

ZUR GESCHICHTE DER BEZIEHUNGEN ZWISCHEN PHYSIK UND PHILOSOPHIE

DIE PHILOSOPHISCHE DISKUSSION ZWISCHEN ERNST MACH,
MAX PLANCK UND ALBERT EINSTEIN
ZU BEGINN DES 20. JAHRHUNDERTS

Von

T. ELEK

Lehrstuhl für Philosophie, Technische Universität, Budapest
(Eingegangen am 9. September, 1966)

Zwischen Physik und Philosophie haben noch nie so enge Beziehungen bestanden wie während der modernen Entwicklung der Naturwissenschaften seit Ende des vorigen Jahrhunderts. Der Zusammenbruch des mechanischen Weltbildes hat zu dieser Zeit viele hervorragende Physiker bewogen, aus den neuen Erkenntnissen ihres Wissensgebietes auch philosophische Konsequenzen zu ziehen. Unter den Verhältnissen, wie sie das Geistesleben in der kapitalistischen Welt beherrschten, waren diese Konsequenzen vielfach idealistischer Natur.

Den »physikalischen« Idealismus als philosophische Richtung begründete in den siebziger-achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ERNST MACH, der seine philosophischen Ansichten zu einem regelrechten System erstmalig in seinem 1885 erschienenen Werk »Die Analyse der Empfindungen« zusammenfaßte.

Besondere Wichtigkeit für unsere Untersuchungen kommt dem Abschnitt XIV dieses Buches zu, in welchem der Verfasser seine eigene *philosophische* Theorie in ihrer Beziehung zur *Physik* nach deren damaligem Stand entwickelt.¹ Zunächst stellt MACH fest, *real seien unter den Elementen der Welt auch für den Physiker nur die Empfindungen*. Die abstrakten Begriffe und mathematischen Formeln, deren sich die Wissenschaft der Physik bedient, seien demnach bloß *Mittel* zu dem *Zweck*, die »Tatsachen«, d. h. unsere Empfindungserlebnisse gedanklich möglichst vollkommen nachzubilden. Der Wert der wissenschaftlichen Begriffe reicht also nur so weit als ihre Hilfe für die Nachbildung der Empfindungen.² Dies ist der Grund, warum er beispielsweise den Begriff des Atoms für wertlos hält.

Sodann wirft MACH die Fragen auf, was denn eigentlich der Vorgang der *Abstraktion* und was der Ausdruck »*Begriff*« bedeute, und er beantwortet sie

¹ MACH, E.: Die Analyse der Empfindungen, 5. Aufl., G. Fischer Verlag, Jena, 1906 pp. 253/288 (»Einfluß der vorausgehenden Untersuchungen auf die Auffassung der Physik«)

² l. c., p. 258.

mit der Feststellung: »Der Begriff des Physikers ist eine bestimmte *Reaktions-tätigkeit*, die eine Tatsache mit neuen sinnlichen Elementen bereichert.«³

Ähnlich interpretiert MACH auch den Vorgang der *Urteilsbildung*: Nach seiner Auffassung handelt es sich auch bei dieser nur darum, daß wir unsere Sinneseindrücke mit anderen Sinnesvorstellungen bereichern, und haben wir hierin die nötige Übung erreicht, können wir die so gewonnenen Vorstellungen nicht einmal mehr als Urteile bezeichnen, vielmehr handelt es sich nur noch um einfache *Erinnerungen*. »Das Wachstum der Naturwissenschaft und der Mathematik beruht größtenteils auf der Bildung solcher *intuitiver* Erkenntnisse.«⁴

Nach MACH prägen sich diese intuitiven Erkenntnisse unserem Gedächtnis unbewußt und ungewollt, auf spontane Weise ein, und ebenso spontan tauchen sie im Bedarfsfall als *Erinnerungen* wieder auf, die die *gegebene* Empfindungstatsache ergänzen. In dieser spontanen Ausgestaltung unserer Gedächtnisbilder kommen zwei wichtige Prinzipien, das der zureichenden Differenzierung und das der möglichen Verallgemeinerung zur Geltung. (Dieses letztere nannte MACH auch das Prinzip der Kontinuität der Erinnerung.)

Worin unterscheiden sich nun aber nach MACH die *wissenschaftlichen* von den *intuitiven* Erkenntnissen? Darin, daß sie nicht spontan zustande kommen, sondern bewußt erarbeitet werden, u. zw. jeweils dann, wenn einzelne Empfindungstatsachen zu unserer gewohnten Gedankenwelt in scharfen Widerspruch geraten. Die wissenschaftliche Forschung ist im Grunde genommen lediglich *die absichtliche Anpassung unserer Gedanken* an diese überraschenden Empfindungstatsachen. Doch auch das Denken in wissenschaftlichen Begriffen bedeutet nichts anderes, als Empfindungstatsachen ausweiten und bereichern, sie schließlich von neuem vereinfachen und sich an sie gewöhnen. »Wie bei der intuitiven Erkenntnis reduziert sich also auch hier alles auf die *Auffindung, Hervorhebung und Aussonderung* der maßgebenden sinnlichen Elemente. Die Forschung erreicht hier nur auf einem *Umwege*, was sich der intuitiven Erkenntnis unmittelbar darbietet.«⁵ Demnach muß auch die Abstraktion von den sinnlichen Elementen ausgehen und zu diesen als Endziel zurückkehren. Jede Abstraktion, die weit über die Empfindungserlebnisse hinausgeht, führt zur Bildung falscher, »metaphysischer Begriffe«.

Auf die Physik bezogen, stellt das wiederholt hervorgehobene Prinzip der *Denkökonomie* bei Mach in erster Linie die maximale Verkürzung des Umweges dar, der von der Empfindung zur Abstraktion und von dieser zurück zur Empfindung leitet. Hierzu bedarf es der richtigen gedanklichen Erfassung alles dessen, was die Empfindungstatsachen an *beständigen*, bleibenden Elementen enthalten. Die Denkökonomie ist es letzten Endes auch, die die

³ l. c., p. 264.

⁴ l. c., pp. 259/260.

⁵ l. c., p. 265.

Erfüllung der Forderung nach der *Kontinuität* des Denkvorganges verbürgt. »*Kontinuität, Ökonomie* und *Beständigkeit* bedingen sich gegenseitig; sie sind eigentlich nur verschiedene *Seiten* einer und derselben Eigenschaft des gesunden Denkens.«⁶

Nach Mach ist es eben diese Beständigkeit und die durch sie erzielbare Kontinuität des Denkens, die den Gebrauch abstrakter Begriffe, wie jener des Körpers, des chemischen Elements, der Elektrizität, des Magnetismus, des Lichts oder der Wärme für den Physiker ökonomisch gestaltet: diese Begriffe versetzen uns in die Lage, den Kern unserer an den sinnlichen Elementen orientierten Gedanken stets in Bereitschaft zu halten. Mach warnt jedoch hier auch vor der Gefahr des *Hypostasierens*, die der Vorgang der Begriffsbildung stets in sich birgt. Die Gefahr besteht darin, daß wir das Ziel der Abstraktion aus den Augen verlieren und uns von den sinnlichen Elementen weit entfernen, daß wir beispielsweise in die Vorstellung verfallen können, die Begriffe Elektrizität, Magnetismus, Licht, Wärme drückten selbständige Tatsachen aus, obwohl » . . . alle physikalischen Tatsachen schließlich aus denselben sinnlichen Elementen (Farben, Drucken, Räumen, Zeiten) sich zusammensetzen, daß wir durch die Bezeichnung ‚elektrisch‘ bloß an eine Spezialform erinnert werden, in welcher wir die Tatsache *zuerst* kennengelernt haben.«⁷

An diesem Punkt wendet sich Mach der Kritik des Begriffes der Materie zu, in dessen Ausbildung er ein abschreckendes Beispiel für das Hypostasieren, für die Annahme eines substantiellen Seins erblickt, das man hinter den sinnlichen Elementen vermutet. »Was wir Materie nennen«, schreibt Mach, »ist ein gewisser gesetzmäßiger Zusammenhang der *Elemente* (Empfindungen). Die Empfindungen verschiedener Sinne *eines* Menschen, so wie die Sinnesempfindungen *verschiedener* Menschen sind gesetzmäßig *voneinander* abhängig. Darin besteht die Materie.«

Im weiteren führt Mach aus, daß er diesen als *Empfindungskomplex* bezeichneten Begriff der Materie als *intuitiven, empirischen* Begriff für gut verwendbar hält und daß nur der von der Sinnesempfindung losgelöste, der »metaphysische« Begriff der Materie abzulehnen ist: » . . . es kann sich nicht darum handeln, für den Hand- und Hausgebrauch den vulgären Begriff der Materie, der sich für diesen Zweck instinktiv herausgebildet hat, abzuschaffen. Auch alle physikalischen Maßbegriffe bleiben aufrecht und erfahren nur eine kritische Läuterung, wie ich dieselbe in bezug auf Mechanik, Wärme, Elektrizität usw. versucht habe. Hierbei treten einfach *empirische* Begriffe an die Stelle der *metaphysischen*.«⁸

Mach hält also die wissenschaftlichen Begriffe nur dann für wertvolle Erkenntnisse, wenn sie empirischer Natur sind, denn die von der Empfindung

⁶ l. c., p. 268.

