



Magnetismus

Alexander Kraus, Lisa Heinschild, Vanessa Schimpf, SS 19

Gliederung

1	Ursprung des Erd-Magnetfeldes.....	2
2	Magnetische Feld-Linien	3
2.1	Feld-Linien eines Permanent-Magneten.....	3
2.2	Feld-Linien eines stromdurchflossenen Leiters	4
2.3	Feld-Linien einer stromdurchflossenen Spule	4
3	Magnetische Feld-Stärke und Fluss-Dichte.....	5
4	Magnetisches Moment	5
5	Körper im Magnet-Feld.....	6
6	Anwendungsbeispiel.....	7

Einstieg 1: *Es sind Semester-Ferien. Du unternimmst mit deinen Freunden eine Kanu-Tour nach Schweden. Glücklicherweise habt ihr eine Karte dabei, nach der ihr euch orientieren könnt. Mitten in der Nacht zieht ein Unwetter herauf. Ihr kämpft euch durch die Wellen und landet auf einer einsamen Insel im See. Am nächsten Morgen wollt ihr eure Tour fortsetzen. Aber in welche Richtung? Auf die Sonne ist dank der Wolken-Wand kein Verlass.*

Was tun? Du stellst dich grübelnd hin und steckst die Hände in die Hosen-Taschen.

„Aua!“, eine Nähnadel hat dich in den Finger geiekt. „Nadel?!“, wie wäre es mit einer Kompass-Nadel?

Du holst als Chemiker deine Petrischale aus der Tasche, füllst sie mit Wasser und legst die Nadel schwimmend darauf, was sich leider als Fehl-Versuch entpuppt.

Doch auf deinen Beifahrer ist Verlass: Er geht als Physik-Student glücklicherweise nie ohne Magnet aus dem Haus... Und die Weiterfahrt ist gerettet!

Experiment: *Bau einer Kompass-Nadel*

Material:

- | | |
|---------------|------------------------------|
| • Petrischale | • Wasser |
| • Nähnadel | • Abgeschnittener Kork-Boden |
| • Magnet | |

Durchführung: *Die Petrischale wird mit Wasser befüllt und der abgeschnittene Kork-Boden auf die Wasser-Oberfläche gesetzt. Die Nähnadel wird einmal ohne vorherigen Kontakt mit einem Magneten auf den Kork-Boden gesetzt und ein zweites Mal, nachdem die Nadel den Magneten berührt hat. Die Petrischale wird jeweils gedreht.*

Beobachtung: Beim ersten Durchgang (ohne Kontakt mit dem Magneten) bewegt sich die Nadel mit. Beim zweiten Durchgang (nach Kontakt mit dem Magneten) ist das Einwirken einer Kraft auf die Nadel erkennbar: Sie zeigt trotz Bewegung immer in die gleiche Richtung.

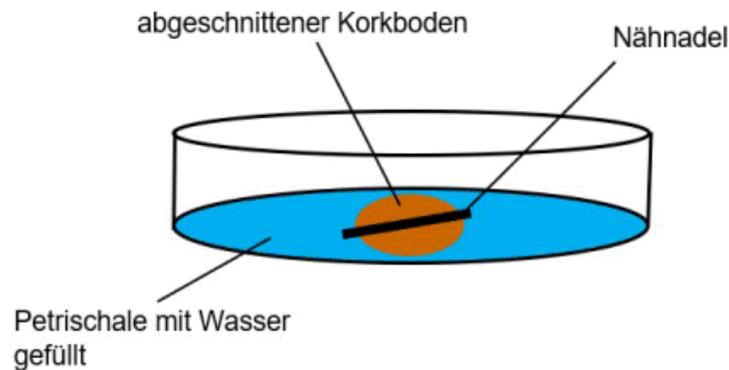


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Kompass-Nadel

Ziel: Verständnis von magnetischen Eigenschaften. Hierbei wird auf folgende Aspekte eingegangen:

1. Ausrichtung der Kompass-Nadel
2. Beeinflussung der Ausrichtung der Kompass-Nadel durch physikalische Kräfte

Einführung 2: Magnete faszinieren seit Tausenden von Jahren die Welt. Die Erkenntnis, dass sich Splitter von Magnet-Eisenstein in Nord-Süd-richtung drehen, war in Europa seit der griechischen Antike bekannt. Auch die Chinesen machten sich bereits von über 2.000 Jahren die magnetischen Eigenschaften des Magneteisensteins zu Nutze. Ein solcher schwarzer, temperaturbeständiger Stein, auch Magnetit genannt, ist ein oxidisches Erz, welches über 70% Eisen enthält. Der Magneteisenstein wurde ab dem 11. Jahrhundert von den chinesischen See-Fahrern zur Herstellung von Richtungsweisern, den sogenannten Südweisern, verwendet. Der Südweiser richtete sich, wie sein Name schon sagt, immer nach Süden aus. Auch in Europa gab es 100 Jahre später den „nassen Kompass“. Dies war eine magnetisierte schwimmende Nadel und wurde von den See-Fahrern zur Orientierung und Richtungsweisung bei Nebel auf hoher See verwendet. Im folgenden Vortrag wird nun geklärt, welches Phänomen für die Ausrichtung der Kompass-Nadel verantwortlich ist und was Magnete auszeichnet.

1 Ursprung des Erd-Magnetfeldes

Schon seit dem Mittelalter war bekannt, dass sich frei bewegliche Magnet-Nadeln auf der Erde in Nord-Süd-Richtung ausrichten. Die Navigation wurde mit der Erfindung des Kompasses erheblich erleichtert. Grund für die Ausrichtung der Nadel ist ein Magnet-Feld.

Jede sich bewegende Ladung verursacht ein magnetisches Feld. Da im Erd-Kern die Curie-Temperatur der Minerale überschritten wird, können keine Festkörper das Erd-Magnetfeld erzeugen. Der feste innere Erd-Kern kann also nicht der Ursprung des Erd-Magnetfeldes sein. Damit das Erd-Magnetfeld entstehen kann, braucht man eine große Menge einer elektrisch leitenden Flüssigkeit. Dies ist im flüssigen äußeren Erd-Kern gegeben, der unter anderem aus eisenhaltigen Verbindungen besteht. Durch die dort herrschenden Strömungen wird Materie und somit auch Ladung transportiert. Daraus resultiert das Erd-Magnetfeld.

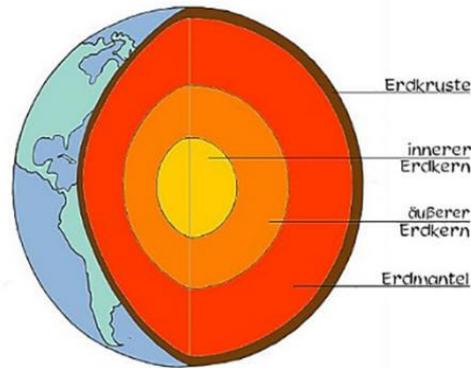


Abb. 2: Der Schalen-Bau der Erde [2]

2 Magnetische Feld-Linien

2.1 Feld-Linien eines Permanent-Magneten

Zur Frage: Warum dreht sich die Nadel?

Auf der Erde entstehen durch das Erd-Magnetfeld magnetische Kräfte. Diese Kräfte werden durch Feld-Linien veranschaulicht, die über folgende Eigenschaften definiert sind:

- Feld-Linien sind immer in sich geschlossen
- Feld-Linien verlaufen vom Nord- zum Süd-Pol und geben dabei die Kraft-Wirkung an, die ein Nord-Pol erfährt
- Feld-Linien schneiden sich nicht. Damit ist die Kraft-Wirkung auf einen Nord-Pol eindeutig.
- Umso höher die Feldlinien-Dichte ist, desto stärker ist das Magnet-Feld

Experiment: Visualisierung von Feld-Linien

Material:

- Deckel eines Marmeladen-Glases
- Speise-Öl
- Eisen-Späne
- Stab-Magnet

Durchführung: Eisen-Späne und Speise-Öl werden in den Deckel des Marmeladen-Glases gegeben. Durch Bewegung werden die Eisen-Späne gleichmäßig verteilt. Der Magnet wird von der Unterseite an den Deckel bewegt.

Beobachtung: Die Eisen-Späne ordnen sich in Mustern (s. Abb. 3) an.

Interpretation: Die Eisen-Späne sind kleine Magneten, die sich im Magnet-Feld anlagern. Sie visualisieren so die Feld-Linien, die den Magneten umgeben. Über die Eisen-span-Dichte lassen sich demnach Rückschlüsse auf die Stärke des Magnet-Feldes ziehen.



