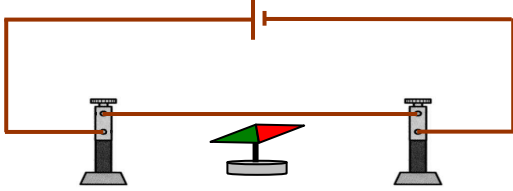
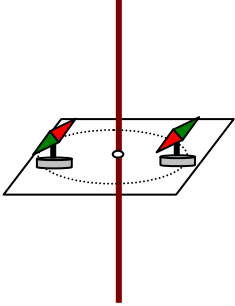
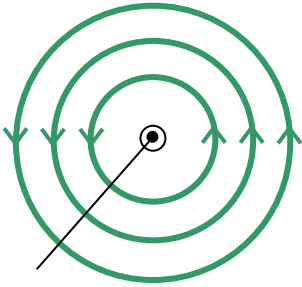
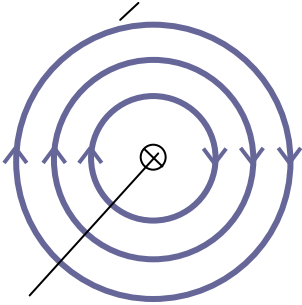
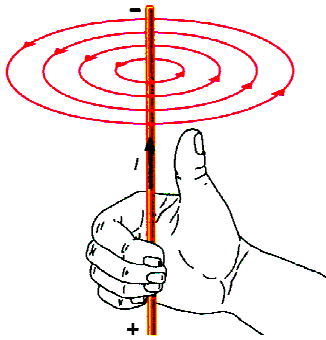


## Experiment: Der Ørsted-Versuch (1)

|  |   |
|--|---|
| <b>Versuchsziel:</b>                   | Der Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus wird deutlich.   |
| <b>Versuchsaufbau/-zubehör:</b>        |   |
| <b>Versuchsdurchführung:</b>           | Fließt ein Strom durch den Leiter, stellt sich die Kompassnadel senkrecht zum Leiter ein.   |
| <b>Versuchserklärung:</b>              | Der von Strom durchflossene elektrische Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben, an dem sich die Kompassnadel orientiert.   |
| <b>Welche Form hat das Magnetfeld?</b> |    |
| <b>Versuchsergebnis:</b>               | <p>Ein stromdurchflossener Leiter ist von kreisförmigen geschlossenen magnetischen Feldlinien umgeben.<br/>Anders als beim Permanentmagneten beginnen diese Feldlinien nicht (vereinbarungsgemäß) beim Nordpol eines Magneten und sie enden nicht an dessen Südpol, sondern sie haben weder Anfang noch Ende.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Strom fließt<br/>aus der Zeichenebene heraus<br/>(Pfeilspitze von vorne gesehen)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Strom fließt<br/>in die Zeichenebene hinein<br/>(Pfeilspitze von hinten gesehen)</p> </div> </div> |
| <b>Anmerkung:</b>                      | Es genügen maximal 10 V Gleichspannung, doch fließt ein großer Kurzschlussstrom, so dass rasch die Sicherung der elektrischen Quelle anspricht!<br>Der Leiter sollte in O-W-Richtung, keinesfalls in N-S-Richtung aufgebaut werden!   |

## Das Magnetfeld gerader stromdurchflossener Leiter: Rechte-Hand-Regel



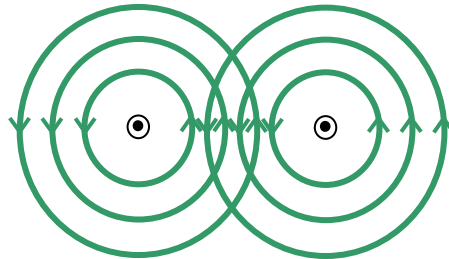
Umfasst man den geraden, stromdurchflossenen Leiter so mit der rechten Hand, dass der abgespreizte Daumen in die technische Stromrichtung von + nach - weist, so zeigen die gekrümmten Finger die Richtung der magnetischen Feldlinien an.