⁷ l. c., p. 269.

⁸ l. c., pp. 270/271.

weitgehend abstrahierten, die »metaphysischen« Begriffe sind zur Darstellung unserer Erlebnisse ungeeignet, mit ihnen weiß der Physiker nichts anzufangen. Zu den gleichen Feststellungen gelangt sodann Mach auch im Zusammenhang mit dem Begriff der *Kausalität*. Was der Physiker kausale Erklärung nennt, ist nach Mach nichts anderes als die Feststellung von Tatsachen, die den Zusammenhang zwischen den sinnlichen Elementen fixieren. Doch selbst das *physikalische Gesetz* stellt lediglich eine allgemeine Schablone dar, die in Einzelfällen die Handhabe zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen den *sinnlichen Elementen* bietet. Wer aber auf Grund solcher allgemeiner Schablonen die Zusammenhänge zwischen physikalisch erfaßbaren und meßbaren Dingen für objektive Realitäten statt für Beziehungen zwischen subjektiven Empfindungen hält, ist nach Mach in schwerem Irrtum befangen. Auch die *Gleichungen der Physik* können nur als Beschreibungen der Zusammenhänge zwischen den sinnlichen Elementen interpretiert werden. »Unsere Empfindungen werden mittels der Größen der physikalischen Gleichungen durch Zahlen charakterisiert, geordnet und inventarisiert.«⁹

Auch die Begriffe von Raum und Zeit interpretiert Mach subjektiv idealistisch: »Wenn wir genau zusehen, so bedeuten Raum und Zeit in physiologischer Beziehung besondere Arten von Empfindungen, in physikalischer Beziehung aber *funktionale Abhängigkeiten* der durch Sinnesempfindungen charakterisierten *Elemente voneinander*.«¹⁰

An anderer Stelle nannte Mach Raum und Zeit wohlgeordnete Systeme von Empfindungsreihen, während er die Größen in den Gleichungen der Mechanik als Ordnungszeichen der in der Vorstellung herauszuhebenden Glieder eben dieser Reihen betrachtete und die Gleichungen selbst als Ausdrücke der gegenseitigen Abhängigkeit dieser Ordnungszeichen voneinander auffaßte.¹¹

Die Newtonschen Begriffe von Raum und Zeit lehnte er vor allem deshalb ab, weil er ihnen ganz allgemein keinen objektiven Inhalt zubilligte, sie vielmehr für subjektive und abwegige Vernunftkonstruktionen und überdies für völlig überflüssig in einer Theorie hielt, die sich auf die Begriffe der bewegten Massenpunkte und ihrer Wechselwirkung aufeinander gründete.

Solche Gedanken finden sich bei Mach wiederholt. An einer Stelle z. B. erklärt er, die Begriffe Raum und Zeit seien leere Abstraktionen, nichtsagende, müßige und verzweifelte metaphysische Vorstellungen, denen weder ein praktischer, noch ein wissenschaftlicher Wert beizumessen sei.¹²

Bemerkt sei hier auch, daß Mach KANTS *Apriorismus nicht beipflichtet*. Er betrachtet weder den Kausalitäts-, noch den Raum- und den Zeitbegriff

⁹ l. c., pp. 272/281.

¹⁰ l. c., p. 284.

¹¹ MACH, E.: Die Mechanik, in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. 9. Aufl., Brockhaus Verlag, Leipzig 1933, p. 484.

¹² Ebenda, pp. 217 und 225.

als a priori gegebene, unveränderte Bewußtseinsinhalte oder gedankliche Notwendigkeiten. Gegen diese Begriffe erhebt er — wie gezeigt — andere Einwendungen, die nämlich, sie würden von den Wissenschaftlern in hypostasiertem, metaphysischem Sinne aufgefaßt, obwohl sie nur als Bezeichnungen der eigentümlichen Zusammenhänge zwischen *Empfindungen* gedeutet werden können. Diese Deutung ist jedoch um nichts weniger subjektiv idealistisch als die Auffassung Kants, entkleidet doch die eine ebenso wie die andere diese Begriffe ihres ganzen objektiven Inhalts.

Auch der Marxismus räumt der Wahrnehmung eine wichtige Rolle in der Ausgestaltung und Fortentwicklung des Kausalitäts- sowie des Raum- und des Zeitbegriffes ein, doch leitet er sie auch in diesem Falle von bestimmten Seiten und Zusammenhängen *der hinter den Empfindungen existenten objektiven Wirklichkeit* als deren veränderliche, in Entwicklung begriffene Widerspiegelung im Bewußtsein ab.

Auch der dialektische Materialismus verwirft das Hypostasieren der Begriffe, ohne jedoch *jede* über die sinnlichen Erlebnisse hinausgehende Begriffsbildung abzulehnen, wie dies Mach tut. Offenbar geht jede Verallgemeinerung, jede Abstraktion, jeder *logische* Denkvorgang über die sinnlichen Erlebnisse hinaus, doch muß deshalb selbst eine mehrstufige Abstraktion nicht notwendigerweise zu »metaphysischen« Begriffen führen.

Die marxistische Erkenntnistheorie unterscheidet zwischen realer und irrealer Abstraktion nicht danach, ob sie einen *unmittelbar wahrnehmbaren* Inhalt ausdrückt oder nicht. Daß die Wahrnehmung bei der praktischen Probe auf die Realität einer Abstraktion eine entscheidende Rolle spielt, konzidiert freilich auch der dialektische Materialismus, doch müssen wir uns angesichts der Begrenztheit unserer Sinnesorgane ganz allgemein (und um so mehr, je tiefer wir in die Geheimnisse der objektiven Wirklichkeit eindringen) damit begnügen, dem durch die Abstraktion abgebildeten Gegenstand durch Einbeziehung der störenden Wirkung anderer Objekte *wahrnehmbare Wechselwirkungen* abzunötigen. Dieses Verfahren versetzt auch den Physiker in die Lage, sich vom Wirklichkeitsgehalt abstrakter Begriffe, wie etwa der Begriffe Moleküle, Atome, Mikroteilchen, Korpuskel oder physikalische Felder zu überzeugen. Begriffe dieser Art können also — im Gegensatz zum Standpunkt Machs — keineswegs als »metaphysisch«, als Ergebnisse von Hypostasen angesehen werden, haben doch die in ihnen abgebildeten Objekte keineswegs eine bloß imaginäre, sondern eine wirkliche, substantielle Existenz. Die gleiche Feststellung trifft auch für den allgemeinen, abstrakten Begriff der *Materie* selbst zu.

Je subtilere, je weniger körperhafte Objekte und Eigenschaften ein Begriff deckt, um so mehr entfernt sich die Abstraktion von den sinnlich unmittelbar erfäßbaren Dingen und Relationen, um so eher droht die Gefahr irrealer Abstraktionen und tatsächlich »metaphysischer« Begriffsbildungen.

Dann kommt es in der Tat zur Hypostase, zur imaginären Entrückung des Begriffes in die Platonische Welt der Ideen, dann wird in der Tat das von der Materie unabhängige, von ihr losgelöste und ihr gegenüber primäre substantielle Sein, kurz gefaßt: die objektive *geistige* Substanz gesetzt. Diese objektiv idealistische Mystifikation lehnt naturgemäß auch der dialektische Materialismus ab, u. zw. weit konsequenter als Mach.

Lenin bezeichnet in den »Philosophischen Heften« die gedankliche Ver selbständigung der abstrakten Begriffe und ihre Ausstattung mit dem von der Materie losgelösten substantiellen Sein als primitiven Idealismus und als seltsame, schreckliche, kindliche Absurdität.¹³ An der gleichen Stelle bemerkt Lenin weiterhin, daß ohne Vorstellungskraft auch keine reale wissenschaftliche Abstraktion möglich ist, daß jedoch diese Fähigkeit unseres Bewußtseins stets die Gefahr des zu weiten Gedankenfluges, der unbemerkt unreal werden den Abstraktion und des unwissenschaftlichen Hypostasierens in sich trägt. Wenn Mach die realen, wissenschaftlichen und praktisch *mittelbar* verifizierbaren Abstraktionen ablehnt, sofern sich ihr Inhalt der *unmittelbaren* Wahrnehmung entzieht, dann leugnet er die schwerwiegende Rolle, die die Vorstellung in der wissenschaftlichen Erkenntnis spielt, und hierin geht er offenbar fehl. Wo er jedoch die unrealen, unwissenschaftlichen, nicht verifizierbaren Abstraktionen und die Auswüchse der ungehemmt schweifenden Phantasie ablehnt, dort hat er recht, und dort pflichten auch wir ihm bei.

