_L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{lm}$$

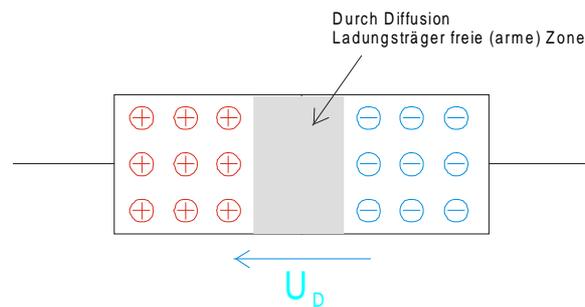
N = Windungszahl
 μ_0 = magnetische Feldkonstante
 μ_r = Permeabilitätszahl
 A = Polfläche, Spulenquerschnitt
 A_L = Spulenkonstante, Induktivitätsfaktor
 lm = mittlere Feldlinienlänge
 L = Induktivität

Die Diode

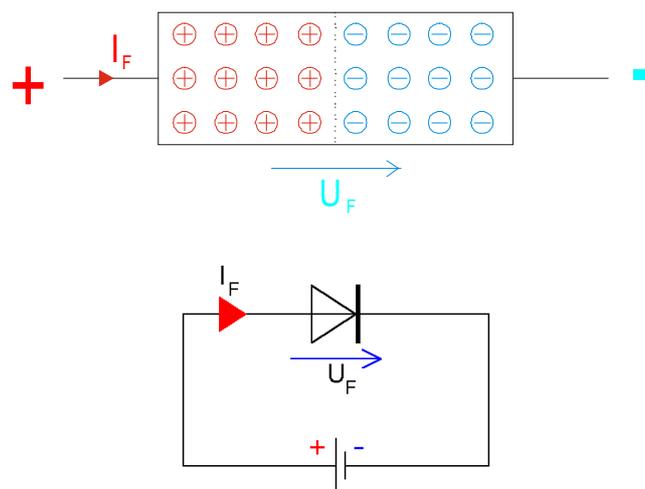
PN-Übergang



Diode stromlos



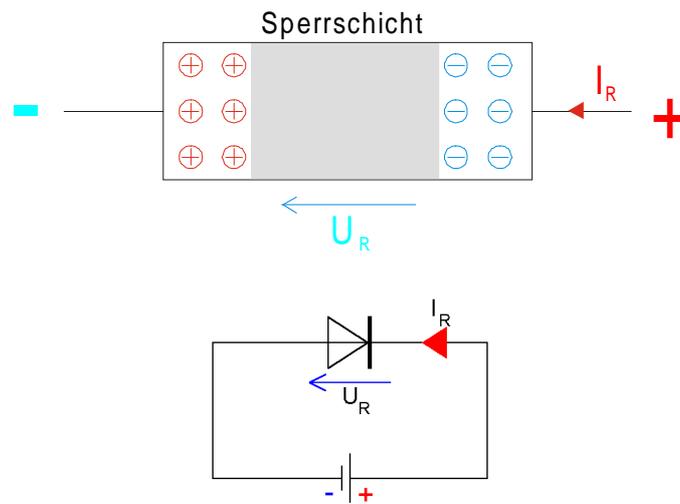
Diode in Durchlassrichtung



Strom I_F fließt, wenn $U_F > U_D$

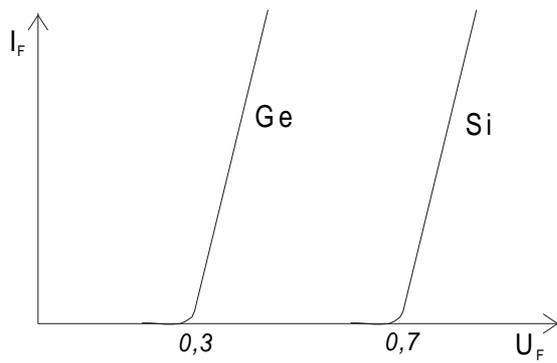
$U_F \approx 0,3 \text{ V Ge}, 0,7 \text{ V Si}$

Diode in Sperrrichtung

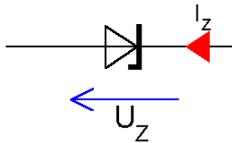


In Sperrrichtung überlagert sich U_D und U_R

Kennlinien

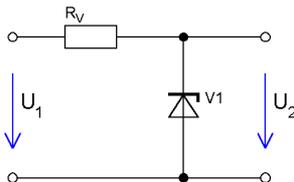


Z-Diode (Zener-Diode, Begrenzerdiode)



Z-Dioden werden grundsätzlich in Sperrichtung betrieben.