## Das Magnetfeld paralleler Leiter

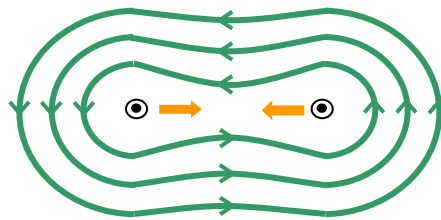
|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Versuchsziel:</b>         | Die Wirkung zweier paralleler gerader stromdurchflossener Leiter aufeinander wird untersucht.   |
| <b>Versuchsaufbau:</b>       |   |
| <b>Versuchsdurchführung:</b> | Fließt der Strom durch beide Leiter in gleicher Richtung (Abb. links), ziehen sich die Leiter an.<br>Fließt der Strom durch beide Leiter in entgegengesetzter Richtung (Abb. rechts), stoßen sich die Leiter ab.  |
| <b>Versuchserklärung:</b>    | Die Magnetfelder der beiden Leiter überlagern einander und verstärken bzw. schwächen sich insbesondere im Bereich zwischen den Leitern.   |
| <b>Versuchsergebnis:</b>     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sind zwei Leiter in gleicher Richtung von Strom durchflossen, so schwächen sich die Magnetfelder zwischen ihnen gegenseitig ab; die Leiter ziehen also einander an.</li> <li>2. Sind zwei Leiter in entgegengesetzter Richtung von Strom durchflossen, so verstärken sich die Magnetfelder zwischen ihnen; die Leiter stoßen also einander ab.</li> </ol> |

**Erklärung zu 1.**

Zunächst seien die Felder der beiden Leiter unabhängig voneinander betrachtet. Man erkennt, dass die Feldlinien zwischen den Leitern in entgegengesetzter Richtung verlaufen, wenn diese in gleicher Richtung stromdurchflossen sind



Zwischen den Leitern kommt es daher zu einer Schwächung bzw. gar Aufhebung dieser Feldlinien, die sich nicht überschneiden dürfen. In Folge dieser veränderten Form der Feldlinien kommt es zu einer anziehenden Kraft zwischen den Leitern.

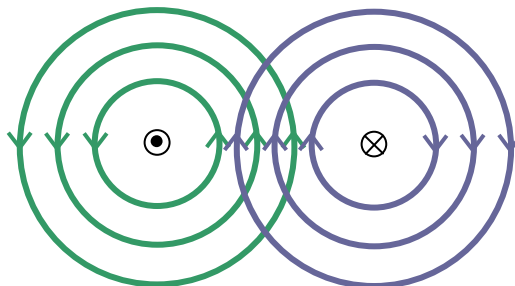


**Anmerkung:**

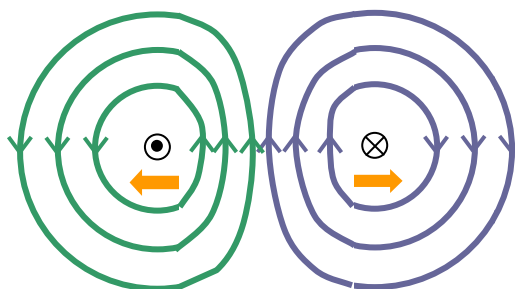
Die Feldlinien kann man sich wie Gummibänder vorstellen, die sich zusammen ziehen. Außerdem hilft die Vorstellung, dass Feldlinien eine gleichmäßige Verteilung (Dichte) anstreben. Da sie wegen der gegenläufigen Richtung zwischen den Leitern ‚ausgedünnt‘ wurden, wird durch Zusammenziehen der Leiter in diesem Bereich wieder eine ‚Verdichtung‘ erreicht.

**Erklärung zu 2.**

Wieder betrachten wir die Felder der beiden Leiter unabhängig voneinander. Man erkennt, dass die Feldlinien zwischen den Leitern in gleicher Richtung verlaufen, wenn diese in entgegengesetzter Richtung stromdurchflossen sind.



Zwischen den Leitern kommt es daher zu einer Verstärkung bzw. Verdichtung dieser Feldlinien, die sich nicht überschneiden dürfen. In Folge dieser veränderten Form der Feldlinien kommt es zu einer abstoßenden Kraft zwischen den Leitern.



