

# 1 Das magnetostatische Feld

## Student Group

First Name	Surname	Matrikel Nr.

## Table of Contents

<b>1 Das magnetostatische Feld</b> .....	3
<b>1.1 Magnetische Erscheinungen</b> .....	3
Ziele .....	3
Effekte um Permanentmagneten .....	3
Merke: .....	5
Effekte um stromdurchflossene Leitungen .....	6
Merke: .....	6
Vergleich von Elektrostatik und Magnetostatik .....	7
<b>1.2 Magnetische Feldstärke</b> .....	7
Ziele .....	7
Simulation und Superposition des magnetostatischen Felds .....	7
Herleitung der magnetischen Feldstärke (Teil 1, über Toroidspule) .....	9
Magnetische Durchflutung .....	9
Herleitung der magnetischen Feldstärke (Teil 2, gerader Leiter) .....	10
Aufgabe 1.2.1 Magnetische Feldstärke um einem lagnen geraden Leiter .....	10
Aufgabe 1.2.2 Superposition .....	10
Achtung: .....	11
Herleitung der magnetischen Feldstärke (Teil 3, Verallgemeinerung) .....	11
Anwendung der verallgemeinerten Form .....	12
ein oder mehrere stromdurchflossene Leiter .....	12
räumlich ausgedehnte Strömung .....	12
Aufgabe 1.2.3 magnetische Spannung .....	12
<b>1.3 Das Ampere'sche Kraftgesetz, magnetische Flussdichte</b> .....	13
Ziele .....	13
<b>1.4 Lorentzkraft</b> .....	13
Ziele .....	14
Video .....	14
<b>1.5 Materie im magnetischen Feld</b> .....	14
Ziele .....	14

---

<b>1.6 Poynting Vektor (nicht Teil des Curriculums)</b> .....	14
<b>Aufgaben</b> .....	16