Abb. 3: Feldlinien-Versuch: Eisen-Späne in Öl [2]

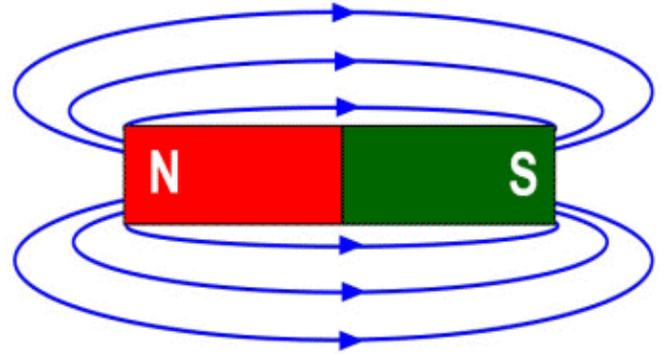


Abb. 4: Feld-Linien eines Permanent-Magneten [geändert nach 3]

2.2 Feld-Linien eines stromdurchflossenen Leiters

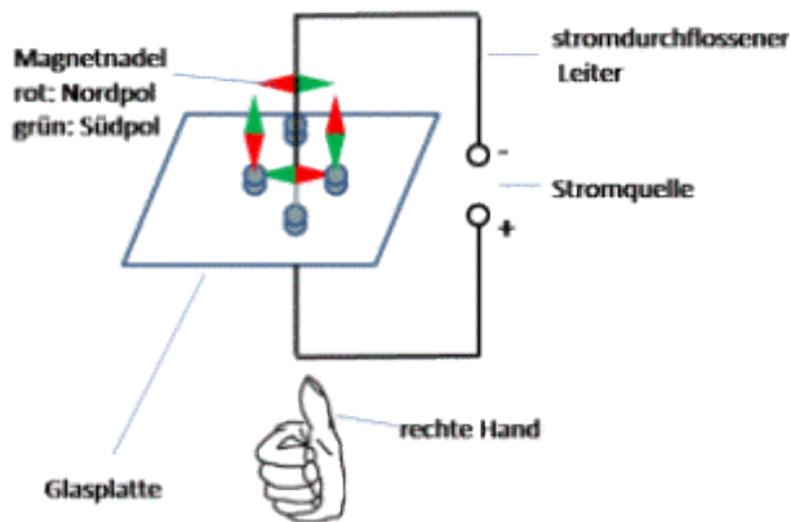


Abb. 5: Versuchsaufbau zum stromdurchflossenen Leiter

In der Umgebung jedes stromdurchflossenen Leiters befindet sich ein Magnet-Feld. Die Feld-Linien sind konzentrische Kreise, die senkrecht zum Leiter verlaufen.

Rechte-Hand-Regel: denkt man sich den stromdurchflossenen Leiter mit der rechten Hand umfasst, dass der abgespreizte Daumen in die technische Strom-Richtung (vom Plus- zum Minus-Pol) zeigt, dann geben die übrigen Finger den Verlauf der Feld-Linien an.

Versuchsbeschreibung: Auf einem Tageslicht-Projektor wird eine Glas-Platte befestigt. Durch ein Loch in der Glas-Platte wird ein dicker Eisen-Draht geführt und mit einer Strom-Quelle verbunden. Wenn Strom durch den Eisen-Draht fließt, ordnen sich die Magnet-Nadeln auf der Glas-Platte nach der Rechten-Hand-Regel an.

2.3 Feld-Linien einer stromdurchflossenen Spule

Wenn ein Leiter zu einer kreisförmigen Schleife gedreht wird und mehrere dieser Schleifen hintereinander angeordnet sind, entsteht eine Spule. Bei Stromfluss entsteht ein Magnet-Feld, das nach außen mit dem eines Dauer-Magneten übereinstimmt, im Inneren jedoch weitgehend homogen ist.

Merk-Regel für das Magnet-Feld: Schaut man auf ein Spulen-Ende und wird dieses im Uhrzeiger-Sinn von Strom durchflossen (technische Strom-Richtung), ist dort der Süd-Pol.

