

Die UVW-Regel wird auch als **Rechte-Hand-Regel** bezeichnet.

Ursache U:

Stromfluss

Vermittlung V:

Magnetfeld

Wirkung W:

Kraft auf Leiter

Sie kann auch als

**Linke-Hand-Regel**

formuliert werden.

Dann ist als Strom-

richtung die Rich-

tion von - nach +

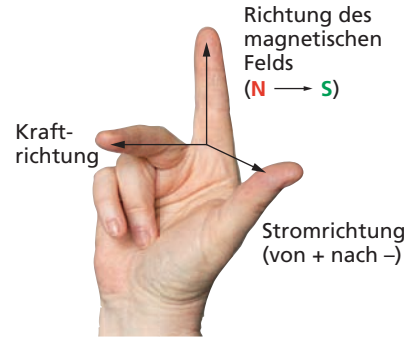
(Bewegungsrichtung

von Elektronen) zu

wählen.



1 Der Kraftmesser zeigt die auf das Leiterstück wirkende Kraft an.



2 Die Richtung der Kraft kann mit der UVW-Regel bestimmt werden.

#### 4.4.2 Beschreibung magnetischer Felder durch eine Größe

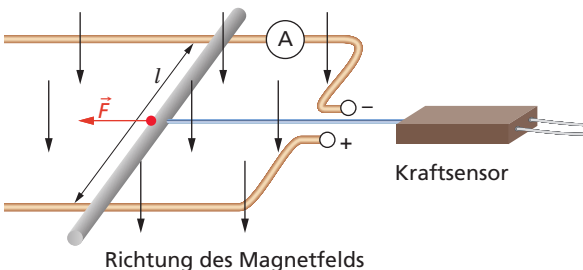
Die Stärke eines elektrischen Felds lässt sich durch die elektrische Feldstärke  $E$  (↗ S. 273 f.) genauer kennzeichnen. In analoger Weise lässt sich ein Magnetfeld charakterisieren. Wir betrachten dazu die Kraft, die im Magnetfeld auf einen stromdurchflossenen Leiter ausgeübt wird.

Aus dem bisherigen Physikunterricht ist bereits bekannt: Befindet sich ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld, so wird auf ihn eine Kraft ausgeübt.

Erste experimentelle Untersuchungen zeigen, dass die Kraft abhängig ist von

- der Stärke des Magnetfelds, in dem sich der Leiter befindet,
- der Stromstärke durch den Leiter und
- der Länge des Leiterstücks, das sich im Magnetfeld befindet.

Zur genaueren experimentellen Untersuchung der Zusammenhänge wird ein Leiterstück in ein homogenes Magnetfeld gebracht. Das stromdurchflossene Leiterstück der Länge  $l$  steht senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfelds. Die Kraft auf das stromdurchflossene Leiterstück kann mit einem Federkraftmesser oder mit einem Kraftsensor gemessen werden.



Die experimentelle Untersuchung der Zusammenhänge ergibt:

- Bei konstanter Länge  $l$  ist die Kraft umso größer, je größer die Stromstärke ist:  $F \sim I$
- Bei konstanter Stromstärke ist die Kraft umso größer, je länger der stromdurchflossene Leiter ist, der sich im Magnetfeld befindet:  $F \sim l$

Die Zusammenfassung der Proportionalitäten ergibt:

$$F \sim I \cdot l \quad \text{oder} \quad \frac{F}{I \cdot l} = \text{konstant}$$

Weitere Untersuchungen zeigen: In einem stärkeren Magnetfeld ist der Quotient größer, in einem schwächeren kleiner. Er ist somit geeignet, die **Stärke eines Magnetfelds** zu kennzeichnen. Aus historischen Gründen bezeichnet man die Größe als **magnetische Flussdichte**.

Die magnetische Flussdichte gibt an, wie stark ein Magnetfeld ist.

Formelzeichen:  $B$

Einheit: ein Tesla (1 T)

Unter der Bedingung, dass sich ein stromdurchflossener Leiter senkrecht zu den Feldlinien eines Magnetfelds befindet, kann die magnetische Flussdichte berechnet werden mit der Gleichung:

$$B = \frac{F}{l \cdot I}$$

$F$  Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter  
 $I$  Stromstärke durch den Leiter  
 $l$  Länge des Leiters im Magnetfeld

Die Richtung der magnetischen Flussdichte ist gleich der Richtung der Feldlinien des magnetischen Felds. Für die Einheit ergibt sich aus der Definitionsgleichung  $1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$ . Diese Einheit wird als ein Tesla (1 T) bezeichnet:

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Ein Leiter von 4,0 cm Länge befindet sich in einem Magnetfeld und wird von einem Strom der Stärke 5,1 A durchflossen. Auf ihn wirkt eine Kraft von  $2,2 \cdot 10^{-2}$  N.

