

Relikte in der Physik?

1. Vorbemerkungen

Physik gilt als Prototyp der exakten Naturwissenschaften. In Schule und Hochschule wird Physik im allgemeinen vollkommen ahistorisch und in fachsystematischer Weise gelehrt. Aufgrund dieser Tatsache wird in Laienkreisen häufig gefolgert, Physik sei ein in sich geschlossenes mathematisch-logisches System, das mit exakt definierten Begriffen die Phänomene der unbelebten Natur mit mathematischer Genauigkeit zu beschreiben gestattet, und daß diese exakte Beschreibung letztendlich der Grund für die genauen Vorhersagen physikalischer Vorgänge ist.

Diese Meinung läßt außer acht, daß auch Physik – wie jede andere Wissenschaft – eine Entwicklungsgeschichte besitzt. Verfolgt man diese Geschichte, die sich über mehrere Jahrtausende zurückverfolgen läßt, so wird man feststellen,

- daß es in der Physik immer wieder Entwicklungsstränge gegeben hat, die nach heutiger Sicht in Sackgassen geführt haben;
- daß sich die Bedeutung physikalischer Fachtermini im Laufe der Zeit gewandelt hat und
- daß zunächst erfolgreiche Theorien durch andere, aussagekräftigere Theorien ersetzt worden sind.

Selbst die erkenntnistheoretische Deutung der Physik in Hinblick auf Realität und Welterklärung hat sich im Laufe der Zeit immer wieder gewandelt.

Es wäre also sehr verwunderlich, wenn es angesichts der Geschichtlichkeit der Physik nicht eine ganze Reihe von Tatsachen gäbe, die man als Relikte aus früheren Entwicklungsstadien auffassen könnte. Die Frage „Gibt es Relikte in der Physik?“ wäre somit ohne Vorbehalt und uneingeschränkt mit einem Ja zu beantworten.

Bevor nun aber eine Suche nach Relikten in der Physik stattfinden kann, muß erörtert werden, was in diesem Zusammenhang unter „Relikt“ zu verstehen ist. Zunächst ist der Begriff „Relikt“ gegen den Begriff „Rudiment“ abzugrenzen. Beide Begriffe weisen auf Überreste oder Überbleibsel aus früheren Entwicklungsstufen bzw. Entwicklungsstadien hin. Während aber beim Rudiment der teilweise oder vollkommene Funktionsverlust eines

Merkmals, eines Organs oder Objekts im Vordergrund steht, stellen Relikte Überbleibsel aus früheren Entwicklungsepochen dar, die i. a. noch vollkommen funktionstüchtig sind. Sie fristen in den weiterentwickelten Strukturen gleichsam als archaische Inseln ein Nischendasein und werden sicherlich in vielen Fällen auch in Zukunft noch ihren Platz dort behaupten. Den folgenden Ausführungen ist diese Bedeutung des Begriffs „Relikt“ zugrundegelegt.

Eine Erörterung möglicher Relikte in der Physik bringt gewisse Schwierigkeiten mit sich. Denn einerseits erfordert das Aufsuchen und die Beurteilung von Relikten in der Physik eine ins Detail gehende Kenntnis dieser Wissenschaft, die von Nichtphysikern billigerweise nicht erwartet werden kann. Andererseits ist das zu durchforstende Gebiet zu groß, um eine halbwegs vollständige Liste möglicher Relikte anzugeben. In manchen Fällen mag es auch strittig sein, ob überhaupt von einem Relikt gesprochen werden kann oder darf.

Im folgenden wird daher versucht, in exemplarischer Weise und in elementarierter Form eine Reihe von Bereichen und Aspekten der Physik anzusprechen, um dort an einigen verständlichen Beispielen Reliktbildung in der Physik aufzuzeigen.

2. Relikte in der Physik

2.1 Relikte aufgrund von Paradigmenwechsel

Im Laufe der Entwicklungsgeschichte der Physik traten in der Betrachtungsweise und Behandlung von Naturphänomenen und Naturvorgängen wiederholt Diskontinuitäten auf, die man seit Th. S. Kuhn (Kuhn, Th. S., 1973) in der Physik heute gewöhnlich als Paradigmenwechsel bezeichnet.

Als Beispiele für solche Paradigmenwechsel seien hier der Übergang

- von der aristotelischen Physik zur galileisch-newtonschen Physik,
- vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild,
- von der Fernwirkungstheorie zur Nahwirkungstheorie,
- von der newtonschen Mechanik zur Relativitätstheorie,
- von der klassischen Physik zur Quantenphysik

erwähnt.

