

## Was heißt „moderne Physik“?

Gregor Schiemann

Institut für Philosophie der Technischen Hochschule Darmstadt,

Residenzschloß, D-64283 Darmstadt

Als wissenschaftlicher Begriff findet der Ausdruck „moderne Physik“ heute weniger in der Physik als vielmehr in der Physikgeschichtsschreibung und der Wissenschaftstheorie der Physik Verwendung. Er gehört zu den Bezeichnungen, die exakt genug sind, um Untersuchungen dieser beiden Disziplinen auf einen bestimmten Ausschnitt physikalischer Forschungen zu konzentrieren, und vage genug, um dabei ein fruchtbares Mass an unterschiedlichen Auffassungen zu zulassen. Sein weites Bedeutungsspektrum entspricht der Vielfalt, mit der sich die gegenwärtige Physik auf verschiedenste Weise charakterisieren lässt. Teils ergänzen sich die heute üblichen Charakterisierungen, teils sind sie kaum miteinander zu vereinbaren, was im wissenschaftshistorischen Kontext besonders dann hervortreten kann, wenn differente Zeiträume für die Entstehung derjenigen Physik angenommen werden, die man als modern bezeichnet. Das Gemeinsame der verbreitetsten Auffassungen besteht darin, dass sie den Begriff inhaltlich bestimmen. Ihr plurales Auftreten gibt Anlass darüber nachzudenken, ob die Vielfalt der Beschreibungsmöglichkeiten dem Gegenstand nur äusserlich zukommt oder ob sie mit einer typischen Struktureigenschaft der modernen Physik selbst korrespondiert. Mit meinem Beitrag möchte ich für die zweite Möglichkeit argumentieren. Nach einer Diskussion der wichtigsten Bedeutungen des Ausdruckes „moderne Physik“ (I), werde ich einige der bekannten inhaltlichen Begriffsbestimmungen in kritischer Absicht skizzieren. Sie heben mit unterschiedlicher Berechtigung jeweils einzelne Aspekte der gegenwärtigen Forschung heraus (II). Ihrer begrenzten Reichweite werde ich abschliessend eine formale Bestimmung gegenüberstellen. Statt die Palette der Beschreibungen um eine weitere Variante zu bereichern, wird Pluralität bei dieser alternativen Charakterisierung in gewisser Weise selbst zum Kennzeichen von physikalischer Modernität. Sie stützt sich weniger auf erfahrungswissenschaftliche als auf wissenschaftstheoretische Erkenntnisse und knüpft an Diskursen über Modernität in anderen wissenschaftlichen und kulturellen Bereichen - vor allem in der Philosophie, aber auch in der Architektur und der Literatur - an (III).

Voneinander abweichende Einschätzungen der modernen Physik schlagen sich oft schon darin nieder, dass unter den Ausdrücken „Physik“ und „modern“ jeweils verschiedenes verstanden wird. Soll mit „Physik“ die Gesamtheit der heutigen physikalischen Wissenschaften oder nur ein Teil von ihnen bezeichnet werden? Mitunter ergibt sich die gemeinte Bedeutung des Wortes unmittelbar aus dem Zusammenhang. Spricht man beispielsweise von der modernen Physik im Unterschied zur antiken Physik, so ist klar, dass mit der modernen Physik die heutigen physikalischen Wissenschaften insgesamt gemeint sind. Wird der Ausdruck hingegen auf bestimmte Theorien bezogen, dann kann die experimentelle Praxis, sofern sie gegenüber der theoretischen Physik abgrenzbar ist, davon weitgehendst unberührt bleiben. So lässt sich die Quantenmechanik, um hier gleich den Inbegriff einer „modernen Theorie“ zu nennen, durchaus mit der klassischen Mechanik kontrastieren, ohne damit der Mechanik die Aktualität absprechen und irgendeine Aussage über spezielle Verfahren der experimentellen Praxis machen zu wollen.

Nicht so leicht wie bei dem Begriff „Physik“ sind die verschiedenen Bedeutungen des Prädikates „modern“ auseinanderzuhalten. Ich möchte zunächst auf seine elementaren Wortbedeutungen zu sprechen kommen und erst später auf Gehalte eingehen, die es im Hinblick auf die Physik erhalten hat. Auf dem Hintergrund des physikalischen Kontextes sollen dann auch Bestimmungen von Modernität erwähnt werden, die in anderen Bereichen Verwendung finden und auf die Physik zurückwirken. Nur am Rande sei hier bemerkt, dass der Ausdruck „moderne Physik“ vermutlich eine eigene Entstehungsgeschichte hat, die zwar mit der Herausbildung gleichlautender Attribuierungen („moderne Literatur“, „moderne Kunst“ etc.) und den darüber hinaus gehenden Diskursen über Modernität in Beziehung gebracht, aber auch deutlich von ihnen unterschieden werden kann.<sup>1</sup>

Offensichtlich ist allen Bedeutungen von „modern“ ein Bezug zur Gegenwart gemeinsam, aber diese Bestimmung ist selbstverständlich nicht hinreichend. Vor allem ist zu klären, was man unter Gegenwart bzw. der gegenwärtigen Physik versteht, wenn man sie als modern bezeichnet. Meint man gerade aktuelle, morgen vielleicht schon wieder veraltete Forschungen, Theorien oder Verfahren, oder denkt man an einen längeren Zeitraum, der in einer schon weiter zurückliegenden Vergangenheit seinen Anfang genommen hat? Obwohl diese beiden Bedeutungen eng zusammenhängen, ist es wichtig, ihre Differenz im Auge zu behalten.<sup>2</sup>

Der Gegenbegriff zum vorübergehenden Charakter des gerade Aktuellen ist „ewig“ im Sinn einer dauerhaften Unveränderlichkeit. Vermutlich hat die Dichotomie von zeitlich relativer und unbegrenzter Geltung bei der

