

Probleme der Größeneinführung, aufgezeigt am Beispiel der Masse

H. SCHLICHTING, U. BACKHAUS

1. Problemstellung

Physik kommt nicht zuletzt dadurch zustande, daß man es versteht, gewisse Auffälligkeiten und Regelmäßigkeiten in der Natur auf den Begriff zu bringen und schließlich mit Hilfe eines Meßverfahrens zu einer quantitativen Größe auszuschärfen.

Die Begriffsbildung ist daher als Nahtstelle zwischen umgangssprachlicher und physikalischer Erfassung der Welt anzusehen. Weil „jedes Verständnis schließlich auf der gewöhnlichen Sprache beruhen muß“ (HEISENBERG 1978, S. 194), kommt der Begriffsbildung als Unterrichtsgegenstand eine groß Bedeutung zu.

In der Praxis des Physikunterrichts wird jedoch meist allenfalls dem letzten Schritt der Begriffsbildung, dem Meßverfahren, einige Aufmerksamkeit geschenkt. Die Phase der Konzipierung bzw. Formulierung von zunächst nur intuitiv erfaßten Auffälligkeiten natürlicher Vorgänge zu einem zunächst nur qualitativen Konzept bis hin zur Diskussion möglicher Meßverfahren hat dabei so gut wie keinen Stellenwert.

Das Meßverfahren für einen physikalischen Grundbegriff fällt daher meist zu Beginn der Beschäftigung mit einem neuen Phänomenbereich ziemlich unmotiviert vom Himmel des allwissenden Physiklehrers, ohne daß der Schüler eine Chance hätte, Anhaltspunkte dafür zu erfahren, warum die Festlegung gerade so und nicht anderes vorgenommen wird. Im Gegenteil, die Selbstverständlichkeit und Sorglosigkeit, mit der häufig im Unterricht aus Experimenten physikalische Begriffe und Theorien „gewonnen“ werden, suggeriert, daß die Meßverfahren für physikalische Größen durch die zu erfassende Wirklichkeit eindeutig festgelegt seien.

Demgegenüber muß u. E. in einem Physikunterricht, der physikalisches Verständnis fördern soll, mindestens an Beispielen deutlich werden, durch welche Erfahrungen Meßverfahren nahegelegt werden und durch welche logischen, konventionellen und empirischen Randbedingungen die weitgehende Freiheit bei der Wahl zwischen mehreren in Frage kommenden Meßverfahren eingeschränkt wird.

Dazu sollten die Schüler einerseits gründlich mit den Phänomenen vertraut gemacht werden, aus denen das jeweilige physikalische Konzept gewonnen und schließlich durch ein Meßverfahren quantifiziert wird. Darunter ist im einzelnen zu verstehen, daß,

- die Schüler einen möglichst umfassenden Überblick über die entsprechenden Phänomene erwerben,
- ihnen die Sichtweise nahegebracht wird, unter der sich innerhalb der Phänomene gewisse Auffälligkeiten ergeben und schließlich
- Möglichkeiten diskutiert werden, diese Auffälligkeiten auf den Begriff zu bringen.

Andererseits gehört dazu die Untersuchung, ob das gewählte Meßverfahren „in sich konsistent ist, d. h. ob die benutzten physikalischen Vorgänge tatsächlich so sind, wie sie bei der Verwendung während des Messens vorausgesetzt wurden“ (LUDWIG 1974, S. 38).

Als Beispiel sei die folgende Definition der Massen angeführt:

1. Zwei Körper haben die gleich Masse, wenn sie im freien Fall in gleichen Zeiten die gleiche Geschwindigkeit erreichen.
2. Ein aus zwei Körpern gleicher Masse zusammengesetzter Körper besitzt die doppelte Masse.

Man macht sich leicht klar, daß sich die beiden Definitionsteile widersprechen. Da erfahrungsgemäß (bei Berücksichtigung von Idealisierungen) alle Körper gleich schnell fallen, wird im 1. Definitionsteil die Gleichheit aller Körper festgelegt. Folglich kann es die im 2. Definitionsteil festgelegte Vielfachheit nicht geben. (Diese Inkonsistenz hätte übrigens vermieden werden können, wenn man als ersten Definitionsteil nicht die Gleichheit, sondern die Ungleichheit festgelegt hätte, wie an anderer Stelle (BACKHAUS et al. 1982) vorgeschlagen wurde.)