# 1 Das magnetostatische Feld

## 1.1 Magnetische Erscheinungen

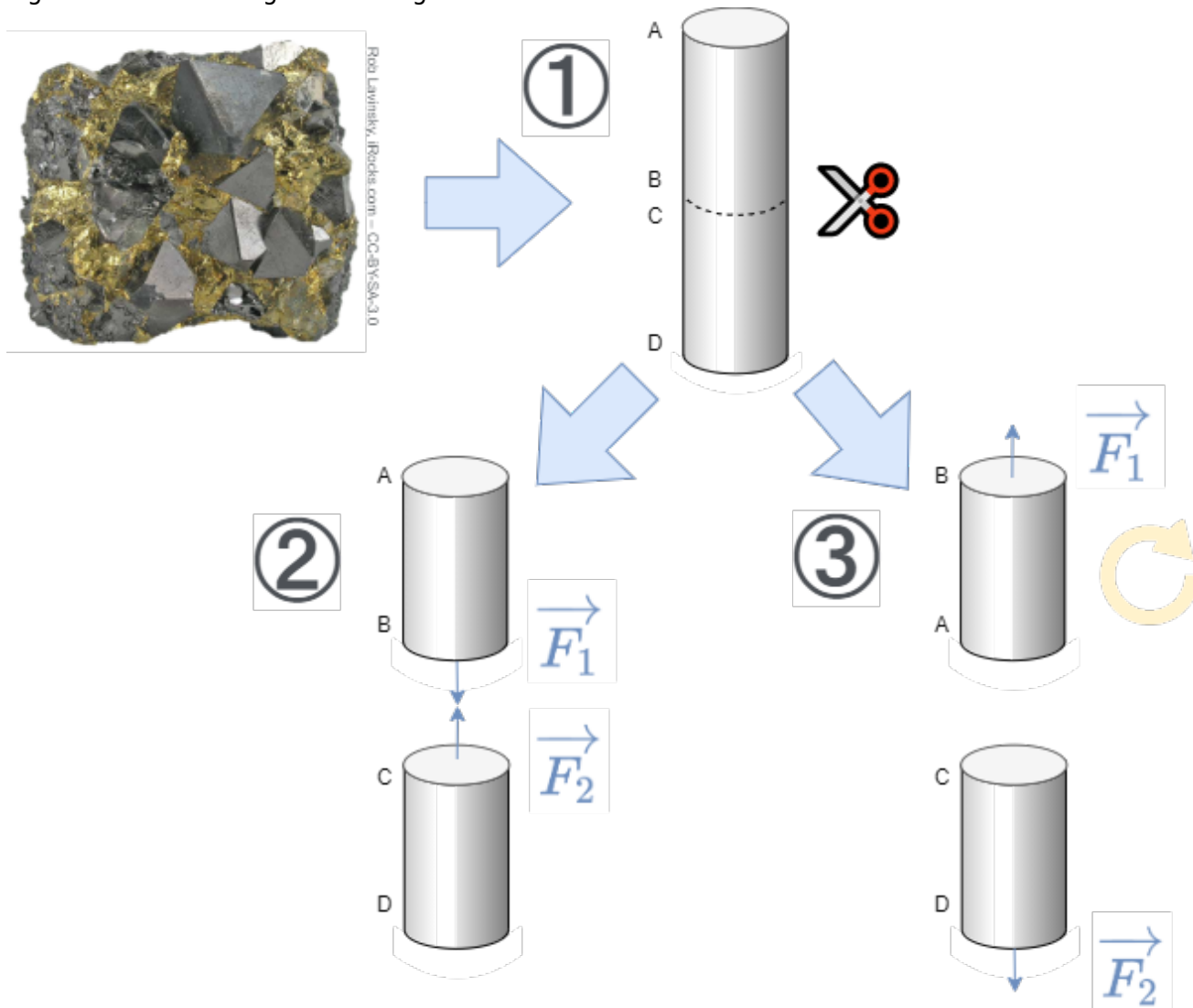
### Ziele

Nach dieser Lektion sollten Sie:

1. wissen, dass zwischen Magnetpolen Kräfte wirken und die Richtung der Kräfte kennen.
2. wissen, dass sich um einen stromdurchflossenen Leiter ein magnetisches Feld bildet.
3. die Feldlinien des magnetischen Feldes skizzieren können. Dabei wissen Sie welche Richtung das Feld hat und wo das Feld am dichtesten ist.

### Effekte um Permanentmagneten

Fig. 1: Erste Näherung an den Magnetismus



Erste Permanentmagnete aus dem Magneteisenstein ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) wurden in Griechenland in der Region um Magnesia gefunden. Neben den Eisenmaterialien zeigen auch andere Elemente eine ähnliche "starke und dauerhafte magnetische Kraftwirkung", die nach dem Eisen auch Ferromagnetismus genannt wird: Auch Kobalt und Nickel, sowie viele deren Legierungen zeigen einen solchen Effekt. In Kapitel [1.5 Materie im magnetischen Feld](#) wird die Unterteilung der magnetischen Materialien detailliert beschrieben.

Hier soll nun die "magnetische Kraftwirkung" näher betrachtet werden. Dazu werden mit einem Magneteisenstein ein paar Gedankenexperimente durchgegangen [figure 1](#) ([Dieses Video](#) gibt eine ähnliche Einführung).

1. Aus dem Eisenerz soll nun zunächst ein handliches längliches Teil abgetrennt werden. Hat man Glück, so ist das gefundene Eisenerz bereits von sich aus magnetisch. Dieser Fall soll im Folgenden betrachtet werden. Das längliche Stück soll nun wiederum in zwei kleine Teile zertrennt werden.
2. Sobald die beiden Stücke von einander entfernt werden, so stellt man fest, dass die zwei Teile sich direkt an der Schnittfläche wieder anziehen.
3. Wird eines der beiden Teile gedreht (im Bild rechts das obere), so wirkt eine abstoßende Kraft auf die beiden Teile.

Es scheint also, als ob es eine gerichtete Kraft jeweils in der Umgebung der beiden Teile gibt. Wenn man etwas tiefer nachforscht wird man herausfinden, dass diese Kraft sich auf einem Teil der Außenfläche fokussiert.

Natürlich kennen Sie bereits Magnete und wissen auch, dass es Pole gibt. Das betrachtete Gedankenexperiment soll verdeutlichen, wie man bei einer unbekanntenen Erscheinung hätte vorgehen können. In weiteren Gedankenexperimenten können solche Magneteisensteine auch in andere Richtungen zerschnitten und die Kräfte analysiert werden.

Das Ergebnis hier ist:

1. Es existieren 2 Pole. Diese werden Nordpol und Südpol genannt. Der **N**ordpol wird **rot**, der **S**üdpol **grün** gefärbt.
2. Gleichnamige Pole stoßen sich ab. Ungleichnamige Pole ziehen sich an. Dies ähnelt dem elektrischen Feld (gegensätzliche Ladungen ziehen sich an).
3. Magnete erfahren also eine Kraft in der Umgebung anderer Magnete.
4. Ein Kompass ist ein kleiner drehend gelagerter "Probe" Magnet und wird auch Magnetnadel genannt. Dieser Probemagnet kann damit die Wirkung eines Magnetes darstellen. Auch dies ähnelt der Probeladung des elektrischen Feldes.
5. Die Namensgebung der Magnetpole geschah durch den Teil des Kompasses, welcher auf den geografischen Nordpol zeigt. Daher rührt, dass am geografischen Nordpol der magnetische Südpol zu finden ist.
6. Magnetpole sind nicht isolierbar. selbst der kleines Bruchteil eines Magneten zeigt entweder keinen Magnetismus, oder sowohl Nord- als auch Südpol.