Zur Frage, welche der philosophischen Ansichten Ernst Machs die Wissenschaft ablehnen muß und welche sie akzeptieren kann, hat zugleich mit Lenin — unabhängig von diesem, aber dem Wesen nach in gleicher Weise — der große Physiker *Max Planck* Stellung genommen. Im gleichen Jahr (1908), in dem Lenin im Band »Materialismus und Empirio-kritizismus« seine »kritischen Bemerkungen zu einer reaktionären Philosophie« niederschrieb, hielt Planck am 9. Dezember vor der Hörerschaft der naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Leiden seinen bekannten Vortrag über »*Die Einheit des physikalischen Weltbildes*«. ¹⁴

In diesem Vortrag stellte er zunächst fest, der Machsche Positivismus hätte seinen Niederschlag in der Ernüchterung der Physiker hinsichtlich der mechanischen Naturauffassung gefunden. »Ihm gebührt in vollem Maße das Verdienst, angesichts der drohenden Skepsis den einzig legitimen Ausgangspunkt aller Naturforschung in den Sinnesempfindungen wiedergefunden zu haben. Aber er schießt über das Ziel hinaus, indem er mit dem mechanischen Weltbild zugleich das physikalische Weltbild überhaupt degradiert.« ¹⁵

¹³ LENIN, W. I.: Werke, Bd. 38, Dietz Verlag, Berlin 1964, p. 352.

¹⁴ PLANCK, M.: Die Einheit des physikalischen Weltbildes in »Wege zur physikalischen Erkenntnis«, S. Hirzel Verlag, Leipzig 1943, pp. 1/26.

¹⁵ l. c., p. 24.

Dem Machismus stellte Planck die Forderung entgegen, nicht die Anpassung unserer Gedanken an unsere subjektiven Empfindungen, sondern das gerade Gegenteil anzustreben, d. h. ein festgefügtes und einheitliches physikalisches Weltbild auszugestalten, aus dem die Individualität des schöpferischen Geistes völlig eliminiert sein muß. »Dieses Konstante, von jeder menschlichen, überhaupt jeder intellektuellen Individualität Unabhängige ist nun eben das, was wir das Reale nennen.«¹⁶

Planck nennt die ablehnende Haltung Machs der Atom- und Elektrophysik gegenüber unberechtigt und unhaltbar. »Die Atome, so wenig wir von ihren näheren Eigenschaften wissen, sind nicht mehr und nicht weniger real als die Himmelskörper oder als die uns umgebenden irdischen Objekte; und wenn ich sage: ein Wasserstoffatom wiegt $1,6 \cdot 10^{-24}$ g, so enthält dieser Satz keine geringere Art von Erkenntnis wie der, daß der Mond $7 \cdot 10^{25}$ g wiegt. Freilich kann ich ein Wasserstoffatom weder auf die Waagschale legen, noch kann ich es überhaupt sehen, aber den Mond kann ich auch nicht auf die Waagschale legen, und was das Sehen betrifft, so gibt es bekanntlich auch unsichtbare Himmelskörper, deren Masse mehr oder weniger genau gemessen ist; wurde doch ja auch die Masse des Neptun gemessen, noch ehe überhaupt ein Astronom sein Fernglas auf ihn richtete. Eine Methode physikalischer Messung aber, bei der jedwede auf Induktion beruhende Erkenntnis ausgeschaltet ist, existiert überhaupt nicht; das gilt auch für die direkte Wägung. Ein einziger Blick in ein Präzisionslaboratorium zeigt uns die Summe von Erfahrungen und Abstraktionen, welche gerade in einer solchen scheinbar so einfachen Messung enthalten ist.«¹⁷

Die physikalische Erkenntnis schreitet demnach in der verwickelten Verknüpfung sinnlicher Erfahrungen von der objektiven Wirklichkeit mit wissenschaftlichen Abstraktionen voran und führt uns dazu, auch Dinge und Zusammenhänge als physikalische Realitäten zu erkennen, die der unmittelbaren Wahrnehmung unzugänglich sind. Diese Feststellungen Plancks stimmen mit dem Standpunkt der marxistischen Erkenntnistheorie völlig überein.

Das gleiche gilt auch für die Ablehnung des machistischen Prinzips der »Denkökonomie« durch Planck. Nach einem Überblick über die großen Errungenschaften der neueren Physik von Kopernikus bis Faraday hält er als unumstößliche Tatsache fest, daß diese Ergebnisse von den hervorragenden Vertretern der Physik in schwerem, kompliziertem geistigem und experimentellem Ringen, mit vieler Mühe, in unstillbarem Wissensdrang und im felsenfesten Glauben an die Realität ihrer Auffassungen, keineswegs aber nach den Grundsätzen der Denkökonomie erarbeitet wurden. Und diesen Feststellungen fügt er hinzu: »Angesichts dieser doch gewiß unanfechtbaren Tatsache läßt sich die Vermutung nicht von der Hand weisen, daß falls das

¹⁶ Ebenda.

¹⁷ l. c., p. 23.

MACHsche Prinzip der Ökonomie wirklich einmal in den Mittelpunkt der Erkenntnistheorie gerückt werden sollte, die Gedankengänge solcher führender Geister gestört, der Flug ihrer Phantasie gelähmt und dadurch der Fortschritt der Wissenschaft vielleicht in verhängnisvoller Weise gehemmt werden würde.¹⁸

Im abschließenden Teil seines Vortrages wirft Planck die Frage auf, ob es da nicht wahrhaft »ökonomischer« wäre, dem Prinzip der Ökonomie einen etwas bescheideneren Platz in der Wissenschaft anzuweisen, als ihn der MACHsche Positivismus empfiehlt. Am nächsten kommen wir in unserem Denken an die Ökonomie heran, wenn wir statt von unserem »eigenen Weltbild« von der Welt und der Natur selbst sprechen, gelangen wir doch dann zu einer weit realistischeren Ausdrucksweise als der im Grunde äußerst komplizierte und schwer durchzudenkende MACHsche Positivismus. Diese Ausdrucksweise wird ja auch tatsächlich von den Physikern stets angewendet, wenn sie in der Sprache ihrer Wissenschaft reden.¹⁹ Wenn also die Physiker ökonomisch denken sollen, indem sie es in der Sprache ihrer Wissenschaft tun, dann empfiehlt ihnen damit Planck im Grunde dasselbe wie Lenin — und das genaue Gegenteil dessen, was ihnen Mach rät —, nämlich die Welt so darzustellen, wie sie in Wahrheit ist und sich von der Treue und Richtigkeit ihrer Darstellung in der Praxis zu überzeugen.

Mach ließ die Kritik Max Plancks nicht unbeantwortet, faßte vielmehr seine wichtigsten erkenntnistheoretischen Ansichten in einem längeren Artikel nochmals zusammen.²⁰ In diesem wiederholt er, in jüngeren Jahren von Kant ausgegangen zu sein, später jedoch, weil er das »Ding an sich« für eine Illusion hielt, sich dem Standpunkt von Berkeley und Hume zugewendet zu haben, während er sich unter seinen Zeitgenossen R. Avenarius, H. Cornelius, J. Petzold, W. Schuppe, W. Ostwald und anderen verwandt fühle. In philosophischer Sicht sind seine Ausführungen auch in diesem Aufsatz unklar und widersprüchlich: während er einerseits den subjektiv idealistischen Charakter seines Positivismus in Abrede stellt, ja den Solipsismus in Worten geradeswegs verurteilt und verdammt, räumt er andererseits nur der *beschreibenden Physik* die Daseinsberechtigung ein. Seines Erachtens vermag die *erklärende Physik* bloß fiktive Hypothesen aufzustellen, wie etwa die kinetische Gastheorie oder die Atomtheorie, die hinzunehmen, für ihn gleichbedeutend mit religiösem Glauben sei. Zwar sei die beschreibende Physik geeignet, das »Ding« als *Gesamtkomplex* der Elemente von den »Erscheinungen«, d. h. von den durch uns *wahrgenommenen* Teilkomplexen zu unterscheiden, sinnlos wäre es aber, hieraus schließen zu wollen, daß das »Ding« unabhängig vom Erkennenden

¹⁸ l. c., p. 25.

¹⁹ l. c., pp. 25/26.

²⁰ MACH, E.: Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen. *Physikalische Zeitschrift* II, 599 (1910).

Subjekt für sich selbst bestehe, und ebenso sinnlos wäre es zu behaupten, daß wahrnehmbare Eigenschaften einen nicht erkennbaren Träger hätten.

Ausdrücklich betont ferner Mach, sein Positivismus weiche auch einer Konfrontation mit der Problematik so abstrakter Begriffe, wie Materie, Raum oder Zeit keineswegs aus, messe ihnen aber nur insofern wissenschaftliche Bedeutung bei, als sie sich auf Sinneserfahrungen beziehen: der Begriff der Materie stellt einen Empfindungskomplex dar, wogegen es sich bei den Begriffen Raum und Zeit um Systeme von Empfindungsreihen handelt. Erwähnt sei auch, daß er sich hier auf Lorentz, Einstein und Minkowski bzw. darauf beruft, ihre einschlägigen Untersuchungen stünden seinen Ansichten nahe. Wie noch gezeigt werden wird, äußerte er sich drei Jahre später zu Einsteins Theorie in diametral entgegengesetztem Sinne.

