

Zusammenfassung v13 vom 20. Juni 2013

Magnetfeldberechnungen

- Gerader Leiter im Abstand r :

$$B = \mu_0 I / (2\pi r) \quad (57)$$

- Auf der Achse einer Leiterschleife mit Radius R im Abstand x von der Mitte der Schleife:

$$B = \mu_0 I R^2 / (2(R^2 + x^2)^{3/2}) \quad (58)$$

- Auf der Achse einer Spule mit n Windungen auf der Länge ℓ ist im Zentrum

$$B_x = \mu_0 n I / \ell \quad (59)$$

An den Enden ist das Feld auf die Hälfte gesunken.

- Helmholtz-Spulen sind Leiterschleifen mit Radius R , die im Abstand $d = R$ angebracht werden. Im Innenbereich ($\pm d/2$) ergibt sich ein sehr homogenes Magnetfeld von ungefähr

$$B = \mu_0 I / ((5/4)^{3/2} R) \quad (60)$$

Der Gauss'sche Satz für Magnetfelder lautet

$$\Phi_{mag} = \oint_A \vec{B} d\vec{A} = 0 \quad (61)$$

weil Magnetfeldlinien geschlossene Schleifen bilden.

Das Ampere'sche Gesetz eignet sich zur Berechnung des Magnetfelds einfacher symmetrischer Stromkonfigurationen (es entspricht insoweit dem Gauss'schen Gesetz für die Berechnung elektrischer Felder aus der Ladungsverteilung). Sei C eine beliebige geschlossene Kurve, die einen Strom I_C umschließt; $d\vec{s}$ ist ein Linienelement auf C . Dann gilt

$$\oint_C \vec{B} d\vec{s} = \oint_C B_t ds = \mu_0 I_C \quad (62)$$

In Worten: das Linienintegral über die Tangentialkomponente des Magnetfeldes entlang einer Kurve C ist gleich dem gesamten Strom, der von C umschlossen wird, multipliziert mit μ_0 .

Diese Beziehung ist dann vorteilhaft und einfach anzuwenden, wenn \vec{B} auf C konstant ist.

Anwendung auf eine *toroidale Spule*: Im Innenraum des Torus ist

$$B_{Torus} = \mu_0 N I / (2\pi r) \quad (63)$$

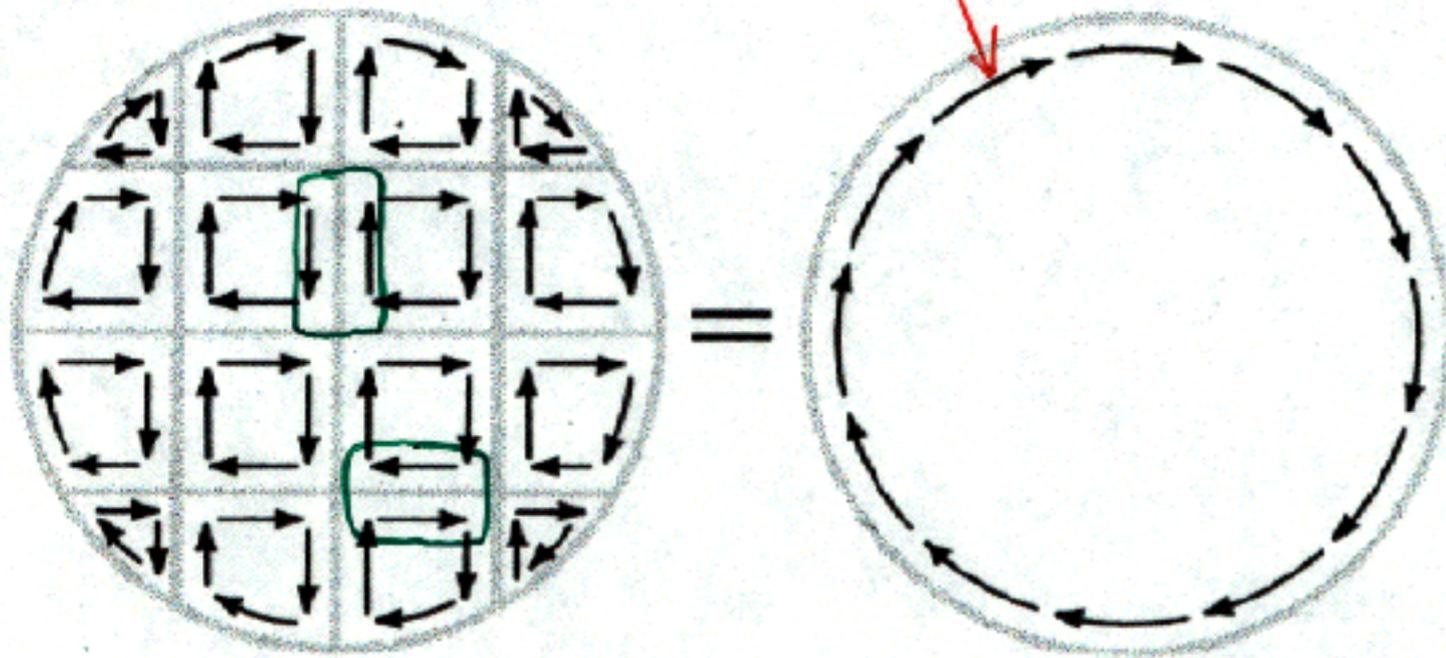
Im Aussenraum verschwindet das Magnetfeld.

