

Zum 350. Geburtstag von Isaac Newton

Physikgeschichte und ihr didaktisches Potential

Von Wilfried Kuhn

„Was heißt und zu welchem Ende studiert man Universalgeschichte?“ Dies ist der Titel der berühmten Antrittsvorlesung Schillers in Jena vom 26. Mai 1789, in der er über den Unterschied zwischen dem „Brotgelehrten“ und dem „philosophischen Kopf“ sprach. Was heißt und zu welchem Ende studiert man Physikgeschichte? Aus Anlaß des 350jährigen Geburtstags des genialen englischen Physikers Newton wird versucht, einige Antworten auf diese Frage zu finden. Welche Bedeutung hat für den Physiker die Beschäftigung mit der historischen Entwicklung seiner Disziplin? Dem Spezialisten könnte sie prima facie für sein Tagesgeschäft als unnützlich, bestenfalls als Luxus erscheinen.

Der französische Physiker und Wissenschaftstheoretiker Duhem stellt in seinem bekannten Werk „Ziel und Struktur der physikalischen Theorien“ (1908) mit Nachdruck fest: „Die Darlegung der Geschichte eines physikalischen Prinzips bedeutet gleichzeitig die logische Analyse desselben.“ Dies hat für ihn eine sehr wichtige didaktische Konsequenz: „Die richtige, sichere und fruchtbare Methode, um einen Geist zur Aufnahme einer physikalischen Hypothese vorzubereiten, ist die historische.“ In diesem Sinne ist auch die Aussage des Physikers und Physikhistorikers Max Jammer zu verstehen: „Was Physik eigentlich ist, läßt sich nur im historischen Kontext verstehen.“

Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie läßt sich besser verstehen im historischen Zusammenhang mit der Gravitationstheorie Newtons und der Machschen Kritik an Newtons Vorstellungen eines absoluten Raumes. Der Nutzen der Physikgeschichte liegt in der wissenschaftstheoretischen Analyse der großen Entwicklungslinien historisch gewachsener physikalischer Ideen und Konzepte und nicht in einer additiven Aneinanderreihung historischer Fakten, Biographien oder Anekdoten. Zu diesem „Ende“ treiben wir Physikgeschichte.

Mit der im Januar 1993 von der Deutschen Bundespost herausgegebenen Newton-Gedenkmarke (Abb. 1) wird eine breite Öffentlichkeit auf den 350. Geburtstag jenes hervorragenden englischen Physikers hingewiesen, der mit seinen epochalen Werken „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ (1686) und „*Opticks*“ (1704) – auf der Briefmarke symbolisiert durch die Formel $\Delta(mv)=F\Delta t$, das sogenannte 2. Newtonsche Axiom, und die Spektralanalyse – unser naturwissenschaftliches Denken entscheidend geprägt hat.

Wer war Isaac Newton?

Newton wurde am 4. Januar 1643 als Sohn eines kleinen Bauern in Woolsthorpe geboren. Da

man im damaligen England noch nicht den gregorianischen Kalender eingeführt hatte, wird nach der alten julianischen Zeitrechnung auch als Geburtstag der Weihnachtstag des Jahres 1642 angegeben, das Jahr, in dem sein großer Vorläufer Galilei gestorben ist. Zunächst besuchte Newton die Dorfschule und konnte dann sofort in eine angesehene Lateinschule aufgenommen werden. Als 18jähriger trat er in das berühmte Trinity College in Cambridge ein. Sehr großen Einfluß auf Newtons geistige und menschliche Entwicklung hatte hier der bedeutende Mathematiker und Theologe Barrow, dessen Nachfolger Newton mit 27 Jahren wurde. Hier entstanden seine grundlegenden Arbeiten zur Infinitesimalrechnung, die „*Opticks*“ und die „*Principia*“. 1699 wurde er als Aufseher der königlichen Münze nach London berufen. Im selben Jahr wählte ihn die Pariser Akademie zu einem ihrer acht auswärtigen Mitglieder. Der Royal Society gehörte er seit 1672 an. Von 1703 bis zu seinem Tode war er fast 25 Jahre ihr Präsident. Newtons Leben verlief äußerlich ruhig, dabei erfreute er sich einer ungewöhnlich guten Gesundheit. Vielleicht auch eine Erklärung für die außergewöhnliche wissenschaftliche Schaffenskraft des Genies. Noch nicht abgelenkt von wissenschaftlichem Tagungstourismus hat er England nie verlassen. Er starb unverheiratet am 31. März 1727.

