

Am 19. Februar 1916 starb **Ernst Mach** in Haar bei München, wohin er 1913 aus Familienrücksichten übergesiedelt war, im Hause seines Sohnes. Im Jahre 1898 hatte ihn ein Schlaganfall getroffen und eine rechtsseitige Lähmung zurückgelassen. Obwohl seine Geisteskraft ungeschwächt geblieben war und er bis zu seinem Tode an den Neuauflagen seiner Werke arbeiten, auch die Gedanken anderer verfolgen konnte, sah er sich schon 1901 veranlaßt, auf seine Lehrkanzel in Wien zu verzichten. Er war Mitglied des österreichischen Herrenhauses und übte sein Mandat trotz seines gelähmten Zustandes aus.

Unserer Akademie gehört Mach seit 1890 als korrespondierendes Mitglied an. Nach dem Rücktritt von Jolly im Jahre 1884 bestand sogar die Hoffnung, ihn München noch enger zu verbinden. Er wurde an erster Stelle für die Münchener Physik-Professur vorgeschlagen und hatte den Ruf bereits angenommen. Mach war damals Professor an der Universität Prag und Vertrauensmann seiner deutschen Volksgenossen, insbesondere bei den Verhandlungen über die Zweiteilung der Universität in eine deutsche und eine tschechische Anstalt. Dieser Umstand veranlaßte den Gewissenhaften, seine Zusage nach München schweren Herzens zurückzunehmen und auf dem national-gefährdeten Posten auszuharren.

Mach ist geboren am 18. Februar 1838 zu Turn in Mähren. Sein Vater, ein wissenschaftlicher Kopf von akademischer Bildung, kaufte, nachdem er die Gelehrtenlaufbahn

aufgegeben hatte, ein Bauerngut in der Nähe von Wien. Hier und in Wien verlebte Mach seine Jugend bis zum 26. Lebensjahre, zunächst von seinem Vater unterrichtet, dann auf einem Wiener Gymnasium. Gegen die alten Sprachen hatte er eine entschiedene Abneigung. „In mathematischen und naturwissenschaftlichen Fragen war ich, obgleich ich nie einen eigentlichen Unterricht genossen hatte, meinen Mitschülern in fast unglaublicher Weise überlegen. In philosophischen Dingen hingegen, in Beurteilung sozialer Verhältnisse usw. erschien ich äußerst unreif und kindisch. Abgesehen von meinen geringen Anlagen in dieser Richtung erklärt sich dies einigermaßen durch den Umstand, daß ich erst im 15. Lebensjahre mit Altersgenossen und Mitschülern in Verkehr trat.“ (Aus einem in den Akten der Wiener Akademie aufbewahrten Lebensabriß.) Die Meinung, daß er nicht zum Philosophen geboren sei, findet sich in seinen späteren Werken wieder. „Ich bin gar kein Philosoph“, sagt er in der Einleitung zu „Erkenntnis und Irrtum“, „ich bin Naturforscher“. „Ich kann durchaus nicht auf den Namen eines Physiologen, noch weniger auf den eines Philosophen Anspruch machen.“ „Einen über die konventionellen Fachgrenzen ausblickenden Physiker“ nennt er sich in der „Analyse der Empfindungen“. Und doch sind seine physiologischen Arbeiten nicht weniger geschätzt wie seine physikalischen; und seinen Weltruhm verdankt er vor allem seinen „lediglich mit dem lebhaften Wunsche nach Selbstbelehrung unternommenen“ philosophischen Forschungen. Daß übrigens seine Begabung für Philosophie nicht so gering gewesen, wie er uns glauben machen möchte, geht am Ende auch aus dem tiefen Eindruck hervor, den ihm nach eigener Angabe Kants Prolegomena hinterlassen haben, als er sie, noch ein 15-jähriger Knabe, in der Bibliothek seines Vaters vorfand.

In seiner Wiener Studienzeit förderten ihn besonders die Vorlesungen des Optikers Petzval und des Physiologen Brücke. Er habilitierte sich 1861 für Physik in Wien, wurde 1864 in Graz, 1867 in Prag Professor. Im Jahre 1895 folgte er einem

Rufe an die Wiener Universität, wo für ihn eine Lehrkanzel für Philosophie, insbesondere für Geschichte und Theorie der induktiven Forschung geschaffen wurde.