Solche Übergänge sind geradezu prädestiniert zur Reliktbildung. Es gibt zahlreiche Untersuchungen über die physikalischen Vorstellungen von Schülern und Erwachsenen, die zeigen, daß der moderne Mensch trotz seiner physikalischen Vorbildung, bei Phänomenen aus der Mechanik oder

Optik immer noch im Sinne der aristotelischen Physik empfindet und argumentiert. Diese Tatsache ist manchmal selbst bei Physikern festzustellen. Zwei Beispiele aus dem Bereich der Mechanik mögen das belegen:

- Die Frage, wo eine Kugel, die eine Person während des Laufens fallen läßt, in Bezug auf diese Person auf dem Boden auftritt, beantworten die meisten Menschen gefühlsmäßig mit: „Natürlich hinter der Person“. (Richtige Antwort: Falls die Kugel beim Loslassen durch die Hand der Person weder gebremst noch beschleunigt wird, fliegt sie aufgrund ihrer Trägheit mit konstanter Horizontalgeschwindigkeit, d.h. mit der Geschwindigkeit der laufenden Person, horizontal weiter. Ohne die Unterstützung der Hand legt sie nun aber gleichzeitig die vertikale Strecke im freien Fall zurück und trifft direkt neben der Person auf den Boden.)
- Auf die in der TIMSS-Studie (TIMSS-Studie, 1995, 156) gestellte Aufgabe: „Two spheres with mass m and $2m$ respectively are connected by a light string and suspended at rest. The system is released and falls freely, as shown in the figure (siehe Abb. 1). If g is the acceleration of gravity, what is the tension in the string as the system falls? (Antworten zur Wahl: A: 0; B: $m \cdot g$; C: $2m \cdot g$; D: $3m \cdot g$)“, antworten zwei Drittel der Schüler falsch! (Richtige Antwort ist A.)

Der Grund für die reliktartige Deutung solcher Vorgänge liegt darin, daß Aussagen der aristotelischen Physik im großen und ganzen qualitativ mit unseren Alltagserfahrungen recht gut übereinstimmen. Schwere Körper fallen nun einmal schneller zu Boden als leichte. Der galileische Trägheitssatz stellt eine auf den kräftefreien Raum hin extrapolierte Aussage über die Bewegung von Körpern dar, die im Widerspruch zu unseren tagtäglichen Erfahrungen steht. Trägheit ist für den Laien keine intrinsische Eigenschaft eines Körpers. Er meint, sie ließe sich von außen etwa durch Energiezufuhr beeinflussen, ja sogar überwinden.

Auch der Paradigmenwechsel vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild hat Relikte entstehen lassen. Im alltäglichen Leben gehen für uns Sonne, Mond und Sterne nach wie vor im Osten auf. Sie ziehen ihre Kreise am Firmament und gehen dann im Westen wieder unter. Im alltäglichen Leben ist ein geozentrisches Bezugssystem eben anschaulicher und praktischer als das heliozentrische Bezugssystem. Daß das heliozentrische Weltbild, das sowohl im Physik- als auch im Geographieunterricht der Schulen ausführlich behandelt wird, von den meisten Menschen im Grunde genommen als unverstandenes Faktum übernommen wird, zeigt das Ergebnis vielfacher Untersuchungen: Selbst im 8. Semester ihres Physikstudiums interpretieren noch 80 % bis 90 % der Lehramtsstudenten die Mondphasen als Schattenwurf der Erde!

Was den Paradigmawechsel zwischen klassischer und moderner Physik anbelangt, so ist festzustellen, daß nicht nur Laien, sondern auch eine ganze Reihe von Physikern oftmals noch eine positivistische Auffassung der Physik vertreten oder im Sinne von Popper (Popper, K., 1979) dem Lager der naiven Realisten angehören.

2.2 Relikte im Bereich der Begriffsbezeichnungen

Ein wesentliches Charakteristikum einer jeden Fachwissenschaft ist bekanntlich ihre Fachsprache. Ausgehend von der Umgangssprache entwickeln sich Fachsprachen im Laufe der Zeit Hand in Hand mit dem jeweiligen Kenntnisstand der entsprechenden Wissenschaft. Begriffsbezeichnungen in der Physik sind häufig deskriptiv, d.h. die Begriffsbezeichnungen geben bereits Hinweise auf die modellhaften Vorstellungen, die einem Sachverhalt zugrunde liegen. Beliebige Beispiele hierfür sind etwa „Laser“ (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), Brechungskoeffizient, freie Weglänge, Halbleiter, Gegenstandsweite, Bildweite, Atomkern, Tunneleffekt, Mosfet (Metall-Oxid-Semiconductor-Feld-Effekt-Transistor).

Es gibt nun in der Physik eine Reihe von Phänomenen, bei denen sich die zur Deutung zunächst zugrunde gelegten Modellvorstellungen im Laufe der Zeit aufgrund neuer Erkenntnisse gewandelt haben. Vielfach wurden aber für die neuen Begriffsinhalte die alten Begriffsbezeichnungen beibehalten. Dies hat zur Folge, daß die ursprünglichen Begriffsbezeichnungen nun vollkommen falsche Assoziationen hervorrufen.