Bei Erreichen einer bestimmten Sperrspannung U_R wird die Z-Diode leitend.



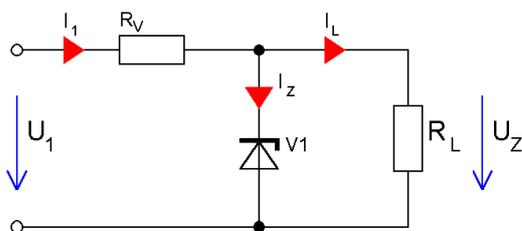
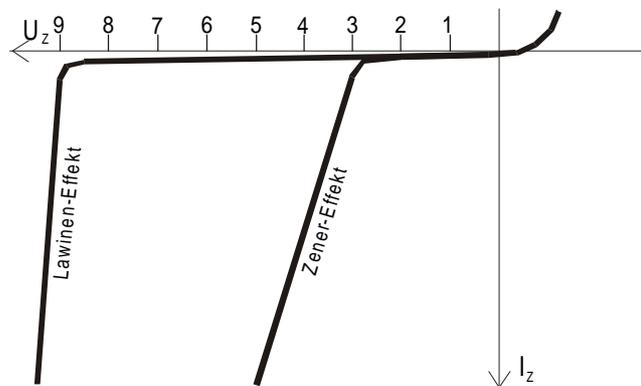
Der Zenerstrom steigt oberhalb der Zenerspannung sehr stark an.

Z-Dioden immer mit einem Vorwiderstand betreiben.

Liegt der Durchbruch unter 5V, ruft der **Zener-Effekt** den Steilanstieg hervor.

Über 7V verursacht der **Lawinen-Effekt** (Avalanche-Effekt = Lawine) den Durchbruch.

Lawinen- und Zener-Effekt überlagern sich im Bereich von 5 bis 7V.



Im Stabilisierungsbereich erzeugt der Strom einen konstanten Spannungsabfall an der Begrenzerdiode. Schwankt die Eingangsspannung ($U_1 \pm \Delta U_1$), ändert sich nur der Spannungsabfall am Vorwiderstand R_V entsprechend. Durch den Vorwiderstand fließt zusätzlich ein Laststrom, wenn man der Begrenzerdiode einen Lastwiderstand R_L parallel schaltet.

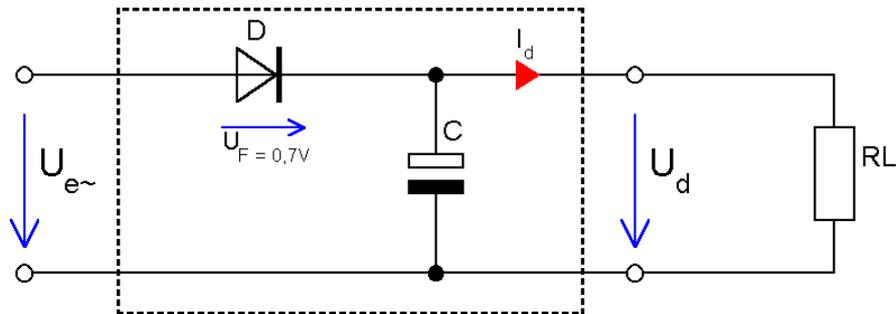
$$R_{Vmin} = \frac{U_{1max} - U_Z}{I_{Zmax} + I_{Lmin}}$$

$$R_{Vmin} = \frac{U_{1min} - U_Z}{I_{Zmin} + I_{Lmax}}$$

Man wählt den Wert des Vorwiderstand in der Nähe von R_{Vmax} und die Eingangsspannung U_1 etwa doppelt so groß wie U_2 .