Die frühesten seiner physikalischen Arbeiten betreffen das Dopplersche Prinzip in der Akustik und der allgemeinen Wellenlehre. Man sagt wohl nicht zu viel, wenn man die allgemeine Anerkennung dieses fundamentalen Prinzips und seine strenge Formulierung auf Mach zurückführt. Seine Auffassung des Dopplerschen Prinzips hatte er zu verteidigen gegen seinen Lehrer Petzval, der an Stelle der Beeinflussung der Wellenlänge durch Bewegung ein Prinzip von der Konstanz der Schwingungszahl aufstellen wollte. Der Gegenstand lag dem besonderen Geiste der Machschen Naturauffassung: handelt es sich doch dabei um eine allgemeine Anschauung, die sich auf den verschiedensten Gebieten des Naturgeschehens durchführen läßt, unabhängig von den speziellen theoretischen Bildern, die man sich von dem Mechanismus des Wellenvorganges machen mag. Auch die Anwendung des Dopplerschen Prinzips auf die Astrophysik bespricht er, wenn auch etwas skeptisch bezüglich des praktischen Erfolges, und nimmt gegenüber Lamont, der die Frage früher untersucht hatte, die deutlichere Einsicht für sich in Anspruch.

Der Wellenlehre sind auch die „optisch-akustischen Versuche“ (Prag 1873) gewidmet und mehrere seiner bekannten Demonstrationsapparate. In den optisch-akustischen Versuchen wird das Prinzip der Stroboskopie mannigfach variiert, durch Beleuchtung mit einem intermittierenden Funken und Benutzung der Helmholtzschen Unterbrechungs-Stimmgabel. Hier tritt bereits die pädagogische Richtung Machs, die der Veranschaulichung und Verbreitung der physikalischen Erkenntnis galt, zu Tage, neben seinem Interesse an der Experimentierkunst und an der Erforschung neuer Zusammenhänge. Für sein pädagogisches Interesse sprechen auch einige vorzügliche Lehrbücher für den physikalischen Elementarunterricht an Mittelschulen und seine gesammelten populär-wissenschaftlichen Vorlesungen: „Über die Cortischen Fasern des Ohres, Erklä-

rung der Harmonie, wozu hat der Mensch zwei Augen? Die Symmetrie, Grundbegriffe der Elektrostatik, Umbildung und Anpassung im physikalischen Denken, relativer Bildungswert der philologischen und naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer etc.“

Den größten Erfolg auf physikalischem Gebiete aber erzielte der Experimentator und der Theoretiker Mach durch seine photographischen Aufnahmen fliegender Geschosse (um 1887). Er ging dabei aus von dem Studium der Explosionswellen bei Sprengstoffen und der Messung der außerordentlichen Reaktionsgeschwindigkeit derselben. Eine sinnreiche Anwendung der Schlierenmethode und der intermittierenden Funkenbeleuchtung führte dann zur photographischen Enthüllung der Wellenvorgänge, die ein mit Überschallgeschwindigkeit forteilendes Geschöß umgeben, der Bug- und Kielwellen und der Wirbel auf der Rückseite des Geschosses. Mach hat hierbei mit verschiedenen Fachgenossen zusammen gearbeitet, mit Salcher, Weltrubsky, Tumrliz und besonders mit seinem Sohne L. Mach. Die hervorragend lehrreichen und reizvollen Bilder, die er gewonnen, bilden auch heute noch die Grundlage für das Verständnis der Ballistik. Jeder Artillerist kennt sie (oder sollte sie kennen). Auf den Zusammenhang mit den Schiffswellen weist Mach selbst hin, ebenso auf das Problem, den Geschößwiderstand aus der Energie der von dem Geschöß zerstreuten Wellenbewegung rationell zu berechnen, statt ihn empirisch anzunähern. Neben dem glänzenden Experimentator kommt bei diesen Untersuchungen der eigenartige Theoretiker zu Worte. Wir sprechen heute von dem „Machschen Phänomen“, dem „Machschen Winkel“ bei allen Vorgängen, in denen eine Störung den von ihr erzeugten Wirkungen vorausseilt, in der Aerodynamik, in der Hydrodynamik bei begrenzter Tiefe des Wassers, der Technik der Turbinendüsen, auch in der Elektrodynamik, wenigstens solange wir an das starre Elektron und die Möglichkeit seiner Bewegung mit Überlichtgeschwindigkeit glaubten. Die Einfachheit und Eindringlichkeit der Machschen Überlegung wird