Johann Sebastian Bach arbeitet zu dieser Zeit als Thomaskantor in Leipzig an seiner Matthäuspasion. Bach und Newton sind bedeutende Repräsentanten des Barock, jener universalen Weltsicht lebendiger Auseinandersetzungen mit den Polaritäten des Daseins, *ratio* und *fides*, bei der in den gigantischen Aufbruch des naturwissenschaftlichen Denkens noch der Himmel der Offenbarung hineinleuchtet. So wie Bachs Matthäuspasion musikalisches, das Treppenhaus Balthasar Neumanns in der Würzburger Residenz architektonisches, so geben Newtons „*Principia*“ naturwissenschaftliches Zeugnis dieser Epoche.

Sechs Herzöge trugen Newtons Sarg zur Westminsterabtei. Die Grabinschrift lautet in

„Nature and Nature's laws lay hid in night.
God said ‚Let Newton be‘ and all was light.“
(Alexander Pope)

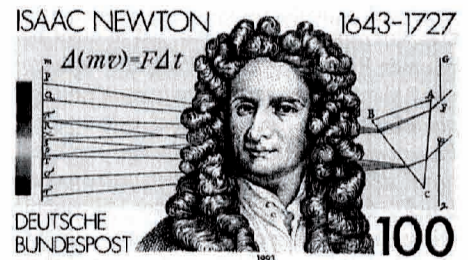


Abb. 1: Newton-Gedenkmarke der Deutschen Bundespost. Foto: privat

deutscher Übersetzung: „Hier ruht der Ritter Isaac Newton, welcher durch fast göttliche Geisteskraft der Planeten Bewegung, Gestalten, der Kometen Bahn, der Gezeiten Verlauf durch seine eigene Mathematik bewies. Die Verschiedenheit der Lichtstrahlen, die darauf beruhenden Eigenschaften der Farben, von denen niemand nur ahnte, erforschte er. Er war der Natur, des Altertums, der Heiligen Schrift flüssiger, scharfsinniger Erklärer. Die Majestät Gottes verherrlichte er in seiner Wissenschaft. Die Schönheit des Evangeliums zeigt er durch seinen Wandel. Mögen die Sterblichen sich freuen, daß er unter uns lebte.“

Wenn man als Physiker an jener von Historie umwitterten Stelle steht, überkommt einen etwas von der Freude des Sterblichen, die Newton selbst mit der Freude des am Strand spielenden Knaben verglichen hat, wenn dieser ab und zu ein buntes Steinchen oder eine Muschel findet, während sich der Ozean der Wahrheit unermesslich vor ihm ausdehnt.

Newtons Opus magnum

Vor mir liegt das kostbarste Buch meiner Bibliothek: ein Original von Newtons „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“. Ich will die Faszination nicht verschweigen, die davon ausgeht, sich in das über 300 Jahre alte *opus magnum*, welches das Fundament für unser physikalisches Denken gelegt hat, zu vertiefen und die Randbemerkungen der Vorbesitzer des kostbaren, heute nur noch selten verfügbaren Originals zu studieren. Es ist kein leichter Lesestoff. So werden z. B. alle Beweise im euklidischen Sinne „*more geometrico*“ geführt, weil Newton die Algebra für „die Analysis der Pfuscher“ hielt. Schon Newtons Zeitgenossen hatten ihre Schwierigkeiten damit.

Es wäre jedoch absurd, die „*Principia*“ mit einer didaktischen Elle messen zu wollen. Sie sind ein Geniestreich ersten Ranges. Heutige Physiker nehmen in historischen Marginalien gelegentlich Bezug auf die „*Principia*“, wobei sich jedoch meist offenbart, daß sie das Werk wohl kaum in der Hand hatten, sondern nur flüchtig in der Sekundärliteratur geblättert haben. Eine bedenkliche Tatsache!

