

Das Überlagerungsprinzip

Gegenstand:

Das Überlagerungs- oder Unabhängigkeitsprinzip.

Mängel:

1. Verschiedene Autoren scheinen unter dem Überlagerungsprinzip verschiedenes zu verstehen. Einigen Texten zufolge macht das Prinzip, eine Aussage über die vektorielle Addition von Kraft oder Impuls /1, 2/, in anderen ist es ein Satz über die Addition der kinematischen Größen Geschwindigkeit, Weg und Beschleunigung /3, 4/. Manchmal wird es als eine Formulierung des Relativitätsprinzips vorgestellt /5/.

2. Beschränkt man sich darauf, zu behaupten, eine bestimmte vektorielle Größe sei additiv, so macht man eine Aussage, mit der nicht viel anzufangen ist. Es muss auf jeden Fall klar zum Ausdruck gebracht werden, unter welchen Umständen man die Werte der Größe addieren darf. Die Addition jeder physikalischen Größe – egal ob Skalar, Vektor oder Tensor – hat in der realen Welt irgendwelche Entsprechungen. Welchen Sinn macht der Satz, Geschwindigkeiten seien additiv? Das Addieren der Geschwindigkeiten von nebeneinander fahrenden Autos ist sinnvoll, wenn man den Mittelwert der beiden Geschwindigkeiten berechnen will. Geschwindigkeiten verhalten sich aber auch additiv bei Bezugssystemwechsel. Sind Drücke additiv? Manchmal schon: Partialdrücke idealer Gase addieren sich zum Gesamtdruck. Kräfte kann man addieren, wenn sie auf denselben Körper wirken. Impulse, wie alle anderen extensiven Größen, verhalten sich additiv, wenn man zwei Teilsysteme zu einem Gesamtsystem zusammenfasst. Sind Temperaturen additiv? Addiert man die Temperaturen, die ein Körper zu 10 verschiedenen äquidistanten Zeitpunkten hat, und dividiert durch 10, so erhält man das Zeitmittel der Temperatur. Schaltet man zwei Wärmepumpen hintereinander, so ist die insgesamt erreichte Temperaturdifferenz gleich der Summe der Temperaturdifferenzen, die jede Wärmepumpe einzeln schafft, usw.

3. Wenn das Überlagerungsprinzip tatsächlich nichts anderes ist als die Aussage, die Geschwindigkeit oder die Kraft addiere sich unter bestimmten Umständen vektoriell, so ist es wohl kaum gerechtfertigt, eine solche Aussage als Prinzip zu bezeichnen und es als eine Besonderheit herauszustellen (wie es in vielen Texten geschieht), es handele sich um einen Erfahrungssatz. In /1/ und /2/ wird die Aussage sogar zu Newtons Lex Quarta erhoben. Wie wir gesehen haben, kann man ein entsprechendes Prinzip zu jeder anderen physikalischen Größe formulieren. Die Additionsregel der Kraft, sowie die der Geschwindigkeit, gehört einfach zu den Anwendungsregeln des fundamentalen physikalischen Handwerkszeugs: zu den Regeln für den Umgang mit jeder einzelnen physikalischen Größe. Schließlich war das Überlagerungsprinzip ja auch bei Newton kein Gesetz.

4. In den meisten Schulbüchern wird das Überlagerungsprinzip vorgestellt als ein Prinzip, das aus einem Wurfexperiment folgt: Zwei Körper fallen gleichzeitig aus derselben Höhe, der eine wird einfach losgelassen, der andere beginnt mit einer waagrechten Impulskomponente. Das Ergebnis des Experiments ist, dass die Vertikalgeschwindigkeiten der beiden Körper denselben zeitlichen Verlauf zeigen. Nun setzt der Ausgang des Experiments die Gültigkeit mehrerer Gesetze und Regeln voraus, sodass es nicht verwunderlich ist, wenn unterschiedliche Schlüsse gezogen werden. Man kann aber die Bedingungen des Experiments leicht so wählen, dass das gewünschte Ergebnis gar nicht eintritt: Sind die fallenden Körper groß und leicht, sodass die Luftreibung nicht vernachlässigbar ist, so ist die Vertikalkomponente der Geschwindigkeit in den beiden Fällen nicht mehr gleich. Ebenso, wenn der Ortsfaktor, wie es sein Name ja behauptet, vom Ort abhängt. In /6/ wird daraus sogar der Schluss gezogen, es gebe gar kein allgemeines Überlagerungsprinzip.

