

Felder in der Physik

Wenn ein Sturm über ein Getreidefeld fegt, kann man möglicherweise anhand der Richtung und des Ausmasses, in dem sich die einzelnen Halme neigen, die Stärke und Richtung des Sturms erkennen. Auch örtliche Unterschiede in der Windrichtung – ja selbst ein Wirbelsturm wäre erkennbar.

Vielleicht kommt es von dieser Vorstellung her, dass man in der Physik die mathematische Beschreibung eines solchen Sturmes, bei der man an jedem Ort Geschwindigkeit und Richtung des Windes angibt, ein *Feld*, und zwar in diesem Fall ein *Geschwindigkeitsfeld* nennt.

Allgemein gesprochen ist ein Feld in der Physik eine Grösse, die an jedem Ort im Raum (oder auf einer Oberfläche) einen bestimmten Wert annimmt. Handelt es sich bei dieser Grösse um eine Zahl, so spricht man von einem *skalaren* Feld, handelt es sich um einen Vektor, so redet man von einem *Vektorfeld*.

Beispiele für skalare Felder sind: Temperaturverteilungen, Druckverteilungen, Dichteverteilungen und Spannungsverteilungen (wobei hier mechanische Spannungen gemeint sind, wie sie z.B. in Gebäuden oder Brücken vorkommen).

Beispiele für vektorielle Felder sind: Geschwindigkeitsfelder, Beschleunigungsfelder, Strahlungsfelder und Kraftfelder. Zu den Kraftfeldern zählen magnetische Felder, elektrische Felder und Gravitationsfelder. Diese Kraftfelder werden im folgenden genauer besprochen.

Das Gravitationsfeld

Gravitation (Schwerkraft) geht von Körpern mit Masse aus. Sie steigt mit der Masse des Körpers, der die Gravitation erzeugt und nimmt mit dem Quadrat des Abstands vom Mittelpunkt dieses Körpers ab. Nur sehr grosse Körper wie Erde, Mond oder Sonne üben eine für uns merkliche Gravitation aus.

Die Anziehungskraft, die ein Mensch auf der Erde spürt, ist etwa sechsmal so gross wie diejenige, die er auf der Mondoberfläche spüren würde, und viermal so gross wie diejenige, die er in einer Höhe von 6378 km über der Erdoberfläche spüren würde. Um solche Unterschiede mathematisch zu fassen, gibt man an, wie gross an einem Ort die Schwerkraft ist, die *pro kg Masse* auf den Menschen (oder etwas anderes) wirkt, und in welche Richtung diese Kraft zeigt. Wenn man diese Angabe für jeden Ort im Raum macht, erhält man das Gravitationsfeld. Die Kraft, die auf den *ganzen* Menschen wirkt, ist dann so gross wie das Gravitationsfeld, multipliziert mit der Masse des Menschen. Auf der Erdoberfläche ist das

Gravitationsfeld nichts anderes als die Erdbeschleunigung; geschrieben als Vektor: $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix}$. Im

Allgemeinen hat das Gravitationsfeld einer (kugelförmigen) Masse M im Abstand r von deren Mittelpunkt den Betrag $\Gamma \frac{M}{r^2}$, und zeigt in Richtung des Massenmittelpunkts. Die Einheit des

Feldes ist $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$, das Feld ist also die Kraft pro Kilogramm angezogene Masse.

Das elektrische Feld

Eine elektrisch geladene Kugel zieht andere elektrisch geladene Gegenstände an oder stösst sie ab. Die Stärke dieser Anziehung und Abstossung hängt – bei gegebener Ladung auf der Kugel und in einem gegebenen Abstand von deren Mittelpunkt – von der Ladungsmenge auf den angezogenen bzw. abgestossenen Gegenständen ab. Das elektrische Feld einer Kugel an einem bestimmten Ort definiert man daher als die Kraft, welche die Kugel pro Coulomb Ladung, das sich auf einem solchen Gegenstand befindet, auf diesen Gegenstand ausübt. Die gesamte Kraft auf den Gegenstand berechnet sich dann als das elektrische Feld am Ort des Gegenstands, multipliziert mit der Ladung des Gegenstands. Das elektrische Feld hat das Symbol \vec{E} und die Einheit $\frac{\text{N}}{\text{C}}$.

Das elektrische Feld einer Kugel mit der elektrischen Ladung Q im Abstand r von deren Mittelpunkt hat den Betrag $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$, und zeigt in Richtung des Kugelmittelpunkts.

Elektrische Felder gehen z.B. auch von geladenen Kondensatorplatten aus. Da sich die Kraft auf eine Punktladung q , die sich zwischen zwei Kondensatorplatten befindet, mit der Formel $F = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{qQ}{A}$ berechnen lässt, ist das elektrische Feld durch $\vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Q}{A}$ gegeben. Damit gilt wie

bei der Kugel $F = \vec{E} \cdot q$. Das Feld zeigt von der positiven zur negativ geladenen Platte.

Das magnetische Feld

Etwas analoges zur Definition des Feldes als Kraft pro kg oder Kraft pro Coulomb, wie es beim Gravitationsfeld und beim elektrischen Feld möglich war, ist beim Magnetfeld nicht möglich, weil es bei Magneten nichts gibt, das sich mit der Masse oder der elektrischen Ladung vergleichen lassen würde: Magneten sind immer *Dipole*, d.h., sie haben immer zwei entgegengesetzte Pole (Nord- und Südpol); trennt man einen Magneten in der Mitte durch, so erhält man zwei neue Magneten, von denen jeder wieder einen Nord- und einen Südpol hat. Dies kann man wiederholen, bis man einzelne Elektronen oder Quarks vor sich hat, und auch diese benehmen sich noch wie Magnete mit einem Nord- und einem Südpol.

Magnete wirken jedoch nicht nur auf andere Magnete, sondern auch auf elektrische Ladungen, sofern sich diese bewegen. Umgekehrt haben bewegte Ladungen (insbesondere Stromkreise) einen Einfluss auf Magneten, erzeugen also wiederum magnetische Felder.

Es liegt daher nahe, elektrische Ladungen zum Ausgangspunkt für die Definition von elektrischen Feldern zu machen. Insbesondere die Lorentzkraft F_L , also die Kraft eines Magneten auf ein bewegtes elektrisch geladenes Teilchen, eignet sich zur Definition des magnetischen Feldes. Diese Kraft ist proportional zur Geschwindigkeit v und zur Ladung q des Teilchens. Man kann daher den Quotienten $\frac{F_L}{vq}$ zur Definition des magnetischen Feldes B benutzen. Es gilt dann $F_L = q \cdot v \cdot B$. Die Einheit des magnetischen Feldes ist 1 Tesla (kurz T).

Die Lorentzkraft eignet sich zwar, um den Betrag des magnetischen Feldes zu bestimmen, nicht aber, um dessen Richtung zu definieren. Hierzu benutzt man kleine Kompassnadeln. Die Richtung vom Süd- zum Nordpol einer solchen Kompassnadel definiert die Richtung des Magnetfelds. Mit dieser Richtungsdefinition gilt, dass die Lorentzkraft stets senkrecht zum Magnetfeld und zur Geschwindigkeitsrichtung steht (s. dreidimensionale Skizze rechts).