*Wie groß ist die magnetische Flussdichte des Felds?*

*Analyse:*

Da kein Winkel zwischen Leiter und Richtung des Magnetfelds angegeben ist, gehen wir davon aus, dass beide senkrecht zueinander sind. Dann kann die oben genannte Definitionsgleichung für die Flussdichte angewendet werden.

Gesucht:  $B$

Gegeben:  $l = 4,0 \text{ cm} = 0,040 \text{ m}$

$I = 5,1 \text{ A}$

$F = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ N}$

*Lösung:*

Für den Fall  $l$  und damit  $l$  senkrecht zu  $B$  gilt für die Flussdichte:

$$B = \frac{F}{l \cdot I}$$

$$B = \frac{2,2 \cdot 10^{-2} \text{ N}}{5,1 \text{ A} \cdot 0,040 \text{ m}}$$

$$\underline{B = 0,11 \text{ T}}$$

*Ergebnis:*

Die magnetische Flussdichte des betreffenden Magnetfelds beträgt 0,11 T.

Statt von magnetischer Flussdichte wird auch von **magnetischer Induktion** gesprochen.

Analog ist die Richtung der elektrischen Feldstärke gleich der Richtung der Feldlinien des elektrischen Felds. Benannt ist die Einheit der **magnetischen Flussdichte** nach dem kroatischen Elektrotechniker und Physiker NICOLA TESLA (1856 bis 1943).

Für die Einheiten gilt:

$$1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = 1 \text{ T}$$

### Abschirmung elektrischer Felder

Elektrische Felder können mithilfe von Leitern abgeschirmt werden. Bereits MICHAEL FARADAY (1791–1867) wies 1836 nach, dass eine solche Abschirmung nicht nur durch massive Leiter, sondern auch durch Metallgitter und -streben erfolgt. Eine Anordnung von Leitern, durch die ein Raum von elektrischen Feldern abgeschirmt wird, nennt man **faradayschen Käfig**.

Ein Beispiel für einen solchen faradayschen Käfig ist die Karosserie eines Autos. Auch bei einem Blitzeinschlag bleibt der Raum im Innern feldfrei. Personen sind damit geschützt. Das gilt selbst für Cabrios bei geschlossenem Dach. Faradaysche Käfige nutzt man auch, um Kabel oder elektronische Geräte vor störenden elektrischen Feldern abzuschirmen.

Eine Person, die sich in einem solchen Käfig befindet, ist auch bei Spannungen von einigen Hunderttausend Volt geschützt.



Bei vielen Kabeln erfolgt eine **Abschirmung elektrischer Felder** durch eine metallische Hülle oder durch ein Drahtgeflecht.

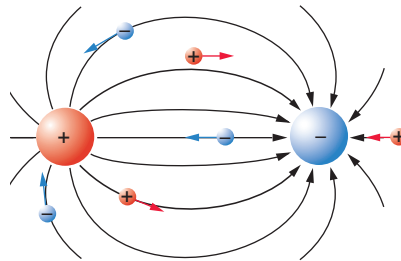
### Die elektrische Feldstärke

Zur genaueren Kennzeichnung elektrischer Felder kann man Betrag und Richtung der Kraft bestimmen, die auf einen geladenen Körper in diesem Feld wirkt.

Dazu könnte man z. B. den Betrag der Kraft messen, die auf einen Probekörper mit bestimmter Ladung wirkt.

Experimente zeigen: Der Betrag der Kraft hängt von der Stärke des Felds im betreffenden Punkt und von der Ladung des Probekörpers ab. Die Richtung der Kraft wird durch die Feldrichtung und die Art der Ladung bestimmt.

Die Stärke und die Richtung des elektrischen Felds können durch die Größe **elektrische Feldstärke** beschrieben werden.



Die elektrische Feldstärke in einem Punkt eines elektrischen Felds gibt an, wie groß die Kraft auf eine Ladung in diesem Punkt ist.

Formelzeichen:  $\vec{E}$

Einheit: ein Newton durch Coulomb  $(1 \frac{\text{N}}{\text{C}})$

ein Volt durch Meter  $(1 \frac{\text{V}}{\text{m}})$

Für die Einheit gilt:

$$\begin{aligned} 1 \frac{\text{N}}{\text{C}} &= 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{A} \cdot \text{s}} \\ &= 1 \frac{\text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}} \\ &= 1 \frac{\text{V}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Wir bezeichnen hier und nachfolgend die felderzeugende Ladung mit  $Q$ , die Ladung eines geladenen Körpers im Feld (Probekörper) mit  $q$ .