Fig. 2: Magnetfeld wird durch Eisenspäne sichtbar



Ein interessanter Aspekt ist, dass selbst nicht magnetisierte, ferromagnetische Materialien im Magnetfeld eine Kraftwirkung erfahren. Ein nichtmagnetischer Nagel wird von einem Permanentmagneten angezogen. Dies geschieht sogar unabhängig vom Magnetpol. Hieraus lässt sich auch die Visualisierung über Eisenspäne (= kleine ferromagnetische Teile) erklären, siehe [figure 2](#). Auch hier gibt es eine Kraftwirkung und ein Drehmoment, welches die Eisenspäne ausrichtet. Das sichtbare Feld scheint hier Feldlinien auszubilden.

### Merke:

- Feldlinienbilder lassen sich durch Eisenspäne sichtbar machen. Konzeptionell können diese als eine Aneinanderreihung von Probemagneten verstanden werden.
- Die **Richtung des Magnetfelds** über den Probemagnet definiert: Der Nordpol des Probemagneten zeigt in Richtung des Magnetfelds.
- Der **Betrag des Magnetfelds** ergibt sich durch das Drehmoment welches ein Probemagnet erfährt, der senkrecht zum Feld ausgerichtet ist.
- Feldlinien scheinen sich voneinander abzustößeln (Querdruck). z.B. sichtbar beim Feldaustritt aus dem Permanentmagneten
- Feldlinien versuchen einen möglichst kurzen Weg zurückzulegen (Längszug)



## Effekte um stromdurchflossene Leitungen

Fig. 3: Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter



Christian Ørsted entdeckte 1820 her zufällig während einer Vorlesung, dass auch stromdurchflossene Leiter eine Wirkung auf einen Kompass zeigen. Diese Experiment ist in [figure 3](#) dargestellt. Ein langer, gerader Leiter mit kreisrundem Querschnitt wird mit dem Strom  $I$  durchflossen. Aufgrund von Symmetrieüberlegungen muss das Feldlinienbild radialsymmetrisch zur Leiterachse sein. Durch ein Experiment mit einer Magnetonadel lässt sich zeigen, dass die Feldlinien konzentrische Kreise bilden.

### Merke:

- Wird die technische Stromrichtung betrachtet, so umgeben die magnetischen Feldlinien dem Strom im Sinne einer Rechtsschraube. ("Rechtsschraubenregel")
- Diese Regel lässt sich auch auf eine andere Art merken: Zeigt der Daumen der rechten Hand in die (technische) Stromrichtung, so umgeben die Finger der Hand den Leiter wie die magnetischen Feldlinien. Ebenso gilbt, wenn der Daumen der linken Hand in die Elektronenflussrichtung zeigt, umgeben die Finger der Hand den Leiter wie die magnetischen Feldlinien.

## Vergleich von Elektrostatik und Magnetostatik

Eigenschaft	Elektrostatik	Magnetostatik
Feldlinienbilder	Fig. 4: Elektrostatische Feldlinien 	Fig. 5: Magnetostatische Feldlinien 
Probe für das Feld	positive Probeladung	Kompass
Feldlinien	- beginnen auf einer positiven Ladung - enden auf einer negativen Ladung	- sind geschlossen - haben kein Anfang und kein Ende
Feldlinienenden	Es gibt Quellen und Senken	es gibt <u>keine</u> Quellen und Senken
Feldtyp	wirbelfreies <b>Quellenfeld</b>	quellenfreies <b>Wirbelfeld</b>

## 1.2 Magnetische Feldstärke

### Ziele

Nach dieser Lektion sollten Sie:

1. die beiden feldbeschreibenden Größen des magnetischen Feldes kennen.
2. in der Lage sein, den Zusammenhang dieser beiden Größen zu beschreiben und anzuwenden.

## Simulation und Superposition des magnetostatischen Felds

Überlagerung magnetischer Felder (nur bis 04:08)



Bevor die magnetische Feldstärke genauer betrachtet werden soll, wird hier auf die Simulation und Superposition des magnetischen Felds näher betrachtet werden.

Magnetostatische Felder lassen sich superponieren, wie elektrostatische Felder auch. Dadurch lassen sich die Felder von mehreren stromdurchflossenen Leitungen zu einem einzigen zusammenfassen. Dieser Trick wird im folgenden Kapitel genutzt, um das Magnetfeld näher zu untersuchen.