Mit besonderem Nachdruck nimmt Mach hier Planck gegenüber das Prinzip der »Denkökonomie« in Schutz, als deren Wesen er die Geltendmachung der biologisch-ökonomischen Zweckmäßigkeit im Prozeß der Erkenntnis und die Entwicklung der Ökonomie des praktischen Handelns zur Ökonomie der Forschungsarbeit bezeichnet. Die Unklarheit seiner Ansichten manifestiert sich jedoch auch hier, wenn er nämlich ergänzend erklärt, die Denkökonomie beschränke sich keineswegs auf die zweckmäßige Berücksichtigung der praktischen menschlichen Bedürfnisse allein.

Es waren noch keine fünf Monate verstrichen, als Planck seine Replik auf Machs Artikel veröffentlichte.²¹ Interessant an dieser Replik ist zunächst die Feststellung Plancks, die Philosophie Machs, der in jüngeren Jahren auch er gefolgt sei, habe ihn vor allem deshalb enttäuscht, weil Mach außerstande war, sein Versprechen, er wolle die Metaphysik aus der Physik ausmerzen, auch tatsächlich einzulösen. Mach gestaltet den Begriff der Denkökonomie selbst zu einem metaphysischen, wenn er seinen Deutungsbereich über die zweckmäßige Berücksichtigung der praktischen menschlichen Bedürfnisse hinaus erweitert. Niemand zweifelt daran, erklärt Planck, daß die physikalische Theorie aus praktischen menschlichen Bedürfnissen heraus *entstanden ist*. Indes macht sich die Theorie im Zuge ihrer Fortentwicklung relativ selbstständig, woraus der Schluß gezogen werden muß, daß das Prinzip der Denkökonomie in der Erkenntnistheorie an sich nicht befriedigt, nicht aber jener Schluß, den Mach zieht, daß nämlich dieses Prinzip eine über den praktischen menschlichen Gesichtspunkt hinaus erweiterte Deutung erhalten muß.

Planck weist sodann nach, daß dieses irrige *erkenntnistheoretische* Prinzip Mach auch in der *Physik* auf Irrwege geführt hat, wie etwa zu der Vorstellung, die Relativität der Translationsbewegungen ließe sich ökonomisch auf die Relativität der Rotationsbewegungen übertragen. Nach diesem Prinzip wäre aber grundsätzlich auch eine Entscheidung darüber nicht möglich, ob die

²¹ PLANCK, M.: Zur Machschen Theorie der physikalischen Erkenntnis. *Physikalische Zeitschrift* II, 1186 (1910).

Fixsterne um die Erde oder diese um die Fixsterne rotieren. Planck hält hier fest: der Umstand, daß Mach in Widerspruch zum kopernikanischen Welt-system und zu dem von diesem ausgegangenen gewaltigen wissenschaftlichen Fortschritt geraten ist, berechtige für sich allein, die Richtigkeit des Mach-schen Standpunktes in Zweifel zu ziehen. Abschließend betont Planck nochmals, daß den Gelehrten in der Fortentwicklung der Physik die Gesichtspunkte einer realitätsgetreuen, jedes subjektiven Elementes baren Darstellung leiten müssen, hierin aber kann die Denkökonomie ein Instrument, nicht aber das Hauptziel sein.

Interessant ist auch die Untersuchung des Standpunktes, den ALBERT EINSTEIN zu den wichtigeren Fragen der Auseinandersetzung zwischen Mach und Planck eingenommen hat. In seinen jüngeren Jahren beeindruckten Einstein Machs Ansichten ohne Zweifel stark, und gegen Planck gab Einstein ihm recht. Dies beweist seine Korrespondenz mit Mach, die der namhafte Wissenschaftshistoriker FRIEDRICH HERNECK veröffentlicht hat.²² Soweit bisher bekannt, datiert Einsteins erster Brief an Mach vom 9. August 1909, also fast genau acht Monate nach dem Leidener Vortrag Plancks. In diesem Brief dankt Einstein Mach für eine ihm zugesandte Abhandlung, wobei er betont, Machs Hauptwerke, die ihn mit Bewunderung erfüllten, seien im wohl bekannt. Besonders beziehe sich dies auf Machs »Mechanik«, die er mit 18 Jahren in Zürich erstmalig studiert habe. Im gleichen Brief gibt er seiner Überzeugung Ausdruck, Mach habe auf die jüngere Physikergeneration einen solchen Einfluß ausgeübt, daß sogar seine »heutigen Gegner, wie z. B. Herr Planck, von einem Physiker, wie sie vor einigen Jahrzehnten im Ganzen waren, ohne Zweifel für ‚Machianer‘ erklärt würden«.

Seinem Brief legte Einstein mehrere Arbeiten bei. Besonders empfahl er der Aufmerksamkeit Machs seine Abhandlung über die BROWNSCHE Bewegung. Friedrich Herneck weist in einer Fußnote eigens auf die Umstände hin, die diese Bitte Einsteins um Aufmerksamkeit so interessant machen: in mehreren Abhandlungen, die Einstein seit 1905 über die Brownsche Bewegung veröffentlicht hatte, war ihm der Nachweis gelungen, daß es die Annahmen der *molekularen* Thermodynamik erlaubten, auf quantitativem Wege ein Gesetz über die statistische Verteilung *sichtbarer* kleiner Teilchen in Suspensionen aufzustellen. Die eindrucksvolle experimentelle Sicherung dieser theoretischen Überlegungen Einsteins durch J. PERRIN hatte im Herbst 1908 den Chemiker WILHELM OSTWALD, einen der heftigsten Gegner der »atomistischen Hypothese«, zur Revision seines Standpunktes und zu der Erklärung veranlaßt, er räume ein, daß die Atomtheorie unter solchen Umständen als »wissenschaftlich wohl fundierte Theorie« anzusehen sei. Kein Zweifel: Einstein wollte nun auch den zweiten großen Gegner der Atomtheorie, Ernst Mach,

²² HERNECK, F.: Zum Briefwechsel Albert Einsteins mit Ernst Mach. Forschungen und Fortschritte 8, 239 (1963). Akademie Verlag, Berlin.

überzeugen, und deshalb hat er diesen, vor allem die Arbeit über die Brownsche Bewegung zu studieren.

Mach hat diesen Brief offenbar sofort beantwortet, doch ist sein Schreiben bisher nicht zum Vorschein gekommen. Dagegen liegt der neuerliche Brief Einsteins vom 17. August 1909 vor, in welchem er sich für Machs anerkennende Stellungnahme zur speziellen Relativitätstheorie bedankt, die ihm Freude bereitet hätte. Wie weiter oben bereits gezeigt, pflichtete Mach der speziellen Relativitätstheorie in seiner Replik auf Plancks Artikel 1910 bei, indem er sie als eine mit seinen eigenen Ansichten übereinstimmende Konzeption bezeichnete.

Zeitlich folgt dieser Korrespondenz als nächster Brief ein Neujahrsgruß Einsteins an Mach, der jedoch kein Datum trägt. Anhand anderweitiger wissenschaftsgeschichtlicher Unterlagen glaubt Herneck annehmen zu können, daß dieser Brief zum 1. Januar 1912 oder 1913 geschrieben wurde. In ihm bezeichnet Einstein die ablehnende Haltung Plancks gegenüber den Ansichten Machs als unverständlich, nicht ohne hinzuzufügen, Planck lehne auch seine (Einsteins) »neue Theorie«, d. h. die erste, sog. »Prager« Fassung der allgemeinen Relativitätstheorie ab. In der Tat: aus dem weiter oben erörterten Artikel Plancks aus dem Jahre 1910 geht klar hervor, daß er z. B. die Dethronisierung des kopernikanischen Weltsystems nicht akzeptiert hat, gleichviel, ob es sich um Machs oder um Einsteins Standpunkt handelte.

Im weiteren erklärt Einstein, dies Planck nicht verübeln zu können, zumal auch er seinerseits zu Gunsten seiner neuen Theorie im Augenblick nur ein erkenntnistheoretisches Argument ins Treffen führen könne. Dieses erkenntnistheoretische Argument ist eben jenes, das Einstein später das »Mach-Prinzip« nannte, seinem Wesen nach also die Hypothese, daß der Ablauf der physikalischen Vorgänge, einschließlich der Trägheitsbewegungen, von der Gesamtheit der Massen (Himmelskörper) und nicht vom Newtonschen »absoluten Raum« »regiert« wird. Für dieses erkenntnistheoretische Argument spricht nach Einstein auch der Umstand, daß »das Bezugssystem der bestehenden Welt mit Hilfe des Energiesatzes sozusagen angemessen ist und seine nebulose apriorische Existenz verliert«.

Aus dem Brief Einsteins geht hervor, daß Mach für die allgemeine Relativitätstheorie »freundliches Interesse« bekundet hat, da er sie damals offenbar noch für eine Konzeption hielt, die mit seinen eigenen Auffassungen im Einklang stand.

