

# Was versteht man unter dem Begriff Kraftfeld?

Friedrich Herrmann  
Karlsruher Institut für Technologie

An der Uni lernt man, dass die Kraft im Allgemeinen abhängt vom Ort, von der Geschwindigkeit und von der Zeit. Wenn wir Glück haben, hängt sie nur vom Ort ab. Man sagt dann, man habe es mit einem konservativen Kraftfeld zu tun. Hier im Gerthsen, ganz vorn, auf Seite 24

*Wenn die Kraft auf einen Massenpunkt nur vom Ort  $\mathbf{r}$  abhängt, wo er sich befindet ... , also wenn  $\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{r})$ , so sagt man, in dem betreffenden Raumgebiet herrsche ein **Kraftfeld**  $\mathbf{F}(\mathbf{r})$ .*

Oder in Wikipedia unter dem Stichwort „Kraft“:

*Als physikalischer Fachbegriff bezeichnet Kraft die Fähigkeit, die Bewegung eines Körpers zu ändern (Richtungsänderung oder Beschleunigung) oder einen Körper zu verformen. Sie ist eine Feldgröße.*

Oder unter dem Stichwort „Kraftfeld“:

*Die Kraft ist eine ortsabhängige vektorielle Größe, also  $\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{r})$ .*

Also: Die Kraft ist eine Feldgröße.

Wir wollen nachsehen, wie das zu dem früher gesagten passt.

Ein typisches Beispiel ist ein elektrisches Feld: Man nimmt eine Probeladung, setzt sie irgendwo hin und misst die Kraft, die auf die Probeladung ausgeübt wird. Man kann nun mit der Probeladung den ganzen Raum abtasten und bekommt so das Kraftfeld  $\mathbf{F}(\mathbf{r})$ . Jedem Punkt im Raum ist eine Kraft zugeordnet. Da die Kraft ein Vektor ist, stellt diese räumliche Verteilung der Kraft ein Vektorfeld dar.

Diese Feststellung führt nun aber zu Problemen, insbesondere, wenn man es mit der Schulphysik zu tun hat.

Das erste Problem ist das kleinere. Wir betrachten das Kraftfeld einer elektrisch geladenen Kugel. Eine Kraft wird stets von einem auf einen anderen Körper ausgeübt. Welches ist hier der erste Körper? Die geladene Kugel, der so genannte Zentralkörper. Und der zweite? Die Probeladung? Aber die ist ja gar nicht da. Das Kraftfeld sagt uns nicht, dass da eine Kraft ist oder wirkt oder ausgeübt wird, sondern, dass da eine Kraft wirken würde, wenn eine Probeladung da wäre. Aber bitte nicht die Probeladungen alle gleichzeitig hinsetzen!

Das Vorgehen ist ungewöhnlich. Wenn wir von anderen Feldern sprechen, einem Temperaturfeld oder einem Druckfeld zum Beispiel, dann sagt uns  $T(\mathbf{r})$   $p(\mathbf{r})$ , wie an der Stelle die Temperatur ist oder der Druck, und zwar nicht erst dann, wenn man ein Thermometer oder ein Manometer hinstellt. Beim Kraftfeld ist das anders: Wenn keine Probeladung da ist, dann ist auch die Kraft nicht da.

Nun das zweite Problem:

Der Wert einer physikalischen Größen bezieht sich gewöhnlich auf ein geometrisches Gebilde, und immer wenn man einen Wert angibt, muss klar sein worauf. So gibt es Größen, deren Werte sich auf einen Punkt beziehen, z.B. die Temperatur, der Druck und die elektrische Feldstärke. Bei anderen Größen bezieht sich der Wert auf ein Linienstück, etwa die elektrische Spannung. Dann gibt es Größen, deren Wert sich auf eine Fläche bezieht. Hierzu gehören alle Ströme und Flüsse: die elektrische Stromstärke, die Leistung

(der Energiestrom) oder der magnetische Fluss. Bei wieder anderen bezieht sich der Wert auf ein Raumgebiet. Das sind die extensiven Größen: Masse, Energie, elektrische Ladung, etc.

Und wie steht es mit der Kraft? Nach den oben stehenden Aussagen bezieht sich eine Kraft auf einen Punkt.

Mit dieser Aussage muss man aber vorsichtig umgehen. Betrachten wir als Beispiel ein Seil, das unter Zugspannung steht; und zwar nicht ein unendlich dünnes Seil, sondern ein reales Seil mit einem endlichen Durchmesser. Wie können wir den Kraftbegriff in diesem Zusammenhang benutzen? Man macht in Gedanken einen Schnitt durch das Seil und kann nun sagen, dass das linke Seilstück A auf das rechte Seilstück B eine Kraft ausübt, und B übt auf A eine entgegengesetzt gleich große Kraft. Die Beziehung zwischen diesen beiden Kräften ist Gegenstand des dritten Newtonschen Gesetzes: *actio gleich reactio*. Und auf was für ein geometrisches Gebilde bezieht sich die Kraft, die das eine Seilstück auf das andere ausübt? Auf einen Punkt? Natürlich nicht, sondern auf eine Fläche; die Querschnittsfläche des Seils.

Wenn wir die Situation mit Impulsströmen beschreiben, ist die Sache natürlich von vornherein klar: jeder Strom bezieht sich auf eine Fläche.

Diese Aussage ist übrigens eine Selbstverständlichkeit für jeden Ingenieur. Sie steht aber im Widerspruch zu unseren Zitaten, die nicht aus Lehrbüchern für Ingenieure stammen.