Das Konzept der „*Principia*“ ist in einer berühmten Passage aus der „*Praefatio ad lectorem*“ klar zu erkennen: „*Omnis enim Philosophiae difficultas in eo versari videtur, ut a Phaenomenis motuum investigemus vires Naturae, deinde ab his viribus demonstramus reliqua.*“ Alle Schwierigkeiten der Philosophie (Newton meint damit die experimentelle Naturphilosophie) besteht nämlich dem Anschein nach darin, aus den Erscheinungen der Bewegung die Kräfte der Natur zu erforschen und hieraus durch diese Kräfte die übrigen Erscheinungen zu erklären.

In Verfolgung dieses Forschungsprogramms werden zunächst einige „*Definitiones*“ vorangestellt, die nach unserem heutigen Sprachgebrauch als Erklärungen oder Sprachregelungen zu verstehen sind. Das sich anschließende „*Scholium*“ geht ausführlich auf die Begriffe **Zeit, Raum, Ort und Bewegung** ein. Raum und Zeit existieren in einem objektiven Sinne ohne Beziehung zueinander. Newton unterscheidet dabei grundlegend zwischen einer „*relativen Zeit*“, einem „*relativen Raum*“ und der „*absoluten Zeit*“ und dem „*absoluten Raum*“. Newton glaubte, den absoluten Raum experimentell nachweisen zu können. Dazu führt er im Scholium aus: „*Die wirkenden Ursachen, durch welche absolute und relative Bewegungen voneinander verschieden sind, sind die Fliehkräfte von der Achse der Bewegung. Bei einer nur relativen Kreisbewegung existieren diese Kräfte nicht ...*“

Es wird dann der berühmte **Eimer-Versuch** diskutiert, mit dem Newton die beiden Bewegungstypen durch das Auftreten von Fliehkräften glaubt unterscheiden zu können. Dagegen stellt Ernst Mach in seinem vielbeachteten Buch „*Die Mechanik – historisch-kritisch dargestellt*“ fest: „*Der Versuch Newtons mit dem rotierenden Wassergefäß lehrt nur, daß die Relativedrehung des Wassers gegen die Gefäßwände keine merklichen Zentrifugalkräfte weckt, daß dieselben aber durch die Relativedrehung gegen die Masse der Erde und die übrigen Himmelskörper geweckt werden. Niemand kann sagen, wie der Versuch quantitativ verlaufen würde, wenn die Gefäßwände immer dicker und massiger würden.*“ Demnach ist es unentscheidbar, ob nicht die gleichen Effekte auftreten, wenn der wassergefüllte Eimer ruht, und das ganze Universum um ihn rotiert. Daher ist die Beschleunigung nicht auf einen absoluten Raum zu beziehen, sondern durch die Massenverteilung im Universum bestimmt. Nach diesem „*Machschen Prinzip*“ ist die

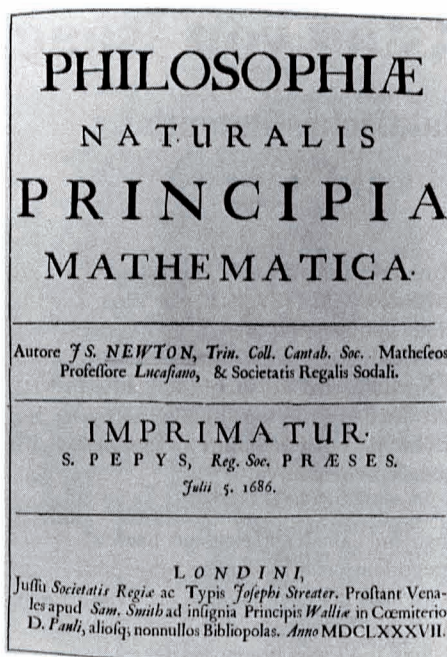


Abb. 2: Newtons „*Philosophiæ naturalis principia mathematica*“. Foto: privat

Trägheitskraft als eine dynamische Gravitationswirkung zu verstehen. Diese Idee hat für Einstein bei der Entwicklung der Allgemeinen Relativitätstheorie eine erkenntnisleitende Rolle gespielt.

Nach dem „*Scholium*“ folgen dann die „*Axiomata sive leges motus*“. Was in der heutigen Sprachweise meist als die drei „*Newtonschen Axiome*“ bezeichnet wird, nennt Newton „*leges*“. *Lex I* formuliert das **Trägheitsprinzip**, *Lex II* besagt, daß die Änderung der Bewegungsgröße nach Größe und Richtung der einwirkenden Kraft proportional ist: $\Delta(mv) = F\Delta t$ (Abb. 1). *Lex III* kann in die Kurzform „*actio=reactio*“ gebracht werden.