In zeitlicher Folge das vierte Dokument, das von Herneck zitiert wird, ist Einsteins Brief an Mach vom 25. Juni 1913. In diesem Brief zeigt Einstein die Zusendung einer neuen Arbeit über die Theorie der Relativität und der Gravitation²³ an, die nach »unendlicher Mühe und quälenden Zweifeln nun

²³ EINSTEIN, A. — GROSSMANN, M.: Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation. Zeitschrift für Mathematik und Physik **63**, 215 (1914).

endlich fertig geworden ist«. Die Aufmerksamkeit Machs lenkt er besonders auf den Satz von der Äquivalenz des beschleunigten Koordinatensystems und des Gravitationsfeldes, von dem er behauptet, er stehe im Einklang mit dem Mach-Prinzip, d. h. mit der Auffassung Machs, derzufolge die Trägheit eine eigentümliche Form der Wechselwirkungen zwischen den Körpern darstellt. In diesem Brief bezeichnet Einstein Machs Untersuchungen über die Mechanik als genial, Plancks Kritik hingegen als ungerechtfertigt.

Die gleiche Bewertung findet sich im Nachruf Einsteins vom 14. März 1916 nach dem Hinscheiden Machs.²⁴ Nochmals würdigt hier Einstein den Einfluß, den Mach mit seinen historisch-kritischen Schriften auf die zeitgenössische Generation der Naturwissenschaftler ausgeübt hat. »Ich glaube sogar«, heißt es im Nachruf, »daß diejenigen, welche sich für Gegner MACHS halten, kaum wissen, wieviel von MACHScher Betrachtungsweise sie sozusagen mit der Muttermilch eingesogen haben.« Ohne Zweifel war dieser Hinweis wieder auf Planck gemünzt, und zur Vermeidung von Mißverständnissen faßt er auch nach dieser Bemerkung das Wesen dieser Betrachtungsweise kurz wie folgt zusammen:

»Nach MACH ist Wissenschaft nichts anderes als Vergleichung und Ordnung der uns tatsächlich gegebenen Bewußtseinsinhalte nach gewissen, von uns allmählich ertasteten Gesichtspunkten und Methoden. Physik und Psychologie unterscheiden sich also voneinander nicht in dem Gegenstande, sondern nur in den Gesichtspunkten der Anordnung und Verknüpfung des Stoffes. Als seine wichtigste Aufgabe scheint es MACH vorgeschwebt zu sein, an den von ihm beherrschten Einzelwissenschaften darzutun, wie sich diese Ordnung im einzelnen vollzogen hat. Als Resultat der Ordnungstätigkeit ergeben sich die abstrakten Begriffe und die Gesetze (Regeln) ihrer Verknüpfung. Beide werden so gewählt, daß sie zusammen ein ordnendes Schema bilden, in welches sich die zu ordnenden Gegebenheiten sicher und übersichtlich einreihen lassen. Begriffe haben nach dem Gesagten nur Sinn, sofern die Dinge aufgezeigt werden können, auf die sie sich beziehen, sowie die Gesichtspunkte, gemäß welcher sie diesen Dingen zugeordnet sind (Analyse der Begriffe).«

Im folgenden Teil des Nachrufs hebt Einstein als weiteres großes Verdienst Machs hervor, daß er den Mut hatte, gewisse in der klassischen Mechanik verwurzelte und hohe wissenschaftliche Autorität genießende Begriffe, besonders die Newtonsche Raum-Zeit-Vorstellung einer Kritik zu unterziehen. »Begriffe, welche sich bei der Ordnung der Dinge als nützlich erwiesen haben«, erklärt hier Einstein, »erlangen über uns leicht eine solche Autorität, daß wir ihres irdischen Ursprungs vergessen und sie als unabänderliche Gegebenheiten hinnehmen. Sie werden dann zu ‚Denknotwendigkeiten‘, ‚Gegebenen a priori‘ usw. gestempelt. Der Weg des wissenschaftlichen Fort-

²⁴ EINSTEIN, A.: Ernst Mach. *Physikalische Zeitschrift* 7, 101 (1916).

schritts wird durch solche Irrtümer oft für lange Zeit ungangbar gemacht . . . Niemand kann es den Erkenntnistheoretikern nehmen, daß sie der Entwicklung hier die Wege geebnet haben; von mir selbst weiß ich mindestens, daß ich insbesondere durch HUME und MACH direkt und indirekt sehr gefördert worden bin.«

Sodann stellt Einstein die Feststellungen Newtons von den Begriffen Raum und Zeit denjenigen Machs gegenüber und zieht aus diesem Vergleich den Schluß, Mach sei der Konzeption der allgemeinen Relativitätstheorie und den Gedanken über die Relativität der Beschleunigungen und über die Äquivalenz von beschleunigtem Koordinatensystem und Gravitation schon nahezu ein halbes Jahrhundert zuvor ganz nahe gekommen.

Der Nachruf schließt mit der Feststellung, Mach hätten nur diejenigen einen idealistischen Philosophen und einen Solipsisten genannt, die sich mit den Werken dieses »nüchternen und vorausschauenden Denkers« nicht eingehend genug befaßt haben. Eine solche Einstellung ist nach Einstein dem Umstand zuzuschreiben, daß man Machs Terminologie mißverstanden hat, dem Umstand, daß er die elementaren Erfahrungstatsachen »Empfindungen« nannte, doch sei dies keine inhaltliche, bloß eine formale, terminologische Frage.

Dieser Nachruf vom März 1916 war die letzte Äußerung Einsteins, in der er die erkenntnistheoretische Konzeption Machs so vorbehaltlos billigte. Wie gezeigt, wies er in der Zeit von 1909 bis 1916 sozusagen nur ein einziges Mal auf ein Negativum in der Auffassung Machs, u. zw. auf dessen Ablehnung des Atombegriffes hin, und auch dies nur mittelbar, indem er seine Überlegungen zur Brownschen Bewegung der besonderen Aufmerksamkeit Machs empfahl.

Um so größer war die Zahl von Fragen, in denen er die Identität seiner eigenen Stellungnahme mit der von Mach dokumentierte! Kurz zusammengefaßt, handelt es sich um folgende Punkte:

1. Ablehnung des Apriorismus, d. h. der a priori gegebenen abstrakten Begriffe und Denknöwendigkeiten.

2. Durchsetzung des Prinzips, daß in der Wissenschaft unterschieden werden muß zwischen den der Ordnung bedürftenden Gegebenheiten (dem Rohmaterial der Tatsachen) einerseits und den ordnenden Schemata (dem System der Begriffe) andererseits. Zwischen beiden muß eine enge Korrelation bestehen, unsere Begriffe müssen sich auf die Tatsachen beziehen. Das Instrumentarium hierzu bietet das Prinzip der Denkökonomie.

3. Skeptische, kritische Einstellung zu dem zum Dogma erstarrten Begriffssystem der klassischen Mechanik, besonders zur Newtonschen Vorstellung von Raum und Zeit.

4. Als notwendige Folge dieser Einstellung die Anerkennung des Standpunktes, daß den Ablauf der physikalischen Vorgänge nicht ein von den physi-

kalischen Körpern unabhängiges Absolutum (der »absolute« Raum Newtons), sondern die Gesamtheit der physikalischen Körper selbst bestimmt, daß also beispielsweise auch die Trägheit der Wechselwirkung zwischen den Körpern entstammt.

5. Schließlich die Anerkennung der allgemeinen Äquivalenz der Koordinatensysteme, insbesondere der Äquivalenz von beschleunigtem Inertialsystem und Koordinatensystem der Gravitationsfelder.

Bald mußte jedoch Einstein zur Einsicht gelangen, daß er Mach grundlegend falsch beurteilt hatte, daß es zwischen ihren Standpunkten weit weniger Gemeinsames und weit mehr Trennendes gab, als er bis 1916 angenommen hatte. Entsprechend schlug er zu Machs Konzeptionen — von 1916 an — zunehmend kritischere Töne an, was teilweise der weiteren Fortentwicklung seiner eigenen Ansichten, teils dem Umstand zuzuschreiben war, daß er Machs antirelativistische Einstellung erkannte.

Hier muß der Vortrag Einsteins über die Prinzipien der Forschung erwähnt werden, den er zum 60. Geburtstag Max Plancks im Jahre 1918 vor der Physikalischen Gesellschaft in Berlin hielt. In dieser Festrede kam er nochmals auf die Polemik zwischen Mach und Planck zu sprechen, doch bei weitem nicht mehr mit jener Einseitigkeit, die ihn noch fünf Jahre zuvor Machs Einstellung als genial, Plancks Kritik hingegen als ungerechtfertigt hatte bezeichnen lassen. Die Korrelation zwischen Wahrnehmungen und theoretischem System erklärt er hier ausdrücklich mit der Leibnizschen »prästabilierten Harmonie«, wobei er hinzufügt, Mach und Planck hätten in ihrer Polemik den Fehler begangen, diese Korrelation nicht in dem erwähnten Sinne gedeutet zu haben.²⁵

Einerseits stellt dieser Passus in der Rede Einsteins ohne Zweifel eine Kritik des Positivismus, d. h. die Verwerfung der Machschen Auffassung dar, die Theorie sei eine reine Verstandeskonstruktion, die lediglich der ökonomischen Ordnung unserer Wahrnehmungen diene und selbst jedes objektiven Inhalts entbehre. Andererseits kritisiert jedoch Einstein hier mit seiner Bemerkung, von den Wahrnehmungen führe kein *logischer* Weg zu den Grundsätzen der Theorie, mittelbar auch den erkenntnistheoretischen Materialismus Plancks, der unter Hinweis auf das Zeugnis der Physikgeschichte eben dies behauptet hatte. »Diesem Umstand (die prästabilierte Harmonie zwischen Wahrnehmungen und theoretischem System — d. Verf.) nicht genügend zu würdigen«, sagte hier Einstein, »wird von den Physikern manchem Erkenntnistheoretiker zum schweren Vorwurf gemacht. Hierin scheinen mir auch die Wurzeln der vor einigen Jahren zwischen Mach und Planck geführten Polemik zu liegen.«²⁶

²⁵ EINSTEIN, A.: Mein Weltbild. Querido Verlag, Amsterdam 1934, p. 169.