Magnetismus in Materie wird durch Demonstrationsexperimente veranschaulicht:

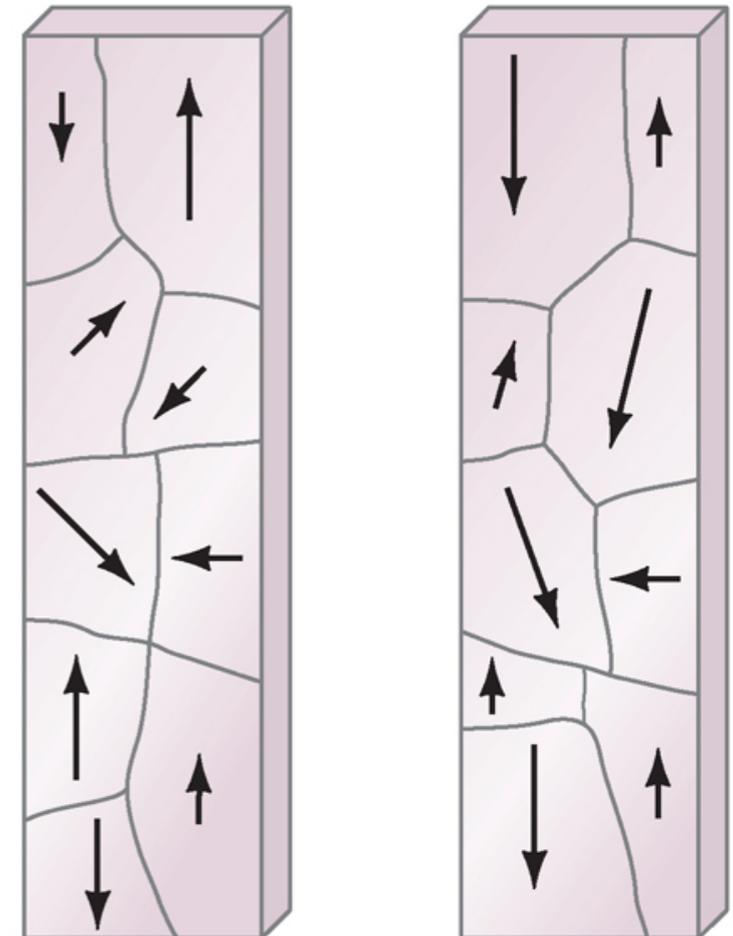
- Die Ausrichtung von mikroskopischen Magneten wird mit einer Matrix von kleinen Magnetnadeln demonstriert.
- Der Barkhausen-Effekt macht das Umklappen der magnetischen Domänen akustisch hörbar.