Ein typisches Beispiel für solche Begriffsrelikte stellt der Begriff „magnetischer Fluß“ dar. Diese Bezeichnung geht auf Analogievorstellungen zurück, deren Ursprung bereits im Altertum liegen. Um die Kraftwirkung deuten zu können, die erstaunlicherweise ohne Berührung von Magnet und Eisen über große Entfernungen hin auftritt, nahm man eine feine, imponderable, inkompressible Substanz an. Dieses magnetische Fluidum fließt dann vom Magneten auf das Eisen über und ruft so die anziehende Kraftwirkung hervor. Durch Lucretius ist die folgende Vorstellung Epikurs (342 - 270 v. Chr.) überliefert (Hoppe, E., 1926, p. 338):

„Die Ausflüsse aus dem Magneten durchbrechen die Luft und machen so Bahnen frei, in welchen die Eisenausflüsse zum Magneten vordringen und dort in die Poren einfließen und darin haften. Das Eisenstück wird durch die heftige Bewegung mitgerissen und durch den hinter ihm wirkenden Luftdruck noch stärker angedrückt.“ Die Fluidumstheorie, auf welche die

Begriffsbezeichnung „magnetischer Fluß“ letztendlich zurückgeht, hat sich bis Anfang des 19. Jahrhunderts gehalten.

Aufgrund zahlreicher experimenteller Untersuchungen – nicht zuletzt der Versuche von Faraday – auf dem Gebiet elektromagnetischer Erscheinungen, war die Annahme einer magnetischen Materie unhaltbar geworden. Dennoch wurde die Begriffsbezeichnung „magnetischer Fluß“ im Rahmen der von Faraday entwickelten und von Maxwell mathematisch formulierten Feldtheorie zur Beschreibung elektromagnetischer Phänomene beibehalten. Heute versteht man unter „magnetischem Fluß“ die physikalische Feldgröße

$$\Phi = \int_A \mathbf{B} \, d\mathbf{A} ,$$

wobei \mathbf{B} die magnetische Induktion und A die von der magnetischen Induktion \mathbf{B} durchsetzte Fläche bedeuten. (Hinweis: Der Vektorcharakter der Physikalischen Größen \mathbf{B} und A wird hier durch Fettdruck angedeutet.)

Das zur Beschreibung der Kraftwirkung eines Magneten eingeführte Magnetfeld B ist etwas Statisches, d.h. es fließt nichts! Mithin ist die einen dynamischen Prozeß suggerierende Bezeichnungsweise „magnetischer Fluß“, ein aus alter Zeit stammendes, irreführendes Relikt. Solche Begriffsrelikte rufen völlig falsche Assoziationen hervor und verursachen dadurch manchem Schüler und auch Studenten erhebliche Verständnisschwierigkeiten.

Es ist bezeichnend, daß sich selbst Maxwell (1831-1879) nicht ganz von mechanischen Analogien freimachen konnte und zur Veranschaulichung seiner elektromagnetischen Feldtheorie auf hydrodynamische Vorstellungen zurückgriff. Er sagt: Die Darstellung der Intensität der elektrischen und magnetischen Kräfte in jedem Punkt der Kraftlinien „gelingt, wenn wir diese Kurven nicht als bloße Linien, sondern als Röhren von veränderlichem Querschnitt betrachten, in denen eine unzusammendrückbare Flüssigkeit fließt.“ (Maxwell, J. C., 1895, p. 8). Er will diese Analogie allerdings nicht mechanisch interpretiert wissen. Er schreibt weiter (Maxwell, J. C., 1895, p. 9):

„Der Substanz, um welche es sich hier handelt, soll keine von den Eigenschaften der gewöhnlichen Flüssigkeiten zugeschrieben werden, mit Ausnahme der Fähigkeit der Bewegung und des Widerstandes gegen Zusammendrückung. Diese Substanz ist nicht einmal eine hypothetische Flüssigkeit, wie solche von älteren Theorien zur Erklärung der Erscheinungen angenommen wurde. Sie ist lediglich ein Inbegriff imaginärer Eigenschaften, welcher den Zweck hat, gewisse Theoreme der reinen Mathematik in

einer anschaulichen und auf physikalische Probleme leicht anwendbaren Form darzustellen, als es durch Anwendung von rein algebraischen Symbolen geschehen kann.“

Aufgrund derartiger Rückgriffe auf alte Vorstellungen zur Veranschaulichung des mathematischen Formalismus sind der Physik neben dem magnetischen Fluß noch eine Reihe weiterer antiquierter Bezeichnungen im Rahmen der maxwellischen Theorie wie z. B. „elektrischer Fluß“, „Kraftfluß“ und „Kraftflußdichte“ erhalten geblieben.