Wie kommt die Physik dazu, Kraftfelder einzuführen? Sie beschreibt mechanische Vorgänge mit dem Modell des Massenpunktes. Statt des Grundbegriffs „Körper“ der Newtonschen Mechanik benutzt sie den Begriff Massenpunkt.

Die entsprechende Theorie heißt Punktmechanik; im Gegensatz zur Kontinuumsmechanik der Ingenieure.

Wenn die Probeladung oder die Probemasse punktförmig ist, so wird auch die Bezugsfläche der Kraft zum Punkt.

Wenn man die Punktmechanik benutzt, muss man also einige Besonderheiten in Kauf nehmen. Hierzu gehört:

- der Wert der Masse bezieht sich auf einen Punkt;
- der Wert der Kraft bezieht sich auf einen Punkt;
- die Massendichte gibt es nicht;
- die mechanische Spannung und den Druck gibt es nicht.

Wir sehen: Punktmechanik und Kontinuumsmechanik sind zwei verschiedene Beschreibungsweisen der Natur. Wir können so weit gehen und sagen, es sind zwei verschiedene Theorien. Und wir müssen sehr aufpassen, wenn wir zwischen diesen hin- und herspringen; also etwa wenn wir zunächst sagen, die Kraft beziehe sich auf einen Punkt, später aber den Druck und die Massendichte einführen.

Die Punktmechanik hat sich in der Physik bewährt, sie ist besonders nützlich für die Lieblingsanwendungen der Physiker: die Himmelsmechanik und die Teilchenphysik. Darum lieben Physiker die Punktmechanik. Sie lieben sie so sehr, dass die Universitätsphysik gleich damit anfängt. Ich zitiere noch einmal aus dem Gerthsen, diesmal Seite 1, den ersten Satz:

### *Einleitung*

*Der einfachste Teil der Mechanik behandelt Fälle, in denen man von der Ausdehnung der Körper absehen kann und sie als mit Masse behaftete Punkte, Massenpunkte betrachten kann.*

Oder den Tipler:

*Um unsere Betrachtungen von Bewegungen zu vereinfachen, beginnen wir zunächst mit Gegenständen, deren Position im Raum durch die Angabe der Koordinaten eines Punktes beschrieben werden kann. Einen solchen Gegenstand nennen wir ein Teilchen. Es liegt nahe, ein Teilchen als einen sehr kleinen Gegenstand anzusehen – häufig spricht man auch von einem Massenpunkt (oder einer Punktmasse) und meint damit einen idealisierten Körper, dessen Masse in einem Punkt konzentriert ist.*

Sie sehen an dem Zitat aus dem Gerthsen besonders deutlich die Auffassung: Es geht nicht in erster Linie um die uns umgebenden mechanischen Erscheinungen, es geht nicht um fallende Steine, fahrende Autos, stehende Tische. Die Punktmechanik der Hochschulphysik ist von vornherein zugeschnitten auf das, was den Berufsphysiker interessiert.

Aber wie sollen wir Schulphysiker damit umgehen?

Dazu wollen wir uns noch einmal die Frage stellen, die sich jeder von Ihnen sicher schon öfter gestellt hat: Wozu ist unser Unterricht da? Zur Vorbereitung auf den Beruf des Physikers? Oder um kompetent mit unserer alltäglichen technischen Umwelt umgehen zu können? Man sollte sicher nicht eines dieser beiden Ziele ausschließen. In der Reihenfolge der Wichtigkeit kommt in der Schule aber sicher erst das Auto, und dann das Quark und das Higgs.

Zum Schluss noch die Frage: Wie sollen wir über ein einfaches Coulombfeld sprechen; ist das denn kein Kraftfeld? Wie sollen wir denn den Raum in der Umgebung des Zentralkörpers ohne Kraftfeld beschreiben? Die Antwort ist ganz einfach: Mit der Feldstärke.

Hier noch einmal die allen bekannte Gleichung, an der wir natürlich nichts ändern wollen:

$$\mathbf{F} = Q \cdot \mathbf{E} \tag{1}$$

Die elektrische Feldstärke  $\mathbf{E}$  ist wirklich eine Feldgröße, d.h. ihre Werte sind im Raum verteilt. Wir können also schreiben  $\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{r})$ . Der „Probekörper“ mit der Ladung  $Q$  aber hat eine Ausdehnung. Damit Gleichung (1) anwendbar ist, muss die Ausdehnung so klein sein, dass die Feldstärke im entsprechenden Raumbereich (vor dem Einbringen des Probekörpers) als homogen angesehen werden kann.  $\mathbf{F}$  ist dann die Kraft auf den Probekörper. Ihr Wert bezieht sich nicht auf einen Punkt, sondern auf eine geschlossene Fläche, die den Probekörper einschließt, oder in Newtonscher Sprechweise auf den Körper selbst.

Das Entsprechende gilt für das Gravitationsfeld:

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{g} .$$

Die Masse bezieht sich auf ein Raumgebiet, die Gravitationsfeldstärke (= Ortsfaktor) auf einen Punkt und die Kraft auf eine Fläche.

## Literatur

[1] D. Meschede: Gerthsen Physik, 21. Auflage, Springer Berlin 2002, S. 24.

[2] Wikipedia Dezember 2006, Stichwort „Kraft“

[3] Wikipedia Dezember 2006, Stichwort „Kraftfeld“