- Curiepunkt: Ein Permanentmagnet verliert seinen Magnetismus, wenn er über die Curie-Temperatur erhitzt wird. Für Eisen ist dies 1043 Kelvin.

Magnetisierung von Materie

„Ampèrescher Strom“ $\hat{=}$ Strom in Zylinderspule



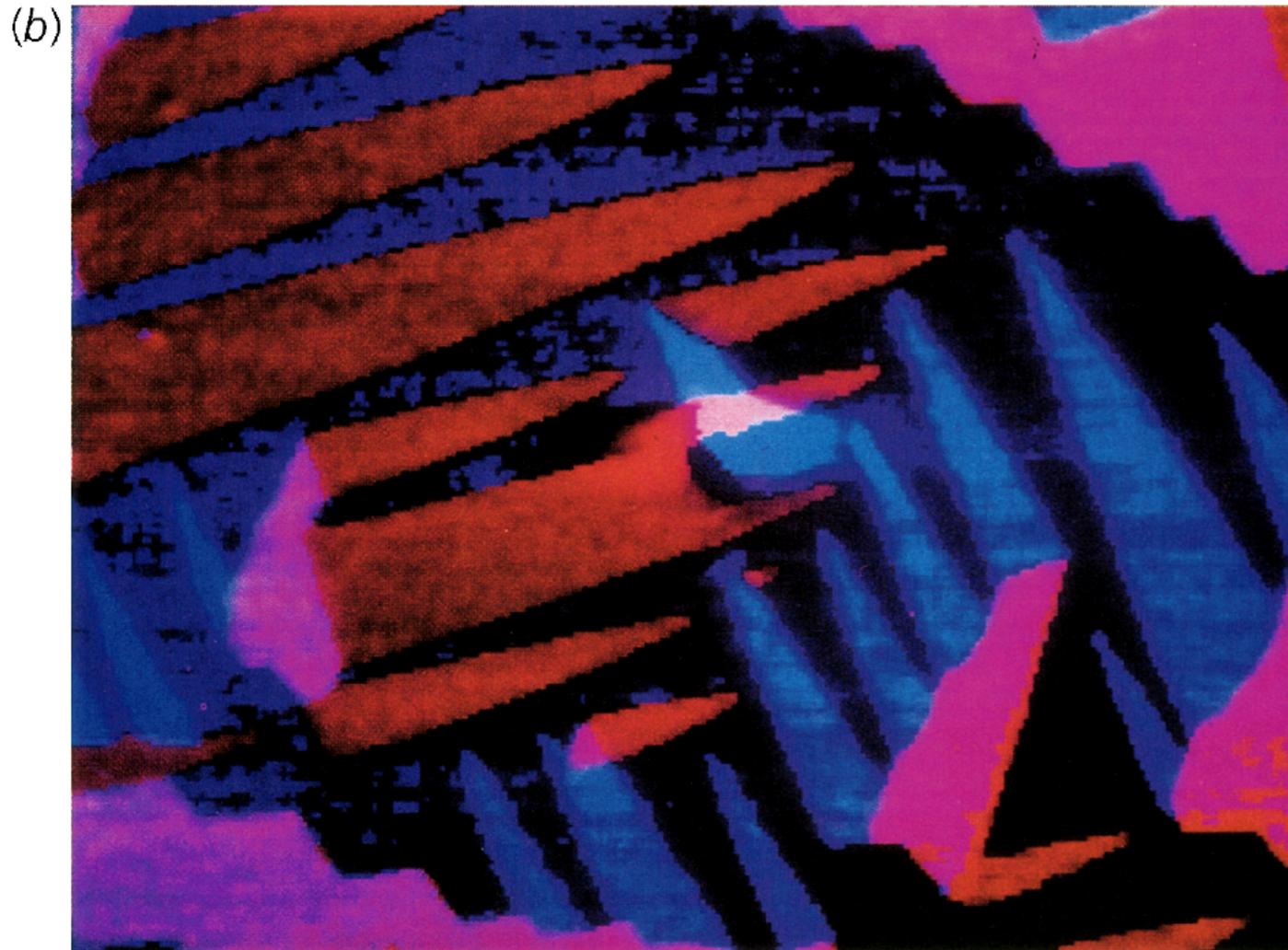
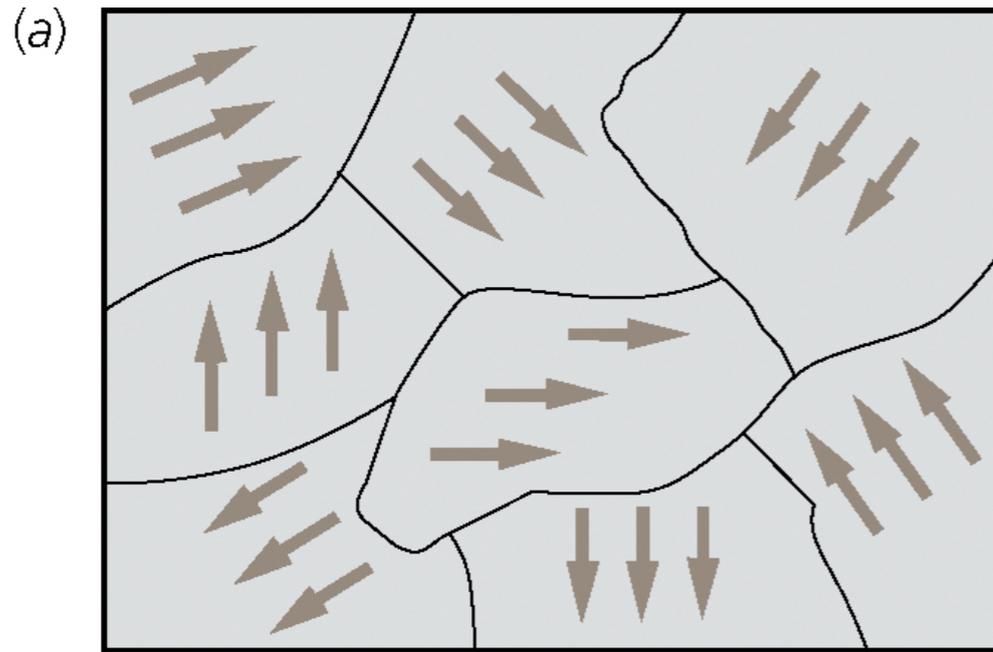
Weiss'sche Bereiche



