

# Felder im Elektro-Bereich

## 1) Elektrisches Feld

Dieses Feld wird von Spannungen erzeugt, das entweder die Erde (Null-Potential) als Gegenpol hat, oder zwischen zwei Polen, Plusladung und Minusladung wirkt. Zwischen diesen Ladungen wirken Kräfte, die bei gleicher Polung zum Abstoßen, bei gegensätzlicher Ladung zum Anziehen der geladenen Körper führt.

Wechselspannungen bewirken ein elektrisches Wechselfeld, das zur periodischen Umladung führt und dies einen Umlade-Wechselstrom bewirkt. Im Energieversorgungsnetz ist der Gegenpol zu den Leitungen immer die „Erde“ und dadurch entsteht immer ein elektrisches Wechselfeld zwischen den Leitungen in allen Spannungsebenen (400V, 10kV, 30kV, 110kV 380kV) und der Erde auf kürzestem Weg.

Im Dreiphasensystem (siehe Seite 3) ist die Summe der Spannungen der drei Phasen zu jedem Zeitpunkt NULL, daher heben die elektrischen Felder in einem Abstand vom mehrfachen Leiterabstand der Phasen einander praktisch auf.

Die **Abschirmung** der elektrischen Felder ist relativ einfach mittels metallischer Folien oder engmaschiger Gitter, die geerdet werden müssen. Die Dicke der Folien oder Bleche ist unerheblich, ein guter Kontakt zum Erdleiter (Schutzleiter) ist aber unerlässlich.

Wirkung auf den Menschen durch Spannungspotentiale im zwar hochohmigen, aber doch leitenden Körper ist vorstellbar.

## 2) Magnetisches Feld

Dieses Feld wird von Strömen bewirkt, die Ausnahme sind Dauermagnete und auch das Erdmagnetfeld. Somit erzeugen alle stromdurchflossenen Leiter ein Magnetfeld. Dies gilt für Gleich- und Wechselstrom.

Die Abschirmung ist aufwändiger als beim elektrischen Feld und ist im niederfrequenten Bereich (z.B. Netzfrequenz 50Hz) nur durch Rohre aus magnetisch wirksamen Materialien, wie Eisen, Stahl, Nickel, Cobalt, möglich. Praktisch wird nur Eisen verwendet mit einer deutlichen Wandstärke ab 1mm. Folien reichen nicht aus, da diese einen zu hohen magnetischen Widerstand haben. Sind diese Rohre geerdet, wirken sie auch als Abschirmung von elektrischen Feldern.

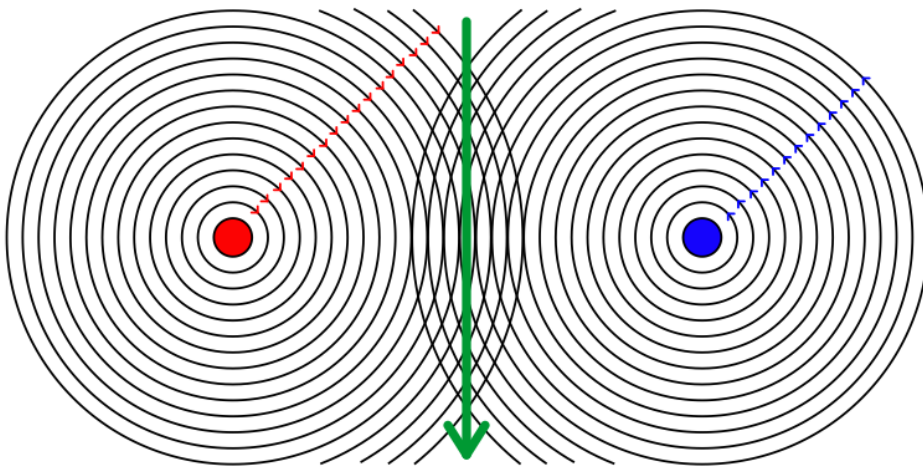
Bei höheren Frequenzen, z.B. 1kHz bis 200kHz sind auch elektrisch leitende Materialien mit geringem Widerstand (Kupfer, Aluminium) mit Wandstärke ab 1mm als Abschirmung geeignet, da in diesen ein Wirbelstrom induziert wird, der dem ursprünglichen Magnetfeld entgegenwirkt und dieses daher dämpft.