Auch in anderen Bereichen der Physik gibt es vielfach irreführende Begriffsbezeichnungen, weil sich der Begriffsinhalt aufgrund neuer Erkenntnisse im Laufe der Zeit gewandelt hat. Erinnerung sei hier beispielsweise an die Begriffsbezeichnung „Atom“. Atome sind nicht unteilbar, wie die Begriffsbezeichnung „atomos“ = „unteilbar“ suggeriert. Selbst der Begriff „Elementarteilchen“, der eingeführt wurde, um die letzten, nicht mehr teilbaren Materiepartikel zu bezeichnen, ist in der Zwischenzeit schon wieder obsolet geworden, und zwar seit man festgestellt hat, daß manche „Elementarteilchen“ eine innere Struktur besitzen. Sie sind aus Quarks zusammengesetzt und somit nicht mehr elementar.

Nischen, in denen sich ursprüngliche, in der Fachwissenschaft längst überholte Begriffsbezeichnungen hartnäckig halten, sind Schulbücher. Um beim Beispiel Magnetismus zu bleiben, in einem in Bayern weit verbreiteten Physikbuch der Realschule spricht man zur Bezeichnung des Phänomens, daß Weicheisen im Magnetfeld selbst zum Magneten wird, immer noch von „magnetischer Influenz“ anstatt von Magnetisierung.

2.3 Relikte und Elementarisierung durch Rückgriff auf historische Entwicklungsstufen

Wesentliche Bedeutung auf dem Weg zu einer neuen physikalischen Erkenntnis kommt der Bildung von Hypothesen zu. Hypothesen, d.h. Vermutungen über einen bestimmten Sachverhalt, werden vom Physiker als wichtige Hilfsmittel benutzt, um sinnvolle Fragestellungen zu finden, die durch Experimente entschieden werden können. Hypothesen werden vom Physiker heute im allgemeinen als Modellvorstellungen formuliert. Ein Modell stellt dabei eine Abbildung der meist sehr komplexen Wirklichkeit auf ein einfacher strukturiertes Gebilde dar, das die wesentlichen Strukturelemente und Eigenschaften einer Naturerscheinung wiedergibt. Modelle dienen damit der Veranschaulichung eines Sachverhalts; sie vereinfachen ihn und machen ihn gedanklich faßbar, so daß er auch einer mathemati-

sehen Behandlung leichter zugänglich ist. Im Laufe der Entwicklungsgeschichte der Physik haben sich die Modellvorstellungen und Modelle für ein und denselben Sachverhalt gewandelt. Sie wurden dem jeweiligen Erkenntnisstand entsprechend geändert, erweitert oder durch völlig neue Modelle ersetzt.

Es ist nun durchaus üblich in der Physik, daß man zur mathematischen Behandlung oder zur Beschreibung eines Phänomens auf Modelle früherer Entwicklungsstufen der Physik zurückgreift. Diese Vorgehensweise dient der Elementarisierung von Sachverhalten. Man spricht hier auch von Elementarisierung durch Rückgriff auf historische Entwicklungsstufen. Selbstverständlich ist sich der Physiker i. a. voll bewußt, ob und in wieweit ein solches „Relikt“ aus früherer Zeit zur Behandlung einer Fragestellung angemessen ist.

Zur Illustration dieser Tatsache sollen im folgenden einige Teilchenmodelle erwähnt werden, die zur mikroskopischen Beschreibung verschiedener Phänomene dienen. Um etwa den gesetzmäßigen Zusammenhang $P \cdot V = \text{const.} \cdot T$ zwischen Druck P , Volumen V und Temperatur T eines idealen Gases herzuleiten, ist es völlig ausreichend, wenn die Wechselwirkungskräfte zwischen den Gasatomen (bzw. Gasmolekülen) untereinander und mit der Gefäßwand vernachlässigt werden. Es genügt hier, die Teilchen als harte, strukturlose, elastische Kugeln anzunehmen, die sich beim Stoß mit der Gefäßwand wie Billardkugeln verhalten. Dieses einfache Modell versagt bereits in der Physik der kondensierten Materie. Zur Beschreibung von Phänomenen in diesem Bereich müssen Teilchenmodelle mit attraktiven bzw. repulsiven Wechselwirkungspotentialen herangezogen werden (z. B. Lennard-Jones-6-12-Potential oder Morse-Potential).

In vielen anderen Fällen, etwa zur mikroskopischen Beschreibung elektrischer und magnetischer Phänomene, zur Beschreibung von Strahlungsvorgängen, zur Behandlung der chemischen Bindungen etc. erhält man nur befriedigende Resultate, wenn man Teilchenmodelle heranzieht, die der inneren, quantenmechanischen Struktur der Atome bzw. Moleküle Rechnung tragen. Eines dieser Modelle ist das von der Entwicklung der modernen Quantenmechanik als völlig überholt zu betrachtende Bohrsche Atommodell. Es liefert eine halbwegs befriedigende Beschreibung des Wasserstoffatoms, versagt aber bereits in seinen Voraussagen beim Zweielektronenatom Helium. Dennoch spielt dieses Modell, das mit Recht als Relikt aus den Anfängen der Quantenmechanik bezeichnet werden darf, auch heute noch besonders in der Lehre eine wichtige Rolle. Denn nach wie vor dient es wegen seiner Einfachheit und der Analogie zum Planetensystem in

hervorragender Weise zur Veranschaulichung quantenmechanischer Phänomene und Prozesse. So lassen sich mit Hilfe des Bohr'schen Atommodells etwa der Aufbau des periodischen Systems und die Entstehung des atomaren Linienspektrums in anschaulicher Weise verstehen.