(a)

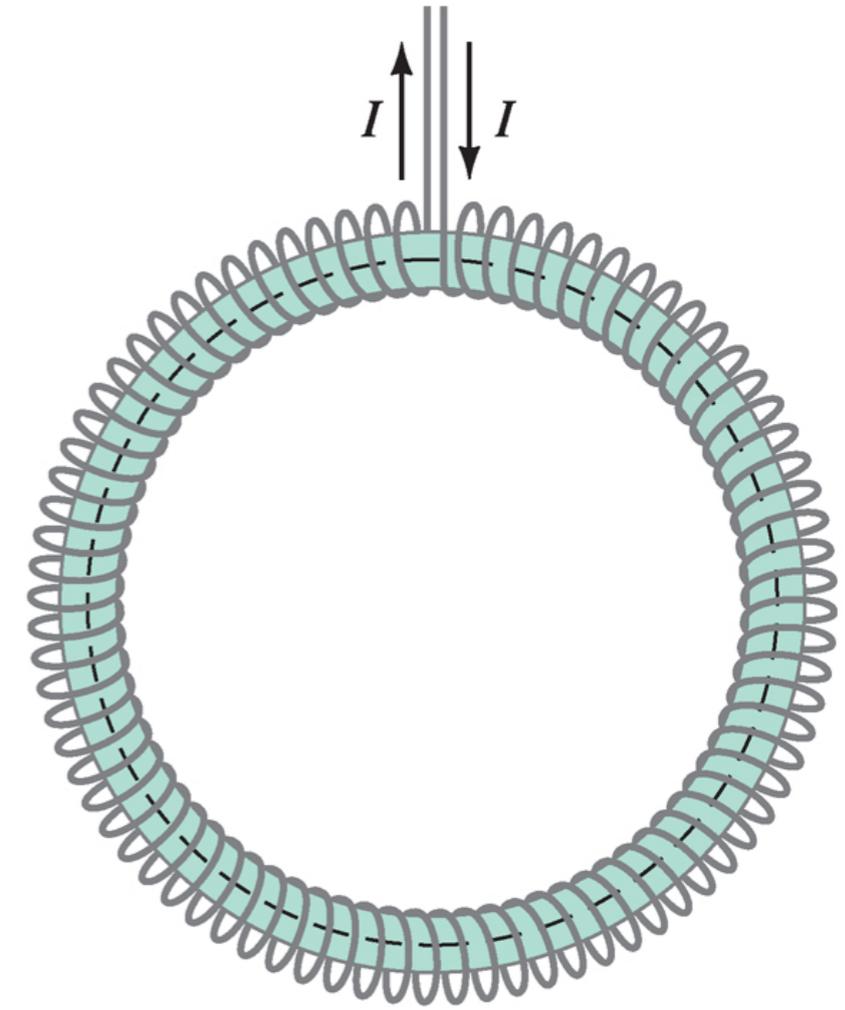
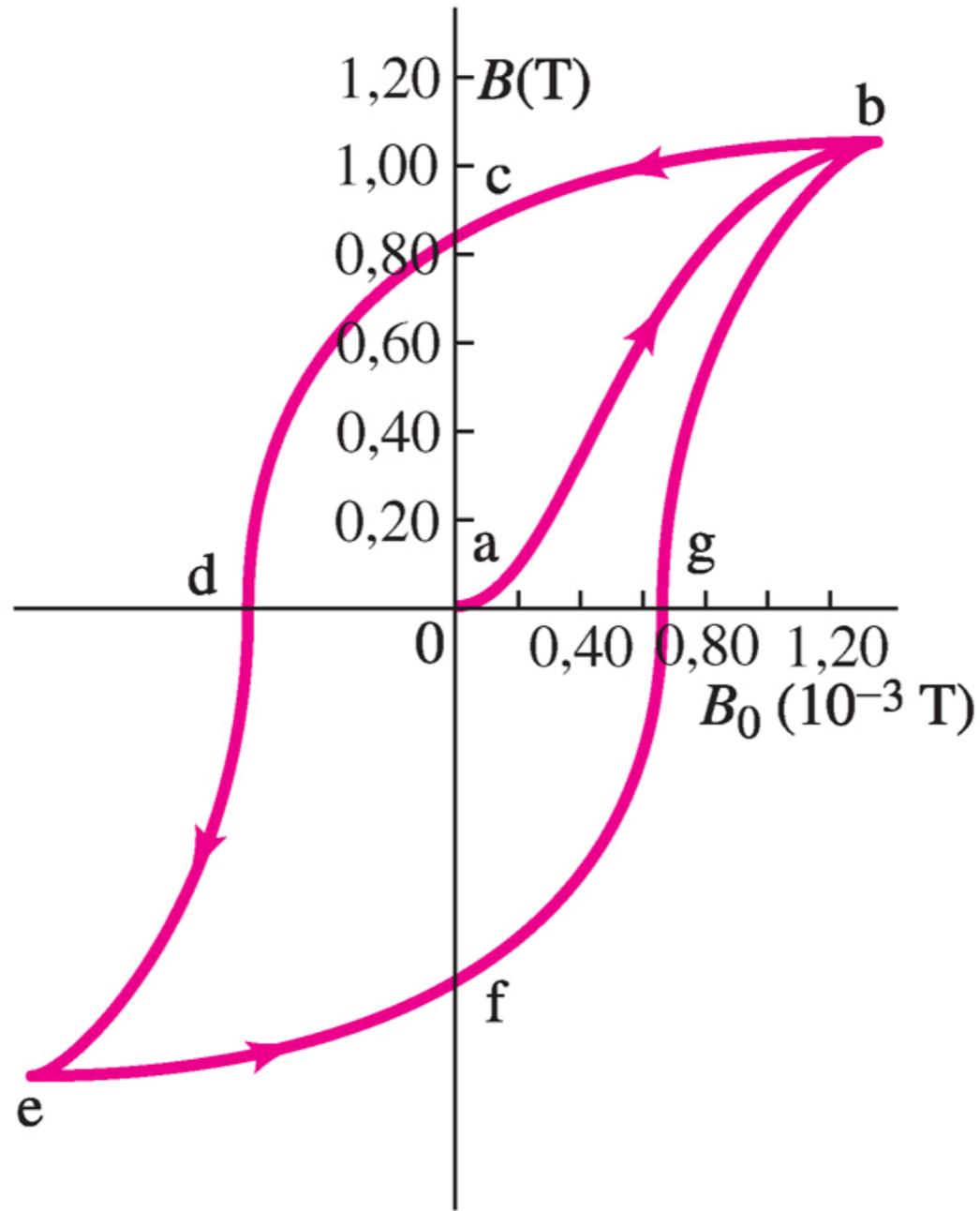
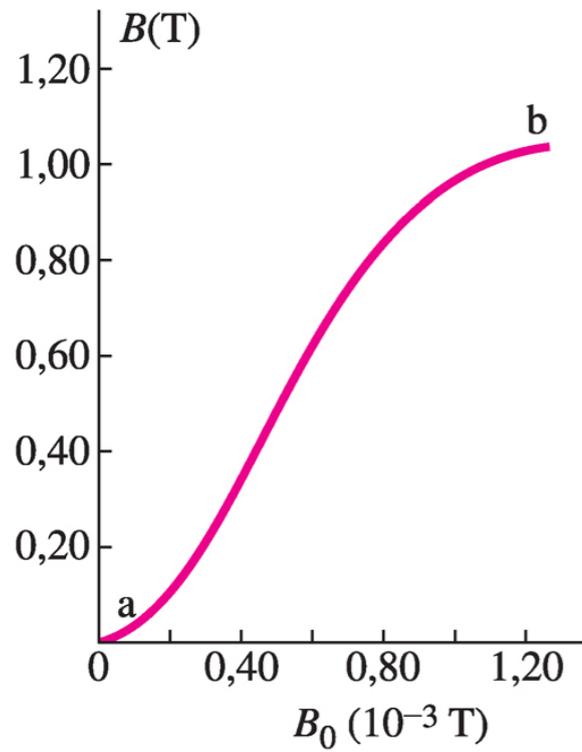
(b)