²⁶ Ebenda.

Drei Jahre später, also sechs Jahre nach dem Hinscheiden Machs, wird dessen vernichtende Kritik an der Theorie Einsteins bekannt. Damals — 1921 — erschien nämlich posthum Machs Buch über »Die Prinzipien der physikalischen Optik«,²⁷ zu dem der Verfasser das Vorwort noch im Juli 1913, d. h. wenige Wochen nach Erhalt des Einstein-Briefes vom 25. Juni 1913 und des in diesem angekündigten Manuskripts über Relativität und Gravitation geschrieben hatte. In diesem Vorwort hält Mach fest, daß es für ihn vermutlich die letzte Gelegenheit sei, seine Ansichten über die Relativitätstheorie zu Papier zu bringen.

»Den mir zugegangenen Publikationen und vor allem meiner Korrespondenz entnehme ich, daß mir langsam die Rolle des Wegbereiters der Relativitätslehre zgedacht wird. Nun kann ich mir heute ein ungefähres Bild davon machen, welche Umdeutungen und Auslegungen manche der in meiner Mechanik niedergelegten Gedanken von dieser Seite in Zukunft erfahren werden.

. . . Warum aber und inwiefern ich die heutige mich immer dogmatischer anmutende Relativitätslehre für mich ablehne, welche sinnesphysiologische Erwägungen, erkenntnistheoretische Bedenken und vor allem experimentell gewonnene Einsichten mich hierzu im einzelnen veranlaßten, das soll in der Fortsetzung dieses Werkes dargetan werden.

Gewiß wird die auf das Studium der Relativität verwendete immer mehr anschwellende Gedankenarbeit nicht verloren gehen, sie ist heute schon für die Mathematik fruchtbringend und von bleibendem Wert, wird sie sich aber in dem physikalischen Weltbild einer ferneren Zeit, das sich in eine durch mannigfache neue Einsichten erweiterten Welt einzupassen hat, behaupten können, wird sie in der Geschichte dieser Wissenschaft mehr wie ein geistreiches Aperçu bedeuten?»

Kein Zweifel, Mach wirft hier Einstein die gedankliche Verselbständigung der mathematischen Abstraktion, d. h. eben jenes Hypostasieren vor, welches die Grundlage seiner Kritik am Begriffssystem der Newtonschen klassischen Mechanik gebildet hatte. Ebenso wenig kann es einem Zweifel unterliegen, daß er im zitierten Vorwort die Einsteinsche Formulierung des »Machprinzips« für eine Um- und Mißdeutung seiner eigenen Gedanken hält, nachdem er doch im Brief Einsteins vom 1. Januar 1913 (oder 1912) hatte lesen müssen:

»Die Gesamtheit der Massen erzeugt eine $G_{\mu\nu}$ -Feld (Gravitationsfeld), das seinerseits den Ablauf aller Vorgänge, auch die Ausbreitung der Lichtstrahlen und das Verhalten der Maßstäbe und Uhren regiert. Das Geschehen wird zunächst auf vier ganz willkürliche raum-zeitliche Variable bezogen.«²⁸ Diesen Gedanken konnte Mach in dieser seiner anfänglichen Formulierung mit vollem Recht als Mißdeutung seiner eigenen Ansichten über die bestimmende Rolle

²⁷ MACH, E.: Die Prinzipien der physikalischen Optik. Verlag Barth, Leipzig 1921.

²⁸ zit. von F. Herneck in der Studies. Fußnote 22, p. 242.

der Massen auffassen, von der er sich verständlicherweise zu distanzieren suchte.

Nachdem Einstein von Machs ablehnender Haltung 1921 erfahren hatte, wurde auch sein Ton dem Machismus gegenüber kritischer. In seinem 1921 in Princeton gehaltenen Vortrag spricht er davon, daß Machs weiter oben erwähnte Konzeption deshalb versagt hat, weil mit der modernen Theorie der Nahewirkung in Analogie mit dem elektromagnetischen Feld nur die Auffassung im Einklang stehen kann, daß die Trägheit der Körper durch das Raum-Zeit-Kontinuum bestimmt wird, und weil dieses so gedeutet werden muß, daß nur der Raum selbst »Feldeigenschaften« besitzt.²⁹

Im folgenden Jahr — 1922 — äußerte Einstein der Französischen Philosophischen Gesellschaft gegenüber auf deren Bitte folgende Meinung von Mach: »Machs System untersucht jene Zusammenhänge, die zwischen den Versuchsergebnissen bestehen; für Mach stellt die Gesamtheit dieser Zusammenhänge die Wissenschaft dar. Das aber ist ein falscher Gesichtspunkt; letzten Endes ist das, was Mach erarbeitet hat, kein System, sondern ein Katalog. So hervorragend er auf dem Gebiet der Mechanik war, so kläglich hat er als Philosoph versagt.«³⁰

Zu erwähnen ist ferner der Vortrag Einsteins, den er 1933 an der Universität Glasgow über die Entstehungsgeschichte der Relativitätstheorie hielt. Auch hier sprach er davon, zunächst sei es ihm nach Mach als denkbar erschienen, daß der Trägheitswiderstand nicht einer Beschleunigung an sich, sondern einer Beschleunigung gegen die Massen der übrigen in der Welt vorhandenen Körper entgegenwirke. »Dieser Gedanke hatte für mich etwas Faszinierendes, aber er bot keine brauchbare Grundlage für eine neue Theorie dar.«³¹

Was er von Machs Gedanken übernommen und was er von diesen abgelehnt hat, erläutert Einstein schließlich am klarsten in seinem wissenschaftlichen Curriculum vitae. Vor allem hebt er Machs beherzte Kritik an manchen zum Dogma erstarrten alten Lehren hervor. Besonders lobende Worte findet er auch hier für Machs Mechanik, die auf ihn schon als Studenten tiefen Eindruck ausgeübt habe. »Ich sehe Machs wahre Größe in der unbestechlichen Skepsis und Unabhängigkeit; in meinen jungen Jahren hat mich aber auch Machs erkenntnistheoretische Einstellung sehr beeindruckt, die mir heute als im wesentlichen unhaltbar erscheint. Er hat nämlich die dem Wesen nach konstruktive und spekulative Natur alles Denkens und im besonderen des wissenschaftlichen Denkens nicht richtig ins Licht gestellt und infolge davon die Theorie gerade an solchen Stellen verurteilt, an welchen der konstruktiv-

²⁹ EINSTEIN, A.: Grundzüge der Relativitätstheorie. Vieweg Verlag, Braunschweig 1956, pp. 36/37.

³⁰ Bull. Soc. fr. Philosophie 22, 111 (1922), zit. von F. Herneck in Physik. Blätter 12, 564 (1959).

³¹ EINSTEIN, A.: Mein Weltbild. Querido Verlag, Amsterdam 1934, pp. 249/250

spekulative Charakter unverhüllbar zutage tritt, z. B. in der kinetischen Atomtheorie.³²

Im Geiste der Distanzierung von Mach verfaßt Einstein auch sein »erkenntnistheoretisches Credo«, in welchem er wiederholt hervorhebt, daß sich seine erkenntnistheoretischen Ansichten nur langsam entwickelt haben und seiner Auffassung in jungen Jahren keineswegs entsprechen.

»Ich sehe auf der einen Seite die Gesamtheit der Sinnenerlebnisse, auf der anderen Seite die Gesamtheit der Begriffe und Sätze, die in den Büchern niedergelegt sind. Die Beziehungen zwischen den Begriffen und Sätzen untereinander sind logischer Art, und das Geschäft des logischen Denkens ist strikte beschränkt auf die Herstellung der Verbindung zwischen Begriffen und Sätzen untereinander nach festgesetzten Regeln, mit denen sich die Logik beschäftigt. Die Begriffe und Sätze erhalten »Sinn« bzw. »Inhalt« nur durch ihre Beziehung zu Sinnenerlebnissen. Die Verbindung der letzteren mit den ersteren ist rein intuitiv, nicht selbst von logischer Natur. Der Grad der Sicherheit, mit der diese Beziehung bzw. intuitive Verknüpfung vorgenommen werden kann, und nichts anderes, unterscheidet die leere Phantasterei von der wissenschaftlichen ‚Wahrheit‘. Das Begriffssystem ist eine Schöpfung des Menschen samt den syntaktischen Regeln, welche die Struktur des Begriffssystems ausmachen. Die Begriffssysteme sind zwar an sich logisch gänzlich willkürlich, aber gebunden durch das Ziel, eine möglichst sichere (intuitive) und vollständige Zuordnung zu der Gesamtheit der Sinnenerlebnisse zuzulassen; zweitens erstreben sie möglichste Sparsamkeit in bezug auf ihre logisch unabhängigen Elemente (Grundbegriffe und Axiome), d. h. nicht definierte Begriffe und nicht erschlossene Sätze.