Ein typisches Beispiel zum Rückgriff auf historische Entwicklungsstufen stellt auch die Behandlung physikalischer Sachverhalte im Rahmen der klassischen Physik dar. So werden etwa Probleme, in denen die Geschwindigkeit v sehr viel kleiner ist als die Lichtgeschwindigkeit c ($v \ll c$), in der Regel aus Gründen der Einfachheit nicht relativistisch sondern im Rahmen der klassischen Physik behandelt, da Einsteins relativistische Mechanik im Falle kleiner Geschwindigkeiten v ($v \rightarrow 0$) in die Newton'sche Mechanik übergeht. Das gleiche gilt für die Quantenmechanik. Um den Arbeitsaufwand möglichst klein zu halten, werden auch Mikrosysteme so weit wie möglich im Rahmen der klassischen Theorien behandelt (vgl. z. B. klassische Theorie der Bremsstrahlung). Der quantenmechanische Formalismus wird nur dann eingesetzt, wenn die Fragestellung eine Berücksichtigung quantenmechanischer Effekte unumgänglich macht.

2.4 Relikte im Bereich physikalischer Einheiten

Physikalische Größen sind Merkmalsbegriffe, die durch eine Messung quantifizierbar sind, d.h. deren Quantität durch eine Maßzahl angegeben werden kann. Der Größenwert einer physikalischen Größe ist stets als Produkt eines Zahlenwertes und einer Einheit angebbar. Physikalische Einheiten sind Größenwerte, die zunächst völlig willkürlich festgelegt werden können. Um jedoch physikalische Aussagen und Ergebnisse leichter vergleichbar zu machen, gibt es internationale Absprachen und Konventionen zur Vereinheitlichung des Einheitensystems.

Im sogenannten SI-Einheiten-System sind insgesamt 7 Größen, nämlich die Größen „Länge“, „Masse“, „Zeit“, „elektrische Stromstärke“, „thermodynamische Temperatur“, „Lichtstärke“ und „Stoffmenge“ als Basisgrößen festgelegt. Für diese Größen sind die Einheiten 1 Meter (1 m), 1 Kilogramm (1 kg), 1 Sekunde (1 s), 1 Ampere (1 A), 1 Kelvin (1 K), 1 Candela (1 cd) und 1 Mol (1 mol) durch entsprechende Meßvorschriften definiert und durch das „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ verbindlich vorgeschrieben. Die Einheiten für sämtliche anderen physikalischen Größen lassen sich durch Produkt- bzw. Quotientenbildung aus den Basisgrößen darstellen (BGBL 1969, 1970, 1973).

Es gibt nun bekanntlich einige Länder, in denen das SI-Einheitensystem nicht verbindlich vorgeschrieben ist. So werden z.B. in den USA und Eng-

land vor allem im Alltagsleben, aber auch in der Physik heute noch Längen in „inches“, „feet“, „fathoms“, „yards“ und „miles“ etc.; Hohlmaße in „quarts“, „pints“, „gallons“, „barrels“ etc.; Massen in „grains“; „ounces“, „pounds“ und „stones“ oder Temperaturen in Grad Fahrenheit angegeben. Das aber sind keineswegs alle in USA und Großbritannien legalen nicht-metrischen Einheiten! Eine Liste im Handbook of Chemistry and Physics (Weast, R. C., 1975) weist Umrechnungsfaktoren für mehr als 400 verschiedene in USA bzw. Großbritannien zugelassene nicht-metrische Einheiten auf! Vielfach gibt es sogar für ein und dieselbe Einheit noch Unterscheidungen. So ist beispielsweise beim Hohlmaß „barrel“ noch zwischen „barrel (Brit.)“ (= 163.6546 Liter), „barrel (U.S. petroleum)“ (= 158.98284 Liter), „barrel (U.S. dry)“ (= 115.6271 Liter) und „barrel (U.S. liquid)“ (= 119.23713 Liter) zu unterscheiden oder bei der Masseneinheit „ounce“ zwischen „ounce (apoth. or troy)“ (= 31.103486 g), „ounce (avdp.)“ (= 28.349523 g), „ounce (Brit.fluid)“ (= 28.41225 ml), und „ounce (U.S. fluid)“ (= 29.572702 ml).