Nachdem in „*Liber primus*“ und „*Liber secundus*“ die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Bewegung und Kräften *more geometrico* hergeleitet sind, wendet sich Newton im „*Liber tertius*“ speziell den Planetenbewegungen und ihrer Ursache der **Gravitation** zu. Nachdem Kepler das Paradigma der gleichförmigen Kreisbewegung der Planeten durch die Einführung der Ellipsenbahn überwunden hatte, stellte sich unabweisbar die Frage nach der Ursache der ungleichförmigen Bewegung des Planeten auf dieser Bahnkurve.

In der Antike hatte man die Kreisbewegung wegen ihrer hohen Symmetrie als Urphänomen der Himmelsbewegungen angesehen. Deshalb brauchte man nicht nach ihrer Ursache zu fragen. Huygens erkannte beim Studium der Kreisbewegung an irdischen Objekten, daß sie als die Ursache für das Auftreten von Zentrifugalkräften anzusehen ist. Newton kehrte die Fragestellung um, indem er im Gegensatz zu Huygens nach der Ursache der

Kreisbewegung sowohl bei irdischen Körpern als auch bei den Himmelskörpern fragte. Dadurch wurde die weitere Entwicklung ganz entscheidend bestimmt.

Nun galt es, das Kraftgesetz der Gravitationswirkung zu finden. Hooke hatte bereits vermutet, daß die Kraft umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstands r vom Kraftzentrum sei. Kepler selbst hatte erkannt, daß die Bahnen von Jupiter und Saturn keine exakten Ellipsen sind, sein erstes Gesetz für sie nicht gilt. Newton, dem dieser Sachverhalt wohl bekannt war, befand sich bei seiner Absicht, aus den Wirkungen der Zentralkraft und den nur approximativ richtigen Ellipsenbahnen der Planeten das richtige Kraftgesetz zu deduzieren, in einer schwierigen methodischen Situation. Aber er meisterte sie in genialer Weise, indem er die komplexen Bewegungsphänomene idealisierte und für die Planetenbewegungen ein einfaches Modellsystem erfand. Unter der Wirkung einer Zentralkraft, deren Gesetz man mit Hilfe des Modells erst finden will, kreist ein einziger Planet auf einer Ellipse um das Kraftzentrum. Für diesen Planeten sieht Newton das dritte Keplersche Gesetz nun nicht mehr als Approximation, sondern *per definitionem* als exakt gültiges Gesetz an.

Mit dieser *Idealisierung* findet er dann sein berühmtes **Gravitationsgesetz** $F = GmM/r^2$, das besagt, daß alle Körper sich gegenseitig anziehen mit einer Kraft, die proportional dem Produkt ihrer Massen m , M und umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes r in Richtung ihrer Verbindungslinie wirkt. Die Stärke der Gravitationswechselwirkung wird durch eine experimentell bestimmbare fundamentale Naturkonstante, die Gravitationskonstante G bestimmt.

Betrachtet man das Modellsystem Zentralkörper (Sonne) mit einem einzigen Planeten, dann lassen sich nun umgekehrt aus dem Gravitationsgesetz und dem zweiten Newtonschen Axiom (*Kraft=Masse×Beschleunigung*) das erste und dritte Keplersche Gesetz herleiten. Das zweite Keplersche Gesetz (Flächensatz) gilt allgemein für jede Zentralkraftbewegung. Bei den wirklichen Planetenbewegungen, d. h. bei **Mehrkörperproblemen** muß man die Gravitationswechselwirkungen aller Planeten untereinander und mit der Sonne in Rechnung stellen. Dies führt zu Störungen der exakten Bahnkurven des Zweikörper-Modellsystems. Mit mathematisch aufwendigen „*Störungsrechnungen*“ lassen sich die Bahnkurven näherungsweise bestimmen. Newton war diese Problematik bewußt. Aber wie konnte er sich dann überhaupt von der Richtigkeit des Gravitationsgesetzes überzeugen? Gab es experimentelle Indizien? Aus historischer Unkenntnis wird immer wieder behauptet, Einstein habe als erster das Prinzip der Periheldrehung ausgesprochen und bei der Merkurbahn zum klassischen Test seiner Relativitätstheorie herangezogen. Richtig ist jedoch, daß bereits

Newton die Rotation der Ellipsenachse kannte und diese Tatsache zum Prüfstein des Gravitationsgesetzes machte. Er konnte zeigen, daß dann, wenn eine Abweichung von dem als gültig angenommen $1/r^2$ -Gesetz vorliegen würde, die Rotation der Ellipsenachsen wesentlich größer sein müßte als die tatsächlich beobachteten Drehungen, welche – wie Newton wußte – aus den gegenseitigen Störungen resultieren.