Rechts ist das magnetische Feld eines einzelnen stromdurchflossenen Leiters dargestellt. Diese wurde bereits schon im vorherigen Kapitel durch Symmetriebetrachtungen hergeleitet. Die Darstellung in der Simulation kann hier etwas vereinfacht werden, um die Gegebenheiten deutlicher zu sehen: Aktuell sind die Feldlinien in 3D dargestellt, was durch die Auswahl von "Display: Field Lines" und "No Slicing" geschieht. Wenn Sie statt "No Slicing" die Auswahl auf "Show Z Slice" stellen, so kann in eine 2D Darstellung gewechselt werden. In dieser können auch kleine Kompassnadeln das Magnetfeld darstellen. Wählen Sie dazu "Display: Field Vectors" statt "Display: Field Lines". Zudem ist in der 2D-Darstellung am Mauszeiger eine "Magnetprobe", also eine beweglicher Kompass zu finden.

Liegt nun ein weiterer stromdurchflossener Leiter in der Nähe des ersten Leiters, so überlagern sich die Felder. In der Simulation rechts ist der Strom beider Leiter in die gleiche Richtung gerichtet. Das Feld zwischen den Leitern überlagert sich gerade so, dass es sich abschwächt. Dies lässt sich auch durch die bisherigen Kenntnisse herleiten, wenn gerade der Mittelpunkt zwischen beiden Leitern betrachtet wird: Dort ergibt die rechte Hand-Regel für den linken Leiter einen Vektor, der zum Betrachter hinwärts gerichtet ist. Für den rechten Leiter ergibt sich ein Vektor der vom Betrachter wegwärts gerichtet ist. Diese heben sich gerade auf. Weiter außenliegende Feldlinien führen um beide Leiter herum. Nord- und Südpol ist hier nach außen nicht fest lokalisiert.

Wenn hingegen der Strom des zweiten Leiters gerade entgegen des Stroms im ersten Leiter gerichtet ist, ändert sich das Bild: Hier ergibt sich eine verstärkende Überlagerung zwischen den beiden Leitern. Mit der Nomenklatur aus dem vorherigen Kapitel ist es hier auch möglich Nord- und Südpol lokal zu zu

ordnen. Nach außen erscheint ein Pol vor den beiden Leitern lokalisiert zu sein und ein weiterer dahinter.

in den beiden Simulationen lassen sich auch die Abstände der Leiter über den Slider "Line Separation" verändern. Was stellen Sie jeweils fest, wenn beide Linien nahe aneinander gebracht werden?

## Herleitung der magnetischen Feldstärke (Teil 1, über Toroidspule)

Fig. 6: Magnetfeld in einer Toroidspule

Bisher wurde das Magnetfeld recht pragmatisch durch die Wirkung auf einen Kompass definiert. Für eine tiefere Analyse des Magnetfeldes soll das Feld nun wieder - wie beim elektrischen Feld - aus zwei Richtungen betrachtet werden. Auch das Magnetfeld wird als ein "Verursacherfeld" (ein von Magnete erzeugtes Feld) und ein "wirkendes Feld" (Feld wirkt auf einen Magneten). In diesem Kapitel wird zunächst auf das magnetische Wirkfeld eingegangen. Für diese bietet sich die Betrachtung der Effekte im Inneren einer Ringspule (= Toroidspule) an. Diese ist in [figure 6](#) zu sehen. Aus Symmetriegründen ist auch hier klar, dass die Feldlinien sich als konzentrische Kreise ausbilden.

In einem Experiment soll nun eine Magnetnadel im Inneren der Ringspule rechtwinklig zu den Feldlinien ausgerichtet werden. Dann wird das Magnetfeld ein Drehmoment erzeugen, welches die Magnetnadel in die Feldrichtung auszurichten versucht.

Es ergibt sich nun:

1.  $M \neq M(\phi)$  : Bei gleichem Abstand von der Symmetrieachse ist das Drehmoment  $M$  unabhängig vom Winkel  $\phi$ .
2.  $M \sim I$  : Je stärker der durch eine Wicklung fließende Strom, desto stärker die Wirkung, d.h. desto stärker das Drehmoment.
3.  $M \sim N$  : Je größer die Anzahl  $N$  der Wicklungen, desto stärker das Drehmoment  $M$ .
4.  $M \sim \frac{1}{l}$  : Je kleiner der mittlere Spulenumfang  $l$  desto größer das Drehmoment. Der mittlere Spulenumfang  $l$  gleicht der Feldlinienlänge.