Dieses Vorhaben erfordert offenbar viel mehr, als Meßergebnisse zu registrieren und Quotienten zu bilden, obwohl normalerweise der Eindruck erweckt wird, das Quantitative sei das Wesentliche. Jeden-

falls hat es sich insbesondere infolge einer positivistischen Naturauffassung eingebürgert, diesen Prozeß der Begriffsumformung möglichst zu ignorieren.

Unter Elimination aller metaphysischen Elemente soll, wie z. B. Ernst MACH am Beispiel der Masse ausführt, das zu definierende physikalische Konzept auf eine mathematische Größe reduziert werden, die „nichts als die Erfüllung einer wichtigen Gleichung bedeutet“ (MACH 1900, S. 363). MACH kann so reden, weil er aufgrund seiner physikalischen Ausbildung gelernt hat, die Welt so zu sehen, wie sie sich als Ergebnis der physikalischen Bemühungen seiner Vorgänger darstellte.

2. Der physikalische Rahmen von Begriffen

In der Schule ist man hingegen in einer anderen Situation. Man möchte die Schüler nicht nur dazu bringen, mit physikalischen Größen umgehen zu können. Sie sollen auch einen Eindruck davon gewinnen, was es heißt, die Welt physikalisch zu sehen. Dazu könnte der Nachvollzug des Begriffsformungsprozesses einen Beitrag leisten. Dabei muß es zunächst darum gehen, das Auffällige an bestimmten Vorgängen in der Natur, das schließlich auf den Begriff gebracht werden soll, überhaupt erst einmal zu bemerken und dingfest zu machen: Was physikalisch auffällig ist, ist es nämlich vorwissenschaftlich noch lange nicht.

Beispielsweise kann es den Schülern normalerweise nicht auffallen, daß alle Körper gleich schnell fallen; eher ist das Gegenteil der Fall. Sie sehen daher in dem xxx zu beobachtenden Vorgang des freien Falls nichts Außergewöhnliches; er ist für die kein Phänomen.

Die Schüler müssen deshalb i. a. schrittweise dazu gebracht werden einzusehen, daß man bislang so (vorwissenschaftlich) gesehene Sachverhalte zweckmäßigerweise auch anders (physikalisch) sehen kann. „Erst wenn die Erfahrung in dieser Weise festgelegt worden ist, kann die Suche nach einer operationalen Definition beginnen“ (KUHN 1976, S. 141). Nicht die Festlegung des Meßverfahrens ist das Entscheidende – auch wenn man damit im folgenden präziser über die Dinge sprechen kann – sondern die Fixierung eines physikalischen Rahmens, der geeignet ist, die Dinge physikalisch zu sehen.

Will man also eine Größe messen, so muß man bereits in der Lage sein, das zugehörige Merkmal in entsprechenden Phänomenen zu erkennen. Anderenfalls könnte dieser Wunsch nicht einmal aufkommen.

Dieser Prozeß der Begriffsformung wird im folgenden am Beispiel der Masse näher erläutert.

3. Beispiel: Die Masse als Maß für die Quantität der Materie

Die Masse ist das Ergebnis des Versuchs, die Vorstellung, die Körper enthielten Materie unterschiedlicher Quantität, auf den Begriff zu bringen. Für diese Vorstellung spricht u. a. die Erfahrung, daß Körper unterschiedlich groß, schwer, kompakt usw. sind. Die Masse wird daher auch im Unterschied zu vielen anderen physikalischen Begriffen als etwas sehr Anschauliches angesehen und als substantielles Substrat alles Seienden aufgefaßt.

Bei dem Versuch der Präzisierung dessen, was man sich unter der Quantität der Materie (QdM) vorstellt, stößt man nicht selten auf den Vorschlag, die Größe bzw. das Volumen als Maß dafür zu nehmen. In der Tat liegt in vielen Fällen der Eindruck nahe, daß größere Körper auch mehr QdM besitzen. Bei der Betrachtung spezieller Körper gerät man jedoch in Schwierigkeiten. Woher rühren diese Schwierigkeiten? Warum hat man z. B. den Eindruck, daß ein Gas eines bestimmten Volumens – nicht die gleiche QdM umfaßt wie ein gleich großes Stück Eisen? Letzten Endes sind es das Schwere- und Trägheitsverhalten der Körper, die die Vorstellung der QdM maßgeblich mit geprägt haben und daher zumindest intuitiv bei der Beurteilung von Körpern hinsichtlich ihrer QdM bzw. Masse herangezogen werden. Auf diese Weise erscheinen auch die Vorschläge, etwa die Gewichtskraft, die Form, die Dichte usw. eines Körpers als Maß für die QdM zu wählen, sehr schnell als fraglich.