Wir sind hier etwas ins Detail der Methode Newtons gegangen, um einen Eindruck von seiner Genialität zu vermitteln. Nicht weniger genial ist seine berühmte **Mondrechnung**. Die Grundidee besteht darin, daß die gleiche Schwerkraft, unter deren Wirkung ein Apfel vom Baum fällt, den Mond auf seine Bahn um die Erde zwingt. Mit Hilfe des Gravitationsgesetzes und des zweiten Axioms $F=m \cdot a$ läßt sich errechnen, mit welcher Beschleunigung a der Mond gleichsam wie ein großer Apfel auf die Erde „fallen“ muß, um auf seiner Bahn zu bleiben. Sonst würde er sich tangential in Form einer linearen Trägheitsbewegung (erstes Axiom) entfernen. Andererseits kann man die so errechnete Fallbeschleunigung auch aus dem Abstand des Mondes von der Erde und seiner Umlaufzeit bestimmen. Die recht genaue Übereinstimmung dieses empirischen Wertes mit dem theoretischen Ergebnis sah Newton ebenfalls als eine Bestätigung des Gravitationsgesetzes an.

Von grundlegender Bedeutung hinsichtlich eines neuen Weltbildes ist das dahinter stehende kühne methodologische Konzept. Die Anwendung der Gesetze der „irdischen“ Mechanik auf die Bewegung der Himmelskörper zeigt schlaglichtartig die endgültige **Überwindung des aristotelischen Paradigmas** einer prinzipiellen Trennung dieser beiden Wirklichkeitsbereiche gemäß der ihnen zugeschriebenen substantiellen Verschiedenheit der Elemente. Trotz dieser brillanten Überlegungen zur Bestätigung des Gravitationsgesetzes stellt Newton fest: „*Bis jetzt war ich nicht in der Lage, die Ursache dieser Eigenschaft der Schwere aus den Phänomenen abzulesen*“, und dann folgt sein **methodisches Credo**: „*hypotheses non fingo*“. Jedoch in seinem zweiten berühmten Werk „*Opticks*“ diskutiert Newton die Frage, ob einem „*quasi materiellen agens, eine höchst subtile geistige Substanz*“, die Rolle eines ontischen Trägers für den Mechanismus zukommt, der die Gravitationswechselwirkung beschreibt.

Von geistesgeschichtlichem Interesse ist Goethes Auseinandersetzung in seiner „*Farbenlehre*“ mit Newtons „*Opticks*“. Dabei richtet sich seine Polemik speziell gegen Newtons Methode, das von Goethe als Urphänomen angesehene „weiße“ Licht in seine farbigen Anteile zu zerlegen (Abb. 1).

Welche Hypothesen macht die heutige Physik über die so rätselhafte Gravitation? Einstein versuchte, sie aus der durch die Massenverteil-

lung bestimmten Metrik des physikalischen Raum-Zeit-Kontinuums zu erklären. Er hat viele Jahre damit verbracht, die Gravitationswechselwirkung mit der elektrodynamischen Wechselwirkung durch ein einheitliches Konzept zu beschreiben. Diesem Programm war jedoch kein Erfolg vergönnt.

In Verfolgung des grundlegenden Konzeptes, alle fundamentalen Wechselwirkungen aus einem einheitlichen Prinzip heraus zu erklären, sind wir heute einen großen Schritt vorangekommen. Mit Hilfe von sogenannten *Eichtheorien* ist es gelungen, die elektromagnetische Kraft und die „*schwache Kraft*“, eine Kraft, die für den radioaktiven Zerfall und andere Kernprozesse in der Sonne und in Sternen verantwortlich ist, zur „*Elektroschwachen Kraft*“ zu vereinigen und die sogenannte „*Farbkraft*“, die als „*starke Kraft*“ die Wechselwirkung der Quarks beschreibt, in analoger Weise zu betrachten. Trotz zahlreicher Versuche ist es aber bisher nicht gelungen, die Gravitationswechselwirkung in dieses einheitliche Symmetriekonzept theoretisch einzubinden. So gesehen verstehen wir heute Kernprozesse physikalisch besser als das Fallen des Apfels vom Baum.