Zusammengefasst wird daraus: 
$$M \sim \left\{ \frac{l \cdot N}{l} \right\}$$

Die **magnetische Feldstärke**  $H$  im Innern der Ringspule wird angegeben als: 
$$H = \left\{ \frac{l \cdot N}{l} \right\} \quad \text{gilt nur für die Toroidspule}$$

Als Einheit der **magnetische Feldstärke**  $H$  ergibt sich  $[H] = \frac{[I]}{[l]} = \frac{1 \text{ A}}{1 \text{ m}}$

## Magnetische Durchflutung

Die Ursache des magnetischen Feldes ist der Strom in der Windung der Spule. Wird dieser Strom  $I$  und/oder die Anzahl  $N$  der Wicklungen erhöht, so verstärkt sich die Wirkung. Um dies leichter handzuhaben, wird die **magnetische Durchflutung** eingeführt. Die magnetische Durchflutung  $\theta$  ist definiert als

$$\theta = N \cdot I$$
 Die Einheit von  $\theta$  ist:  $[\theta] = 1 \text{ A}$  (veraltet auch Amperewicklung genannt).

Damit ergibt sich die magnetische Feldstärke  $H$  der Toroidspule zu:  $H = \frac{\theta}{l}$

## Herleitung der magnetischen Feldstärke (Teil 2, gerader Leiter)

Die bisherigen Herleitung von der Toroidspule soll nun genutzt werden, um die Feldstärke um einen langen, geraden Leiter herzuleiten. Die Durchflutung  $\theta$  bei einem einzelnen Leiter ergibt sich als  $\theta = N \cdot I = 1 \cdot I = I$ . Bei der Toroidspule ergab sich die magnetische Feldstärke durch Durchflutung  $\theta$  geteilt durch die (mittlere) Feldlinienlänge. Aufgrund der (gleichen Rotations-)Symmetrie gilt dies auch für den einzelnen Leiter.

Die Länge einer Feldlinie um den Leiter ist gegeben durch den Abstand  $r$  der Feldlinie vom Leiter:  $l(r) = 2 \cdot \pi \cdot r$ .

Für die magnetische Feldstärke des einzelnen Leiter ergibt sich dann: 
$$H = \frac{\theta}{l} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad | \quad \text{gilt nur für die den langen, geraden Leiter}$$

### Aufgabe 1.2.1 Magnetische Feldstärke um einem langen geraden Leiter

In einem langen geraden Leiter mit rundem Querschnitt fließt der Strom  $I = 100\text{A}$ . Der Radius des Leiters beträgt  $r_L = 4\text{mm}$

- Wie groß ist die magnetische Feldstärke  $H_1$  an einem Punkt  $P_1$ , welcher sich außerhalb des Leiters im Abstand von  $r_1 = 10\text{cm}$  von der Leiterachse befindet?
- Wie groß ist die magnetische Feldstärke  $H_2$  an einem Punkt  $P_2$ , welcher sich innerhalb des Leiters im Abstand von  $r_2 = 3\text{mm}$  von der Leiterachse befindet?

### Aufgabe 1.2.2 Superposition

Fig. 1: Anordnung der Leiter



Drei lange gerade Leiter sind im Vakuum so angeordnet, dass sie an den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks liegen (siehe [figure 1](#)). Der Radius des Umkreises ist  $r = 2\text{ cm}$ .

Wie groß ist die magnetische Feldstärke  $H$  im Mittelpunkt des gleichseitigen Dreiecks?

Beim elektrischen Feld war die Feldliniendichte ein Maß für die Stärke des Feldes. Dies wird auch beim magnetischen Feld genutzt. Betrachtet man mit diesem Verständnis die Simulationen in Falstad (unten links), so stellt man eine Ungereimtheit fest: Im Gegensatz zur gerade angegebenen Beziehung, zeigt die Feldliniendichte in der Falstad-Simulation **nicht** die Stärke des Feldes an. Unten rechts ist im Vergleich eine realitätsnahe Simulation dargestellt, die den Unterschied deutlich macht: in der Nähe des Leiters ist das Feld stärker. Damit muss dort auch die Feldliniendichte auch stärker

sein.