Auch in Deutschland gibt es bei den Einheiten noch Relikte aus alter Zeit. So werden beispielsweise auch heute noch im Bereich der Installation die Durchmesser von Rohren und bei Fahrrädern die Felgen, Reifen und Schläuche in Zoll angegeben oder etwa Massen in Pfund, Zentnern und Doppelzentnern, wobei in Laienkreisen zwischen den physikalischen Größen „Masse“ und „Gewicht“ (d. i. eine „Kraft“) meist nicht unterschieden wird. Holz etwa wird immer noch in Festmetern oder Ster (1 Ster = 1 m³) angegeben, Flächen in qmm (1 qmm = 1 mm²), qem (1 qem = 1 cm²) etc., Landflächenmaße in Morgen (2500 m²) oder Tagwerk (= 3407.272 m² in Bayern) und Edelsteine in Karat (= 0.2 g).

Auch unsere Zeitangaben in Sekunden, Minuten und Stunden sowie die Angabe eines Vollwinkels mit 360°, wobei 1 Winkelgrad wiederum in 60 Bogenminuten und diese in 60 Bogensekunden aufgeteilt ist, stellen Relikte aus einer weit zurückliegenden Vergangenheit dar. Diese Einheiten gehen auf ein 12er-Zahlensystem zurück. Sie passen somit nicht zu unserem, auf dem Zehner-Zahlensystem beruhenden metrischen Einheitensystem.

Selbst in der Fachwissenschaft Physik halten sich trotz des Einheitengesetzes weiterhin alte, gesetzlich längst verbotene Einheiten; denn viele Physiker kümmern sich nicht um das Einheitengesetz. Sie benutzen noch immer die durch das Gesetz abgeschafften Einheiten. Sie tun dies teils aus alter Gewohnheit, teils weil ihnen die alten Einheiten zur Beschreibung der von ihnen untersuchten Sachverhalte besser geeignet erscheinen. Ein typisches Beispiel hierfür ist etwa die in der Spektroskopie und in der Festkörperphy-

sik noch häufig verwendete Längeneinheit 1 Ångström = $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0.1$ Nanometer oder die in der Kernphysik verwendete Längeneinheit 1 Fermi = $10^{-15} \text{ m} = 1$ Femtometer oder die für den Wirkungsquerschnitt bei Kernreaktionen häufig verwendete Flächeneinheit 1 barn = $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$.

Selbst die alten cgs-Einheiten des gaußschen Einheitensystems werden – insbesondere von theoretischen Physikern – heute oftmals noch verwendet. So werden z.B. die magnetische Feldstärke und die magnetische Flußdichte anstatt in den SI-Einheiten 1 A/m bzw. 1 Tesla in den cgs-Einheiten 1 Oersted ($1 \text{ Oe} = 1 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1} \triangleq 10^{3/4} \pi \cdot \text{A/m}$) bzw. 1 Gauß ($1 \text{ G} = 1 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1} \triangleq 10^{-4} \text{ Vs/m}^2 = 10^{-4} \text{ Tesla}$) angegeben.

Es bedarf wohl auch noch längerer Zeit, bis endlich die Einheiten 1 cal (1 Kalorie) für die thermische Energie und 1 PS (1 Pferdestärke) für die Leistung als Relikte verschwinden. Auch die Unart, Einheiten in eckige Klammern [...] zu setzen, etwa bei der Achsenbeschriftung von Diagrammen oder in Tabellenspalten und -zeilen, scheint unausrottbar. Das Symbol [...] bedeutet nach dem Einheitengesetz nämlich „Einheit von“ und es ist sinnlos, die Einheit von einer Einheit bilden zu wollen.

Schulen in Deutschland sind per Dekret an das Einheitengesetz gebunden, und somit ist zu hoffen, daß die Relikte im Bereich der physikalischen Einheiten zumindest in Deutschland in ein bis zwei Generationen verschwunden sind. Denn die Erfahrung lehrt, daß Umlernen meist mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist. Es ist daher eher unwahrscheinlich, daß die in der Schule einmal gelernten Einheiten im späteren Leben wieder durch die antiquierten Einheiten älterer Generationen ersetzt werden. Man erinnere sich hier nur an Maßangaben wie Schock, Scheffel, Klafter etc., mit denen allenfalls unsere Großeltern noch etwas anfangen konnten.

2.5 Größengleichungen und Zahlenwertgleichungen

In engem Zusammenhang mit der Festlegung eines in sich konsistenten Einheitensystems steht die Frage nach einer möglichst zweckmäßigen mathematischen Formulierung physikalischer Zusammenhängen und Gesetzmäßigkeiten. Während in früheren Zeiten physikalische Gesetze häufig als „Zahlenwertgleichungen“ angegeben wurden, werden heute dazu fast ausschließlich nur noch sogenannte „Größenwertgleichungen“ benutzt (Normen DIN 1301, 1990). Was der Unterschied ist, soll ein einfaches Beispiel zeigen:

Die beim freien Fall zurückgelegte Strecke s ist bekanntlich dem Quadrat der Fallzeit t direkt proportional. Als Zahlenwertgleichung formuliert kann dieser Sachverhalt etwa durch die Gleichung

$$s = 4,9 t^2$$

oder auch durch

$$s = 17,66 t^2$$

ausgedrückt werden. Die erste Gleichung ist aber nur sinnvoll mit dem Zusatz: „wobei die Zeit t in Sekunden anzugeben ist, um die durchfallene Strecke s in Metern zu erhalten“. Bei der zweiten Gleichung ist der Zusatz „wobei t in Minuten einzusetzen ist, um s in Kilometern zu erhalten“ unbedingt erforderlich, damit sinnvolle Ergebnisse herauskommen.