Gegenüberstellung von „klassischen“ und „modernen“ physikalischen Theorien eine Rolle gespielt.<sup>3</sup> So hat Heisenberg ewige Geltung als Kennzeichen von klassischen Theorien verstanden. Die Mechanik gelte für immer innerhalb eines Anwendungsbereiches, dessen Grenzen durch übergeordnete nichtmechanische Theorien festgelegt seien. Obwohl die Quantenmechanik schon zu diesen begrenzenden Theorien gehöre, könne der Umkreis ihres eigenen Anwendungsbereiches noch nicht angegeben werden.<sup>4</sup> Dieser Auffassung zufolge würde die Quantenmechanik klassisch, wenn in Zukunft einmal die Grenzen ihrer Anwendbarkeit durch übergeordnete Theorien festgestellt wären. Aber nicht nur unter dem Eindruck der theoretischen Umwälzungen in der Atomphysik, sondern auch in der vorangehenden Zeit des beginnenden Jahrhunderts wurde der Ausdruck „moderne Physik“ für Zustandsbeschreibungen des augenblicklichen Forschungsstandes und seiner vermutlichen Perspektiven gebraucht. Exemplarisch sind hierfür Titel wie „Die Weltanschauung der modernen Physik“ (1902) von Eduard von Hartmann und „Die Begriffe und Theorien der modernen Physik“ (1911) von J.B. Stallo.<sup>5</sup>

Statt auf die noch ungewisse Zukunft aktueller Theorien, Verfahren oder Wissenschaftsbereiche kann der Ausdruck „modern“ aber eben auch auf die vergangenen Ursprünge der Gegenwart bezogen werden. Das naheliegende Beispiel ist natürlich der Titel dieser Tagung („The Emergence of Modern Physics“), der nach der Entstehung der modernen Physik fragt. Moderne Physik erfasst jetzt einen Abschnitt in der Entwicklung der Physik oder eines Teiles von ihr, der sich von einer früheren Entwicklungsphase abhebt. In diesem Fall wird eine Periodisierung der Physikgeschichte unterstellt, und der Gegenbegriff zu modern ist nicht „ewig“, sondern „vormodern“ oder „nachmodern“. Es versteht sich, dass man, um einen ganzen Zeitraum gegen einen davor liegenden abzugrenzen, Unterscheidungsmerkmale voraussetzen muss.

Allermeist wird es sich bei diesen Merkmalen um Erkenntnisse oder Methoden handeln, die in der vormodernen Physik noch unbekannt waren.<sup>6</sup> Modern - und hiermit ist eine letzte Hauptbedeutung des Wortes modern angesprochen - heisst auch das Neue im Gegensatz zum Alten. Ob diese Bedeutung allerdings eine Rolle spielt, kann davon abhängen, was man unter Physik versteht. Wenn man die gesamte Physik modern nennt, dann wird man damit wohl kaum bestreiten wollen, dass altbewährte Erkenntnisse und Verfahren gegenwärtig noch eine erhebliche Rolle spielen - zu denken wäre etwa an die auf Joseph Black zurückgehende Unterscheidung zwischen Temperatur und Wärmemenge oder an das Ampèresche Gesetz der Magnetostatik. Altes - um es paradox zu formulieren - ist in der Physik von heute immer noch sehr modern.

## II

Bereits die Inspektion der semantischen Grundbestimmungen zeigt also, dass sich die Rede von der modernen Physik in verschiedener Weise auf die physikalischen Wissenschaften beziehen und mit recht unterschiedlichen Auffassungen über Modernität verbinden lässt. Man sollte deshalb den Ausdruck wissenschaftlich nicht verwenden, ohne zu sagen, worüber man spricht. Es hat freilich auch nicht an Versuchen gefehlt, dem Begriff eine genauere inhaltliche Bestimmung zu geben. Die bekanntesten möchte ich nun im folgenden in zwei Gruppen einteilen. In der ersten sind diejenigen zusammengefasst, die die moderne Physik mit zwei physikalischen Theorien, der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik, identifizieren a). Zur zweiten Gruppe gehören die Positionen, die den Ausdruck zur Charakterisierung der gesamten physikalischen Forschung verwenden und dahin tendieren, das kennzeichnende Merkmal der heutigen Physik in den praktischen Kontexten zu sehen, in denen sie eingebettet ist b).

a) Repräsentativ für die erste Gruppe kann der Artikel zum Stichwort „Physik, moderne“ in dem von Hermann Franke herausgegebenen „Lexikon der Physik“ sein. Hier wird erklärt, dass „man unter moderner Physik jene Bereiche der Physik zusammen(fasst), die nicht anschaulich in Raum und Zeit beschreibbar, also nicht 'klassisch' sind. ... Dahin gehören Relativitätstheorie und Quantenmechanik.“<sup>7</sup> Typischerweise stellt diese Bestimmung die beiden - im folgenden auch von mir so genannten - modernen Theorien einer Anzahl von „klassischen“ Theorien gegenüber. Zu diesen werden gewöhnlich die Newtonsche Mechanik, die Maxwellsche Theorie des Elektromagnetismus, bestimmte optische Theorien und in beschränktem Mass auch die Thermodynamik gerechnet.<sup>8</sup> Ebenfalls verbreitet in der physikhistorischen und wissenschaftstheoretischen Literatur ist das genannte Kriterium der Anschaulichkeit als Unterscheidungsmerkmal zwischen den beiden Theorienklassen.<sup>9</sup> Bei genauerem Hinsehen zeigt sich allerdings, dass es problematisch bleibt, eine Bestimmung von Anschaulichkeit zu geben, die für die genannten klassischen Theorien gemeinsam zutreffend und auf die beiden modernen Theorien unanwendbar ist. Zum Beispiel wäre eine Gleichsetzung von Anschaulichkeit mit Newtons Vorstellungen von der absoluten Zeit und dem absoluten Raum<sup>10</sup> nicht ausreichend. Weder müssen diese Vorstellungen in der Maxwellschen Elektrodynamik realisiert sein, noch können sie von den modernen Theorien vollständig ausgeschlossen werden. Moderne Theorien enthalten auch kein Verbot einer ebenfalls anschaulich zu nennenden Darstellung physikalischer Prozesse durch (mechanische) Modelle. Obwohl