Im Dreiphasensystem gilt das Gleiche, wie beim elektrischen Feld, die Summe aller Ströme ist bei gleichmäßiger Belastung zu jedem Zeitpunkt NULL und daher heben die magnetischen Felder bei nahegelegenen Leitern einander auf. Im Freileitungssystem ist etwa ab dem 5- bis 10-fachen Leiterabstand diese gegenseitige Kompensation festzustellen.

Magnetische Felder werden von in der Nähe befindlichen magnetisch wirksamen Materialien, z.B. Stahlzargen, Betteinsätzen aus Eisengeflechten, Matratzen mit Stahlfedern, Eisenrohrprofilkonstruktionen, etc. beeinflusst. Diese können Felder „magnetisch kurzschließen“ und damit ableiten, aber auch weiterleiten, „verschleppen“. Erden der magnetischen Abschirmung hat keinen Einfluß.

Die Wirkung bei 50Hz auf den Menschen ist für mich nicht vorstellbar, da im Körper keinerlei Elemente, die magnetische Eigenschaften haben, vorhanden sind. Auch die Wirbelstromwirkung ist nicht vorhanden, da der elektrische Widerstand im Körper sehr hoch ist. Haut  $10\text{k}\Omega$  -  $100\text{k}\Omega$ , Muskel etwa  $3\text{k}\Omega$ .

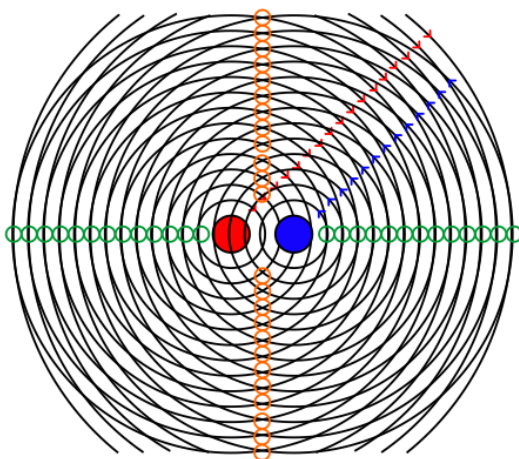
## Zwei Leiter, die mit entgegengesetztem, aber gleich großem Strom durchflossen sind.



Jeder Leiter bildet ein Magnetfeld aus. Diese Felder sind wegen des entgegengesetzten Stromes auch in gegensätzlicher Richtung, links im Uhrzeigersinn, rechts dagegen.

Zwischen den Leitern bildet sich ein Magnetfeld aus, bei dem die Felder beider Leiter addiert werden.

In einem Kabel sind die stromführenden Leiter sehr nahe beieinander, 1mm bis 2mm Abstand. Auch dabei fließt der Strom in entgegengesetzter Richtung (Hin- und Rückleitung).



Zwischen den Leitern wird das Magnetische Feld wieder addiert, außerhalb des Leitungspaars aber ist die Richtung der Felder entgegengesetzt. In der Nähe der Leiter sind die Felder noch etwas unterschiedlich und löschen einander nicht völlig aus, in größerem Abstand (ab etwa 10-fachem Leiterabstand) werden sie aber nahezu gleich und heben einander auf.

Die grünen Ring-Linien sind jene, bei denen eine völlige Auslöschung erfolgt, bei den orangen Ring-Linien ist die Auslöschung teilweise, wie auch bei anderen Winkeln und Schnittpunkten.

Zu erwähnen ist noch, dass es die Feldlinien nicht gibt, es ist nur eine für uns vorstellbare Darstellung eines Feldes. In Wirklichkeit ist das Feld als homogen zu betrachten, aber schwer zu zeichnen und die Linien sind leichter zu „begreifen“.