Um die lästigen Angaben zu vermeiden, in welchen Einheiten die einzelnen Größen einer physikalischen Gleichung einzusetzen sind, formuliert man solche Gesetze als Größenwertgleichungen. Im vorliegenden Fall ist das:

$$s = (g/2) t^2.$$

In dieser Formulierung, in der die physikalische Größe g die Erdbeschleunigung bedeutet, ist es völlig gleichgültig, in welchen Einheiten die einzelnen Größen eingesetzt werden. Größenwertgleichungen sind also unabhängig vom benutzten Einheitensystem. Außerdem gilt die Gleichung in dieser Formulierung nicht nur für den freien Fall, sondern ganz allgemein für jede gleichförmig, mit g beschleunigte Bewegung.

So sinnvoll es nun auch erscheinen mag, Gesetzmäßigkeiten durch Größenwertgleichungen anzugeben, im Bereich der Technik werden auch heute noch vielfach Zahlenwertgleichungen benutzt. Dem Physiker zumindest erscheint dies als ein Relikt aus alter Zeit. Für den Ingenieur allerdings haben Zahlenwertgleichungen auch heute noch eine gewisse Berechtigung, vor allem wenn er für seine Berechnungen rein empirisch gefundene Formeln benutzt.

2.6 Die Anschauung als Relikt in der modernen Physik

Abschließend ist noch ein Blick auf die Entwicklung der modernen Physik zu werfen. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hat sich zur Beschreibung physikalischer Vorgänge im Mikrokosmos die Quantenmechanik entwickelt. Während die bis dahin gültige klassische Physik im großen und ganzen stets anschaulich war, traten in der Quantenphysik Phänomene auf, die mit der Anschauung nicht mehr zu vereinbaren waren. Erinnerung sei hier an den Dualismus zwischen Teilchen und Welle. Nach unserem klassischen Verständnis schließen sich Teilchen und Welle gegenseitig aus. Ein und dasselbe Objekt kann unserer Auffassung nach nicht gleichzeitig Teilchen und Welle sein. Denn „Wellen“ sind stets etwas räumlich Ausgedehntes ohne genau angebbare Begrenzung. „Teilchen“ dagegen sind räumlich auf einen bestimmten Ort beschränkt. In der klassischen Physik ist es möglich, für

Teilchen eine wohldefinierte Begrenzung anzugeben. Die Tatsache, daß nun ein und dasselbe Objekt zur gleichen Zeit sowohl ausgedehnt als auch beschränkt sein soll, widerspricht unserem Vorstellungsvermögen.

Auch die Heisenbergsche Unschärferelation, die für kanonisch konjugierten Variablen wie Impuls und Ort, Drehimpuls und Winkel, Energie und Zeit gilt, kollidiert mit der menschlichen Anschauung. Vom klassischen Standpunkt aus ist nicht einzusehen, weshalb etwa der Ort eines Teilchens und sein Impuls (d. i. im wesentlichen seine Geschwindigkeit) nicht gleichzeitig beliebig genau gemessen werden können sollen.

Ähnliche Verständnisschwierigkeiten treten auch bei der quantenmechanischen Beschreibung eines Mikrosystems mit Hilfe von Wellenfunktionen $\psi(\mathbf{r},t)$ auf, die sich mit der Schrödingergleichung

$$H\psi(\mathbf{r},t) = i\hbar/2\pi \partial\psi(\mathbf{r},t)/\partial t$$

berechnen lassen, wobei $H = -(\hbar^2/2m)\Delta + V(\mathbf{r})$ den Hamiltonoperator, Δ den Laplace-Operator, \hbar das Plancksche Wirkungsquantum und m die Masse eines im Potential $V(\mathbf{r})$ befindlichen Teilchens bedeuten. Die komplexen (imaginären) Wellenfunktionen entziehen sich einer anschaulichen Deutung. Erst das Absolutquadrat $|\psi|^2$ der Wellenfunktion ergibt eine reelle Größe, die allerdings nur als Wahrscheinlichkeit gedeutet werden kann, daß ein bestimmter Zustand des Systems vorliegt. Auch diese Wahrscheinlichkeitsdeutung im Rahmen der Quantenmechanik ist mit der herkömmlichen Anschauung unvereinbar. Man erinnere sich in diesem Zusammenhang nur an den berühmt gewordenen Ausspruch Einsteins „Gott würfeln nicht“. Dieser Ausspruch macht deutlich, wie sehr die Wahrscheinlichkeitsdeutung der Quantenmechanik und die damit verbundene teilweise Aufhebung des Determinismus der alltäglichen Erfahrung, der Vorstellung und der Anschauung des Menschen widerspricht.