uns bei der Behandlung all dieser Probleme immer wieder lebendig; sie erinnert an die Treffsicherheit, mit der Fresnel seine Vorstellungen über die Wellenausbreitung bildete. Auch hier, wie beim Dopplerschen Prinzip, erkennen wir den Machschen Geist der Naturbetrachtung: eine fundamentale Anschauung, auf die verschiedensten Erscheinungsgebiete zu übertragen, unabhängig von speziellen theoretischen Vorstellungen.

Eine ganz hervorragende Stellung nimmt neben dem Experimentator, dem Pädagogen und dem Theoretiker der Historiker Mach ein: „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“ ist vorbildlich für die Geschichtschreibung der exakten Wissenschaften. Wer liest nicht mit Genuß diese zugleich psychologisch liebevolle und wissenschaftlich kritische Würdigung der mechanischen Denker? Wie viel lehrreicher und dem großen Gegenstande angemessener ist nicht die sachliche Kritik, die Mach an Newton, seinen Bewegungsgesetzen und seiner Raum- und Zeitanschauung übt, als der Versuch William Thomsons (in seiner *Natural Philosophy*), Newtons Grundlegung der Mechanik als logisch einwandfrei und unübertrefflich darzustellen!

In der Mechanik lesen wir, ebenso wie in früheren Schriften Machs („Die Geschichte und die Wurzel des Satzes der Erhaltung der Arbeit“ 1871, „Die Gestalten der Flüssigkeit“ 1872) von dem ökonomischen Werte der Wissenschaft. Als allgemeiner, wenn auch nicht höchster und ausschließlicher Gesichtspunkt kann Machs These auch von den Gegnern seines erkenntnistheoretischen Systems angenommen werden. Unbeschadet dessen wird man natürlich mit Mach verschiedener Meinung sein in der Bewertung der einzelnen physikalischen Theorien nach ihrer größeren oder geringeren ökonomischen Kraft. Mach sieht die Atomhypothese als gekünstelt und provisorisch an; sie sei zur Darstellung einer Reihe von Tatsachen immerhin geeignet, aber es sei ihr Ersatz durch eine natürlichere Anschauung anzustreben. Im Gegensatz hierzu erklären wir heutzutage, im Rückblick auf die Entwicklung der Radioaktivität, der Röntgenoskopie und

Spektroskopie, die Atomtheorie für die ökonomischste Hypothese der Naturwissenschaft und sprechen das von Mach bevorzugte Prinzip der Kontinuität als künstlich und provisorisch an, dazu bestimmt, im fortschreitenden Atomismus aufgelöst zu werden. Es ist eigenartig zu sehen, wie sich, in ihrer Abneigung gegen den Atomismus wie in ihrer Vorliebe für eine rein phänomenologische Wiedergabe der Naturbeobachtungen, Mach und Göthe über ein Jahrhundert hinweg die Hand reichen. Der letzte Grund ist bei beiden wohl derselbe: die Ehrfurcht vor der Natur und die Scheu, ihr durch menschliche Zutaten zu nahe zu treten.

Die Mechanik ist in sieben Auflagen erschienen. Außer ihr haben wir aus seiner Feder: „Mitteilungen zur Geschichte der Akustik“ 1892 und das umfassende Werk „Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch-kritisch entwickelt“ 1896. Auf die Herausgabe eines nachgelassenen Werkes „Historische Studien der Optik“ dürfen wir wohl in Bälde hoffen.

Von dem Historiker gehen wir nun zu dem Physiologen Mach über, trotz seiner Verwahrung gegen diesen Namen. Der Physiologe Mach ist dabei untrennbar von dem Psychologen. Hier sind zuvörderst seine Versuche über Kontrastempfindungen, Verschmelzung von Gesichtseindrücken, über Melodik und Harmonik hervorzuheben, die er zur Aufstellung einer psychologischen Theorie der Gesichts- und Tonempfindungen benutzt hat. Die Betonung der psychischen Seite der Probleme führt ihn auf beiden Gebieten zu einem Gegensatz mit Helmholtz. Es liegt in der Natur dieses schwierigen Grenzgebietes, daß Mach hier mehr die Fragen angeregt als entschieden hat, zumal da er sich auf Selbstbeobachtung beschränken und auf objektive Messungen verzichten mußte.

Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung photographischer Halbschattenbilder (Mondfinsternis - Aufnahmen Seeligers, sog. Beugungsstreifen bei Röntgenaufnahmen) wurden insbesondere Machs Feststellungen über subjektive Helligkeiten und Farben bei örtlich wechselnder objektiver Helligkeit oder Färbung. Als letztes Ziel dürfte Mach hierbei vor-

geschwebt sein, aus derartigen „optischen Täuschungen“ die psychologischen Gesetze zu erkennen, denen sie unterliegen.

Die wesentlichste positive Leistung Machs auf dem Gebiete der Physiologie besteht wohl in der Erweiterung unserer Kenntnis von den Bewegungsempfindungen. Hier hat ihn die Selbstbeobachtung zu wichtigen physiologischen Ergebnissen geführt. „Ein Zufall führte mich, so erzählt Mach, auf das Studium der Bewegungsempfindungen. Ich beobachtete die Schiefstellung der Häuser und Bäume beim Durchfahren einer Eisenbahnkurve. Sie ließ sich leicht erklären, wenn man eine direkte Empfindung der resultierenden Massenbeschleunigung annahm.“ Damit war der Anfang gemacht zu unserer jetzigen Anschauung über die Funktion der Bogengänge und der Labyrinthbläschen im Zusammenhang mit der Funktion der Nerven-End-Apparate, die wie kaum eine andere Auffassung auf dem Gebiet der Empfindungen fest begründet ist. Mach hat an dieser Begründung erfolgreich mitgeschaffen.

Auch die Theorie der physiologischen Registrier-Instrumente hat Mach in origineller Weise bearbeitet und gefördert.

Wir kommen nun zu derjenigen Seite dieser vielgestaltigen wissenschaftlichen Persönlichkeit, von der die breiteste, wenn auch vielleicht nicht die tiefste Wirkung ausgegangen ist, zu dem Erkenntnistheoretiker Mach. Wir hörten bereits, wie seltsam gering er selbst seine philosophische Begabung einschätzte. Einem Gegner seines Standpunktes erwiderte er (in „Erkenntnis und Irrtum“), daß es überhaupt keine Machsche Philosophie gebe, die man bekämpfen könne. Seine Aufgabe sei es nur gewesen, abgestandene Philosopheme zu beseitigen und einer vorurteilslosen Fragestellung die Bahn freizumachen. Nichtsdestoweniger gibt es eine ausgesprochene zusammenhängende Weltanschauung, die Machs Stempel trägt, unter seinem Namen Schule gemacht hat und die wir wohl die Machsche Philosophie nennen dürfen. Die Hauptquellen dieses Systems sind die beiden öfters genannten Werke: „Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen und

Psychischen“ 1885 und „Erkenntnis und Irrtum, Skizzen zur Psychologie der Forschung“ 1905.

Am Grunde seines Systems liegen biologische Erwägungen. Es ist ihm ausgemacht, daß das Geistesleben mit Erinnerung und Voraussicht, daß Erkenntnistrieb, Wissenschaft und Moral Mittel zur Erleichterung des Kampfes ums Dasein sind. Durch diese Auffassung werden ihm aber die geistigen Güter nicht entwertet. Ihm sind Menschenliebe und Toleranz natürliche Folgen seines Standpunktes.

Machs Lehre ist außerordentlich schlicht, fast nüchtern. In ihrer Darstellung knüpft er oft an kleine psychische Erlebnisse, an Traumbilder, an Fehlschlüsse an. Die Wissenschaft ist ihm eine Verknüpfung von Sinnesempfindungen, die Theorie nur eine mehr oder minder ökonomische Anleitung zu solchen Verknüpfungen. Die Frage nach der Realität einer Theorie weist er ab. Real vorhanden sind nur die Empfindungen. Auch das Ich und die Umwelt sind Empfindungskomplexe, von gleicher aber nicht von höherer Realität wie diese. „Theorien sind wie dürre Blätter, welche abfallen, wenn sie den Organismus der Wissenschaft eine Zeitlang in Atem gehalten haben.“ Ist diese Lehre gesund und fruchtbar? Man kann es bezweifeln und hoffen, daß sie überwunden wird. Dazu aber mußte sie erst ausgesprochen werden und zwar mit solcher intellektueller Reinheit und Eindringlichkeit, wie Mach es getan hat.