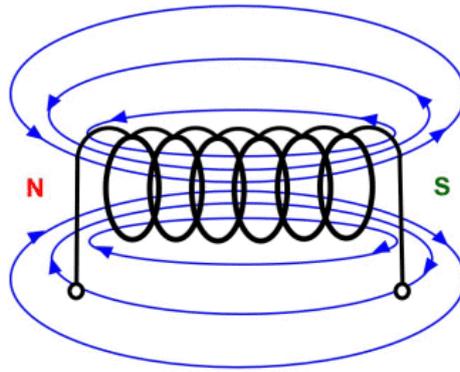


Abb. 6: Feld-Linien einer stromdurchflossenen Spule

3 Magnetische Feld-Stärke und Fluss-Dichte

Wie kann man die Stärke eines magnetischen Feldes bestimmen?

Dazu ein Gedanken-Experiment: Mit Hilfe eines Magnetometers wird die Stärke des Magnet-Feldes im inneren einer Spule gemessen.

Folgende Versuche werden durchgeführt:

- Man verstärkt die Strom-Stärke „I“ des Spulen-Stromes
Man findet: Stärke des Magnet-Feldes $\sim I$
- Man ändert die Zahl der Windungen „N“ der Spule
Man findet: Stärke des Magnet-Feldes $\sim N$
- Man ändert die Spulen-Länge „l“
Man findet: Stärke des Magnet-Feldes $\sim 1/l$

Daraus ergibt sich die Formel für die magnetische Feld-Stärke „H“:

$$\vec{H} = \frac{I * N}{R} ; \vec{H} \left[\frac{A}{m} \right]$$

Für die Stärke des Magnet-Feldes wird meist die Größe der magnetischen Fluss-Dichte herangezogen:

$$\vec{B} = \mu * \vec{H} ; \vec{B} \left[\frac{V * s}{m^2} = T \right]$$

T= Tesla

μ = magnetische Permeabilität

Beispiele für Größen der Fluss-Dichte:

Erd-Magnetfeld:

- 50. Breitengrad: 0,000048 T
- Äquator: 0,000031 T (rund 1% eines Hufeisen-Magneten)
- NMR-Gerät mit Supraleiter: bis zu 21 T

4 Magnetisches Moment

Zur Frage: Welche physikalischen Kräfte stecken hinter dem Drehen?

Das magnetische Moment ist Maß für die Stärke des Dipols. Man kann eine Analogie zum Drehmoment ($M = F * a$, $F =$ angreifende Kraft, $a =$ Hebel-Arm) feststellen. Beim Magneten entspricht die angreifende Kraft der Pol-Stärke und der Hebel-arm der Länge des

Magneten. Folglich ist das magnetische Moment definiert als das Produkt aus Pol-Stärke und Länge des Magneten. Man kann das magnetische Moment „m“ über die ebene Leiter-Schleife messen.

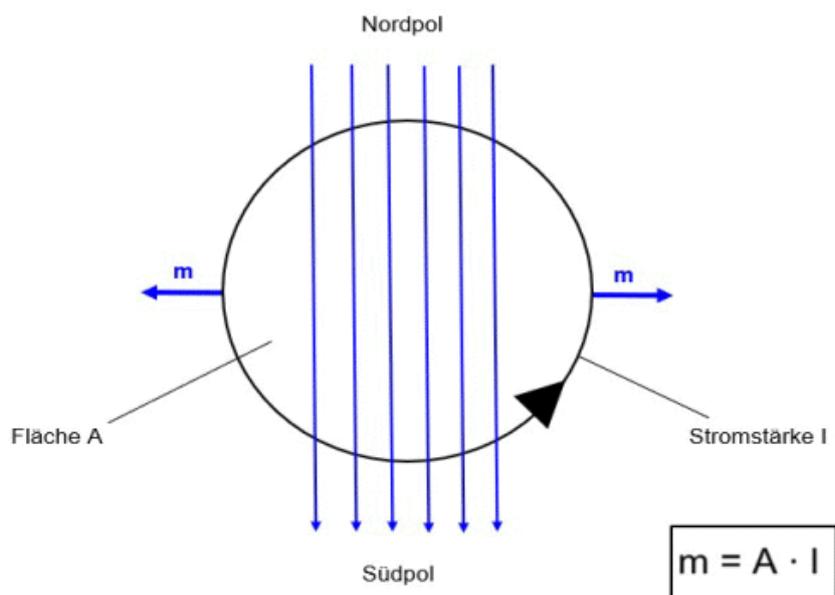


Abb. 7: ebene Leiter-Schleife

Die Formel dafür lässt sich mit Hilfe der Drei-Finger-Regel herleiten.