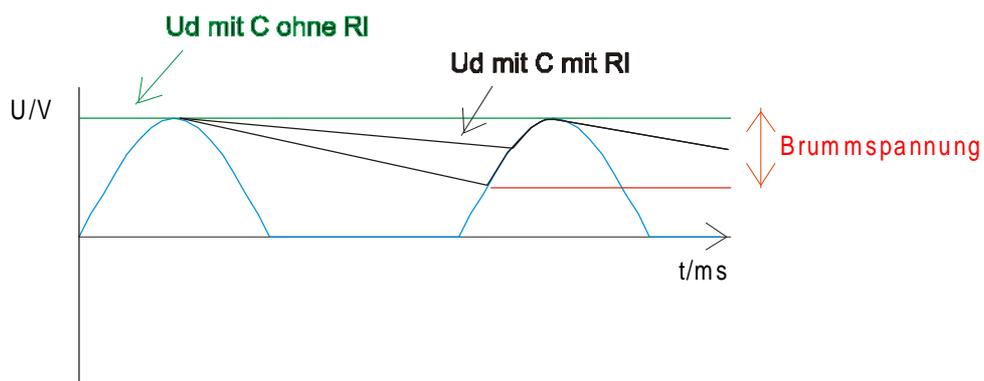
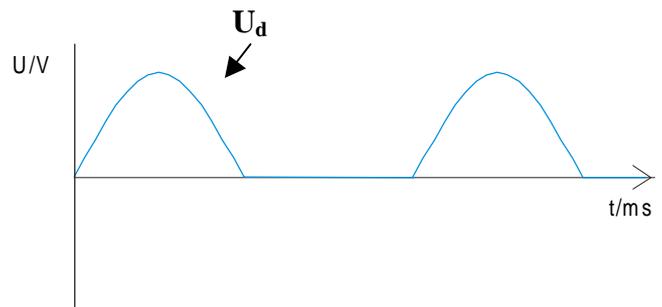
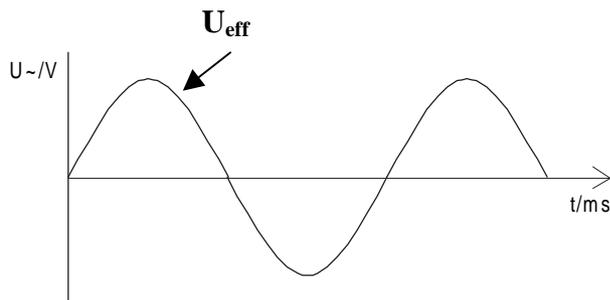
Gleichrichter

E1 Schaltung (Einpulsige Mittelpunktschaltung / Einwegschaltung)



Eingangswechselspannung
 z.B. $U_{eff} = 10V$
 $\hat{u} = 14,1 V$

Ausgangsgleichspannung
 U_{dAV} - Mittelwert



Die Eimpuls-Einwegschaltung lässt immer eine Halbwelle der Eingangsspannung zur last durch und sperrt während der anderen Halbwelle.

$$\frac{U_{di}}{U_1} = 0,45 \quad \text{ohne C}$$

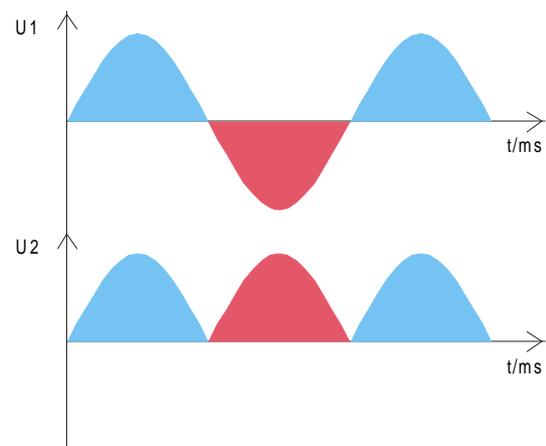
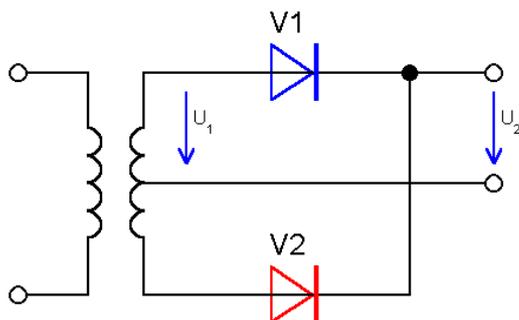
$$\frac{U_{di}}{U_1} = 1,41 \quad \text{mit C}$$