oder vielleicht gerade weil solche Visualisierungen in den Bereichen des ganz Grossen und des ganz Kleinen zu widersprüchlichen Aussagen führen, haben sie sich einen heuristischen Wert in der Grundlagenforschung bewahrt. Schliesslich bezieht sich der Begriff der Anschaulichkeit auch auf Eigenschaften, die in einem lebensweltlichen Sinn verständlich sind.<sup>11</sup> Diese sehr intuitive Auffassung von Anschaulichkeit hat sich bewährt, um moderne Theorien in naturphilosophischer Hinsicht jedenfalls näherungsweise gegen vorangehende abzugrenzen. Sie umfasst Vorstellungen wie die Identität von physikalischen Objekten, die Kontinuität von Naturvorgängen oder das Baukastenprinzip für den Aufbau der Materie - traditionelle Vorstellungen also, die mit Bezug auf moderne Theorien gründlich relativiert oder destruiert wurden.<sup>12</sup> Über eine erste Einschätzung hinaus sind derartige allgemeine Verortungen geeignet, das physikalische Naturverständnis, wie es im Rekurs auf moderne Theorien erörtert wurde und wird, mit anderen wissenschaftlichen und kulturellen Diskursen in Beziehung zu setzen. Hierbei ist zum einen vor allem an die Mathematik zu denken, in der seit der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts die Rolle der Anschauung in der Theoriebildung sehr kontrovers debatiert wurde. Die Ablehnung der begründenden und gewissheitssichernden Stellung der Anschauung ist in diesem Zusammenhang zu den Kennzeichen der mathematischen Moderne gerechnet worden.<sup>13</sup> Eine Abkehr von lebensweltlichen Verständnisweisen hat auch die jüngere Entwicklung der europäischen Ästhetik in weiten Bereichen dominiert und gehört zu den Bestimmungsmomenten der modernen Kunst, deren abstrakte Werke weder Darstellung noch Bedeutung beanspruchen.<sup>14</sup>

Während die Diskussion um Anschaulichkeit bzw. Unanschaulichkeit eher für die Frühgeschichte der modernen Theorien relevant ist,<sup>15</sup> ist in der Folgezeit verstärkt auf andere, ebenfalls schon früh erkannte und meist nicht weniger umstrittene Unterscheidungsmerkmale hingewiesen worden. Ich möchte diese hier nicht im einzelnen diskutieren, sondern nur die bekanntesten erwähnen. So wurden als kennzeichnend für die modernen Theorien angenommen die Unmöglichkeit einer eindeutigen Beschreibbarkeit von physikalischen Zuständen und Zustandsänderungen,<sup>16</sup> die Verwendung des Feldbegriffes,<sup>17</sup> der Bezug auf die Bedingungen der Beobachtung,<sup>18</sup> die Verwendung eines nicht klassischen Logikkalküls<sup>19</sup> oder der Verzicht auf die realistische Annahme einer unabhängig vom Erkennen existierenden Aussenwelt<sup>20</sup>.

Das wichtigste Kriterium aber war und ist wohl noch die Ungültigkeit der klassischen Kausalitätsvoraussetzung, d.h. der Annahme einer vollständigen Bestimmung von Ereignisklassen durch vorangehende Ereignisklassen.<sup>21</sup> So

unbestritten es jedoch ist, dass diese Voraussetzung mit den modernen Theorien nicht uneingeschränkt verträglich ist, so verfehlt wäre es zu glauben, sie sei nicht schon im Rahmen der Physik des vergangenen Jahrhunderts in Frage gestellt worden. Bereits 1872 schlug Ernst Mach vor, kausale Verknüpfungen in der Physik durch funktionale Beziehungen zu ersetzen,<sup>22</sup> und 1919 zeigte Franz Exner, dass ein nichtkausales, statistisches Verständnis der klassischen Theorien durchaus denkbar ist<sup>23</sup>.

Am Beispiel der Kausalitätsthematik liesse sich demonstrieren, wie problematisch es ist, einzelne physikalische Theorien mit ausgezeichneten erkenntnistheoretischen Merkmalen zu versehen. Die genannten Merkmale sind keine ausgewiesenen Theorieelemente, sondern setzen bestimmte Interpretationen der Theorien voraus und werden erst im historisch wandelbaren Kontext ihrer Anwendungen verständlich. Hinzu kommt, dass die Klassifikation physikalischer Theorien nach klassischen bzw. modernen Eigenschaften, wenn sie denn möglich wäre, je nach gewähltem Kriterium verschieden ausfällt. Nach dem Kriterium der eindeutigen Beschreibbarkeit von Zuständen und Zustandsänderungen sind die Newtonsche Mechanik, die Maxwellsche Elektrodynamik und die spezielle Relativitätstheorie als klassische Theorien zu charakterisieren. Fasst man hingegen den Feldbegriff als kennzeichnendes Merkmal moderner Theorien auf, bleibt von dieser Gruppe natürlich nur noch die Newtonsche Mechanik übrig.

- b) Mit ausgewählten Theorien gleichgesetzt, hat der Ausdruck „moderne Physik“ ein so breites Bedeutungsspektrum, dass zwischen den dann möglichen Verständnisweisen kaum noch Berührungspunkte bestehen müssen. Bei der zweiten Gruppe von Versuchen, den Ausdruck inhaltlich zu bestimmen, scheint die Situation noch extremer zu sein. Die Gesamtheit der physikalischen Wissenschaften, die mit moderner Physik jetzt gemeint ist, umfasst eine solche Vielfalt von Erkenntnissen und Tätigkeiten, dass es zunächst schwer vorstellbar ist, wie man ihnen auch nur aus einer Blickrichtung eine gemeinsame Merkmalgruppe zuordnen könnte. Um dennoch zu einer Bestimmung zu kommen, wird die Entwicklung der modernen Physik in diesem Fall meist in einem grösseren historischen Kontext betrachtet.