### Achtung:

- Die Dichte der Feldlinien ist ein Maß für die Feldstärke.
- Die Simulation in Falstad kann dies so nicht abbilden. Hier ist die Feldstärke durch die Farbintensität codiert (dunkelgrün = geringe Feldstärke, hellgrün bis weiß = hohe Feldstärke)

## Herleitung der magnetischen Feldstärke (Teil 3, Verallgemeinerung)

Bisher konnten nur rotationssymmetrische Probleme gelöst werden. Nun soll dies verallgemeinert werden. Dazu soll nochmal ein Blick zurück auf das elektrische Feld geworfen werden. Für die elektrische Feldstärke  $E$  eines Kondensator mit zwei Platten im Abstand von  $s$  und der Potentialdifferenz  $U$  gilt:

$$U = E \cdot s \quad | \quad \text{gilt nur für den Kondensator}$$

Dies wurde auf  $U = \int_s E \, ds$  erweitert. Formt man zum Vergleich die Formel zur magnetischen Feldstärke  $H$  einer Toroidspule mit der mittleren Feldlinienlänge  $l$  um, so ergibt sich

$$\theta = H \cdot l \quad | \quad \text{gilt nur für die Toroidspule}$$

Erkennen Sie die Ähnlichkeiten? Auch hier wird der Betrag der Feldstärke mit der Länge multipliziert, um auf eine weitere feldbeschreibende Größe (hier die Durchflutung  $\theta$ ) zu gelangen. Aufgrund der Ähnlichkeit - die sich im Folgenden noch weiter zieht - wird die sogenannte **magnetische (Umlauf)Spannung  $V_m$**  eingeführt:

$$V_m = H \cdot s \quad | \quad \text{gilt nur für die Toroidspule}$$

Was ist nun der Unterschied zwischen der magnetischen Spannung  $V_m$  und der Durchflutung  $\theta$ ?

1. Die erste Gleichung der Toroidspule ( $\theta = H \cdot l$ ) gilt für einen Umlauf entlang einer Feldlinie. Zusätzlich ist die Durchflutung fest durch Strom und Anzahl der Wicklungen gegeben:  $\theta = N \cdot I$ .
2. Die zweite Gleichung ( $V_m = H \cdot s$ ) gilt unabhängig von der Weglänge  $s$  entlang der Feldlinie. Wird gerade  $s = l$  gewählt, so gleicht die magnetische Spannung der magnetischen Durchflutung.

Damit kann für jeden infinitesimal kleinen Weg  $ds$  entlang einer Feldlinie die entstandene, infinitesimal kleine magnetische Spannung  $dV_m = H \cdot ds$  ermittelt werden. Ändert sich nun entlang der Feldlinie die magnetische Feldstärke  $H = H(\vec{s})$ , so ergibt sich die magnetische Spannung von Punkt  $\vec{s}_1$  nach Punkt  $\vec{s}_2$  zu:

$$\begin{aligned} V_{m12} &= V_m(\vec{s}_1, \vec{s}_2) = \int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} H(\vec{s}) ds \\ \end{aligned}$$

Bisher wurde nur die Situation betrachtet, dass man immer entlang der gleichen Feldlinie läuft.  $\vec{s}$  kam hier also immer auf der gleichen Feldlinie an. Will man dies noch erweitern auf beliebige Richtungen (also auch quer zu Feldlinien), so darf jeweils nur der Teil der magnetischen Feldstärke  $H$  in der Formel genutzt werden, welcher parallel zum Wegstück  $d\vec{s}$  ist. Dies wird über die Skalarmultiplikation ermöglicht. Es gilt also allgemein:

$$\boxed{V_{m12} = \int_{\vec{s}_1}^{\vec{s}_2} \vec{H} \cdot d\vec{s}}$$

- geschlossenes Ringintegral damit  $V_m = \theta$

## Anwendung der verallgemeinerten Form

### ein oder mehrere stromdurchflossene Leiter

- Überprüfung der Gleichung für einzelnen Leiter
- Bei mehreren gilt  $\theta = \sum I$
- Knotensatz
- grafische Beispiele für magn. Spannung pro Umlauf

### räumlich ausgedehnte Strömung

- Rechtsschraube zwischen  $d\vec{s}$  und  $d\vec{a}$

## Aufgabe 1.2.3 magnetische Spannung

Fig. 8: verschiedene Trajektorien um stromdurchflossene Leiter



Gegeben sind nebenstehende, geschlossene Trajektorien im magnetischen Feld von stromdurchflossenen Leitern (siehe [figure 8](#)). Dabei soll gelten:  $I_1 = 2A$  und  $I_2 = 4,5A$ .

Gesucht ist jeweils die magnetische Spannung  $V_m$  entlang des eingezeichneten Wegs.