Es ergibt sich:

$$m = I \cdot A$$

5 Körper im Magnet-Feld

Zur Frage: Warum dreht sich nicht jede Nadel?

Zur Beantwortung dieser Frage muss geklärt werden, welche Eigenschaften einen magnetischen Körper kennzeichnen. In einem homogenen Magnet-Feld gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten, wie der Körper auf die Feld-Linien einwirkt:

Sie können auseinandergedrängt oder verdichtet werden (s. Abb. 8).

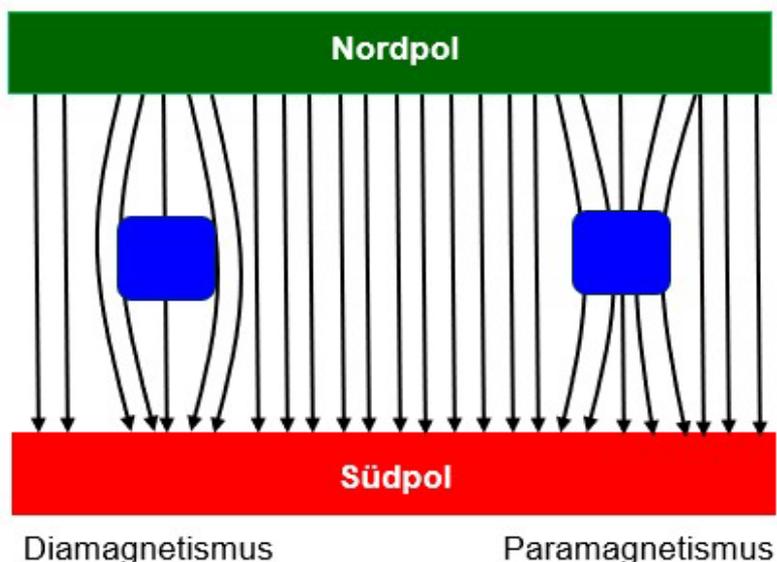
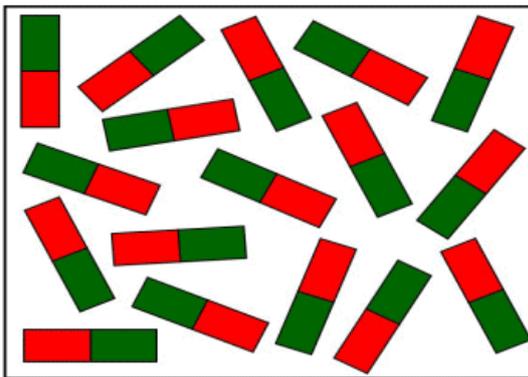


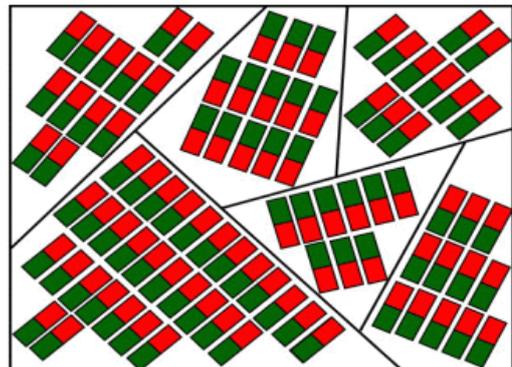
Abb. 8: Körper im magnetischen Feld

Magnetismus wird grundsätzlich in drei Gruppen eingeteilt:

1. **Diamagnetismus:** Diamagnetisch sind Stoffe ohne ungepaarte Elektronen wie beispielsweise Kohlenstoff. Im Inneren des Körpers wird der Lenz'schen Regel entsprechend ein Magnet-Feld induziert, das dem äußeren Magnet-Feld entgegengerichtet ist. Die Feld-Linien im Körper heben sich teilweise gegenseitig auf.
2. **Paramagnetismus:** Paramagnetisch sind Stoffe, die ein ungepaartes Elektron und damit ein permanentes magnetischen Moment nach außen besitzen wie beispielsweise Acta- und Lanthanoide. Hier kommt es zu einer gleichgerichteten Anordnung zum äußeren Magnet-Feld.
3. **Ferromagnetismus:** Zu den ferromagnetischen Stoffen gehören beispielsweise Eisen und Nickel. Sie kennzeichnet, dass sich ihre magnetischen Momente in mikroskopisch kleinen Domänen in der Größe von 10 μm bis 1 mm (= Weiß'scher Bezirk) spontan parallel ausrichten (s. Abb. 5). Bei Ferromagneten ist eine permanente Magnetisierung durch Anlegen eines äußeren Feldes möglich.



