

## *Altlasten der Physik (14)*

### **Das Feld als Raumbereich mit Eigenschaften**

#### *Gegenstand:*

Das Feld gilt als ein schwieriger Begriff. Wenn man Lehrbücher liest, bekommt man den Eindruck, es handle sich geradezu um ein geheimnisvolles Gebilde: "Die Anziehung... ist von der zwischenliegenden Materie unabhängig und erfolgt auch im leeren Raum, also ohne Materie! Dies gibt dem Raum um einen Magneten eine besondere physikalische Bedeutung; man nennt ihn ein magnetisches Feld..."<sup>1/</sup> "Der – auch materiefreie, leere – Raum wird zum Träger einer physikalischen Eigenschaft. Einen solchen Raum nennt man ein Feld."<sup>2/</sup> "Den Raum um einen Magneten, in dem eine magnetische Wirkung zu beobachten ist, bezeichnet man als Magnetfeld."<sup>3/</sup> "Im Raum um einen Magneten werden auf ferromagnetische Körper und andere Magnete Kräfte ausgeübt. Man nennt diese Eigenschaft des Raumes magnetisches Feld."<sup>4/</sup> "In der Umgebung von Dauermagneten und stromführenden Leitern bestehen magnetische Felder;..."<sup>5/</sup> "Hat ein Raum die Eigenschaft, dass in jedem Raumpunkt ein magnetischer Dipol Kräfte erfährt, so sagen wir, in dem Raum bestehe ein Magnetfeld..."<sup>6/</sup>

#### *Mängel:*

Ein Feld ist ein physikalisches System, das sich nicht wesentlich von anderen Systemen, wie etwa einem idealen Gas, einem starren Körper oder einer idealen Flüssigkeit unterscheidet. Wie andere Systeme, so hat auch ein Feld Energie, Impuls, Drehimpuls und je nach Zustand auch Entropie. Wie andere "materielle" Systeme, so hat es auch einen Druck und je nach Zustand auch eine Temperatur. Und wie andere Systeme, so besteht es auch aus Elementarportionen, im Fall des elektromagnetischen Feldes aus Photonen.

Es ist deshalb berechtigt, sich von einem Feld eine ebenso konkrete Anschauung zu bilden wie von einem materiellen Stoff, wie von Luft oder Wasser zum Beispiel.

In einigen der oben zitierten Definitionen wird das Feld als "Raum" bezeichnet. Raum stellt sich aber heute wohl jeder Schüler oder Student als leer vor. Dieser leere Raum soll nun aber bestimmte Eigenschaften haben. Wie kann er das, wenn er leer ist? Nach einer der Definitionen ist das Feld sogar die Eigenschaft selbst. Wer hat aber diese Eigenschaft? Einigen Definitionen zufolge "besteht" im Raum ein Feld. Warum "befindet sich" das Feld nicht im Raum? Wir brauchen uns nicht zu wundern, wenn der so eingeführte Feldbegriff nicht in die Köpfe der Schüler hineingeht.

#### *Herkunft:*

Die Herkunft dieser Altlast lässt sich sehr deutlich erkennen. Für Faraday, den Erfinder des Feldbegriffs, war das Feld noch etwas sehr einfaches, – ein Konzept, das keine hohen Ansprüche an das Abstraktionsvermögen stellte. Für Faraday und seine Zeitgenossen war der ganze Raum erfüllt von einem Medium, von dem man eine recht konkrete Vorstellung hatte, dem Äther. Felder waren für ihn nicht weniger konkrete Gebilde: Sie waren Bereiche des Äthers, die sich in einem bestimmten, veränderten Zustand befanden. Der Feldzustand des Äthers zeichnete sich vor allem dadurch vom Nichtfeldzustand aus, dass der Äther hier unter mechanischer Spannung stand.