## 1.3 Das Ampere'sche Kraftgesetz, magnetische Flussdichte

### Ziele

Nach dieser Lektion sollten Sie:

1. das Kraftgesetz für stromdurchflossene Leiter kennen.
2. die Richtung der Kräfte anhand gegebener Stromrichtungen und gegebenenfalls Flussdichte bestimmen können.
3. die wirkenden Kraftvektoren in einer Skizze darstellen können.
4. in der Lage sein, einen Kraftvektor durch Überlagerung mehrerer Kraftvektoren mit Hilfe der Vektorrechnung zu bestimmen
5. in der Lage sein, für einen Kraftvektor folgende Größen anzugeben:
  1. Kraftvektor in Koordinatendarstellung
  2. Betrag des Kraftvektors
  3. Winkel des Kraftvektors



Bitte sehen Sie sich auf der Seite des [KIT-Brückenkurs >> 4.2.2 Magnetisches Feld](#) die Inhalte (Text, Videos, Übungen) an. Achten Sie darauf, dass in der Auswahlleiste oben "Gesamt" ausgewählt wurde. Der letzte Teil zu "Magnetfeld mit Materie" kann übersprungen werden - dieser kommt erst in 2-3 Terminen.

$$\begin{align*} F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r} \cdot l \end{align*}$$

Mit:

- Leiterlänge  $l$
- Abstand der Leiter  $r$
- Ströme durch die Leiter  $I_1$  und  $I_2$
- Vakuumpemreabilität  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

## 1.4 Lorentzkraft

## Ziele

Nach dieser Lektion sollten Sie:

1. in der Lage sein, bei Vorgabe mehrerer stromdurchflossener Leiter die Vektoren der magnetischen Flussdichte in einer Skizze darzustellen.
2. durch Überlagerung mehrerer Vektoren mit Hilfe der Vektorrechnung den resultierenden Vektor der magnetischen Flussdichte bestimmen können.
3. durch Anwendung des Kraftgesetzes für stromdurchflossene Leiter im magnetischen Feld die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem magnetostatischen Feld bestimmen können:
  1. Kraftvektor in Koordinatendarstellung
  2. Betrag des Kraftvektors
  3. Winkel des Kraftvektors

## Video

Bitte sehen Sie sich auf der Seite des [KIT-Brückenkurs >> 4.2.3 Lorentz-Kraft](#) die Inhalte (Text, Videos, Übungen) an. Achten Sie darauf, dass in der Auswahlleiste oben "Gesamt" ausgewählt wurde. Der letzte Teil zu "Magnetfeld mit Materie" kann übersprungen werden.

## 1.5 Materie im magnetischen Feld

### Ziele

Nach dieser Lektion sollten Sie:

1. die beiden feldbeschreibenden Größen des magnetostatischen Feldes kennen.
2. in der Lage sein, den Zusammenhang dieser beiden Größen über das Materialgesetz zu beschreiben und anzuwenden.
3. die Einteilung der magnetischen Werkstoffe kennen.
4. in der Lage sein, aus einer Magnetisierungskennlinie die relevanten Daten abzulesen

## 1.6 Poynting Vektor (nicht Teil des Curriculums)

- Anschauliches Bild des Poynting-Vektors entlang eines Stromkreises:  
<https://de.cleanpng.com/png-jyy1vj/>
- Gute Erklärung des Energieflusses über ein Strom-Modell:  
<https://www.forphys.de/Website/elekt/stromodl.html>
- Sehr ausführliche Betrachtung des Energieflusses im Stromkreis:  
<http://www.didaktik.physik.uni-duisburg-essen.de/~backhaus/publicat/Energie.pdf>

Kraftwirkung auf dia- und paramagnetische Stoffe im Magnetfeld



Ein lebendiger Frosch ("Diamagnet") schwebt in einem sehr starken Magnetfeld



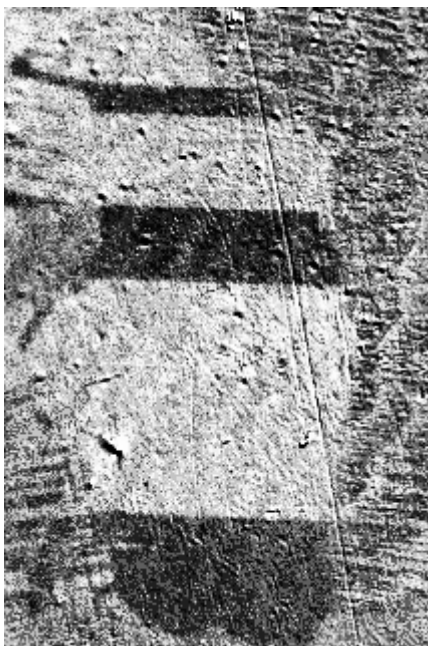
Erklärung der Hysteresekurve



Schöne Darstellung von Magnetisierung und Entmagnetisierung von weichmagnetischen Material



Wandernde magnetische Domänen in einem ferromagnetischen Material (von [Zureks@en.wikipedia.org](mailto:Zureks@en.wikipedia.org) unter [CC-BY-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/))



## Aufgaben

### Aufgabe 1

1. Mit welcher Hand lässt sich aus Strömen die Magnetfeldrichtung herleiten?

[Tipp zu 1](#)

- Die rechte Hand
- Die linke Hand

Bei **St**romfluss nutzt man welche Hand?