Diese in Hinblick auf die menschliche Anschauung entstehenden Diskrepanzen sind im quantenmechanischen Formalismus vollkommen überwunden. Hier wird nicht mehr zwischen Welle und Teilchen unterschieden. Im Formalismus der Quantenelektrodynamik steht der modernen Physik heute eine mathematisch durchformulierte Theorie zur Verfügung, mit der sich Phänomene und Vorgänge im Mikrokosmos mit bewundernswerter Genauigkeit beschreiben und vorhersagen lassen. Der mathematische Formalismus der Quantenelektrodynamik ist allerdings höchst abstrakt und einer anschaulichen Deutung unzugänglich, d.h. die Entwicklung der modernen Physik hat die Anschauung des Menschen hinter sich zurückge-

lassen. Dennoch, der Denk- und Erkenntnisapparat des Menschen ist auf Anschauung angewiesen. Um sich Dinge klarzumachen, greift der Physiker deshalb – je nach Problemstellung – nach wie vor entweder auf das Teilchen- oder das Wellenbild zurück. Das aber sind nur „Veranschaulichungskrücken“. Man könnte daher sagen, die Anschauung selbst ist in der modernen Physik zum Relikt geworden, ein Relikt, auf das der Mensch aber nicht verzichten kann, weil er die Aussagen der abstrakten mathematischen Strukturen sonst nicht mehr zu erfassen imstande ist.

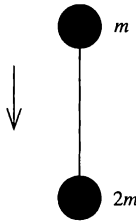
3. Schlußbemerkung

Es wurde versucht, einige Tatsachen in der Physik und im Umfeld der Physik aufzuzzeigen, die auf historische Entwicklungen zurückzuführen sind und die man – cum grano salis – als Relikte im eingangs gegebenen Sinn ansprechen könnte. Die meisten dieser Relikte betreffen allerdings nicht die eigentliche Wissenschaft Physik; sie sind eher im Umgang der Menschen mit der fachsystematischen Physik angesiedelt. Dem Fortschritt und der Entwicklung der Physik haben solche Relikte bislang nicht geschadet, und es ist anzunehmen, daß sie auch in Zukunft nicht schaden werden.

LITERATUR:

- KUIN, Th. S. (1973): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Suhrkamp, Frankfurt a. M.
- TIMSS-Studie (1995): Third International Mathematics and Science Study (from Population 3 Item Pool), IEA, The Hague, p. 156
- POPPER, K. (1979): Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie, J.C.B. Mohr, Tübingen
- HOPPE, E. (1926): Geschichte der Physik, Vieweg, Braunschweig, p. 338
- MAXWELL, J. C. (1895): Über Faradays Kraftlinien, Leipzig, p. 8 - 9 p.
- BGBL (1969): „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 02.07.1969, Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr.55, p. 709; in kraft getreten am 05.07.1970
- BGBL (1970): „Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 26.06.1970, Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr.62, p. 981; in kraft getreten am 05.07.1970
- BGBL (1973): „Verordnung zur Änderung der Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 27.11.1973, Bundesgesetzblatt Teil 1, p. 1761; in Kraft getreten am 12.07.1973 in der Fassung „Gesetz zur Änderung des Gesetzes über Einheiten im Meßwesen“ vom 06.07.1973, Bundesgesetzblatt Teil 1, p. 720
- WEAST, R. C. (1975): Conversion Factors, Handbook of Chemistry and Physics, 56th Edition, Cleveland, Ohio, p. F-294 - F-3 16
- NORMEN, (1990): Zahlenwertgleichung In: DIN-Taschenbuch 22, Deutsches Institut für Normungen e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin, DIN 1313, April 1978, p. 55

H4. Two spheres with masses m and $2m$ respectively are connected by a light string and suspended at rest. The system is released and falls freely, as shown in the figure.



If g is the acceleration due to gravity, what is the tension in the string as the system falls?

- A. 0
- B. mg
- C. $2mg$
- D. $3mg$

Reproduced from TIMSS Population 3 Item Pool. Copyright © 1995 by IEA. The Hague

| Subject | Item Key | Content Category | Performance Expectation | International Average Percent of Students Responding Correctly | International Difficulty Index |
|---------|----------|------------------|---|--|--------------------------------|
| Physics | A | Mechanics | Theorizing, Analyzing, and Solving Problems | 34% | 696 |

Abbildung 1: Testfragen zum Physikverständnis (siehe TIMSS-Studie 1995)

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: [2000](#)

Autor(en)/Author(s): Klinger Walter

Artikel/Article: [Relikte in der Physik? 109-122](#)