5. Eine weitere Schwierigkeit entsteht dadurch, dass man sagt, ein Körper führe gleichzeitig mehrere unabhängige Teilbewegungen aus /3, 4, 5/. Wie erkennt man, ob ein Körper gleichzeitig mehrere Bewegungen ausführt? Indem man die Kraftfelder und die Anfangsimpulse für die Teilbewegungen vorgibt? Dann müsste ein Körper, der sich geradlinig durch gekreuzte elektrische und magnetische Felder bewegt, gleichzeitig eine kreisförmige und eine parabolische Teilbewegung ausführen, was er bekanntlich nicht tut. Oder bekommt man die Teilbewegungen, indem man die tatsächliche Geschwindigkeit nach den Regeln der Vektorrechnung zerlegt? Dann braucht man sich allerdings nicht zu wundern, dass beim Zusammensetzen die alte Bewegung wieder herauskommt.

Herkunft:

Er ist das erste Korollar zu den drei Gesetzen in Newtons Principia /7/. Offenbar hat es schon in früheren Zeiten Modifikationen erfahren, denn Ernst Mach /8/ kommentiert Newtons eigene Formulierung des Satzes: "Diese Auffassung ist vollkommen natürlich und bezeichnet doch deutlich den wesentlichen Punkt. Sie enthält nichts von dem Künstlichen und Geschraubten, das man nachher in die Lehre von der Zusammensetzung der Kräfte gebracht hat."

Entsorgung:

Es genügt, Kraft und Impuls auf die übliche Art als Vektoren einzuführen. Dabei wird selbstverständlich geklärt, unter welchen Umständen sich Kräfte und Impulse vektoriell addieren. Der Ausgang des Wurfexperiments ist dann vollständig beschreibbar.

/1/ Sommerfeld, A.: Vorlesungen über Theoretische Physik, Mechanik. – Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1944. – S. 6: "Als Lex Quarta, welche bei Newton allerdings nur als Zusatz zu den Bewegungsgesetzen, als Corollarium, auftritt, wollen wir die Regel vom Parallelogramm der Kräfte ansehen. Sie besagt, daß zwei Kräfte, die am gleichen Massenpunkt angreifen, sich zur Diagonalen des von ihnen gebildeten Parallelogramms zusammensetzen. Kräfte addieren sich wie Vektoren."

/2/ Lexikon Technik und exakte Naturwissenschaften, Band 10. – Fischer Taschenbuch Verlag, 1972. – S. 2978: "Unabhängigkeitsprinzip (Überlagerungsprinzip, Superpositionsprinzip), von Newton als Lex Quarta formulierte physikal. Erfahrungstatsache: Die Wirkungen mehrerer an einem Körper angreifender Kräfte überlagern sich ungestört, d. h. ohne gegenseitige Beeinflussung."

/3/ Metzler Physik. – J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1991. – S. 21: "Prinzip der ungestörten Überlagerung von Bewegungen: Führt ein Körper gleichzeitig zwei oder mehrere Bewegungen aus, so überlagern sich diese Bewegungen ungestört zur Gesamtbewegung. Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen addieren sich vektoriell."

/4/ Grimsehl: Lehrbuch der Physik. – B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1957. – S. 29: "Gesetz oder Prinzip von der Unabhängigkeit der Bewegungen: Führt ein Körper gleichzeitig zwei (oder mehrere) Bewegungen aus, so ist der von dem Körper erreichte Ort unabhängig davon, ob die Bewegungen gleichzeitig oder in beliebiger Reihenfolge einzeln nacheinander ausgeführt werden. Daraus folgt also, dass der gleichzeitige Ablauf der Teilbewegungen diese nicht beeinflusst."

/5/ Kuhn: Physik, Band II, 1. Teil: Klasse 11. – Westermann, Braunschweig, 1989. – S. 16-17: "Beide Teilbewegungen erfolgen offenbar völlig unabhängig voneinander. Die reale Bewegung setzt sich aus zwei voneinander unabhängigen Teilbewegungen zusammen (Unabhängigkeitsprinzip). Der gleiche Sachverhalt folgt auch aus der Anwendung des Relativitätsprinzips. [...] Würde das Unabhängigkeitsprinzip nicht gelten, [...] dann wären die Fallgesetze in einem fahrenden Zug anders als in einem ruhenden. Wir könnten dann durch Fallexperimente im Zug feststellen, ob dieser sich gleichförmig bewegt. Das ist nach unserer Erfahrung unmöglich, denn es würde das Relativitätsprinzips verletzen! Relativitätsprinzip und Unabhängigkeitsprinzip hängen eng zusammen."

/6/ Dorn-Bader: Physik, Oberstufe Band MS, Lehrerband. – Schroedel Schulbuchverlag GmbH, Hannover, 1985. – S. 20.

/7/ Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World. – Andrew Motte, trans. – University of California Press, Berkeley, 1962. – Vol 1, p. 14: "A body, acted on by two forces simultaneously, will describe the diagonal of a parallelogram in the same time as it would describe the sides by those forces separately."

/8/ Mach, E.: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. – F. A. Brockhaus, Leipzig, 1897. – S. 192.