Kommen wir noch einmal zu Newtons stolzem Diktum „*hypotheses non fingo*“ zurück. Physikern hat er diesen Vorsatz befolgt. Andererseits ist jedoch sein physikalisches Weltbild von **metaphysischen Hintergrundüberzeugungen** bestimmt, denn zwei Seelen wohnen in seiner Brust: eine Forscher- und eine Priesterseele. So sah er seine Gravitationstheorie als Gottesbeweis an. Von daher ist seine Interpretation des „*absoluten Raumes*“ als „*Sensorium Dei*“ (Organ Gottes) zu verstehen. Dementsprechend kann Gott jederzeit in das Weltgeschehen eingreifen, um z. B. das durch Störungen in Unordnung gebrachte Planetensystem zu korrigieren und verlorengangene Bewegungsenergie wieder zu ersetzen. Aufgrund dieser metaphysischen Hintergrundüberzeugung benötigt Newton erstaunlicherweise keine explizit formulierten Erhaltungssätze. In dem berühmten Briefwechsel zwischen Newtons Schüler Clarke und Leibniz bespöttelt dieser den Gott Newtons als „*schlechten Uhrmacher*“, der sein himmlisches Uhrwerk von Zeit zu Zeit immer wieder korrigieren müsse. Leibniz vertritt nämlich die Meinung, daß die von Gott geschaffene Gesetzmäßigkeit (Erhaltungssätze) die Ordnung der Natur garantiere.

Der in der Nachfolge von Newton sich vollziehende Wandel des physikalischen Weltbildes im 18. und 19. Jahrhundert wird deutlich durch die Antwort, die Laplace Napoleon auf dessen Frage, warum in seinem Werk „*Mécanique céleste*“ nirgends der Schöpfer vorkomme, gegeben hat: „*Je n'avais pas besoin de cette hypothèse-là!*“ Laplace glaubte, auf mathematischem Wege die Stabilität des Planetensystems bewiesen zu haben. Jedoch dem

mathematischen Genie war ein Rechenfehler unterlaufen. Er hatte versehentlich durch Null dividiert. Die bei seinen Störungsrechnungen benutzten Reihenentwicklungen sind demzufolge nicht konvergent. Man mußte befürchten, daß es bei rationalen Umlaufverhältnissen (z. B. Jupiter/Saturn=5 : 2) zu gefährlichen Resonanzkatastrophen kommen könnte. Diese Problematik scheint am Ende des vergangenen Jahrhunderts ein derart allgemeines Interesse gefunden zu haben, daß der schwedisch König Oscar II. zur Klärung dieser brisanten Frage einen Preis ausschrieb. Er ging an den französischen Mathematiker Henri Poincaré, der zwar die Stabilitätsfrage nicht endgültig beantworten konnte, aber die Divergenz der Reihenentwicklung für das Dreikörperproblem aufzeigen und zugleich schlüssig nachweisen konnte, daß es keine alternativen analytischen Lösungsmethoden geben kann. Von ganz besonderer Bedeutung erwies sich seine Erkenntnis, daß die Stabilität der Bewegung sensitiv von minimalen Unterschieden in den Anfangsbedingungen abhängt. Dieser sogenannte „*Schmetterlingseffekt*“ spielt in der aktuellen Chaosforschung eine zentrale Rolle.

Wird unser Planetensystem, das zentrale Objekt von Newtons Himmelsmechanik, stabil bleiben, oder versinkt es eines Tages ins Chaos? Wem es schwer fällt, mit Newton Gott die Rolle des kosmischen Stabilisators zuzuweisen, der kann seine Zuflucht zu dem *KAM-Theorem*, benannt nach Komolgoroff, Arnold und Moser, nehmen, welches besagt, daß durch irrationale Zahlenverhältnisse der Planetenumläufe ein hoher Grad von Stabilität garantiert ist, und sich damit trösten, daß im Planetensystem gerade solche irrationalen Verhältnisse vorkommen. Dem Weiterfragenden sei es nicht verwehrt, die Irrationalität der Zahlenverhältnisse mit den entsprechenden geometrischen Proportionen des „*Goldenen Schnitts*“ in Zusammenhang zu bringen und die Schönheit als Ausdruck der Naturgesetzmäßigkeit, als „*Harmonices Mundi*“ (Kepler) oder als „*Prästabilisierte Harmonie*“ (Leibniz) zu deuten.