Ein Satz ist richtig, wenn er innerhalb eines logischen Systems nach den akzeptierten logischen Regeln abgeleitet ist. Ein System hat Wahrheitsgehalt entsprechend der Sicherheit und Vollständigkeit seiner Zuordnungsmöglichkeit zu der Erlebnisgesamtheit. Ein richtiger Satz erborgt seine ‚Wahrheit‘ von dem Wahrheitsgehalt des Systems, dem er angehört.³³

In diesem seinem erkenntnistheoretischen Credo tritt Einstein der empiristisch-positivistischen Konzeption Machs vom Rationalismus her neuerlich unmißverständlich entgegen. Eine Korrelation zwischen Ideen und Dingen besteht hier nicht deshalb, weil die Dinge ihrem Wesen nach bloß Empfindungskomplexe und unsere Ideen lediglich *Nachbildungen und Bestandsaufnahmen* dieser Empfindungskomplexe sind. Diese machistische Einstellung lehnt Einstein ab! Ebensowenig stellt er sich jedoch auf den (auch von Planck vertretenen) materialistischen Standpunkt, daß die Ideen den Dingen deshalb entsprechen, weil sie deren *Widerspiegelung* darstellen, weil sie aus der sinn-

³² EINSTEIN, A.: Autobiographisches, in SCHLIPP, P. A.: »Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher.« Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1955, p. 8.

³³ l. c., p. 4/5.

lichen und *logischen* Erkenntnis der Dinge hervorgehen. Nein: bei Einstein bilden die Dinge bloß den intuitiven, psychischen Anstoß zur *freien Begriffsbildung*, indem sie in uns Empfindungskomplexe auslösen, aus denen wir die Anregung zum »konstruktiven und spekulativen« Ersinnen von Grundbegriffen und Axiomen schöpfen, die den Aufbau eines mit den Dingen in Einklang stehenden, vollständigen und ökonomischen Begriffssystems ermöglichen. Diese Korrelation ist die Frucht der prästabilierten Harmonie, *die Übereinstimmung zwischen geistigem Wesen der Dinge und menschlicher Idee*.

Einstein wendet die Gedankengänge dieses erkenntnistheoretischen Credo auch bei der Ausarbeitung jener wichtigeren Gesichtspunkte an, die für die Kritik physikalischer Theorien maßgebend sein müssen. Er unterscheidet hierbei zwischen zwei derartigen Gesichtspunkten, dem äußeren und dem inneren. Der erste, der Gesichtspunkt der »äußeren Bewährung«, stellt an die Theorie die Forderung, sie müsse ihre Erprobung an den Tatsachen bestehen, doch warnt Einstein davor, dieses Kriterium zu überschätzen: »So einleuchtend diese Forderung auch zunächst erscheint, so subtil gestaltet sich ihre Anwendung. Man kann nämlich häufig, vielleicht sogar immer, an einer allgemeinen theoretischen Grundlage festhalten, indem man durch künstliche zusätzliche Annahmen ihre Anpassung an die Tatsachen möglich macht. Jedenfalls aber hat es dieser erste Gesichtspunkt mit der Bewährung der theoretischen Grundlage an einem vorliegenden Erfahrungsmaterial zu tun.«³⁴

Seinem erkenntnistheoretischen Credo entsprechend mißt jedoch Einstein weit größere Bedeutung dem zweiten Gesichtspunkt, der »inneren Vollkommenheit« einer Theorie bei:

»Der zweite Gesichtspunkt hat nichts zu schaffen mit der Beziehung zum Beobachtungsmaterial, sondern mit den Prämissen der Theorie selbst, mit dem, was man kurz aber undeutlich als »Natürlichkeit« oder »logische Einfachheit« der Prämissen (der Grundbegriffe und der zugrunde gelegten Beziehungen zwischen diesen) bezeichnen kann. Dieser Gesichtspunkt, dessen exakte Formulierung auf große Schwierigkeiten stößt, hat von jeher bei der Wahl und Wertung der Theorien eine wichtige Rolle gespielt. Es handelt sich dabei nicht einfach um eine Art Abzählung der logisch unabhängigen Punkte (wenn eine solche überhaupt eindeutig möglich wäre), sondern um eine Art gegenseitiger Abwägung inkommensurabler Qualitäten. Ferner ist von Theorien mit gleich »einfacher« Grundlage diejenige als die überlegene zu betrachten, welche die an sich möglichen Qualitäten von Systemen am stärksten einschränkt (d. h. die bestimmtesten Aussagen enthält). Von dem ‚Bereich‘ der Theorien brauche ich hier nichts zu sagen, da wir uns auf solche Theorien beschränken, deren Gegenstand die *Gesamtheit* der physikalischen Erscheinungen ist. Der zweite Gesichtspunkt kann kurz als der die ‚innere Vollkommen-

³⁴l. c., p. 8.

heit' der Theorie betreffende bezeichnet werden, während der erste Gesichtspunkt sich auf die 'äußere Bewährung' bezieht. Zur 'inneren Vollkommenheit' rechne ich auch folgendes: Wir schätzen eine Theorie höher, wenn sie nicht eine vom logischen Standpunkt willkürliche Wahl unter an sich gleichwertigen und analog gebauten Theorien ist.«³⁵

Um jedem Mißverständnis darüber zuvorzukommen, welchen der beiden Gesichtspunkte er für den entscheidenden hält, fügt Einstein diesem Passus noch die Bemerkung hinzu, Übereinstimmung zwischen den »Auguren« bestehe eher in der Beurteilung der inneren Vollkommenheit einer Theorie als in der Anerkennung ihrer experimentellen Sicherung.

Auch für die Kritik Machs an der klassischen Mechanik hatte sich Einstein deshalb und *nur* deshalb begeistert, weil bei Mach dieser Gesichtspunkt zur Geltung kam, und wenn er auch den Schlußfolgerungen Machs ihrem Inhalt nach nicht beipflichtet, so ist er ihm dennoch sehr dankbar dafür, daß er die spekulative Methode der Kritik in den Vordergrund stellte. Die *materialistische* Beurteilung einer wissenschaftlichen Theorie kann jedoch die Konfrontation mit den Tatsachen, das Kriterium der Praxis niemals in den Hintergrund stellen lassen. Im Gegenteil: eben diese Momente stellen das *entscheidende Kriterium* der Richtigkeit einer Theorie dar. Der Forderung nach logischer Einfachheit und Schönheit den Vorrang zu geben, verleitet dagegen den Theoretiker nur zu leicht dazu, statt nach möglichst adäquater Beschreibung der objektiven Wirklichkeit nach Vereinfachung der komplizierten Beziehungen und Verschönerung der Wirklichkeit zu streben.

Je tiefer er in die Problematik der Feldtheorie eindrang, schreibt Einstein, um so entschiedener mußte er sich von dem lange Zeit auch von ihm bejahten Machschen Prinzip abwenden, demzufolge die Trägheitserscheinungen nicht mit der Wirkung des absoluten Raumes und der absoluten Zeit, sondern — ähnlich wie bei den sonstigen Kräften der Mechanik — mit der Wechselwirkung der Massen aufeinander zu erklären sind. Diese Art der Deutung würde nämlich bedeuten, erklärt Einstein, daß wir im Newtonschen Begriffssystem haften geblieben sind, für welches die Massen und die Wechselwirkungen zwischen ihnen die Grundbegriffe bilden. Nochmals betont er, daß an der Kritik Machs nicht die von ihm gebotene *Lösung*, sondern die *Methode* der Kritik beherzigt werden muß, d. h. es muß die innere logische Unvollkommenheit der Newtonschen Theorie aufgedeckt werden. Insbesondere ist hierbei nachzuweisen, daß sich die Begriffe des absoluten Raumes und der absoluten Zeit in das Begriffssystem der Massen und ihrer Wechselwirkung keineswegs einordnen lassen, und daß es unmöglich ist, logisch zu begründen, warum die Klasse der Inerzsysteme vor den anderweitigen starren Koordinatensystemen ausgezeichnet ist.

³⁵ l. c., pp. 8/9.

Hiergegen wendet Mach ein, es gehe nicht an, die Gültigkeit der Gesetze der Mechanik für diese oder jene Klasse von Koordinatensystemen einfach theoretisch zu postulieren — mit der Begründung, es handle sich um allgemeingültige Axiome, um unumstößliche, universale Grundgesetze. Im Gegensatz zu dieser Auffassung führt er aus, daß über die Gültigkeit des Trägheitssatzes und der anderweitigen Newtonschen Gesetze ohne Berücksichtigung der verwickelten und vielfach verzweigten Wechselwirkungen zwischen den Massen keineswegs entschieden werden kann, und daß sie keineswegs als »mathematisch ausgemachte Wahrheiten« gedeutet werden dürfen.³⁶

Einstein aber hat andere Einwände: er hält es für unbefriedigend, daß sich in der klassischen Mechanik das Prinzip der Äquivalenz der Koordinatensysteme

a) nur auf die Inerzsysteme und

b) auch unter diesen nur auf die Gesetze der Mechanik beziehen sollen.