Mit der Festlegung  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$  stimmt die Richtung der **Feldstärke** in einem Punkt mit der Richtung der Feldlinie durch diesen Punkt überein. Die Kraft  $\vec{F}$ , die auf einen geladenen Körper in einem Feld wirkt, wird als **Feldkraft** bezeichnet.

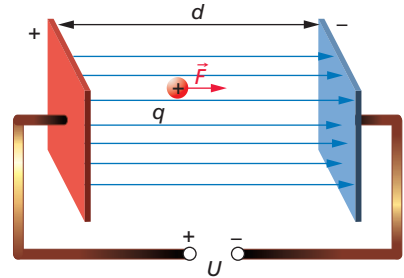
Für die Einheit gilt:

$$\begin{aligned} 1 \frac{\text{C} \cdot \text{V}}{\text{m}} &= 1 \frac{\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}}{\text{m}} \\ &= 1 \frac{\text{Ws}}{\text{m}} \\ &= 1 \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 1 \text{ N} \end{aligned}$$

Die elektrische Feldstärke kann berechnet werden mit der Gleichung:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \begin{array}{l} \vec{F} \text{ Kraft auf einen positiv geladenen Körper} \\ q \text{ Ladung dieses Körpers} \end{array}$$

Bei einem homogenen elektrischen Feld ist die elektrische Feldstärke an allen Stellen gleich groß. Sie hängt bei einem elektrischen Feld zwischen zwei parallel zueinander stehenden Platten (Plattenkondensator) nur vom Abstand  $d$  der Platten und der Spannung  $U$  zwischen ihnen ab.



Für das homogene Feld im Innern eines Plattenkondensators kann die elektrische Feldstärke berechnet werden mit der Gleichung:

$$E = \frac{U}{d} \quad \begin{array}{l} U \text{ Spannung zwischen den Platten} \\ d \text{ Abstand der Platten} \end{array}$$

Beträgt z. B. die Spannung zwischen den Platten 100 V und der Plattenabstand 10 cm = 0,1 m, dann ist  $E = \frac{100 \text{ V}}{0,1 \text{ m}} = 1000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ .

Zwischen zwei Kondensatorplatten mit einem Abstand von 3,2 cm liegt eine Spannung von 1,5 kV.

Wie groß ist die Kraft auf einen Körper mit einer Ladung von 20 nC?

**Analyse:**

Zur Berechnung können die oben genannten Gleichungen für die elektrische Feldstärke genutzt werden.

Gesucht:  $F$   
 Gegeben:  $d = 3,2 \text{ cm} = 0,032 \text{ m}$   
 $U = 1,5 \text{ kV} = 1500 \text{ V}$   
 $q = 20 \text{ nC} = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

**Lösung:**

Aus  $F = q \cdot E$  und  $E = \frac{U}{d}$  erhält man:

$$F = q \cdot \frac{U}{d}$$

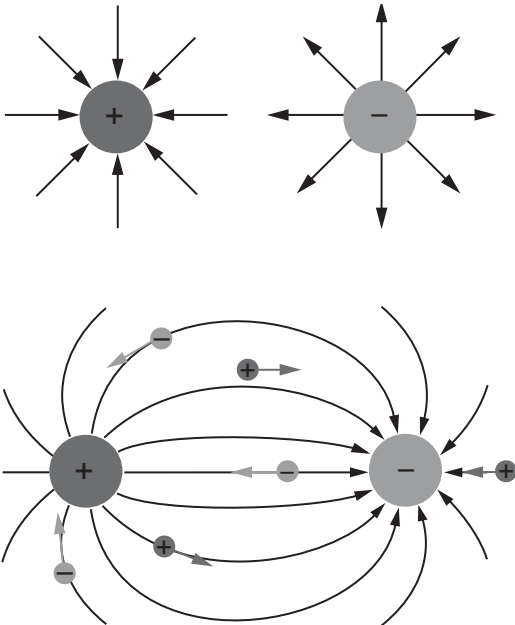
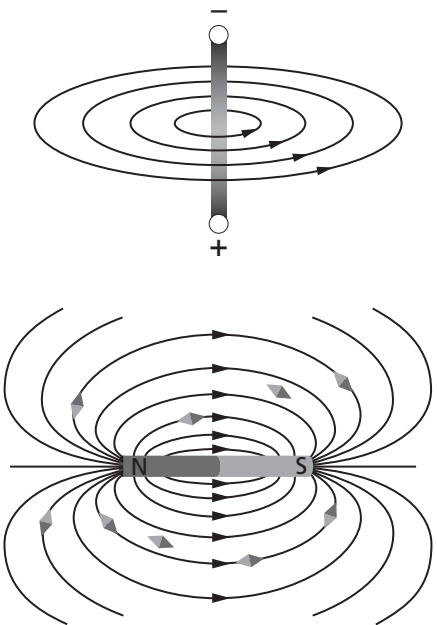
$$F = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C} \cdot \frac{1500 \text{ V}}{0,032 \text{ m}}$$

