

## Elektrizitätslehre

Magnetostatik

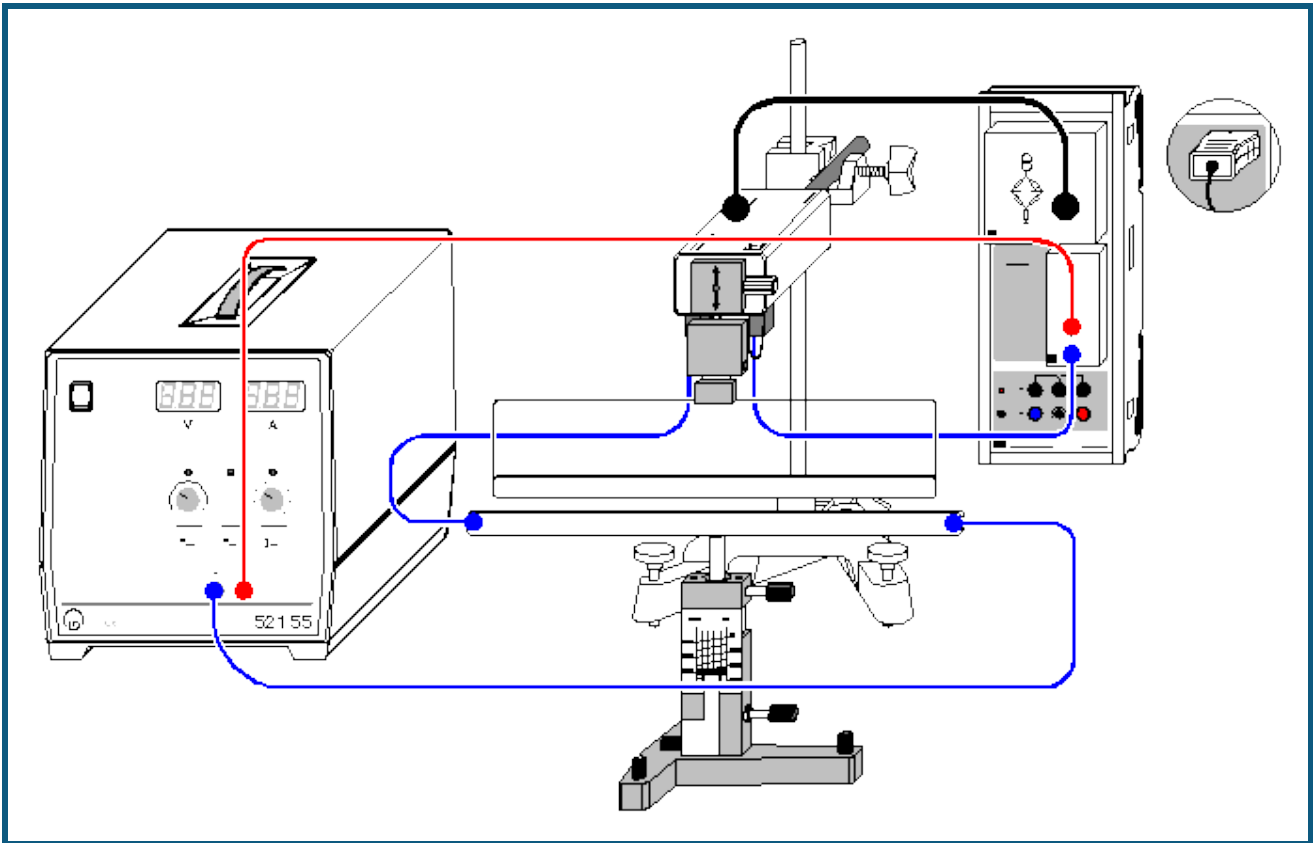
*Kraftwirkungen im magnetischen Feld*

Grundlegende Messungen  
zur elektrodynamischen  
Amperedefinition

### Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und  
Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe  
verwenden.

## Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern (Amperedefinition)



auch für [Pocket-CASSY](#) und [Mobile-CASSY](#) geeignet

### Versuchsbeschreibung

Die Kraft  $F$  auf einen Leiter der Länge  $s$ , der vom Strom  $I$  durchflossen wird, ist in einem Feld der magnetischen Flussdichte  $B$  gleich

$$F = I \cdot s \cdot B.$$

Wird die Flussdichte  $B$  durch einen langen Leiter im Abstand  $r$  hervorgerufen, dann gilt

$$B = \text{const.} \cdot I / r.$$

Damit ist die Kraft  $F$ , die zwischen zwei parallelen Leitern wirkt, die vom gleichen Strom  $I$  durchflossen werden, gegeben durch

$$F = \text{const.} \cdot I^2 \cdot s / r.$$

Man definiert nun die elektrische Stromstärke folgendermaßen (Amperedefinition): Die Stromstärke  $I$  hat den Wert 1 A, wenn zwischen zwei im Abstand  $r = 1$  m parallel angeordneten, geradlinigen unendlich lang gedachten und vom gleichen elektrischen Strom durchflossenen Leitern mit gegen Null gehendem Durchmesser der Betrag der Kraft  $F$  pro Länge  $s$

$$F / s = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N/m}$$

beträgt. Man legt also fest:

$$\text{const.} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2.$$

Üblicherweise wird const. mit  $\mu_0/2\pi$  bezeichnet und man erhält

$$F = \mu_0/2\pi \cdot I^2 \cdot s / r$$

$$\text{mit } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am.}$$

Im Experiment wird ein Leiter der Länge  $s = 0,30$  m in einem Abstand  $r$  von wenigen Millimetern über einen etwas längeren Leiter gehängt. Gemessen wird die Kraft  $F$ , die für verschiedene Stromstärken  $I$  und Abstände  $r$  auf den hängenden Leiter wirkt. Das Ergebnis bestätigt die Amperedefinition.

## Benötigte Geräte

1	<a href="#">Sensor-CASSY</a>	524 010 oder 524 013
1	<a href="#">CASSY Lab 2</a>	524 220
1	<a href="#">Brücken-Box</a> mit Kraftsensor und Verbindungskabel, 6polig, 1,5 m oder	524 041 314 261 501 16
1	<a href="#">Kraftsensor S. ±1 N</a>	524 060
1	<a href="#">30-A-Box</a>	524 043
1	Leiterschleifenhalter	314 265
1	Leiterschleifen zur elektrodyn. Amperedefi- nition	516 33
1	Höhenverstellbarer Ständer	516 31
1	Hochstrom-Netzgerät	521 55
1	Kleiner Stativfuß, V-förmig	300 02
1	Stativstange, 47 cm	300 42
1	Leybold-Muffe	301 01
2	Experimentierkabel, 50 cm, blau	501 26
1	Experimentierkabel, 100 cm, rot	501 30
1	Experimentierkabel, 100 cm, blau	501 31
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

## Versuchsaufbau (siehe Skizze)

Der Kraftsensor hält eine obere Leiterschleife mit dem Leiterschleifenhalter und wird so positioniert, dass der Abstand der beiden Leiterschleifen bei mittlerem Hub des höhenverstellbaren Ständers etwa 5 mm beträgt.

Die beiden 4-mm-Buchsen auf der Unterseite des Kraftsensors sind als Einspeisepunkte für den Leiterschleifenhalter gedacht. Sie sind intern nicht beschaltet. Der Kraftsensor wird über die Brückenbox an Eingang A des Sensor-CASSYs angeschlossen. Der Strom fließt vom 20-A-Netzgerät über die 30-A-Box auf Eingang B des Sensor-CASSYs nacheinander durch beide Leiterschleifen und wieder zurück zum Netzgerät.