Ist Newtons Mechanik überholt?

Prima vista scheint Newtons Physik durch die Entwicklung der Speziellen und Allgemeinen Relativitätstheorie, d. h. nach der Überwindung der Vorstellung eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit bzw. der Interpretation der Gravitation als Krümmung des Raumzeitkontinuums ihre Gültigkeit verloren zu haben. In der Quantenmechanik muß die klassische Vorstellung einer Bahnkurve im Ortsraum durch den Begriff des Zustandsvektors im abstrakten Hilbert-Raum ersetzt werden. Aufgrund der Heisenbergschen Unschärfere-lation ist es im quantenphysikalischen Maß-

prozeß nicht mehr möglich, Orts- und Impulskoordinaten gleichzeitig „scharf“ zu messen. Daraus resultiert, daß an die Stelle deterministischer Vorhersagen im Sinne der klassischen Mechanik Wahrscheinlichkeitsaussagen bezüglich der Observablen treten. Die aktuelle Komplexitätsforschung hat gezeigt, daß nicht nur unser Planetensystem, sondern überraschenderweise auch ganz einfache mechanische Systeme (z. B. das Doppelpendel) den gefährlichen Keim zum Chaos *in nuce* enthalten und die analytische Erfassung dieser Instabilitäten über den konzeptionellen Rahmen der Newtonschen hinausgeht.

Welchen Nutzen hat es dann eigentlich, sich noch mit dieser „alten“ Physik zu befassen bzw. sie zu lehren? Während z. B. die *Phlogiston-Theorie* der Chemie sich als völlig unhaltbar erwiesen hat, verleiht der besondere Gesetzescharakter von Newtons methodischem Konzept seiner Mechanik den Status einer „abgeschlossenen Theorie“. Dies hat z. B. Werner Heisenberg in einem bemerkenswerten Aufsatz (1948) klar analysiert. Dabei stellt er folgende Kriterien für eine „abgeschlossene Theorie“ heraus:

- Die abgeschlossene Theorie gilt für alle Zeiten, wo immer Erfahrungen mit den Begriffen dieser Theorie beschrieben werden können, und sei es in fernster Zukunft, immer werden die Gesetze dieser Theorie sich als richtig erweisen.
- Die abgeschlossene Theorie enthält keine völlig sichere Aussage über die Welt der Erfahrungen. Denn wie weit man mit den Begriffen dieser Theorie die Erscheinungen greifen kann, bleibt im strengen Sinne unsicher und einfach eine Frage des Erfolgs.
- Trotz dieser Unsicherheit bleibt die abgeschlossene Theorie ein Teil unserer naturwissenschaftlichen Sprache und bleibt daher ein integrierender Bestandteil unseres jeweiligen Verständnisses der Welt.

Damit ist zum Ausdruck gebracht, daß die Mechanik Newtons keiner wesentlichen Verbesserung mehr fähig und auch nicht bedürftig

war. Jedoch in ihrem Geltungsbereich, d. h. für Geschwindigkeiten, die klein im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit sind, und für Objekte, deren Verhalten nicht der Wirkung des Planckschen Wirkungsquantums unterliegen, ist sie heute noch genauso gültig wie zu Newtons Zeiten. Mit ihrer Hilfe lassen sich z. B. die vielfältigen Bewegungsvorgänge unserer Verkehrstechnik wie auch die Bahnen von künstlichen Satelliten genau berechnen.