2. Wie sind bei der Herleitung aus 1. die Finger zuzuordnen?

[Tipp zu 2](#)

- Daumen für Stromrichtung, restliche Finger für Magnetfeldrichtung
- Daumen für Magnetfeldrichtung, restliche Finger für Stromrichtung
- beide Möglichkeiten sind richtig
- Stellen Sie sich eine Spule mit einer Wicklung bildlich vor, oder malen Sie es auf.
- Nun denken Sie sich ein erzeugtes Feld

3. Zwei stromdurchflossene Leiter liegen parallel und nahe beieinander. Der Strom in beiden fließt in die gleiche Richtung. Welche Kraftwirkung ist zu sehen?

- keine
- Die Leiter ziehen sich an
- Die Leiter stoßen sich ab

4. Zwei stromdurchflossene Leiter liegen rechtwinklig aufeinander. Durch beide fließt Strom. Welche Kraftwirkung ist zu sehen?

- keine
- Die Leiter ziehen sich an
- Die Leiter stoßen sich ab

5. Wie verläuft das Magnetfeld im Inneren der Erde bzw. eines Permanentmagneten?

- vom magnetischen Nordpol zum Südpol
- vom magnetischen Südpol zum Nordpol
- das Innere ist feldfrei

6. An welchem Ort einer stromdurchflossenen Spule sind die Feldlinien am dichtesten?

- am magnetischen Nordpol
- am magnetischen Südpol
- im Inneren der Spule
- an beiden Polen

Check Answers

You Scored % - /

durch diese dazu. Welche Richtung muss der verursachende Strom haben? Passt dies zur Faustregel?

- Im Anschluss versuchen sie es andersherum: Wenn ein Strom gegeben ist, wo gehen dann die Feldlinien hinein und wo heraus? Welche Pole entstehen dort?

[Tipp zu 3](#)

Siehe 3. Video

- Stellen Sie sich die beiden Drähte bildlich vor, oder malen Sie es auf.
- In welche Richtung würde das äußere Feld jeweils laufen?
- Das Feld ist ein lineares Vektorfeld. Aus mehreren Einzelfeldern kann also durch Addition das Gesamtfeld erzeugt werden. Wird die Addition des Feldes dazwischen größer, oder kleiner?

[Tipp zu 4](#)

- Stellen Sie sich zunächst nochmal die parallelen Drähte vor. Was passiert bei gleich und was bei entgegen gerichteten Stromfluss? Sind die entstehenden Kräfte betragsmäßig gleich?
- Die Stromrichtungsumkehr kann man nun auch statt durch ändern des Stroms durch Drehen des Drahtes erzeugen - gerade so, dass beim Drehen zwischenzeitlich die Drähte senkrecht aufeinander liegen.
- Wenn nun bei parallelen Drähten und unterschiedlicher Stromrichtung die betragsmäßig gleiche Kraft entsteht, so ist dies auch bei jedem Winkel dazwischen (Ausführlich über Integration der Kraft über einzelne Drahtstücke).
- Dann muss es aber einen Punkt geben bei der die Kraft 0 wird.

[Tipp zu 5](#)

- Die magnetischen Feldlinien müssen geschlossen sein.

- Vergleichen Sie den Feldverlauf zwischen Spule und Permanentmagnet.

### Tipp zu 6

- Im Video 1 ist der Verlauf außerhalb und innerhalb der Spule zu sehen.

### Referenzen zu den genutzten Medien

Element	Lizenz	Link
figure 1	CC-BY-SA 3.0	<a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetit#/media/Datei:Chalcopyrite-Magnetite-cktsr-10c.jpg">https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetit#/media/Datei:Chalcopyrite-Magnetite-cktsr-10c.jpg</a>
figure 2	Public Domain	<a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnetic_field_of_bar_magnets_attracting.png">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Magnetic_field_of_bar_magnets_attracting.png</a>
figure 5	CC-BY-SA 3.0	<a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VFpt_Solenoid_correct.svg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VFpt_Solenoid_correct.svg</a>

From:

<https://first.mexle.te.hs-heilbronn.de/> - **MEXLE Wiki**

Permanent link:

[https://first.mexle.te.hs-heilbronn.de/elektrotechnik\\_2/das\\_magnetostatische\\_feld](https://first.mexle.te.hs-heilbronn.de/elektrotechnik_2/das_magnetostatische_feld)

Last update: **2023/09/19 23:01**