Nun Leiterschleife auf dem Ständer langsam der hängenden Leiterschleife nähern, bis sich beide gerade berühren (dann haben die Drahtmitten einen Abstand  $r = 2$  mm). Dabei Parallelität des höhenverstellbaren Ständers zur hängenden Leiterschleife überprüfen und gegebenenfalls mit seinen Stellschrauben korrigieren.

Nullpunktschieber am höhenverstellbaren Ständer auf eine definierte Marke einstellen und mittels Höhenverstellung den gewünschten Abstand zwischen beiden Leiterschleifen einstellen (z. B.  $r = 4$  mm).

Gute Messergebnisse erfordern hier sehr sorgfältige Justierungen.

## Versuchsdurchführung

■ Einstellungen laden

- In [Einstellungen Kraft FA1](#) Kraftsensor durch  $\rightarrow 0 \leftarrow$  auf Null setzen und falls erforderlich durch **LED an/aus** die Smooth-LED auf der Brücken-Box einschalten
- Evtl. in [Einstellungen Strom IB1](#) den Stromwert durch  $\rightarrow 0 \leftarrow$  auf Null setzen
- Leiterschleifenstrom  $I$  von 0-20 A in 2 A Schritten durchfahren und jeweils Messwerte mit  aufnehmen. Eine Fehlmessung kann durch [Tabelle  \$\rightarrow\$  Letzte Tabellenzeile löschen](#) wieder aus der Tabelle entfernt werden
- Falls nur negative Kräfte gemessen werden, Anschlüsse am Leiterschleifenhalter vertauschen
- Zügig experimentieren, da Leiterschleife und Leiterschleifenhalter nur kurzzeitig mit 20 A belastet werden dürfen
- Leiterschleifenstrom am Ende wieder auf  $I = 0$  A stellen
- Weitere Messkurven mit anderen Leiterschleifenabständen  $r$  aufnehmen. Dazu **Messung  $\rightarrow$  Neue Messreihe anhängen** wählen

## Auswertung

Für jede Messreihe  $F(I)$  wird eine [Parabel](#) angepasst. Nach jeder Parabel wird in die Darstellung **Amperedefinition** (mit der Maus anklicken) gewechselt. Hier wird eine weitere Tabelle gefüllt, indem zu dem jeweiligen Leiterschleifenabstand  $r$  der gerade ermittelte Parameter  $F/I^2$  der Parabel aus der [Statuszeile](#) mit der Maus in die Tabelle gezogen wird (Drag & Drop). Der Leiterschleifenabstand  $r$  wird direkt über die Tastatur in die Tabelle eingetragen. Bereits während der Tabelleneingabe entsteht das gewünschte Diagramm.

In dieser Darstellung ergibt sich aus dem Parameter  $F/I^2 \cdot r$  einer [Hyperbelanpassung  \$1/x\$](#)  die Konstante der Ampere-  
definition zu

$$\mu_0/2\pi = F/I^2 \cdot r / s = F/I^2 \cdot r / 0,3 \text{ m.}$$

Für das Beispiel bedeutet dies

$$\mu_0/2\pi = 0,000062 \text{ mN} \cdot \text{m}/\text{A}^2 / 0,3 \text{ m} = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ N}/\text{A}^2 = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Vs}/\text{Am.}$$

Alternativ kann in der Darstellung Amperedefinition auf die x-Achse von r in  $1/r$  umgerechnet werden (Achse mit der rechten Maustaste anklicken). In dieser Darstellung ergibt sich  $\mu_0/2\pi$  durch eine [Geradenanpassung](#).

### Anmerkung

Die Messung enthält systematische Fehler. Zum einen hat der Leiter eine endliche Länge. Dies bedeutet, dass am Leiterende nicht mehr das angenommene Magnetfeld herrscht und hier die Kräfte kleiner werden. Außerdem wirkt auf den hängende Leiter eine kleine entgegengesetzte Kraftkomponente begründet im oberen zurücklaufenden Leiterteil.