Weiss'sche Bezirke in der Anwendung

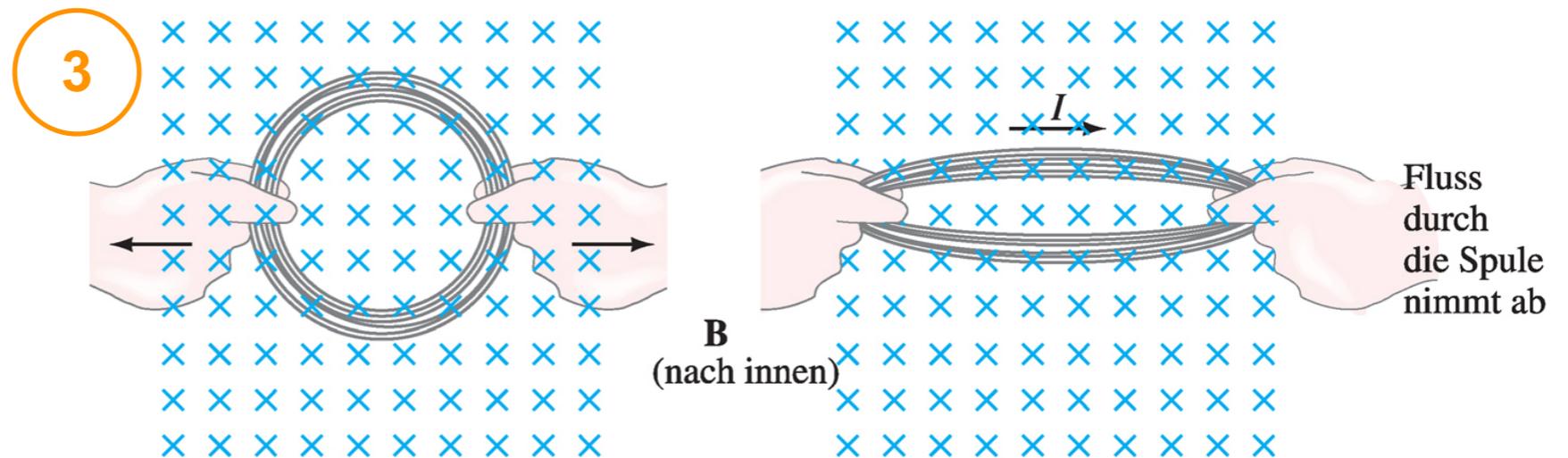
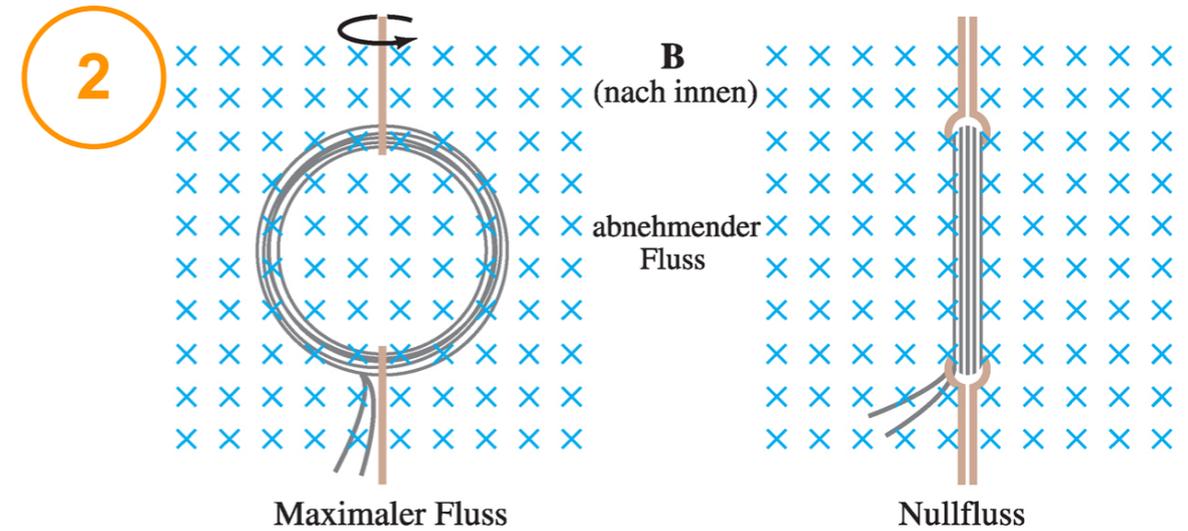
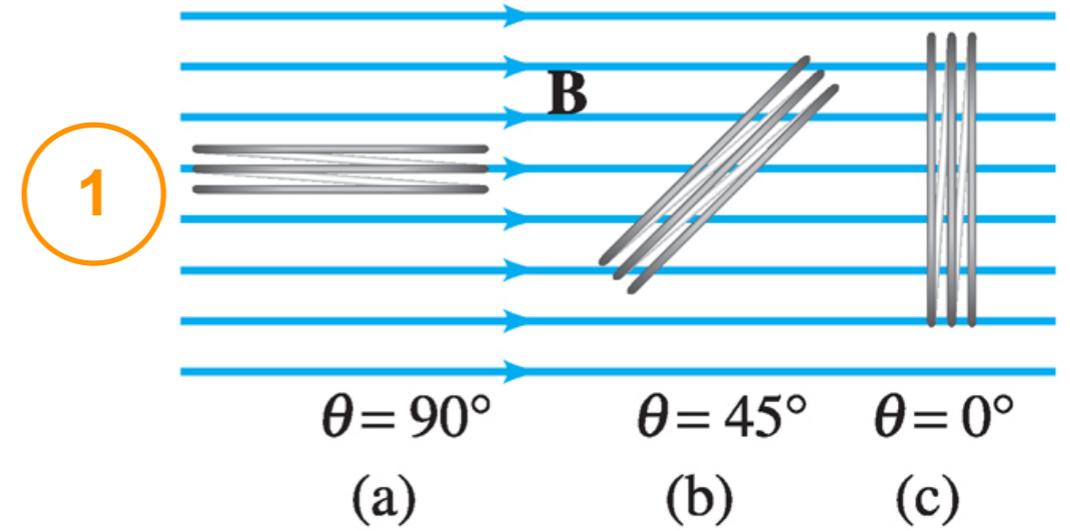
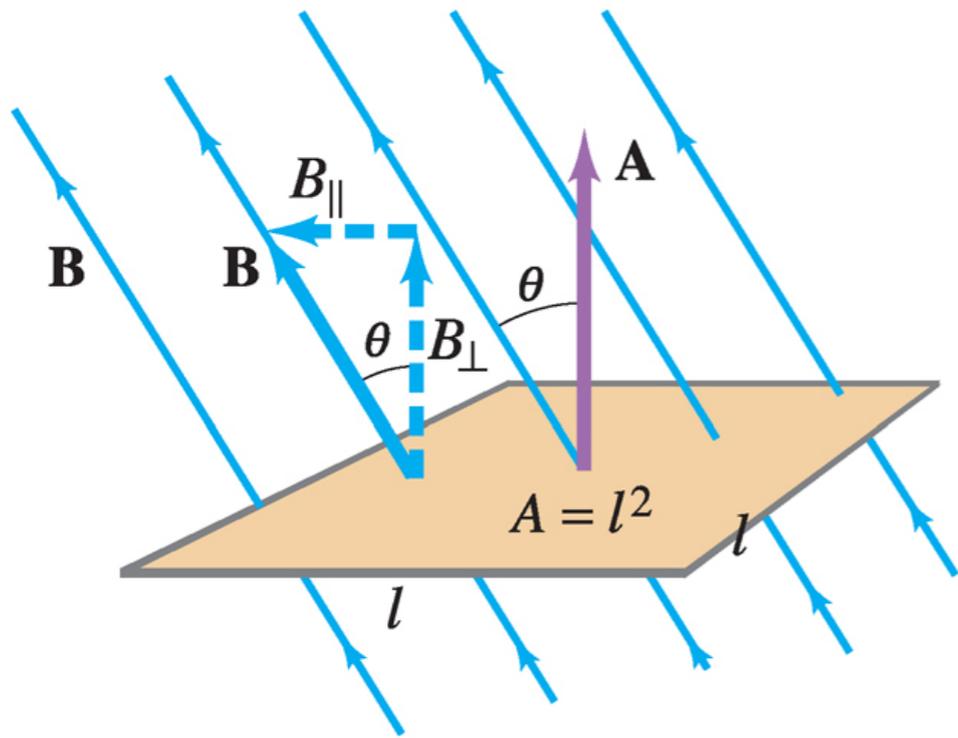