Wenn durch einen geraden und sehr langen Leiter ein elektrischer Strom fließt, dann haben die Feldlinien des magnetischen Feldes die Form von Kreisen, die in Ebenen senkrecht zu dem Leiter verlaufen und ihren Mittelpunkt im Leiter haben.

### Orientierung des Magnetfeldes mit der ersten Rechte-Faust-Regel

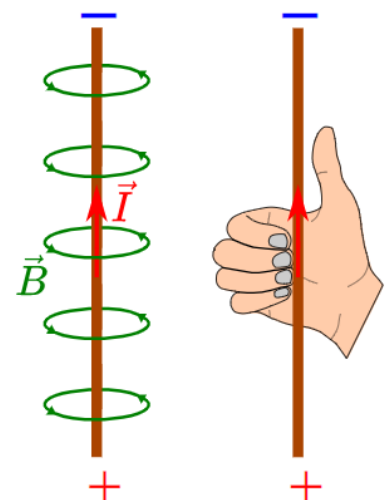
Die Orientierung des magnetischen Feldes kann man mit der ersten Rechte-Faust-Regel bestimmen. Dazu hältst du den Daumen der rechten Hand in Richtung der technischen Stromrichtung  $\vec{I}$  (also von + nach -). Die anderen vier Finger deiner Hand zeigen dann ringförmig den Verlauf der magnetischen Feldlinien und deine Fingerspitzen die Orientierung des Magnetfeldes (also in die Richtung, in die sich der Nordpol einer Kompassnadel ausrichten würde) an.

### Betrag der magnetischen Flussdichte

Ist  $I$  die Stärke des Stroms im Leiter und  $r$  der Abstand eines Punktes zum Leiter, dann berechnet sich der Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  durch

$$B = \mu_0 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot I$$

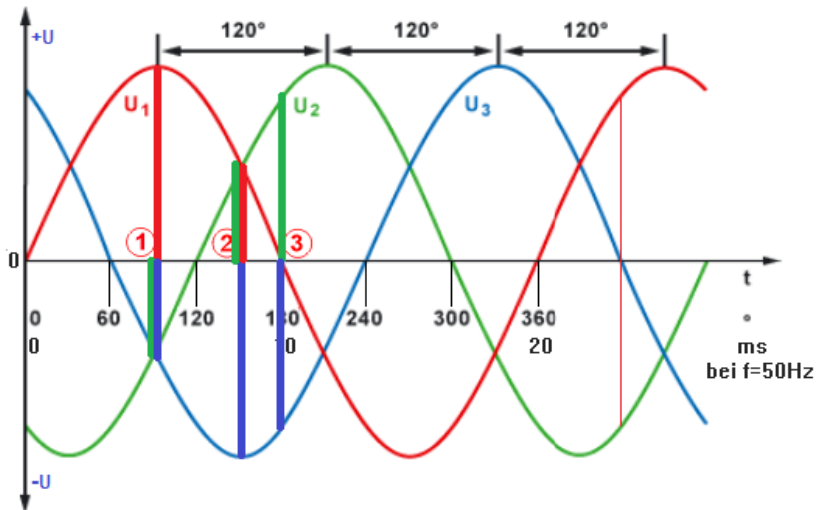
mit der magnetischen Feldkonstanten  $\mu_0 = 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$ .



## Dreiphasensystem:

Dies gilt auch für den sogenannten Drehstrom, einer dreiphasigen Energieversorgung, bei dem aber eine Besonderheit zur Wirkung kommt. Im Dreiphasensystem ist die Summe der drei Spannungen und bei gleicher Belastung (gleicher Strom) auch die Summe der Magnetfelder immer NULL. Dies gilt aber auch wieder nur beim Mehrfachen des internen Leiterabstandes, also bei einem Kabel grob gesagt dem 5-fachen Kabeldurchmesser.

Bei Höchstspannungsleitungen (380kV) können das dann auch 100m sein oder mehr.