*Weiß'sche Bezirke sind regellos angeordnet
Folge: Kristall nach außen unmagnetisch*



*Weiß'sche Bezirke sind ausgerichtet
Folge: Kristall ist nach außen magnetisch*

Abb. 9: Weiß'sche Bezirke [geändert nach 4]

6 Anwendungsbeispiel

Wie beschrieben ist das Erd-Magnetfeld auf sich bewegende Flüssigkeiten im Erd-Innen zurückzuführen. Die Materie-Strömungen können sich allerdings auf ändern und sogar umkehren. Eine Änderung der Position der magnetischen Pole auf der Erde ist die Folge. Wissenschaftler machen sich dieses Phänomen zu Nutze, um das Alter von Gesteinen oder Sedimenten auf der Erde zu bestimmen. Die Paläomagnetismus genannte Altersbestimmung beruht darauf, dass Gesteine im Moment der Entstehung eine Magnetisierung tangential zu den Feld-Linien annehmen.

Konkret entnimmt man Gesteinsproben so, dass sie Richtung der Einlagerung bekannt bleibt. Im Labor kann man die Richtung der magnetischen Fluss-Dichte messen und mit der Richtung des Erd-Magnetfeldes in der Vergangenheit vergleichen. So kann man letztendlich das Alter der Proben ermitteln.

Zusammenfassung:

- Feld-Linien stellen die Kraft-Wirkung auf den Nord-Pol graphisch dar. Sie verlaufen vom Nord- zum Süd-Pol.
- Der Kraft-Betrag wird durch das magnetische Moment angegeben
- Es gibt drei große Klassen von Magnetismus: Dia-, Para- und Ferromagnetismus, die das Verhalten von Feld-Linien eines Körpers in einem angelegten Feld beschreiben.

Abschluss: Heutzutage werden Magnete flexibel im Alltag eingesetzt: in Kreisel-Kompenden sowie Navigationsgeräten werden sie immer noch zur Bestimmung von Richtungen verwendet. Magnetische Materialien sind zudem in der Daten-Aufzeichnung sowie in der Audio- und Video-Technik in Gebrauch, vor allem als Beschichtungen von Ton-, Video- oder Magnet-Bändern. Darüber hinaus basiert das Funktionsprinzip vieler Lautsprecher auf der magnetischen Wirkung einer stromdurchflossenen Spule. Auch im medizinischen Bereich gibt es viele Anwendungsmöglichkeiten für Magneten, beispielsweise die Magnet-Resonanz-Tomographie, bei der dreidimensionale Bilder vom Körper-Innenen erzeugt werden. Als letztes Beispiel aus der Forschung: in den großen Beschleuniger-Anlagen (z. B. im CERN bei Genf) lenken stromdurchflossene Spulen als starke Elektromagnete die Teilchen-Strahlung in die gewünschten Bahnen.

Quellen:

1. <http://www.vulkane.net/lernwelten/schueler/aktiv5.html>; (02.08.2019)
2. <https://physik.wissenstexte.de/magnetismus.htm>; (05.08.2019)
3. <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/permanentmagnetismus/grundwissen/magnetfeld-und-feldlinien>; (03.08.2019)
4. <https://www.grund-wissen.de/physik/elektrizitaet-und-magnetismus/magnetismus.html> (02.08.2019)
5. Moore, W. J., Hummel, D.O., Physikalische Chemie, DeGruyter, 1976
6. Holleman, A. F., Wiberg, N., Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 81.- 90. Auflage, DeGruyter, 1976
7. http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetische_Feldst%C3%A4rke; (18.11.08)
8. Neumüller, O.-A., Taschen-Lexikon der Chemie, ihrer Randgebiete und Hilfswissenschaften, Band 2 M-Z, Basis-Römpf, 1977
9. Die Sendung mit der Maus, Magnetherstellung, ZDF, 2008
10. <https://www.grund-wissen.de/physik/elektrizitaet-und-magnetismus/magnetismus.html>; (16.07.2019)
11. Hagmann, G., Grundlagen der Elektrotechnik, 12. Auflage, Aula, 2006
12. Hammer, K., Grundkurs der Physik – Teil 2, 1. Auflage, Oldenbourg, 1975