Das Beispiel, das ich hierfür anführen möchte, stammt aus einer Rede von Werner Heisenberg, in der er den „wichtigsten Unterschied zwischen der modernen Naturwissenschaft und der antiken Naturphilosophie“ erläutert.<sup>24</sup> Die grundlegende Differenz sei methodischer Art und bestehe darin, dass die moderne Naturwissenschaft im Gegensatz zur antiken Naturphilosophie das experimentelle Verfahren verwende. Aus dieser Charakterisierung zieht

Heisenberg weitreichende Folgerungen. Das Experiment könne nur ganz spezifische Fragen an die Natur richten und lenke die Aufmerksamkeit der Forschung auf die Feststellung von Regelmässigkeiten in den Einzelheiten der Erscheinungen. Indem es das Einzelne beherrschbar mache, schaffe es bereits die Grundlage für die technische Anwendung der modernen Naturwissenschaft.<sup>25</sup>

Passend zu dieser Bestimmung sieht Heisenberg die moderne Naturwissenschaft schon in der beginnenden Neuzeit des 16. Jahrhunderts entstehen, d.h. in einer Zeit, in der Versuche - namentlich durch Galilei - ihren bis heute für die Erfahrungswissenschaften grundlegenden Stellenwert erhielten. Wenn man das Kennzeichen auch der gegenwärtigen Physik im Fortwirken neuzeitlich-experimenteller Ursprünge zu finden glaubt, kann man Heisenbergs Verständnis des Wortes „modern“ umstandslos auf diese Disziplin anwenden. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Gleichsetzung von „modern“ und „neuzeitlich“, unabhängig von der Bewertung der Bedeutung von Experimenten, in der englischsprachigen Wissenschaftsgeschichtsschreibung allgemein üblich ist.<sup>26</sup>

Gerade im Hinblick auf ihre Versuchspraxis gibt es allerdings auch gute Gründe, die neuzeitliche Physik von der gegenwärtigen methodischen Verfassung der physikalischen Wissenschaften zu trennen. Das experimentelle Verfahren der Neuzeit fand seinen adäquaten Ausdruck in den privat finanzierten physikalischen Kabinetten, wie sie in Deutschland seit etwa der Mitte des 18. Jahrhunderts aufgebaut wurden.<sup>27</sup> Diese Einrichtungen unterscheiden sich nun ganz erheblich von der heutigen physikalischen Forschung, die ausnahmslos in staatlichen und privatwirtschaftlichen Institutionen durchgeführt wird.<sup>28</sup> Statt eines Forschungsinteresses, das heute die physikalischen Wissenschaften bestimmt, wurde mit den Kabinetten einseitig ein Bildungsinteresse verfolgt; anders ausgedrückt, ging es damals weniger um die Lösung von vorgegebenen Spezialproblemen als um die Erlangung eines einheitlichen Naturbildes. Zudem fehlte der physikalischen Praxis die für unsere Zeit typische Verzahnung von naturwissenschaftlichem und technischem Fortschritt; neue naturwissenschaftliche Erkenntnisse prägten sowenig schon die technische Entwicklung, wie umgekehrt technische Innovationen noch kaum Eingang in die physikalische Praxis und Theorie fanden.<sup>29</sup> Schliesslich wurden die Kabinette nicht durch einen festangestellten Stab von Mitarbeitern betrieben, sondern bedurften nur eines gelegentlichen Arbeitseinsatzes.

Insofern die Kabinette typisch für das Stadium der physikalischen Wissenschaften vor ihrer technisierten und professionell betriebenen Form

waren, könnte man sie als vormodern bezeichnen und den Forschungsbetrieb der Gegenwart durch die davon abweichenden Eigenschaften abgrenzen. Moderne Physik in diesem Sinn beginnt sich in Deutschland auf breiter Basis in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts herauszubilden, d.h. deutlich vor der Aufstellung der beiden modernen Theorien. Die Konzentration auf andere Eigenschaften der institutionalisierten Physik mag durchaus zu abweichenden Periodisierungen führen. Die Entwicklung der akademischen Verfassung ist beispielsweise schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts einer tiefgreifenden Veränderung unterworfen, in der die noch ins späte Mittelalter zurückreichende universitäre Einordnung des physikalischen Wissens durch eine neue, bis heute wirksame ersetzt wird.<sup>30</sup>

### III

Wie bei der ersten Gruppe hängen bei der zweiten die Bestimmungen des Ausdruckes „moderne Physik“ von inhaltlichen Voraussetzungen ab, die teilweise divergente Datierungen des Entstehungszeitraumes der heutigen Physik implizieren. Offenkundig liegen solche Differenzen in der Natur der Sache. Die Physik der Gegenwart kann nur deshalb auf bemerkenswert verschiedene Weise beschrieben werden, weil in ihr unterschiedliche theoretische Ansätze und experimentelle Methoden, die nicht in einem wissenschaftlichen System zusammengefasst sind, Verwendung finden und anerkannt sind. Die Abwesenheit einer einheitlichen Bestimmung verweist auf die relativen Geltungsbedingungen, denen Theorien und experimentelle Verfahren unterworfen sein müssen, um nebeneinander in einer Disziplin Bestand zu haben. Dieser Umstand wird freilich verkannt, wenn man einzelne Aspekte zur Bestimmung des Ausdruckes „moderne Physik“ herausgreift und sie zu wesentlichen Eigenschaften der ganzen Disziplin erhebt. Vom Standpunkt einer solchen inhaltlichen Wesensbestimmung kann alternativen Charakterisierungen der Physik keine eigentliche Berechtigung zugesprochen werden. Sie scheinen verfehlt und ihrem Gegenstand nur äusserlich eigen zu sein.