Zeit ① 5ms ( $90^\circ$ )  
 $1 \text{ Rot} + (-1/2 \text{ Blau}) + (-1/2 \text{ Grün}) = 0$

Zeit ② 7,5ms ( $150^\circ$ )  
 $-1 \text{ Blau} + 1/2 \text{ Rot} + 1/2 \text{ Grün} = 0$

Zeit ③ 10ms ( $180^\circ$ )  
 $0 \text{ Rot} + (-3/4 \text{ Blau}) + 3/4 \text{ Grün} = 0$

**Beispiel, das Haus der Familie Stiebinger, daneben die 30kV-Leitung.**





Es wurde eine Ebene, senkrecht zu den Leitungen gelegt, in der auch das magnetische Feld liegt. Der Schnitt dieser Ebene mit dem Gebäude ist etwa die blaue Linie. Die linke Leitung ist im 6-fachen Abstand des Leitungsabstandes des Dreiphasensystems beim Balkon. Da sind dann noch deutlich messbare magnetische und elektrische Werte zu finden. Das elektrische Feld richtet sich aber deutlich senkrecht nach unten zur Erde, da die Spannungen der Leitungen von 30kV gegen Erde zu messen sind. Der Gegenpol ist also das Erdpotential (0V)

Der obere grüne Entfernungsstrahl geht durch das metallische Flachdach (in den Wohnbereich), dadurch werden die schwachen noch vorhandenen elektrischen Felder abgeschirmt und die magnetischen Differenzfelder werden durch Wirbelströme im Metall „gebremst“, also verringert. Außerdem gilt bei 10-facher Entfernung und mehr, dass die Summe der Felder im Dreiphasensystem immer NULL ergibt.

Wirbelströme werden in elektrisch leitenden Medien (Metallen) von magnetischen Wechselfeldern (vom Strom verursacht) als Wechselspannungen induziert und diese erzeugen intern Ströme. Da Metalle einen geringen Widerstand haben, sind diese Ströme relativ hoch. Beim Induktionsofen (Induktionsherdplatte) wird dieser Effekt benutzt um den Geschirrboden zu erhitzen.

Die Wirbelströme erzeugen aber ihrerseits wieder ein Magnetfeld, das laut dem Induktionsgesetz dem Ursprungsmagnetfeld entgegenwirkt. Siehe schwebende Magnetkugel im Kupferrohr. Dieser Effekt wird auch bei der Wirbelstrombremse in Bussen und großen Tank-KFZ genutzt, die Verzögerungsenergie (Bremsenergie) des Fahrzeuges in Wärme umzusetzen, um sie umgangssprachlich zu „verheizen“.

Somit können nicht magnetische Metalle ein magnetisches Wechsel-Feld schwächen. Diese Wirkung wird bei steigender Frequenz effektiver (ab kHz bis GHz).

### 3. Elektromagnetisches Feld

Dieses ist kompliziert und nicht leicht zu verstehen, da es aus beiden bisher besprochenen Feldern besteht, die räumlich um 90° versetzt sind und nicht mehr ein Feld, sondern eine energietragende Welle sind. Das Besondere dabei ist, dass in Resonanz befindliche Antennen Energie abstrahlen oder empfangen können. Die Länge der Sende- und auch der Empfangs-Antennen muss  $\lambda/4$  der Frequenz betragen, z.B. bei Frequenz von 100MHz ist die Antennenlänge 75cm, bei 5GHz 1,5cm.

Abschirmung durch geerdete und gut durchkontaktierte Folien in Richtung der Feld-Quelle muss reichen (wie beim elektrischen Feld).

Die Wirkung auf den Menschen ist gut vorstellbar, da einerseits hochfrequente „Mikrowellenstrahlung“ das Wasser im Körper (70% unseres Gewichtes) partiell erwärmt (Handy beim Ohr oder in der Hosentasche im Genitalbereich), wie beim Mikrowellenherd und andererseits bei noch höheren Frequenzen bis 60 GHz geplant, bereits die Länge der Nervenfasern-Teilstücke im mm-Bereich erreicht werden, in welchen dann eine Spannung eingebracht wird. Eine Beunruhigung der Körperfunktionen ist daher gut vorstellbar.