27.43 a) Schematische Darstellung Weiß'scher Bezirke. Innerhalb jedes einzelnen Bezirks sind die magnetischen Momente ausgerichtet, aber die Richtung ist von Bezirk zu Bezirk verschieden. Das resultierende magnetische Moment ist folglich null. Bereits ein schwaches äußeres Magnetfeld kann eine Vergrößerung der Bezirke (auf Kosten der Nachbarbezirke) bewirken, in denen die Momente parallel zum Feld ausgerichtet sind, oder zur Drehung der Orientierungsrichtung einzelner Bezirke führen. In beiden Fällen ist das resultierende magnetische Moment dann von null verschieden und parallel zum Feld gerichtet. b) Magnetische Bezirke an der Oberfläche eines aus 97 % Fe und 3 % Si bestehenden Kristalls, aufgenommen mit einem Rasterelektronenmikroskop mit Polarisationsanalyse. Die vier Farben zeigen vier mögliche Orientierungen der magnetischen Momente an. (*Robert J. Celotta, National Institute of Standards and Technology.*)

Magnetisierungskurve, Hysterese



Magnetischer Fluss



Faraday'sche Induktionsversuche

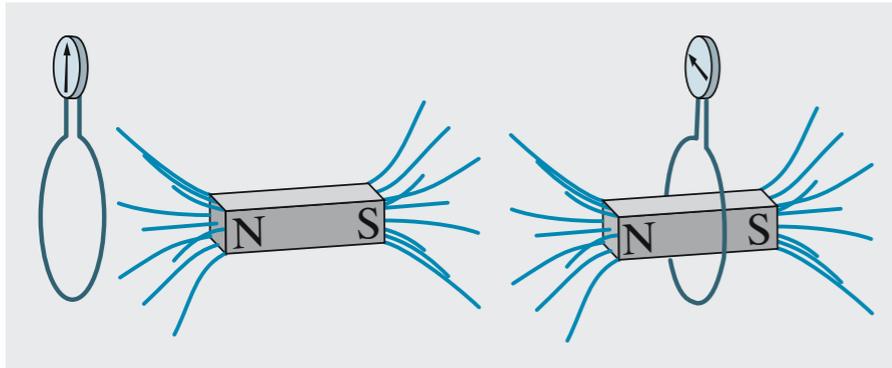


Abb. 7.1. Schiebt man den Stabmagneten schnell in die Kreisschlinge, zeigt das ballistische Galvanometer einen Induktionsstoß an

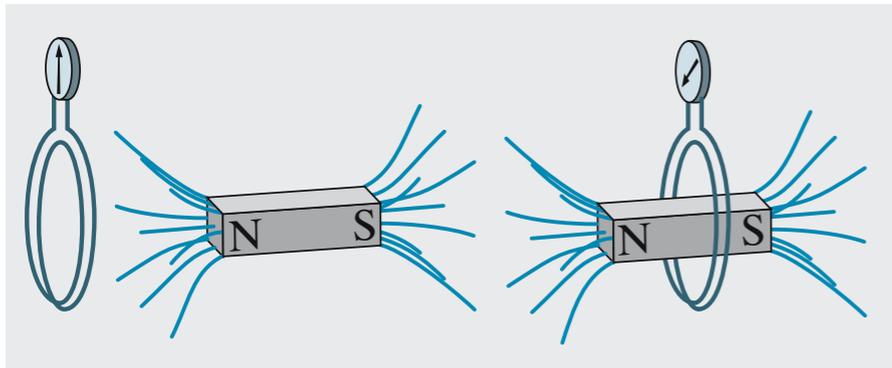
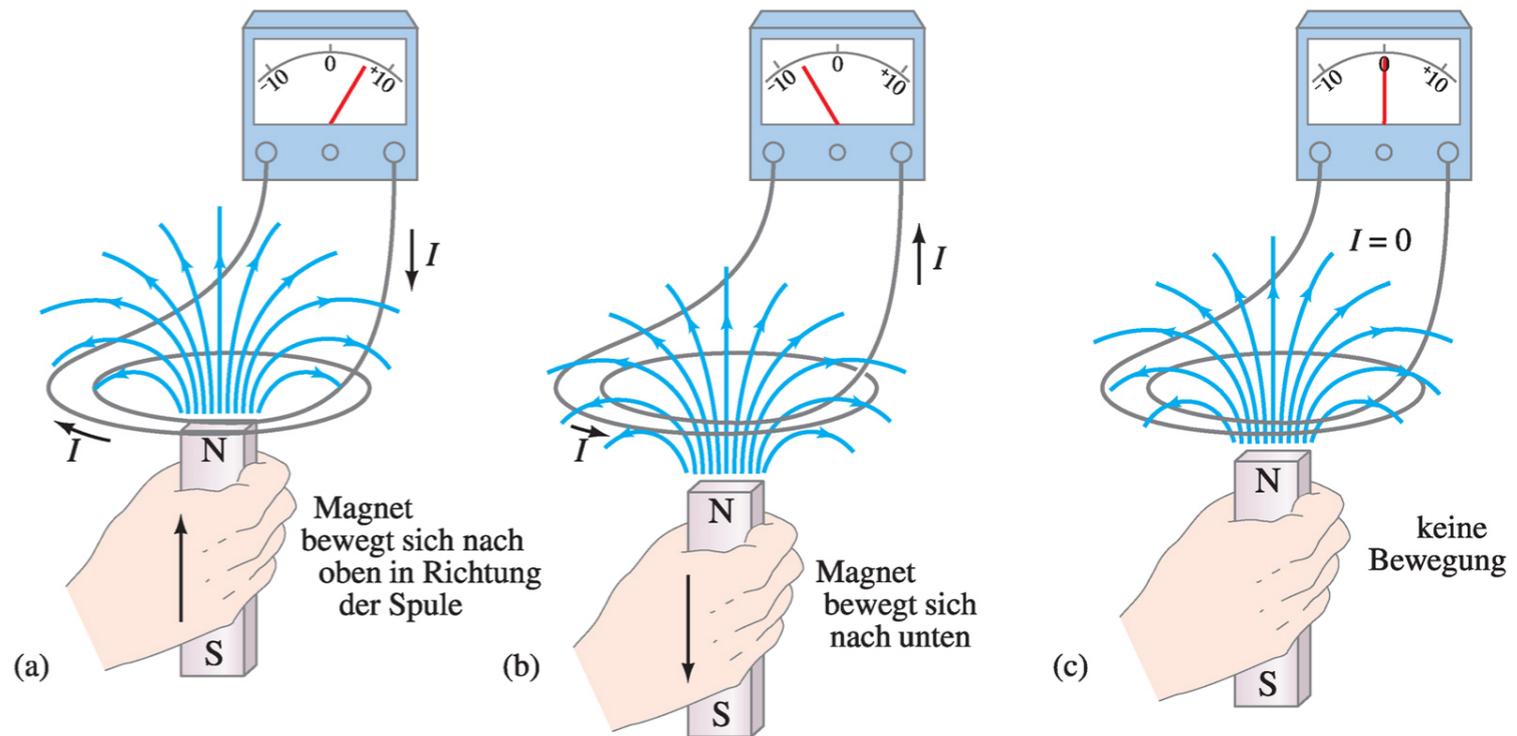