#### Definition der Stromstärke

#### Aktuelle Definition im Gesetz über Einheiten im Messwesen:

Üben zwei parallele, im Abstand von 1 m aufgehängte, gerade Leiter unendlicher Länge mit vernachlässigbar kleinem kreisförmigen Querschnitt im Vakuum aufeinander eine Kraft von  $2 \cdot 10^{-7}$  N je Meter Leiterlänge aus, so fließt in ihnen der Strom 1 A.

#### Zur Information

Eine praktische Umsetzung der Formulierung der Definition ist selbstverständlich nicht direkt möglich. Formelmäßig ergibt sich::

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d}$$

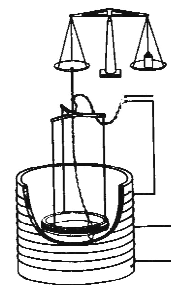
Darin ist  $l$  die Länge der Leiter,  $\mu_0$  die magnetische Feldkonstante,  $I_1$  und  $I_2$  die Stromstärke im jeweiligen Leiter und  $d$  der Abstand der beiden Leiter.

An Stelle der unendlich langen Leiter benutzt man zwei koaxiale Kreisringe, so dass das Verhältnis des Produktes der Stromstärken  $I_1 \cdot I_2$  zur Kraft  $F$  aus den geometrischen Abmessungen und  $\mu_0$  herleitbar bleibt.

Mit der abgebildeten Stromwaage von Driscoll und Cutkosky wird über das magnetische Moment ein Massenvergleich hergestellt.

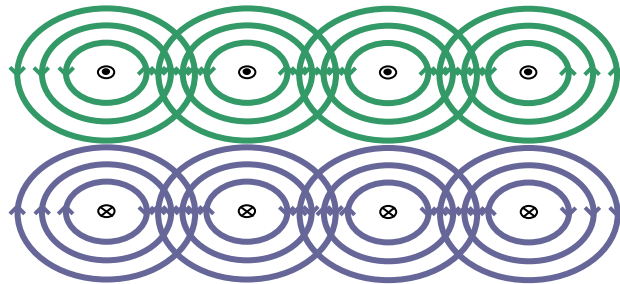
Bei dieser Versuchsanordnung liegt die Messunsicherheit bei etwa  $6 \cdot 10^{-6}$  A. Diese wird im wesentlichen durch die Wägung und die geometrische Vermessung der Spulen verursacht.

Eine sehr genaue Beschreibung findet sich in dem Buch von Detlef Kamke und Klaus Krämer: Physikalische Grundlagen der Maßeinheiten, Stuttgart (Teubner) 1977, S.95 ff., dem auch die nebenstehende, leicht vereinfachte Abbildung entnommen ist.

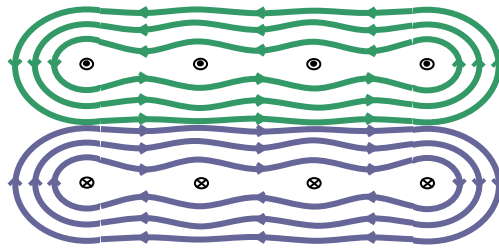


### Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule (1)

(1) Eine Spule besteht aus mehreren Leitern nebeneinander, deren jeweiligen Felder zunächst unabhängig voneinander betrachtet werden.

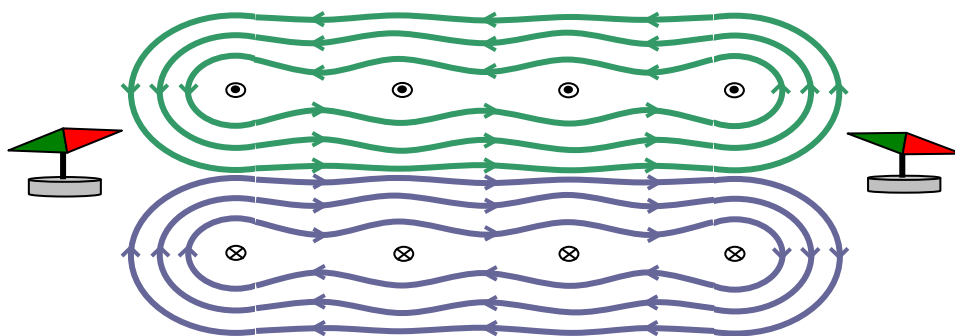


(2) Die Überlagerung der einzelnen Felder führt zu dem folgenden Feldlinienbild:

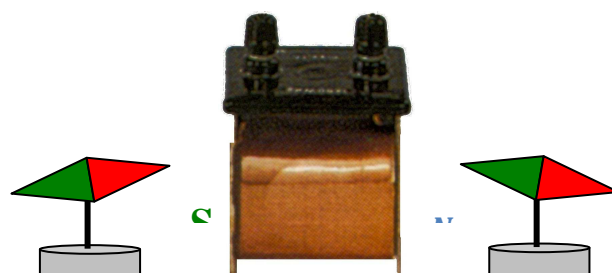


### Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule (2)

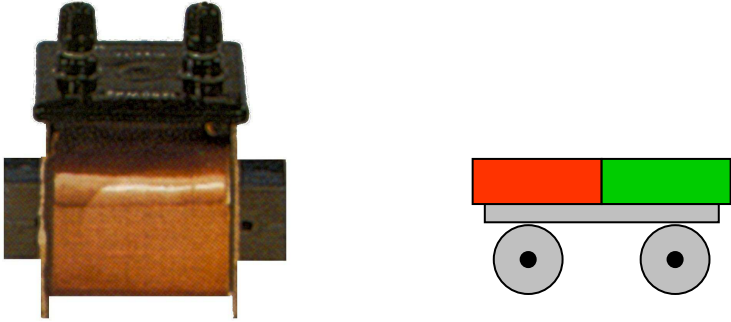
(3) An die Spulenenenden gebrachte Kompassnadeln stellen sich wie folgt ein:

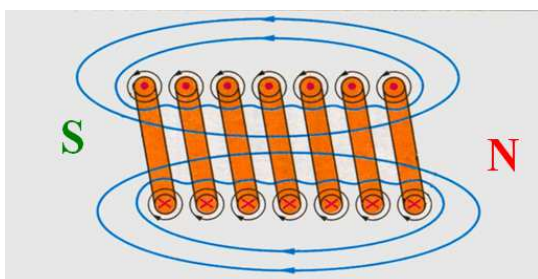


(4) Die Spule wirkt also so, als ob sich an ihren Enden Magnetpole befänden, und zwar auf der einen Seite ein Südpol und auf der anderen Seite ein Nordpol.



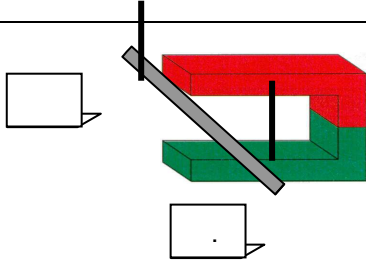
### Experiment: Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule

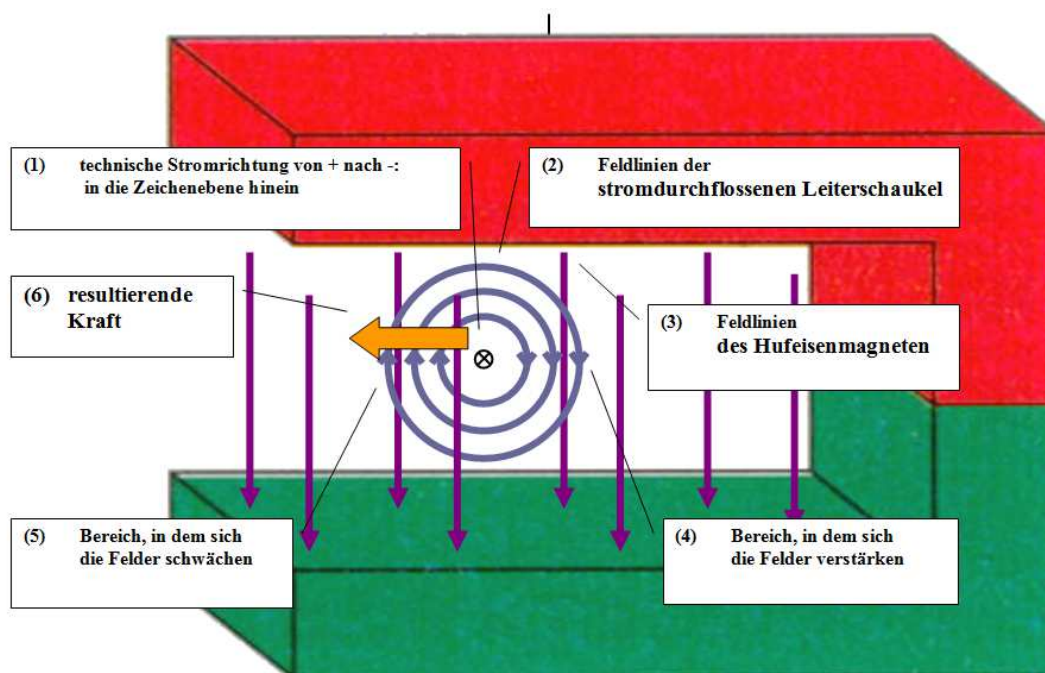
|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Versuchsziel:</b>         | Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule wird experimentell bestätigt.  |
| <b>Versuchsaufbau:</b>       |   |
| <b>Versuchsdurchführung:</b> | Man legt einen Stabmagneten auf einen Wagen, den man in die Nähe einer Spule bringt.<br>Fließt Strom durch die Spule, wird der Wagen je nach Stromrichtung auf die Spule zu- oder von dieser wegfahren.   |
| <b>Versuchserklärung:</b>    | Die Spule ist bei Stromfluss von einem Magnetfeld umgeben.<br>Dabei baut sie an ihren Enden – in Abhängigkeit von der Stromrichtung – jeweils einen Nordpol und einen Südpol auf.<br>Liegt dem Wagen – wie oben abgebildet – ein Nordpol der Spule gegenüber, wird der Wagen sich von der Spule entfernen.<br>Liegt dem Wagen aber in der obigen Situation ein Südpol der Spule gegenüber, wird er sich der Spule annähern. |
| <b>Versuchsergebnis:</b>     | Eine stromdurchflossene Spule verhält sich mit ihren Ende wie die Pole eines Magneten.  |
| <b>Anmerkung:</b>            | Der Weicheisenkern ist eingeschoben, um das Magnetfeld der Spule hinreichend stark zu machen.   |