Will man demgegenüber die Vielfalt von wissenschaftstheoretischen und -historischen Beschreibungsmöglichkeiten selbst als kennzeichnendes Merkmal der modernen Physik verstehen, muss man untersuchen, ob sich die damit korrespondierenden innerphysikalischen Geltungsansprüche von früheren hinreichend deutlich abheben lassen. Bei der Geltungsthematik handelt es sich um die metatheoretische Frage nach der Richtigkeit und Wahrheit von Aussagen. Gegenstand sind nicht einzelne physikalische Erkenntnisse und Methoden, sondern die Art und Weise, wie ihnen überhaupt Geltung beigemess-



sen wird und die dafür gegebenen Begründungen. Obwohl es sich hierbei um eine komplexe und vielbesprochene Problematik handelt, sind doch in der historischen Entwicklung Grundtendenzen aufweisbar, die zumindest den Rahmen einer formalen Bestimmung vorgeben und die ich als Relativierung und Hypothesisierung der physikalischen Erkenntnis bezeichnen möchte.

Zunächst kann man feststellen, dass sich in den Naturwissenschaften seit dem Ende des letzten Jahrhunderts zunehmend die Überzeugung vom historisch-relativen Charakter der Erkenntnis bemerkbar gemacht hat. In der Physik wurde dieser Einstellungswandel sehr durch die theoretischen Umbrüche begünstigt, die von den Siegeszügen der Relativitätstheorie und der Quantenmechanik ausgingen und die den Ausschliesslichkeitsanspruch bisheriger Theorien erschütterten. Die Überzeugung einer strikt historisch beschränkten Geltung physikalischer Theorien hat danach mit Thomas S. Kuhns Untersuchungen zur Wissenschaftsentwicklung<sup>31</sup> weithin Anerkennung gefunden. Neben der aufkommenden historisch-relativierenden Betrachtungsweise entstand eine weitere Tendenz zum Theorienrelativismus aus der Einsicht in äquivalente Darstellungsmöglichkeiten eines Gegenstandsbereiches. Sie geht wesentlich auf die Entdeckung bzw. Konstruktion der nichteuklidischen Geometrien zurück und hat ebenfalls seit dem Ende des vergangenen Jahrhunderts spürbar das Selbstverständnis der Physik beeinflusst. Als wissenschaftstheoretische Formulierungen dieser Tendenz sind vor allem der Konventionalismus von Henri Poincaré und der Empirismus von Willard Van Orman Quine zu werten. Die Möglichkeit, für einen Vorgang verschiedene gleichwertige Theorien aufzustellen bzw. Erklärungen zu geben, ist Ausdruck der Untrennbarkeit von Theorie und Erfahrung. Zwischen konkurrierenden Theorien lässt sich experimentell schon deshalb keine Entscheidung herbeiführen, weil Daten, die Theorien empirisch bestätigen sollen, nicht unabhängig von eben diesen Theorien sind. Erstmals von Pierre Duhem bemerkt und später durch die Verbreitung von Karl R. Poppers Wissenschaftstheorie bekannt gemacht, bezeichnet diese sogenannte Theoriebeladenheit der Erfahrung ein weiteres Element der Relativierung der Erkenntnis. Die experimentelle Erfahrung bildet keine unhintergehbare Prüfungsinstanz, sondern steht nur in Abhängigkeit zum jeweils vorgegebenen theoretischen Rahmen zur Verfügung.

Obwohl die Entstehung des Bewusstseins über relative Geltungsbedingungen in der Physik bis ins vergangene Jahrhundert zurückreicht,<sup>32</sup> kann man gegenwärtig noch nicht davon ausgehen, dass es das Selbstverständnis dieser Disziplin insgesamt prägen würde. Geltungsfragen werden in der heutigen Physik weit seltener grundsätzlich thematisiert als im vergangenen Jahrhundert. Die stattdessen vorherrschende Hochschätzung der praktischen Leistungs-

fähigkeit einzelner Erklärungen reflektiert freilich schon eine innerphysikalische Tendenz zur Vergleichgültigung und zum Verzicht auf absolute Wahrheitsansprüche. Ihre explizite Formulierung fällt in unserer Zeit indes weniger der Physik als der Wissenschaftstheorie zu. Auf diesem Hintergrund erhalten die erwähnten wissenschaftstheoretischen Positionen der Geltungsrelativierung einen Stellenwert, der auch für weite Teile der Physik repräsentativ ist. Sie machen darüber hinaus Berührungspunkte mit den ausserhalb der Naturwissenschaften geführten Diskursen über Modernität deutlich. Die Behauptung einer bloss relativen Geltung der physikalischen Erkenntnis korrespondiert mit den von philosophischer Seite vorgetragene Auffassungen, dass die Moderne als kulturhistorische Epoche sowohl gegen die Neuzeit als auch gegen die Aufklärung abzugrenzen ist. Verortungen dieser Art zeichnen die Moderne durch die radikale Verabschiedung des seit der Neuzeit in den Wissenschaften erhobenen und von der Aufklärung erneuerten Anspruches auf Universalität und ausschliessliche Geltung aus. In der Moderne „werden Pluralität und Partikularität nicht nur denkbar, sondern dominant und (paradoxaerweise - G.S.) verbindlich.“<sup>33</sup> Durch eine sich selbst relativierende Vielfalt von Überzeugungen charakterisiert, umfasst der Begriff der Moderne wissenschaftliche Erkenntnisse ebenso wie ästhetische Urteile und gesellschaftspolitische Konzeptionen.<sup>34</sup>

Sowenig sich aber in wissenschaftlichen und kulturellen Geltungsfragen schon eine allgemeine Strömung abzeichnet, sowenig darf man im Hinblick auf die Physik ausschliessen, dass zukünftige Entwicklungen vermehrt dazu berechtigen werden, der physikalischen Erkenntnis wieder einen eindeutigen und endgültigen Status zu geben.<sup>35</sup> Die Physik befindet sich, was Geltungsfragen betrifft, noch mitten in der Umbruchsphase zur Moderne. Aus der Innenperspektive einer historischen Umwälzung vermag man nicht zu entscheiden, ob sich die schon erkennbaren Tendenzen durchsetzen werden. Die Rede von der modernen Physik erhält damit auf neue Weise einen provisorischen Charakter. Diese Moderne ist nicht der Ausdruck für jeweils wechselnde Inhalte, die das gerade Aktuelle ausmachen. Geknüpft an eine formale Bestimmung kann sie vielmehr in Zukunft selbst hinfällig werden. Die moderne Physik wäre dann eine Episode in der Geschichte der Physik geblieben.<sup>36</sup>