Abb. 7.2. In zwei Windungen entsteht ein doppelt so großer Ausschlag des ballistischen Galvanometers

[Abb. 7.xx aus Gerthsen]



[Giancoli]

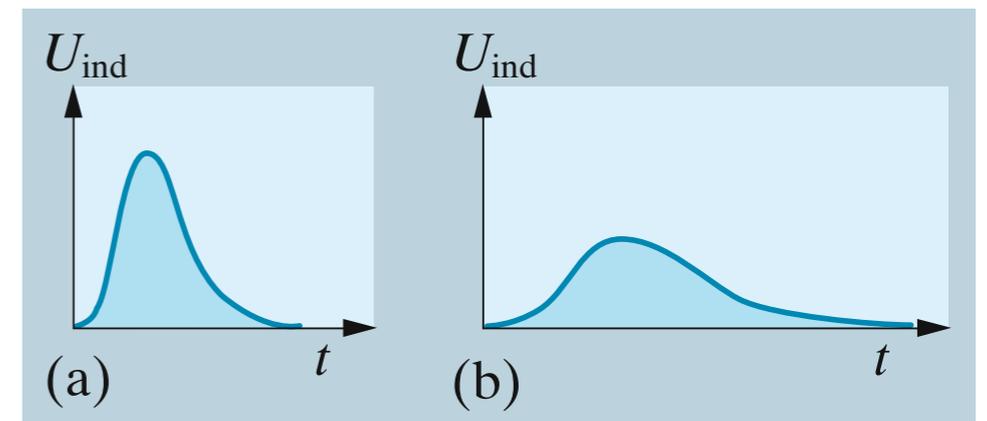


Abb. 7.8a,b. Die induzierte Spannung U hängt von der Änderungsgeschwindigkeit des Magnetflusses ab, die Fläche $\int U dt$ nur von der Änderung selbst

Faraday'sche Induktionsversuche

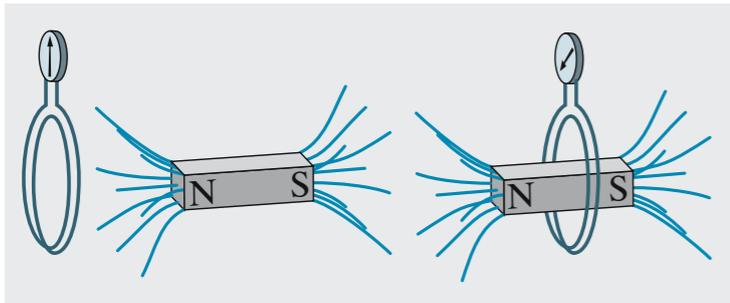


Abb. 7.2. In zwei Windungen entsteht ein doppelt so großer Ausschlag des ballistischen Galvanometers

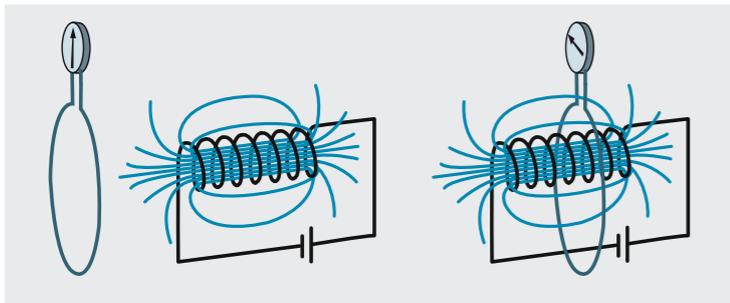


Abb. 7.3. Eine stromdurchflossene Spule induziert beim Hineinschieben wie ein Stabmagnet