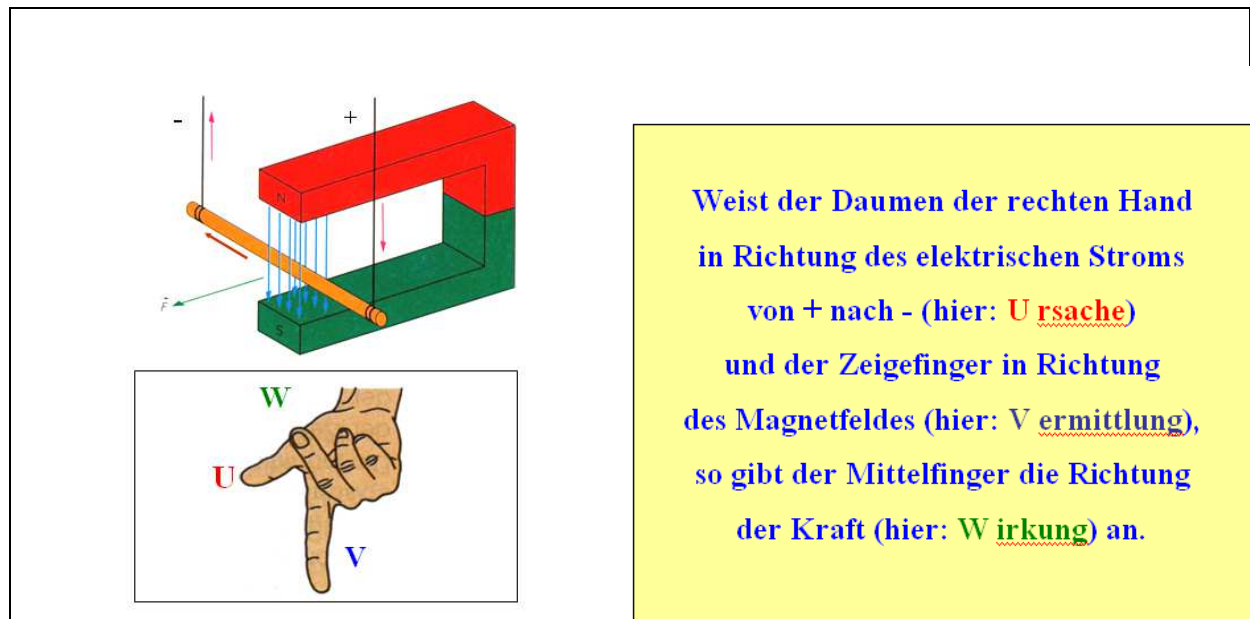
**Umfasst man die Windungen einer stromdurchflossenen Spule so mit der rechten Hand, dass die gekrümmten Finger in die technische Stromrichtung zeigen (von + nach -), so zeigt der abgespreizte Daumen zum Nordpol der Spule**

### Experiment: Leiterschaukelversuch

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Versuchsziel:</b>         | Durch den Leiterschaukelversuch wird die Lorentzkraft eingeführt.  |
| <b>Versuch:</b>              |   |
| <b>Versuchsdurchführung:</b> | Eine Leiterschaukel wird zwischen die Schenkel eines Hufeisenmagneten gebracht.<br>Bei Stromfluss wird sie in Abhängigkeit von der Stromrichtung in den Hufeisenmagneten hinein- oder aber aus diesem heraus bewegt.   |
| <b>Versuchserklärung:</b>    | Um den stromdurchflossenen Leiter baut sich ein kreisförmiges Magnetfeld auf.<br>Dieses wird überlagert vom Magnetfeld des Hufeisenmagneten.<br>Während sich auf der einen Seite der Leiterschaukel die Felder gegenseitig schwächen, verstärken sich die Felder auf der anderen Seite der Leiterschaukel.<br>Die Leiterschaukel wird daher zu der Seite hin bewegt, auf der sich die Felder schwächen.<br>Dieser Vorgang wird als Kraft auf die Elektronen in der Leiterschaukel beschrieben und nach ihrem Entdecker Lorentzkraft genannt. |
| <b>Versuchsergebnis:</b>     | Auf Ladungen, die in einem Magnetfeld bewegt werden, wirkt eine Kraft, die sowohl senkrecht zur Richtung des Magnetfeldes als auch senkrecht zur Richtung des Stroms orientiert ist (Lorentzkraft).  |



## Die UVW- Regel



### Was geschah im Jahr...

1675

Nach einem Blitzeinschlag kehrt ein Schiff, das von England nach Südamerika unterwegs ist, plötzlich um. Die Ursache ist bald gefunden: Durch den Blitz waren alle Schiffskompassse umgekehrt worden: die Kompassnadeln haben ihre Magnetpole vertauscht

Etwa zur gleichen Zeit gibt es einen Bericht, „dass ein Blitz, welcher in die Werkstatt eines Schuhmachers in Schwaben einschlug, dort alle Werkzeuge so stark magnetisierte, das der arme Handwerker sie nicht mehr gebrauchen konnte. Er hatte fortwährend damit zu schaffen, seinen Hammer seine Zange, sein Messer von Nägeln, Nadeln und Pfriemen zu befreien, welche sich auf dem Werk Tisch daran hingen.“  
(Quelle unbekannt)

1820

Ørsted entdeckt während einer Vorlesung zufällig den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus, den Elektromagnetismus.