Da er weder das eine, noch das andere für *logisch* begründet hielt und da er in der Forderung nach innerer logischer Vollkommenheit den wichtigsten Gesichtspunkt für die Beurteilung der Richtigkeit einer physikalischen Theorie erblickte, stellte er sich die Aufgabe, die erwähnten beiden Mängel durch geeignete Fortentwicklung des klassischen Relativitätsprinzips auszuschalten. Als das richtige Verfahren hierzu schwebt ihm nicht wie Mach die immer umfassendere und gründlichere Vertiefung in die Probleme der physikalischen Wechselwirkungen, sondern die Verfeinerung der Ausgangssätze vor, wozu er noch die mathematische Einfachheit postuliert.

Dem gleichen Geist entspringen auch Einsteins weitere kritische Einwände gegen das Newtonsche Begriffssystem der klassischen Mechanik. Bei Newton, so stellt er fest, gibt es keine organisch-logische Verknüpfung der Bewegungssätze mit den Ausdrücken für die Kraft und die potentielle Energie. Ebenso beanstandet Einstein, daß der Begriff der Masse nur im Bewegungsgesetz und im Kraftgesetz der Gravitation, nicht aber im Ausdruck für die übrigen Kraftgesetze aufscheint. Und schließlich beruft er sich auch darauf, daß die Spaltung der Energie in zwei wesensverschiedene Teile, der Dualismus von kinetischer und potentieller Energie, wie er in der klassischen Mechanik verankert ist, als unnatürlich empfunden werden muß.³⁷

Auch in diesem Falle läßt er keinen Zweifel darüber, daß er den Begriff der mit der Masse und dem Massenpunkt verknüpften kinetischen Energie für überflüssig hält und dem der potentiellen Energie den Vorzug gibt, und dies deshalb, weil diese ihren Sitz *im Feld* hat. Schon hier unterstreicht er sogar, daß die »von einem Punkte ausgehenden Gravitations- (und elektrischen) Kraftwirkungen durch die Potentialfunktion beherrscht werden.«³⁸ Für eine

³⁶ MACH, E.: Die Mechanik, zit. Ausgabe, p. 231.

³⁷ EINSTEIN, A.: Autobiographisches, zit. Ausgabe, p. 12.

³⁸ l. c., p. 11.

der logischen Schwächen der klassischen Mechanik hält er eben den Umstand, daß »dieser Zusammenhang« zwischen der Potentialfunktion $\varphi = 1/r$ und den Kraftwirkungen »in ihrem Rahmen« ganz willkürlich zu sein scheint.

Wie muß nach Einstein diese logische Schwäche der klassischen Mechanik korrigiert werden? Naturgemäß nicht so, daß man aus dem *Erfahrungsmaterial* der Himmels- und der irdischen Mechanik Schlußfolgerungen zieht und aus diesen das Gesetz der Gravitationskraft ableitet, wie dies Newton getan hat, sondern auf mathematischem Wege, u. zw. aus der Überlegung heraus, daß die Potentialfunktion $\varphi = 1/r$ die zentralsymmetrische Lösung der *einfachsten* unter den drehungs-invarianten Differentialgleichungen zweiter Ordnung, d. h. der Gleichung

$$\Delta\varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0$$

liefert. Nach Einstein besagt dies, daß *die Potentialfunktion durch ein geometrisches Gesetz des Raumes selbst bestimmt ist*, und da sich aus ihr durch Differenzieren das Kraftgesetz des Gravitationsfeldes ergibt, »wäre jede Willkürlichkeit in der Wahl des Kraftgesetzes beseitigt«.

Letzten Endes fixierte also Einstein drei Jahrzehnte nach seiner Stellungnahme im Jahre 1916 — und abweichend von dieser — sein Verhältnis zur Machschen Konzeption wie folgt:

1. Der *Apriorismus* ist abzulehnen, jedoch nicht aus den von Mach angeführten Gründen, d. h. nicht deshalb, weil die Abstraktion niemals etwas anderes bedeuten kann als die Nachbildung unserer Sinneserlebnisse, sondern weil die Abstraktion stets das Produkt der freien Begriffsbildung ist, die ihrerseits durch keinerlei logische Notwendigkeit eingeschränkt ist, und die sich von der einfachen Nachbildung der Sinnesempfindungen sogar sehr weit entfernen kann. Je subtiler die Abstraktionen sind, um so weniger können sie als a priori gegebene Bewußtseinsinhalte angesehen werden.

2. Zwischen unseren Empfindungskomplexen und Begriffssystemen besteht eine Korrelation nicht, wie Mach meinte, deshalb, weil unsere Begriffssysteme lediglich die Rolle subjektiver Schemata spielen, die der Ordnung unserer Sinneserlebnisse dienen, sondern weil unsere Empfindungen *durch die physikalische Wirkung der Dinge* ausgelöst werden, während unsere Begriffe der intuitiven Erfassung *des geistigen Wesens* der Dinge entspringen und zwischen beiden eine *teleologische Verknüpfung*, eine vorweg bestimmte Übereinstimmung besteht.

3. Bei Aufstellung einer Theorie müssen wir uns nicht, wie Mach vermeint, deshalb *an das Prinzip des ökonomischen Denkens halten*, weil dies unser subjektives Interesse verlangt, sondern weil die Natur objektiv stets die Realisierung des mathematisch denkbar Einfachsten ist.³⁹ Im Gegensatz zu

³⁹ EINSTEIN, A.: Mein Weltbild, zit. Ausgabe, p. 183.

Machs Auffassung brauchen wir den Umweg von den Empfindungen zur Abstraktion und von dieser zurück zu den Empfindungen nicht nur nicht zu verkürzen, wir müssen vielmehr ganz im Gegenteil unsere Prämissen und Postulate immer mehr verfeinern und von unseren Erlebnissen zunehmend abrücken, weil sich ein tatsächlich ökonomisches Denken, d. h. das Ziel, mit einem Mindestmaß von Axiomen ein Höchstmaß von Erlebnisinhalten durch logische Deduktion zu umspannen, nur auf diese Weise erreichen läßt.⁴⁰

4. Für die Beurteilung und Fortentwicklung physikalischer Theorien sind nicht die äußeren Gesichtspunkte, nicht die praktische, experimentelle Sicherung entscheidend, sondern der Gesichtspunkt der inneren Vollkommenheit, die Einfachheit, Schönheit und Harmonie. Die innere logische Unvollkommenheit einer Theorie kann sich u. a. auch darin manifestieren, daß sich unter ihren Prämissen und Axiomen den Sinneserlebnissen nahe stehende Begriffe mit subtileren, mehrstufigen Abstraktionen mischen. Solche Unvollkommenheiten sind indes nicht so zu eliminieren, wie dies Mach getan hat, d. h. nicht durch Meidung der mehrstufigen Abstraktionen, sondern im Gegenteil dadurch, daß man die erlebnisnahen, empirischen Begriffe und Axiome durch abstraktere, subtilere Prämissen ersetzt.

Zum Abschluß sei die Position des Materialismus in diesem Fragenkreis kurz umrissen:

1. Der Materialismus betrachtet nicht nur die empirischen Begriffe und Urteile, sondern auch die mehrstufigen Abstraktionen als Widerspiegelungen der objektiven Wirklichkeit und nicht als Produkte der »freien Begriffsbildung«.

2. Der Materialismus erklärt die Korrelation zwischen Ideen und Dingen nicht mit dem angeblichen geistigen Wesen der Dinge und der teleologischen Übereinstimmung zwischen den intuitive gebildeten Begriffen, sondern mit der Korrelation zwischen abgebildetem Gegenstand und seiner Widerspiegelung, wie sie sich aus der Wechselwirkung zwischen Gegenstand und abbildendem Apparat ergibt.

3. Der Materialismus betrachtet das Denken dann als ökonomisch, wenn diese Abbildung eine *adäquate* Widerspiegelung liefert, d. h. wenn es über objektiv als Einheit anzusehende Erscheinungen zu einheitlichen Theorien, über objektiv in der Qualität unterschiedliche Erscheinungen hingegen zu differenzierten Theorien führt.

4. Für das entscheidende Kriterium der Richtigkeit einer Theorie hält der Materialismus ihre praktische, experimentelle und industrielle Bestätigung und nicht die logische Einfachheit und die Schönheit ihres Begriffssystems; aus diesem Grunde betrachtet der Materialismus den Umstand, daß sich unter den Prämissen einer Theorie neben empirischen Begriffen und Axiomen auch praktisch gesicherte, reale und mehrstufige Abstraktionen finden, nicht als

⁴⁰ l. c., p. 238.

innere Unvollkommenheit der betreffenden Theorie, sondern als wichtige Quelle ihrer Erfolge.

Die Entwicklung der modernen Physik bekräftigt die Richtigkeit der materialistischen Auffassung. Unter den hier zitierten Physikern stand ihr Planck am nächsten.

Dr. Tibor ELEK, Budapest XI., Múegyetem rkp. 3.