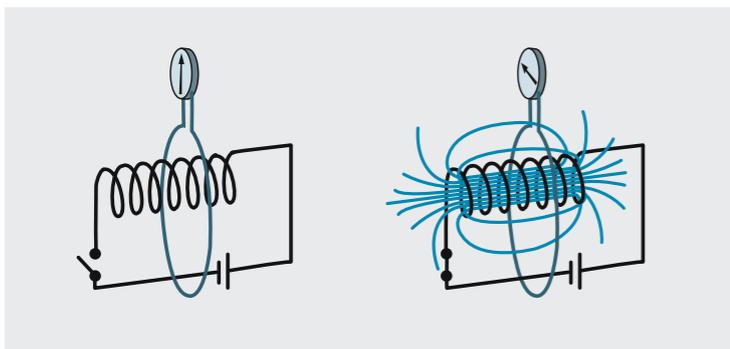


Abb. 7.4. Schließen des Stromkreises lässt das Galvanometer in gleichem Sinn ausschlagen, als wenn man die Spule in die Schlinge schiebe

2. Nähert man unter sonst gleichen Bedingungen nicht den Nordpol, sondern den Südpol, so erhält man den gleichen Ausschlag in entgegengesetzter Richtung.
3. Zieht man den Magneten aus der Schlinge in die Ausgangslage zurück, so erfolgt der Galvanometerausschlag in der entgegengesetzten Richtung, ist aber ebenso groß. Die Bewegung der Ladungen erfolgt also in der entgegengesetzten Richtung.
4. Nimmt man an Stelle eines Magneten zwei gleiche Magnete, so ist der Ausschlag des ballistischen Galvanometers doppelt so groß.
5. Verwendet man unter sonst gleichen Bedingungen statt einer einfachen eine doppelte (n -fache) Schlinge (Spule mit zwei oder n Windungen), so wird der Ausschlag doppelt (bzw. n -mal) so groß (Abb. 7.2).
6. Ersetzt man den permanenten Magneten durch eine stromdurchflossene Spule, so beobachtet man bei Annäherung bzw. Entfernung die gleichen Erscheinungen (Abb. 7.3). Bei Verdoppelung der Stromstärke in dieser Spule werden die Galvanometerausschläge doppelt so groß. Die in der Drahtschlinge transportierten Ladungen sind der Stromstärke in der Spule, also dem in ihr erregten Feld proportional.
7. Schiebt man die Spule ganz in das Innere der Drahtschlinge und schließt oder öffnet man nun den Spulenstromkreis, so zeigt das ballistische Galvanometer die gleichen Ausschläge, als ob die stromführende Spule aus großer Entfernung ganz in das Innere der Schlinge hineingeführt oder aus dem Inneren herausgezogen würde (Abb. 7.4).
8. Die Vermehrung der Windungszahl der Schlinge hat den gleichen Effekt wie in Versuch 5.

Faraday'sche Induktionsversuche

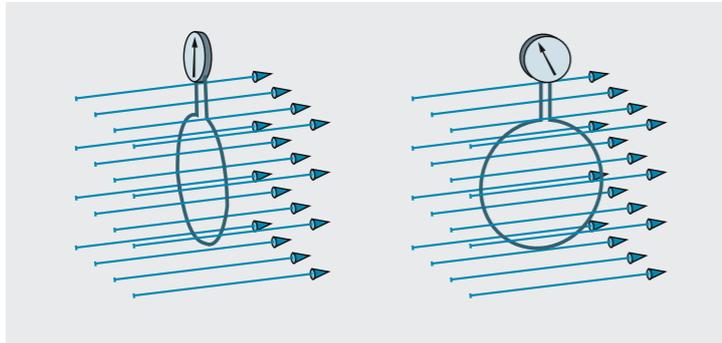


Abb. 7.5. Drehung der Schlinge im Magnetfeld erzeugt ebenfalls eine Induktion . . .

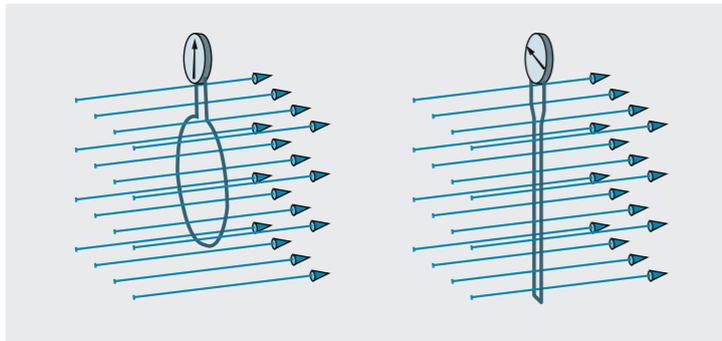


Abb. 7.6. . . . ebenso wie eine Änderung der Fläche, die die Schlinge umschließt

9. Bringt man die Drahtschlinge aus einem feldfreien Raum in ein Magnetfeld (z. B. zwischen die Polschuhe eines Elektromagneten), so zeigt das ballistische Galvanometer einen Ausschlag. Den gleichen Ausschlag in entgegengesetzter Richtung erhält man, wenn man die Schlinge aus dem Feld herausbringt.
10. Dreht man die Schleifenebene, die erst senkrecht zu den Feldlinien stand, in eine Lage parallel zu ihnen, so ist der Ausschlag des ballistischen Galvanometers der gleiche wie bei vollständiger Entfernung aus dem Magnetfeld. Dreht man die Schlinge aus der Ausgangslage um 180° , sodass die Feldlinien die Schlinge von der entgegengesetzten Seite durchdringen, so wird der Galvanometerausschlag doppelt so groß.

11. Wenn man die Fläche der Schlinge in einem konstanten Magnetfeld ändert, indem man sie zusammenzieht oder erweitert, zeigt das Galvanometer einen Ausschlag (Abb. 7.6). Zieht man die Schlinge auf den Flächeninhalt Null zusammen, so ist der Galvanometerausschlag der gleiche, als ob die unveränderte Schlinge aus dem Feld in den feldfreien Raum gebracht wird.
12. Schiebt man in das Innere einer Spule bei konstant gehaltenem Spulenstrom (Abb. 7.4, rechts) einen Eisenkern, so zeigt das Galvanometer wiederum einen Ausschlag, der ein Vielfaches des Ausschlages beim ersten Einschalten des Spulenstromes betragen kann.

Transformator; Induktion durch Bewegung