U_{di} = idealer Gleichspannungswert (ohne U_F 0,7V)

$U_1 = U_{\text{eff}}$

- Zur Glättung der Spannung kann ein Kondensator verwendet werden.
- Je mehr die Schaltung belastet wird (I_d größer, R_L kleiner), desto mehr bricht die Ausgangsspannung ein

M2 Zweipuls Mittelpunktschaltung



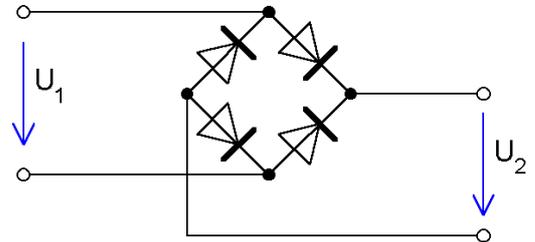
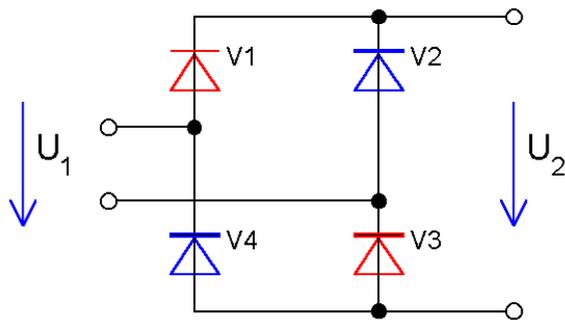
Der Zweipuls Mittelpunktleichter benötigt einen Transformator mit Mittelanzapfung, die zwei gleich große Teilspannungen haben.

$$\frac{U_2}{U_1} = 0,45$$

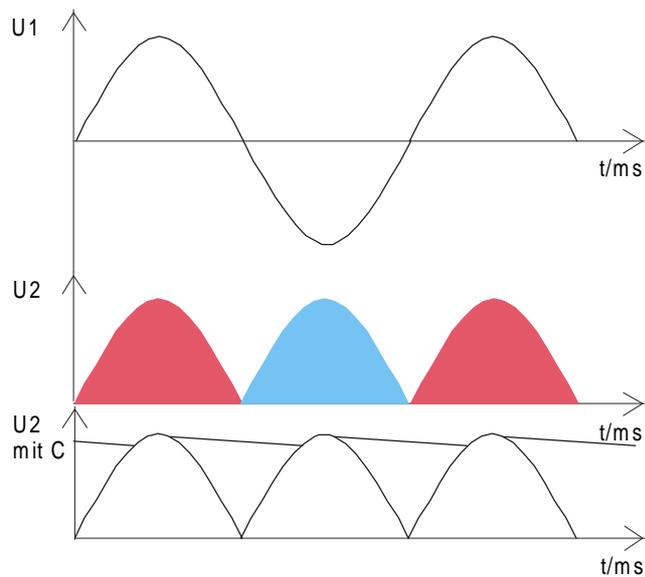
U_2 = idealer Gleichspannungswert (ohne U_F 0,7V)

$U_1 = U_{\text{eff}}$

B2 Zweipuls-Brückenschaltung Brückengleichrichter



Die am häufigsten eingesetzte Gleichrichterschaltung.
Auch als fertiges Brückengleichrichter-Bauteil erhältlich



$$\frac{U_2}{U_1} = 0,9$$