<https://www.quarks.de/gesundheit/handystrahlung-wie-gefaehrlich-ist-das-neue-mobilfunknetz-5g/>

Vorkommen im Haushalt: Rundfunksender, Handy, Handymast in der Nähe, WLAN vom Router oder/und Accesspoint.

#### **Zusatz zum magnetischen Feld:**

Die Wirkung des magnetischen Feldes auf den Körper ist auch deshalb für mich nicht relevant, da immer von Störgrößen mit Mikrottesla und Nanotesla gesprochen wird, ABER bei einer Magnetresonanztomographie (MRT) wird der Körper mit bis zu 7 Tesla untersucht und belastet, das ist also das millionen- oder milliardenfache der Stör-Überlegungen oder gemessenen Störwerte.

Und ich habe bei meinen MRT-Untersuchungen nichts gespürt und die halbstündige Untersuchung langzeitlich gut überlebt.

Ältere Beleuchtungskörper mit Leuchtstofflampen haben zur Strombegrenzung Induktivitäten vor das Leuchtmittel geschaltet, die in magnetischer Sättigung betrieben werden, womit ein starkes magnetisches Streufeld einhergeht. Diese Streufelder sind auch noch im Meterabstand zu messen.

Auch ältere Steckernetzteile haben zum Unterschied der heutigen elektronischen Netzgeräte einen einfachen Netztransformator (50Hz), der auch ein geringes magnetisches Streufeld erzeugt, welches in unmittelbarer Nähe (einige cm) zu messen ist. Die heutigen Steckernetzteile (für Handy, Tablet, Laptop, etc.) arbeiten ausschließlich mit getackten hochfrequenten Spannungswandlern im 150kHz-Bereich und bei diesen sind durch die elektrische Abschirmung kaum Störfelder zu messen.

## Technische Wirkung der Elektrizität, Spannung, Strom, Leistung:

**Spannung** alleine hat keine wesentliche Wirkung. Ein Vogel setzt sich auf eine 380KV-Leitung und elektrisiert sich nicht (nahezu).

Die **Spannung** ist sozusagen „nur“ die Bereitschaft einen Strom zu bewirken, wie auch ein Wasser in einem Hochbecken eines Wasserkraftwerkes wohl viel potentielle Energie gemäß der Höhenlage besitzt, aber keine Wirkung damit erzielt.

Werden die Ventile in einem tiefer liegenden Kraftwerk geöffnet, wird die potentielle Energie in kinetische (Bewegungs-) Energie gewandelt und mit dem strömenden Wasser wird eine Turbine betrieben, die über die Rotationsenergie im mechanisch verbundenen Generator in elektrische Energie gewandelt wird. Genau genommen wird im Generator eine Spannung erzeugt, die erst über die angeschlossenen Verbraucher einen Strom bewirkt.

**Strom** hat verschiedene Wirkungen. **Strom** bewirkt in einem Leiter immer ein Magnetfeld. In einem benachbarten Leiter, wird eine Spannung induziert, die wiederum einen Strom über einen Verbraucher bewirken kann, siehe **Transformator**.

**Strom** kann **Wärme** erzeugen, wenn dieser über einen Widerstand fließt, z.B. Bügeleisen, elektrische Herdplatte, Bestrahlungslampe, Tauchsieder. Wärme wird auch unabsichtlich über Leitungswiderstände erzeugt und trägt so zu den Verlusten unserer Energieversorgung bei.

**Strom** kann in einem Atomkristallgitter zu materieller Schwingung führen und so sichtbares und unsichtbares **Licht** (UV, IR) zu erzeugen, dies geschieht bei der LED mit einem relativ hohen Wirkungsgrad.