Maxwell, der den Faradayschen Ideen eine mathematische Form gab, definierte das Feld so: "Man bezeichnet den Raum in der Umgebung eines electricierten Körpers, insofern sich in demselben die electricischen Phänomene abspielen, als Electricisches Feld."<sup>7/</sup> Man beachte, dass auch für Maxwell der ganze Raum mit Äther erfüllt war, dass also Raum und Äther für ihn dasselbe waren. Aus dem Michelson-Morley-Experiment und der speziellen Relativitätstheorie folgte, dass der Äther nicht die einfachen mechanischen Eigenschaften hatte, die man zunächst angenommen hatte. Ein wohl etwas voreiliger Schluss, den viele zogen, war, dass es den Äther gar nicht gibt. Tatsächlich verschwand der Begriff aus vielen Physikbüchern – wenn auch durchaus nicht aus allen. Dadurch verlor nun aber der Feldbegriff seine Grundlage. Vorher war das

Feld ein besonderer Zustand des Äthers, nun wurde er zu einem besonderen Zustand von etwas, das nicht existiert. Der logische Bruch, der entstand, wurde allerdings offenbar gar nicht als solcher wahrgenommen, hatte doch Maxwell selbst das Feld als einen Raumbereich definiert. Tatsächlich war aber für Maxwell Raum ohne Äther gar nicht denkbar.

Die Zeit, in der das Feld keine begriffliche Grundlage mehr hatte, hätte aber gar nicht lange zu dauern brauchen. Es wurde nämlich zur selben Zeit, d. h. zu Anfang dieses Jahrhunderts, immer klarer, insbesondere durch die Arbeiten von Planck zur Wärmestrahlung, dass das elektromagnetische Feld ein physikalisches System ist wie andere Systeme. Leider hat aber der Feldbegriff in dem unschönen Zustand, in den er kurz nach der Veröffentlichung der speziellen Relativitätstheorie geraten ist, bis heute überlebt.

Außer dieser komplizierten historischen Entwicklung des Feldbegriffs trägt zur Verwirrung noch eine andere Tatsache bei: Das Wort Feld wird außer als Name für ein physikalisches System noch in einer anderen Bedeutung verwendet, nämlich als mathematischer Begriff. Als solcher bezeichnet es die Verteilung der Werte einer Größe im Raum. So spricht man von einem Temperatur-, einem Druck- oder einem Dichtefeld. Oft werden aber die beiden Bedeutungen des Wortes Feld nicht auseinander gehalten.. So ist in Lehrbüchern manchmal einfach von einem "elektrischen Feld  $E$ " die Rede. Solche Aussagen sollte man vermeiden, denn sie lassen nicht erkennen, ob das *physikalische System* "elektrisches Feld" oder die räumliche *Verteilung*  $E(x, y, z)$  der physikalischen Größe "elektrische Feldstärke" gemeint ist.

#### *Entsorgung:*

Man orientiere sich, wenn man den Feldbegriff einführt, daran, wie man andere, materielle Systeme einführt oder einführen würde. Wenn man jemandem erklären sollte, was ein ideales Gas ist, so könnte man etwa so beginnen: "Ein ideales Gas ist ein System, oder ein Stoff, oder ein Gebilde mit den folgenden Eigenschaften..." Ähnlich sollte man mit der Einführung etwa des elektrischen Feldes beginnen: "Ein elektrisches Feld ist ein Gebilde mit den folgenden Eigenschaften..."

Wie ungeschickt es ist, ein Feld einzuführen als Raum mit besonderen physikalischen Eigenschaften, erkennt man, wenn man bedenkt, dass es durchaus nicht falsch wäre, wenn man zum Beispiel Luft definierte "als einen Raum mit einer besonderen physikalischen Bedeutung", oder "als Raum, der eine physikalische Eigenschaft trägt". Selbstverständlich würde das niemand tun.

- /1/ Dorn-Bader, Physik, Mittelstufe. – Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover, 1980. – S. 264
- /2/ Metzler Physik, Joachim Grehn (Hg.). – J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1991. – S. 86
- /3/ Physik für Gymnasien, Länderausgabe B, Gesamtband. – Cornelsen, Berlin 1991. – S. 250
- /4/ Kuhn, W.: Physik, Band I. – Westermann, Braunschweig 1990. – S. 217
- /5/ Einführung in die Physik, Sekundarstufe I, Ausgabe E.– Diesterweg, Sauerländer, Frankfurt, 1987. – S. 294
- /6/ Felder, GROSS BERHAG. – Ernst Klett Stuttgart, 1985. – S. 60
- /7/ Maxwell, J. C.: Lehrbuch der Electricität und des Magnetismus. – Verlag von Julius Springer, Berlin 1883. – S. 47

F. H.