In einem Punkte war Mach nahe daran, von seinem im wesentlichen negierenden Denken aus zu einem positiven Gedankenfortschritt von eminenter Fruchtbarkeit zu gelangen, nämlich in seiner Ansicht von Raum und Zeit. Er kämpft gegen die scholastische Vorstellung eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit, wie sie sich in naiver Form bei Newton vorfindet. „Zeit und Raum sind in physikalischer Hinsicht besondere Abhängigkeiten der physikalischen Elemente von einander.“ Solche Worte muten uns heute wie ein Programm für die Relativität von Raum und Zeit an und zwar für die allgemeine, nicht die elementare Relativität. Um dieses Programm auszufüllen, dazu reichte allerdings das etwas

blasse Ökonomieprinzip nicht aus, sondern dazu gehörte der kühnere, über das unmittelbar gegebene Beobachtungs- und Empfindungsmaterial hinausfliegende Geist eines Einstein.

Der Widerspruch des produktiven und konstruktiven Naturforschers wird sich besonders gegen Machs Auffassung der Naturgesetze richten. In der physikalischen Literatur hat dieser Widerspruch vor nicht langer Zeit zu einer ziemlich heftigen Auseinandersetzung zwischen Planck und Mach geführt, heftiger, als man es bei der persönlich uninteressierten Wissenschaftlichkeit beider Forscher hätte erwarten können. Die Naturgesetze sind nach Mach „Einschränkungen, die wir unter Anleitung der Erfahrung unserer Erwartung vorschreiben“. Das klingt verzweifelt kritisch und kühl. An anderen Stellen sind ihm die Naturgesetze die formelmäßige Darstellung der Erscheinungen, in sich widerspruchsfrei und umfassend, aber bloße funktionale Abhängigkeiten und als solche der kausalen Färbung beraubt.

Der tastende Naturforscher, der auf dunkeln Wegen nach einem geahnten Ziele strebt, braucht einen helleren Leitstern, als die Machsche Lehre. Naturgesetze von so unbestimmter und formalistischer Art wären kaum der Mühsal und Aufregung des Forschens wert. Es ist aber dem Philosophen Mach Ernst mit dieser Art Naturgesetze (der Physiker Mach hat sich in jüngeren Jahren wohl nicht an sie gehalten). „Die absolute Exaktheit, die vollkommen genaue eindeutige Bestimmung der Folgen einer Voraussetzung besteht nicht in der sinnlichen Wirklichkeit, sondern nur in der Theorie“. In Übereinstimmung mit dieser vorsichtig negierenden Auffassung der Naturgesetze steht Machs Hinneigung zur Energetik, jener vorübergehenden Abkehr von zuversichtlicher Hypothesenbildung und Beschränkung auf die Energiebilanz der Ereignisse.

Unsere Bedenken gegen die Machsche Lehre gründen sich aber nicht nur auf deren Eignung für den Fortschritt der Wissenschaft, sondern auch auf das Gesamtbild, das uns die Betrachtung der Natur und ihrer Gesetzmässigkeit aufdrängt. Kann diese Gesetzmässigkeit eine Illusion oder eine wirtschaft-

lich zweckdienliche Schöpfung des Beobachters sein? Konnte Mach aus seinem physikalischen und physiologischen Lebenswerk diesen Eindruck in sein allgemeines Denken übernehmen? Wir möchten meinen, daß hier der Psychologe den Ausschlag gegeben hat, gegenüber dem Physiker und Physiologen. Mach spricht des öfteren von dem intellektuellen Unbehagen, das ihm Begriffe bereiteten, die sich nur für einen Teil der Wissenschaft brauchbar zeigten. Indem er das Physische und Psychische zu umfassen suchte, mußte er die physikalischen Werte auf ein bescheidenes Niveau herabdrücken. Vielleicht wollte er so für eine zukünftige Naturwissenschaft des Psychischen Raum gewinnen.

Arnold Sommerfeld.