**Strom** kann in Bewegungsenergie gewandelt werden, z.B. in Motoren in Rotationsenergie, lineare Bewegung in Magnetschwebbahnen, etc.

**Leistung** ist das Produkt aus Spannung und Strom und hat erst dann eine Wirkung (Arbeit oder Energie), wenn sie eine Zeit lang wirkt. Ein Heizlüfter hat eine Leistung von **2kW**, Energie wird aber erst dann spürbar, wenn dieser etwa 1 Stunde „läuft“, dann ist eine Wärmeenergie von **2 kWh** von elektrischer zur Wärmeenergie gewandelt worden.

Ein KFZ-Motor hat eine Leistung von 115 PS, die aber nur dann eine Wirkung hat (Arbeit bewirkt), wenn über eine Zeit lang die chemische Energie des Brennstoffes in Bewegungsenergie gewandelt wird. Energie kann nicht erzeugt, sondern nur gewandelt werden, also von einer Form in eine andere.

## Magnetische Flussdichte B

- Die magnetische Flussdichte  $B \rightarrow$  ist ein vektorielles Maß für die örtliche Intensität des Magnetfeldes, zufolge einer magnetischen Feldstärke  $H \rightarrow$ . Die beiden Größen sind im Vakuum über die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  verknüpft. Die magnetische Feldkonstante  $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$  ist ein Maß für die Durchlässigkeit eines Materials für magnetische Felder.
- $B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$
- $B = N / A \cdot m \text{ [T]}$
- $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [Vs / Am]}$
- Materialien unterscheiden sich erheblich bezüglich ihrer relativen Permeabilität. Diamagnetische Stoffe besitzen eine relative Permeabilität zwischen 0 und 1. Ein Supraleiter 1. Art verdrängt ein von außen vorhandenes Magnetfeld vollständig aus seinem Inneren und hat daher  $\mu_r, \text{Supraleiter} = 0$ . Für Wasser und Luft gilt:  $\mu_r, \text{H}_2\text{O} = 0,999991$ ;  $\mu_r, \text{Luft} = 1,000004$ . Für Eisen gilt der Bereich  $\mu_r, \text{Eisen} \approx 300 \dots 10000$ . Für amorphe oder nanokristalline Metalle liegt die relative Permeabilität bei Werten bis einige hunderttausend.

---

## Magnetische Flussdichte B um einen stromdurchflossenen Leiter

- Fließt durch einen unendlich langen geraden Leiter ein Strom der Stärke  $I$ , so ergibt sich der Betrag der magnetischen Flussdichte  $B$  im Abstand  $r$  vom Leiter wie folgt:
- $B = \mu_0 \cdot I / 2 \cdot \pi \cdot r$
- Die Feldlinien des Magnetfeldes verlaufen dabei in konzentrischen Kreisen senkrecht zum stromdurchflossenen Leiter.

•

---

Einem Tesla entspricht jene magnetische Flussdichte, die auf einen 1m langen Leiter der von einem Strom von 1 A durchflossen wird, eine Kraft von 1 N ausübt. 1 T ist eine sehr große Einheit.

[1·T=1·V·s / m<sup>2</sup>=1·N / A·m=1·Wb / m<sup>2</sup>=1·kg / A·s<sup>2</sup>]

- Das Erdmagnetfeld beträgt ca  $4 \cdot 10^{-5} \text{ T} = 40 \mu\text{T}$ .
- **In der Magnetresonanztomographie, einem bildgebenden Verfahren zur Darstellung der Gewebestruktur, erzeugt ein 34 Tonnen Magnet mit 270 Tonnen Eisen zur Abschirmung bis zu 7 Tesla.**

•

---

<https://www.maths2mind.com/schluesselwoerter/magnetische-flussdichte-b-um-einen-stromdurchflossenen-leiter#:~:text=Die%20magnetische%20Feldkonstante%20%CE%BC%20%3D%20%CE%BC,eines%20Materials%20f%C3%BCr%20magnetische%20Felder.>

<https://www.youtube.com/watch?v=Sy7b32q-m1o>