### Literaturangaben

Bernal, J.D. (1953): Science, Industry and Society in the Nineteenth Century, in: *Centaurus* 3, S. 138

- Bunge, Mario (1982): Die Wiederkehr der Kausalität, in: Ders., *Kausalität. Geschichte und Probleme*. Tübingen 1987, S. 396 ff.
- Bunge, Mario, und Andrés J. Kálnay (1975): Welche sind die Besonderheiten der Quantenphysik gegenüber der klassischen Physik?, in: Rudolf Haller und Johann Götschl (Hg.), *Philosophie und Physik*. Braunschweig.
- Cahan, David (1985): The institutional revolution in German physics, 1865 - 1914, in: *Historical studies in the physical sciences* 15, S. 1 ff.
- Cartwright, Nancy (1989): *Nature's Capacities and their Measurement*. Oxford.
- Cassirer, Ernst (1957): *Zur modernen Physik*. Darmstadt 1994.
- Curd, Martin Vincent (1978): *Ludwig Boltzmann's philosophy of science. Theories, pictures and analogies*. Phil. Diss. Pittsburgh.
- Duhem, Pierre (1904 f.): *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien*. Üb. v. Friedrich Adler. Mit einem Vorwort v. Ernst Mach. Nachdr. d. Aufl. v. 1908. Hamburg 1978.
- Exner, Franz (1919): *Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*. Wien 1922.
- Feyerabend, Paul K. (1958): Artikel „Naturphilosophie“, in: A. Diemer und I. Frenzel, *Philosophie* (Das Fischer-Lexikon, Band 11). Frankfurt.
- Franke (Hg.), Hermann (1969): *Lexikon der Physik*. Zitiert nach der Lizenzausgabe „dtv-Lexikon der Physik“. München 1970 ff.
- Galison, Peter (1990): Aufbau/Bauhaus: Logical Positivism and Architectural Modernism, in: *Inquiry* 16, S. 709 - 752.
- Grimm, Jacob, und Wilhelm Grimm (1854 ff.): *Deutsches Wörterbuch*. Bd. 6. Leipzig 1885.
- Gumbrecht, Hans Ulrich (1978): Artikel „Modern, Modernität und Moderne“, in: O. Brunner et al. (Hg.), *Geschichtliche Grundbegriffe*. Stuttgart, Bd. 4.
- Hartmann, Eduard von (1902): *Die Weltanschauung der modernen Physik*. Leipzig.
- Hassan, Ihab (1987): Pluralismus in der Postmoderne, in: D. Kamper und W.v. Reijen (Hg.), *Die unvollendete Vernunft*. Frankfurt am Main.
- Heilbron, J. L. (1982): *Elements of early modern physics*. Berkeley.
- Heisenberg, Werner (1948): Der Begriff der abgeschlossenen Theorie in der modernen Naturwissenschaft, in: *Dialectica* 2, S. 331 - 336.
- Heisenberg, Werner (1964): Das Naturgesetz und die Struktur der Materie, in: Ders., *Schritte über Grenzen*. München/Zürich, S. 187 ff.
- Heisenberg, Werner (1989): *Ordnung der Wirklichkeit*. München/ Zürich.
- Hennemann, Gerhard (1947): *Das Verhältnis der Quantenmechanik zur klassischen Physik*. Bonn.
- Hawking, Stephan W. (1991): *Anfang oder Ende?* Paderborn.
- Juhos, Béla (1967): *Die erkenntnislogischen Grundlagen der modernen Physik*. Berlin.
- Juhos, Béla, und Hubert Schleichert (1963): *Die erkenntnislogischen Grundlagen der klassischen Physik*. Berlin.
- Kanitscheider, Bernulf (1979): *Philosophie und moderne Physik*. Darmstadt.

- Kaulbach, Friedrich (1958): Die Anschauung in der klassischen und modernen Physik, in: *Philosophia Naturalis* V, S. 66 ff.
- Kitchner (Hg.), Richard F. (1988): *The world view of contemporary physics*. New York.
- Koslowski, Peter, et al. (Hg.) (1986): *Moderne oder Postmoderne?* Weinheim.
- Krafft, Fritz (1982): *Das Selbstverständnis der Physik im Wandel der Zeit*. Weinheim.
- Kuhn, Thomas S. (1962): *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt am Main 1976.
- Mach, Ernst (1872): *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*. Prag.
- Mathias, Peter (1977): Wer entfesselte Prometheus? Naturwissenschaftlicher und technischer Wandel. 1600 - 1800, in: A.E. Musson (Hg.), *Wissenschaft, Technik und Wirtschaftswachstum im 18. Jahrhundert*. Frankfurt am Main.
- March, A. (1955): *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*. Braunschweig.
- Mehrtens, Herbert (1990): *Moderne - Sprache - Mathematik*. Frankfurt am Main.
- Miller, Arthur I. (1984): *Imagery in scientific thought creating 20th century physics*. Boston/Basel/Stuttgart.
- Mittelstaedt, Peter (1975): Zur Protophysik der klassischen Mechanik, in: Gernot Böhme (Hg.), *Protophysik*. Frankfurt am Main.
- Mittelstaedt, Peter (1976): *Philosophische Probleme der modernen Physik*. Mannheim usw.
- Nitsch, Jürgen, et al. (Hg.) (1981): *Grundlagenprobleme der modernen Physik*. Mannheim usw.
- Piepmeyer, R., et al. (1971 ff.): Artikel „Modern, die Moderne“, in: J. Ritter und K. Gründer (Hg.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Darmstadt.
- Poincaré, Henri (1902): *Wissenschaft und Hypothese*. Nachdruck der dritten, verb. Aufl. v. 1914. Darmstadt 1974.
- Popper, Karl R. (1935): *Logik der Forschung*. Tübingen <sup>9</sup>1989.
- Pulte, Helmut (1993): Zum Niedergang des Euklidianismus in der Mechanik des 19. Jahrhunderts, in: *Neue Realitäten*. XVI. Deutscher Kongress für Philosophie. Berlin, S. 833 ff.
- Quine, Willard Van Orman (1969): *Ontologische Relativität und andere Schriften*. Stuttgart 1975.
- Quine, Willard van Orman (1975): On empirically equivalent systems of the world, in: *Erkenntnis* 9.
- Rey, Abel (1909): *Die Theorie der Physik bei den modernen Physikern*. Dt. v. Rudolf Eisler. Leipzig.
- Schiemann, Gregor (1994): Die Hypothesisierung des Mechanismus bei Hermann von Helmholtz. Ein Beitrag zum Wandel der Wissenschafts- und Naturauffassung im 19. Jahrhundert, in: Lorenz Krüger (Hg.), *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*. Berlin.
- Schiemann, Gregor (1995): The Loss of World in the Image. Origin and Development of the Concept of Image in the Thought of Hermann von Helmholtz and Heinrich Hertz, erscheint in: *Heinrich Hertz. Classical Physicist, Modern Philosopher*. Boston Studies in the Philosophy of Science. Dordrecht.
- Sedlmayr, Hans (1955): *Die Revolution der modernen Kunst*. Hamburg.
- Stallo, J.B. (1911): *Die Begriffe und Theorien der modernen Physik*. Leipzig.
- Stegmüller, Wolfgang (1978 ff.): *Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie*. Bd. I-III. Stuttgart <sup>6</sup>1978 (Bd. I) und <sup>8</sup>1987 (Bd. II und III).