Einstein, der durch die Aufstellung seiner Relativitätstheorie viele von Newton aufgeworfene Fragen einer Klärung zuführen konnte, stellt bescheiden fest: *„Großer Newton verzeih mir, du fandest den einzigen Weg, der zu deiner Zeit für einen Menschen von höchster Denk- und Gestaltungskraft eben noch möglich war. Die Begriffe, die du schufst, sind auch jetzt noch führend in unserem physikalischen Denken, obwohl wir nun wissen, daß sie durch andere, der Sphäre der unmittelbaren Erfahrung ferner stehende ersetzt werden müssen, wenn wir ein tieferes Begreifen der Zusammenhänge anstreben.“*

Diese Aussage Einsteins verweist deutlich auf den auch heute noch gültigen „Weg“ von Newtons Denken, d. h. auf das methodische Konzept seiner Physik als ein hervorragendes Lehrstück zum Studium physikalischer Begriffs- und Theorienbildungen, speziell im Hinblick auf Thomas Kuhns Thesen des *„radikalen Paradigmawechsels“* in der Wissenschaftsentwicklung bzw. der Inkommensurabilität oder Kontinuität historisch bedingter Forschungsprogramme. In diesem Zusammenhang läßt sich die bereits von Kant in seinen *„Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“*, in denen er den besonderen Gesetzescharakter der Newtonschen Mechanik untersucht, aufgeworfene Frage, ob diese nicht nur als ein vorläufiges Rezept zum praktischen Handeln anzusehen sei, sondern auch wirkliche, bleibende Erkenntnis, d. h. ein Stück *„Wahrheit“* enthalte, auch für den formal-mathematisch, antimetaphysisch eingestellten Physiker nicht so leicht abweisen. Die Frage nach dem ontischen Status theoretischer physikalischer Terme kann nicht nur eine Angelegenheit von Philosophen sein.

Wenn dem „Brotgelehrten“ (Schiller) die Beschäftigung mit der Geschichte der Disziplin hinsichtlich seiner aktuellen Forschungsarbeit als Luxus oder gar hinderlich erscheinen sollte, dann läuft er Gefahr bei derartigem bloßen

„Handhaben“ von Physik, daß ihm ein tieferes „Verstehen“ aus dem Blickfeld gerät. Diese Befürchtung hat der bekannte theoretische Physiker Friedrich Hund in seinem Buch *„Die Geschichte der physikalischen Begriffe“* geäußert und als ein *„ernstes Dilemma“* in der Physiker Ausbildung bezeichnet. Zu seiner Überwindung empfiehlt er die historische Betrachtung des physikalischen Erkenntnisprozesses, in dessen Verlauf die grundsätzlichen physikalischen Begriffs- und Theorienbildungen noch kontrovers diskutiert und nicht nur vom heutigen Standpunkt aus „rein systematisch auf kürzestem Wege“ möglichst effektiv als Prüfungsstoff ohne tieferes Verständnis verabreicht werden. In diesem Zusammenhang ist auch die zunächst vielleicht überraschende Aussage des bedeutenden Physikhistorikers und theoretischen Physikers Max Jammer zu verstehen: Was Physik eigentlich ist, lasse sich nur im historischen Kontext verstehen.

Derartige „Verstehen“ wissenschaftlich zu erforschen und zu lehren ist die wesentliche Aufgabe der Physikdidaktik. Daher sollte eine genuin fachimmanente Physikdidaktik die wissenschaftstheoretisch, denk- und lernpsychologisch reflektierte historische Analyse des physikalischen Erkenntnisprozesses als zentralen Gegenstand ihrer Forschung ansehen.

Dabei ist es geboten, pädagogische Modeerscheinungen mit kritischem Blick und Distanz zu verfolgen, um sich nicht unversehens in der Rolle eines nützlichen Instruments zur Legitimation fluktuierender bildungspolitischer De-siderate wiederzufinden

Zum Autor:

Prof. Dr. Wilfried Kuhn, Jahrgang 1923, war bis zu seiner Emeritierung 1991 Direktor des Instituts für Didaktik der Physik der Justus-Liebig-Universität Gießen. Er leitet weiterhin drei



Projekte der Deutschen Forschungsgemeinschaft aus dem Bereich seiner Arbeitsschwerpunkte *Physikgeschichte, wissenschaftstheoretisch-didaktische Analysen physikalischer Begriffs- und Theorienbildung (Entwicklung der Materietheorien in wissenschafts-theoretischer Sicht, Paradigmawechsel in der Chaostheorie)*. Er ist Autor und Herausgeber zahlreicher Physiklehrbücher. Für seine hervorragenden Leistungen auf dem Gebiet der Physikdidaktik wurde ihm 1982 der Robert-Wichard-Pohl-Preis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft verliehen.