$$\underline{F = 9,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}}$$

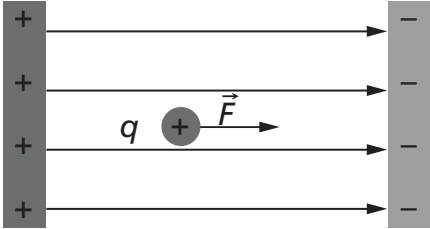
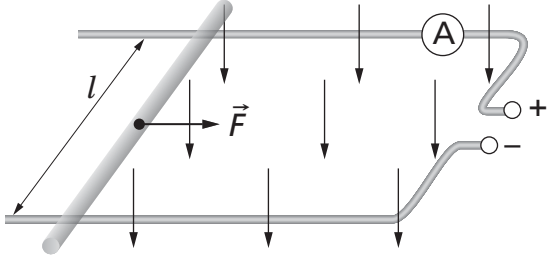
**Ergebnis:**

Auf den geladenen Körper wirkt im Feld eine Kraft von  $9,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$ .

### Statische Felder

Statische elektrische Felder	Statische magnetische Felder
existieren um elektrisch geladene Körper.	existieren um Dauermagnete und stromdurchflossene Leiter bzw. Spulen.
können mithilfe von Feldlinienbildern beschrieben werden.	können mithilfe von Feldlinienbildern beschrieben werden.
	
Ein Feldlinienbild ist ein Modell des real existierenden Felds.	Ein Feldlinienbild ist ein Modell des real existierenden Felds.
Die Feldlinien verlaufen von + nach -. Sie beginnen und enden an Ladungen.	Die Feldlinien verlaufen im Außenraum vom Nordpol zum Südpol. Es sind geschlossene Linien.
Die Dichte der Feldlinien ist ein Maß für die Stärke des Felds.	Die Dichte der Feldlinien ist ein Maß für die Stärke des Felds.
Auf positiv geladene Körper oder Teilchen im Feld wirkt die Feldkraft immer in Richtung der Feldlinien, auf negativ geladene Körper oder Teilchen entgegengesetzt dazu.	Magnetnadeln richten sich im Feld so aus, dass sie längs der Feldlinien liegen. Der Nordpol der Magnetnadel zeigt in Richtung der Feldlinien.

## Quantitative Beschreibung statischer Felder

Statische elektrische Felder	Statische magnetische Felder
Die Stärke des elektrischen Felds hängt von der Ladung der felderzeugenden Körper ab.	Die Stärke des magnetischen Felds hängt vom Aufbau des Magneten und bei Leitern auch von der Stromstärke ab.
<p>Auf eine Ladung <math>q</math> im elektrischen Feld wird eine Kraft (Feldkraft) ausgeübt.</p> 	<p>Auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld wird eine Kraft (Feldkraft) ausgeübt.</p> 
<p>Für die elektrische Feldstärke gilt:</p> $E = \frac{F}{q} \quad [E] = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ <p>Die Richtung der Feldstärke ist gleich der Richtung der Kraft auf einen positiv geladenen Körper.</p>	<p>Für die magnetische Flussdichte gilt:</p> $B = \frac{F}{I \cdot l} \quad [B] = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}} = 1 \text{T}$ <p>Flussdichte <math>B</math>, Stromstärke <math>I</math> (Bewegungsrichtung positiv geladener Teilchen) und Kraft <math>F</math> stehen senkrecht zueinander.</p>
<p>Für das homogene Feld eines Plattenkondensators gilt:</p> $E = \frac{U}{d}$	<p>Für das homogene Feld im Innern einer langen, luftgefüllten Spule gilt:</p> $B = \mu_0 \cdot \frac{I \cdot N}{l}$
Die Feldstärke kann mit einem Feldstärkemesser ermittelt werden.	Die Flussdichte kann mit einem Feldstärkemesser (einer Hall-Sonde) ermittelt werden.
<p>Auf Ladungsträger im elektrischen Feld wirkt eine Kraft parallel oder antiparallel zur Richtung der Feldlinien.</p> $F = q \cdot E$	<p>Auf bewegte Ladungsträger wirkt im Magnetfeld eine Kraft (Lorentzkraft) senkrecht zur Bewegungsrichtung und senkrecht zur Richtung des Magnetfelds (UVW-Regel).</p> $F = B \cdot q \cdot v$