- Stichweh, R. (1984): *Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen. Physik in Deutschland. 1740-1890.* Frankfurt am Main.
- Weizsäcker, C.F.v. (1943): *Zum Weltbild der Physik.* Stuttgart 1970.
- Weizsäcker, C.F.v. (1974): *Die Einheit der Natur.* München.
- Welsch, Wolfgang (1988): *Unsere postmoderne Moderne.* 2. Aufl. Weinheim.
- Wiegand, Friedrich (1964): *Klassische und nichtklassische Physik.* Zürich.

- 1 Während Hans Ulrich Gumbrecht in seinem kulturhistorisch orientierten Lexikonartikel zu den Worten „modern, Modernität und Moderne“ die „Ablösung der gängigen Verwendung des Wortes 'modern' als Epochenbegriff durch seinen Gebrauch zur Bezeichnung einer als Durchgangspunkt empfundenen Gegenwart“ (Gumbrecht (1978), S. 110) als allgemeine Tendenz der vergangenen zwei Jahrhunderte herausarbeitet, scheint für die auf die Physik bezogene Verwendung des Prädikates „modern“ eine später einsetzende und dann eher gegenläufige Bewegung bezeichnend zu sein, sofern man eine strukturelle Vergleichbarkeit von kulturhistorischen Epochenbestimmungen und wissenschaftshistorischen Periodisierungen unterstellen darf. Nachdem der Ausdruck „moderne Physik“ noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts hauptsächlich zur Bezeichnung eines aktuellen, als Provisorium verstandenen Standes der Physik verwendet wird (vgl. Anm. 5), kommt er im Gefolge der späteren theoretischen Umbrüche (Relativitätstheorie und Quantenmechanik) vor allem zum Zweck der Periodisierung der Physikgeschichte zum Einsatz (vgl. Anm. 10 - 12 und 16 - 21).
- 2 In der Darstellung der Bedeutungen des Wortes „modern“ orientiere ich mich an Gumbrecht (1978), S. 96.
- 3 Zum Begriff der klassischen Theorie vgl. hier Abschnitt II.
- 4 Heisenberg (1948), S. 333 ff., et passim.
- 5 Hartmann (1902) und Stallo (1911). Im Sinne einer Zustandsbeschreibung des augenblicklichen physikalischen Forschungsstandes verwendet heute noch Kanitscheider (1979) den Ausdruck.
- 6 Alternativ lässt sich eine neue Epoche auch durch die Abwesenheit von Eigenschaften, die in vorangehenden Zeiten bestimmend waren, charakterisieren. Von dieser Möglichkeit macht die von mir im dritten Abschnitt vorgeschlagene formale Bestimmung Gebrauch, insofern sie die moderne Physik durch die Destruktion vormaliger Wahrheitsgewissheiten auszeichnet. Einen die Gegenwart prägenden Eigenschaftsverlust kann man auch terminologisch zum Ausdruck bringen: So verwendet Wiegand (1964) nicht die Bezeichnung „modern“, sondern „nichtklassisch“.
- 7 Franke (Hg.) (1969), Bd. 7, S. 80.
- 8 Vgl. Franke (Hg.) (1969), Bd. 5, S. 51 f. (Stichwort „klassisch“).
- 9 Vgl. z.B. Weizsäcker (1943), S. 27 ff., Juhos (1967), S. 153 ff., Stegmüller (1978 ff.), Bd. III, S. 93 ff., und Kaulbach (1958). Weizsäcker spricht allerdings nicht von der „modernen Physik“.

sondern vom „physikalischen Denken() in der Gegenwart“, das „durch den Verzicht auf anschauliche Modelle der Natur gekennzeichnet“ sei (Weizsäcker (1943), S. 12 f.).