Dadurch wird nahegelegt, nach jenen Merkmalen und Wirkungen zu suchen, die der Vorstellung von der QdM zugrunde liegen. Um welche Merkmale und Wirkungen handelt es sich?

1. Materie kann weder erzeugt noch vernichtet werden: Wenn Wasser verdampft kann jemand, der mit diesem Vorgang noch nicht allzu vertraut ist, der Ansicht sein, Wasser verschwinde. In der Tat kann man bei Kindern entsprechende Einstellungen vorfinden. Bei genauer Beobachtung fällt jedoch auf, daß immer dann, wenn bei höheren Temperaturen Wasser verschwindet, Dampf entsteht. Weiterhin kann man unter Umständen beobachten, daß –Wasser entsteht, wenn Dampf verschwindet. Die Geburtsstunde der Masse fällt gewissermaßen zusammen mit der Übereinkunft, diese Erzeugungs- und Vernichtungsvorgänge als Umwandlungen ein- und derselben Substanz anzusehen und damit zu unterstellen, daß hier etwas erhalten bleibt, obwohl das Volumen, die Dichte, das Aussehen etc. von Wasser und Dampf so verschieden voneinander sind, wie nur etwas im naiven Sinn verschieden voneinander sein kann.

2. Körper sind träge: Auch eine andere Eigenschaft von Körpern, nämlich mehr oder weniger leicht aus dem Zustand der Ruhe in den der Bewegung (oder umgekehrt) gebracht werden zu können, erweist sich als unabhängig von den genannten Größen. Indem diese Trägheit als Widerstand aufgefaßt wird, die die QdM des jeweiligen Körpers Bewegungszustandsänderungen entgegensetzt, wird ein weiteres Merkmal bzw. eine weitere Wirkung der Masse konstituiert.
3. Körper sind schwer: Schließlich wird noch die Schwere, d. h. die Tatsache, daß verschiedene Körper unter verschieden großem Kraftaufwand gehoben oder hochgehalten werden können, als Ausdruck unterschiedlicher QdM angesehen. (Diese Eigenschaft erweist sich jedoch erst nach weitgehender Verfeinerung der Betrachtungsweise als charakteristisch für die QdM, also z. B. unabhängig vom Volumen und Ort.)

Die Formung des Begriffs der Masse findet ihren Abschluß in der Herausarbeitung konkreter Wirkungen, die als Maß für die Masse dienen. So läuft beispielsweise die Bestimmung des Massenverhältnisses zweier stoßender Körper auf die Messung der durch den Stoß bewirkten Geschwindigkeitsänderungen hinaus.

4. Schlußbemerkung

Den Ausgangspunkt eines physikalischen Begriffs stellt i. a. der Wunsch dar, gewisse Auffälligkeiten beim Ablauf natürlicher Vorgänge, die im Hinblick auf eine physikalische Beschreibung des Geschehens für wichtig erachtet werden, zu einem zunächst qualitativen Konzept zu verdichten.

Die mehr oder weniger konkreten Vorstellungen, die dieses Konzept ausmachen, werden sodann durch Wirkungen zu beschreiben versucht, die einer zahlenmäßigen Erfassung (Meßverfahren) zugänglich sind. So gesehen ist die Quantifizierung als ein Akt fruchtbarer Selbstbeschränkung anzusehen, durch den – wenn man so will – die ursprüngliche Anschaulichkeit verloren geht, dafür aber die Möglichkeit gewonnen wird, das Verbliebene exakt, d. h. mit Hilfe von (mathematischen) Beziehungen zwischen Zahlen zu beschreiben; Kurzum: Physik zu treiben.

Der Versuch, diese Begriffsformung an ausgewählten Beispielen (wie hier am Begriff der Masse skizziert wurde) bewußt zu machen, stellt u. E. eine Möglichkeit dar, im Schulunterricht Einsicht in physikalische Denkweisen, insbesondere in die Aspekthaftigkeit der Physik zu vermitteln.

Literatur:

- U. BACKHAUS, H. J. SCHLICHTING: Erfahrung und Verabredung bei der Einführung physikalischer Größen. In diesem Band.
- W. HEISENBERG: Physik und Philosophie. Stuttgart: Hirzel 1978.
- M. JAMMER: Der Begriff der Masse in der Physik. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1964
- T. S. KUHN: Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt: Suhrkamp 1967
- G. LUDWIG: Einführung in die Grundlagen der theoretischen Physik. Düsseldorf: Bertelsmann 1974.
- E. MACH: Die Prinzipien der Wärmelehre. Leipzig: J. A. Barth 1900 (zitiert nach JAMMER 1974, S. 97 f).