- 10 Heisenberg (1989), S. 67.
- 11 Vgl. Mittelstaedt (1975), S. 142 f.
- 12 Vgl. Stegmüller, a.a.O.
- 13 Mehrrens (1990), S. 67 f., 211 ff., 308 f., 400 und 511 ff.
- 14 Sedlmayr (1955), S. 23 ff. Sehr treffend bemerkt A. March: „Die heutige theoretische Physik hat mit der modernen Malerei das eine gemeinsam, dass der erste Eindruck, den ein Aussenseiter von ihr gewinnt, der einer völligen Unverständlichkeit ist.“ (March (1955), S. III).
- 15 Vgl. Müller (1984), S. 125 ff.
- 16 Juhos und Schleichert (1963), S. 30 ff.
- 17 Juhos (1967), S. 129 ff.
- 18 Mittelstaedt (1976), S. 32 f.
- 19 Mittelstaedt (1976), S. 188 ff.
- 20 Feyerabend (1958), S. 220.
- 21 Juhos (1967), S. 40 und 212 ff., Mittelstaedt (1976), S. 148 ff., Weizsäcker (1943), S. 85, Franke (Hg.) (1969), Bd. 4, S. 294 ff. (Stichworte „kausal“, „Kausalprinzip oder Kausalgesetz“ und „Kausalzusammenhang, beschränkter, der physikalischen Welt“). Bis weit in die zweite Jahrhunderthälfte hinein waren die wissenschaftstheoretischen Diskussionen um die Verletzung der klassischen Kausalitätsvorstellung durch die (üblichen Interpretationen der) modernen Theorien vornehmlich von der Auffassung bestimmt, dass dem kausalen Denken in der gegenwärtigen Physik generell eine eher geringe Bedeutung zukomme. Seither mehrten sich die Stimmen, die auf den grossen heuristischen Wert der Kausalität in der physikalischen Forschung hinweisen. Exemplarisch hierfür sind Bunge (1982) und Cartwright (1989).
- 22 Mach (1872), S. 34 ff.
- 23 Exner (1919), S. 705 et passim.
- 24 Heisenberg (1964), S. 195 f.
- 25 Ebenda.
- 26 Das entspricht ganz der normalsprachlichen Wortbedeutung des englischen Ausdruckes „modern“. Im „The Advanced Learner's Dictionary of Current English“ (Oxford 1963) verbindet sich damit eine bemerkenswert präzise Angabe: Das Verwendungsbeispiel „modern history“ wird mit „e.g. of Europe, from 1475 onwards“ erläutert.
- 27 Heilbron (1982), S. 139 ff.
- 28 Vgl. für das folgende Cahan (1985), S. 3 ff.
- 29 Vgl. für das 18. Jahrhundert Mathias (1977) und für das 19. Jahrhundert Bernal (1953).
- 30 Stichweh (1984), S. 34 ff., und Krafft (1982), S. 87 ff. Die methodischen und institutionellen Bedingungen der Physik bezeichnen natürlich nur einen Typus für die nicht exklusiv auf Theorien

bezogene Verwendung des Ausdruckes „moderne Physik“. Eine andere Bedeutung liesse sich beispielsweise durch ein System von Werten und Handlungsnormen gewinnen, das für die Gesamtheit der gegenwärtigen Forschungspraxis leitend und gegen ein entsprechendes vormodernes System abgegrenzt wäre.

- 31 Kuhn (1962).
- 32 Vgl. zu den Anfängen Pulte (1993) und speziell zu Hermann von Helmholtz Schiemann (1994), zu Heinrich Hertz Schiemann (1995) sowie zu Ludwig Boltzmann Curd (1978). Mach erklärt schon 1872 programmatisch: „Die Geschichte hat alles gemacht, die Geschichte kann alles verändern.“ (Mach (1872), S. 3). Eine, wenn nicht die erste Bestimmung des Ausdruckes „moderne Physik“ im Sinne eines Geltungsverlustes hat Rey (1909) gegeben. Zum „Einklang der modernen Physiker“ rechnet er bereits die Ansicht: „Die Physik der Gegenwart glaubt nicht mehr ein auf das physische Universum sich erstreckendes System ausbilden zu können. Sie glaubt nicht die Wirklichkeit erfassen zu können“ (a.a.O., S. 309).
- 33 Welsch (1988), S. 76 f. Welsch folgend fasse ich die Postmoderne als radikale Position innerhalb der Moderne auf (a.a.O., S. 84). Die von Hassan (1987) angeführten Momente der Pluralität zähle ich deshalb zu den Bestimmungen der Moderne.
- 34 Zu den modernen bzw. postmodernen Erscheinungsformen in der Architektur vgl. Welsch (1988), S. 87 ff. , in der Gesellschaftspolitik, der Kunst und Literatur vgl. Koslowski et al. (Hg.) (1986), S. 143 ff.
- 35 Prominente Vertreter der Ansicht, dass die Physik in vielleicht nicht allzu ferner Zukunft zu einer endgültigen Theorie ihres Gegenstandsbereiches kommen werde, sind Carl Friedrich von Weizsäcker (vgl. z.B. Weizsäcker (1974), S. 207 ff.) und Stephan W. Hawking (vgl. z.B. Hawking (1991), S. 9 und 40 ff.).
- 36 Dieter Mersch (Berlin), Ulrich Mayser (Darmstadt) und Stephan Hartmann (Konstanz) danke ich für anregende Kommentare und kritische Bemerkungen.

# THE EMERGENCE OF MODERN PHYSICS

Proceedings of a Conference  
Commemorating a Century of Physics  
Berlin 22-24 March 1995

Edited by  
Dieter Hoffmann  
Fabio Bevilacqua  
Roger H. Stuewer

*Collana di Storia della Scienza*  
*diretta da Fabio Bevilacqua*



Università degli Studi di Pavia



*On the cover*

Model for the Berlin Physical Institute (Physikalisch-Technische Reichsanstalt) founded in 1887, where the spectral distribution of “black body” radiation was investigated. This stimulated Max Planck’s quantum hypothesis.

*Addresses of the Editors*

**Dieter Hoffmann**

Max Planck Institute for the History of Science,  
Wilhelmstraße 44  
D-10117 Berlin

**Fabio Bevilacqua**

Dipartimento di Fisica “A. Volta”, Università di Pavia  
Via Bassi 6  
I-27100 Pavia

**Roger Stuewer**

University of Minnesota, Program in History of Science,  
Tate Laboratory of Physics  
116 Church Street S.E.  
Minneapolis, MN 55455, USA.