

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Ernst Mach

Lampa, Anton

Prag, 1918

[Text]

urn:nbn:de:bsz:31-90151

Wenn man Machs Lebensarbeit überblickt, so erregt vor allem die Vielfältigkeit der Verzweigung seiner wissenschaftlichen Betätigung Erstaunen. Er war Physiker, Historiker der Physik, Sinnesphysiologe, Psychologe, Erkenntnistheoretiker, Biologe. Aber die Beschäftigung mit den verschiedenen Gebieten fließt bei ihm nicht aus einer Vielfältigkeit von nebeneinanderstehenden Interessen, deren Zusammenhang bloß in einer natürlichen Anlage gesucht werden könnte; wäre dies der Fall, so müßten wir mangels der Kenntnis der geistigen Individualität einer längeren Reihe seiner Vorfahren auf das Verständnis seiner Eigenart verzichten! Sie entstammt vielmehr bei ihm einer einzigen Wurzel: dem leidenschaftlichen Interesse für die Theorie des Erkennens. Das Problem des Erkennens im allgemeinsten Sinne ist das zentrale Problem der Machschen Forschung. Nur in der Physik hat Mach eine Anzahl von Untersuchungen durchgeführt, welche ohne Beziehung zu diesem Problem sind. Diese Tatsache hängt wohl mit dem Umstand zusammen, daß er von der Physik ausgegangen ist, daß die Physik infolgedessen während seines ganzen Lebens eine gewisse Vorzugsstellung in seinen experimentellen Untersuchungen eingenommen hat; auch der äußere Umstand, daß der größere Teil seiner akademischen Lehrtätigkeit auf die Ver-

tretung der Physik entfällt, mag hierzu beigetragen haben. Daß er aber, trotzdem das Interesse für Erkenntnistheorie in ihm schon in seinen jungen Jahren lebendig war, und nicht etwa erst in späterer Zeit zum Durchbruch gelangte, gerade die Physik als Hauptgegenstand seines Universitätsstudiums gewählt hat und in die akademische Laufbahn als Physiker eingetreten ist, ist durchaus kein Zufall. Es war das Bedürfnis nach Exaktheit und das Bedürfnis nach selbständiger Betätigung seiner natürlichen Anlage für Beobachtung und experimentelle Forschung, das ihn bei einer Haupttrichtung des Interesses, das auf das Studium der Philosophie hinzuweisen schien, gerade das Studium der Physik ergreifen ließ. Schon die Tatsache, daß Forscher von ähnlicher geistiger Verfassung, wie etwa Helmholtz oder Fechner, die von der Medizin herkamen, zur Physik übergegangen sind, zwingt zu dem Schluß, daß die Anziehungskraft dieser Wissenschaft auf einen Geist von der Art Machs in der Eigenart und Vollendung ihrer Methode liegen muß. Wir verstehen leicht, daß er sich von dem Studium der Philosophie eine Befriedigung seiner intellektuellen Bedürfnisse nicht erhoffen konnte. Auch ist nicht zu übersehen, daß zur Zeit, da Mach ein Jüngling war, die Erinnerung an die Naturphilosophie unseligen Andenkens noch sehr lebendig war. Hat sie doch noch durch einige weitere Jahrzehnte so stark nachgewirkt, daß das Interesse für philosophische Probleme in den Kreisen der Naturforscher im allgemeinen als eine Art Verirrung gewertet wurde, daß bei ihnen eine antiphilosophische Stimmung die Regel war; das hat

auch, nebenbei bemerkt, viel dazu beigetragen, daß einzelne Arbeiten Machs lange unbeachtet geblieben oder sogar verkannt worden sind. Ohne Zweifel hat die Naturphilosophie Hegels und Schellings ein abschreckendes Bild der Gefahren gegeben, welchen ein über die Natur philosophierender Geist ausgesetzt ist, dem die naturwissenschaftliche Forschungsarbeit fremd ist oder der sich nicht mindestens mit ihrer Methode und ihren Ergebnissen eingehend vertraut macht. Für Mach konnten nur zwei Wissenschaften als Ausgangspunkt in Betracht kommen: die Physik oder die Physiologie. Daß er die Physik gewählt hat, ist nicht allein durch das Verhältnis dieser Wissenschaften zueinander, welches die Physiologie in jener Zeit vornehmlich als auf den lebenden Organismus angewandte Physik erscheinen ließ, sowie durch den Umstand bedingt, daß der Mittelschulunterricht dem Jüngling bereits einen Einblick in die Physik gewährt, die Physiologie aber unberührt läßt, sondern hängt wohl auch mit der Beschaffenheit seines Gemütes zusammen. Spricht er doch in der letzten seinen Namen tragenden Veröffentlichung¹⁾ von seinem „buddhistischen Gewissen“ und sagt von sich: „Die Kinderjahre abgerechnet, habe ich bewußt keine Grausamkeit, später auch keine Vivisektion verbrochen.“

Wir wollen, dem Umstand Rechnung tragend, daß die

¹⁾ Einige vergleichende tier- und menschenpsychologische Skizzen. Veröffentlicht nach Machs Tode in der von Potonié herausgegebenen naturwissenschaftlichen Wochenschrift (Verlag von Gustav Fischer in Jena) Nr. 17 vom 23. April 1916.

Physik gewissermaßen das Fundament ist, auf welchem sich Machs Lebenswerk aufbaut, unser Augenmerk vorerst seinen physikalischen Arbeiten zuwenden. Da springt vor allem in die Augen, daß seine rein physikalischen Untersuchungen Spezialproblemen gewidmet sind, welche keine Beziehung zu den großen theoretisch-physikalischen Gedanken haben, welche zu seiner Zeit in Diskussion standen, und deren Durchbildung für die weitere Zukunft der Physik bestimmend gewesen ist, wie etwa die Idee der Ersetzung der Fernkräfte durch Nahkräfte oder der Vorstellungskreis der kinetischen Gastheorie. Österreichs ruhmvoller Anteil an der Grundlegung der Physik von heute ist durch die Namen Stefan, Loschmidt und Boltzmann getragen. Wir übersehen dabei durchaus nicht, daß die neueste Entwicklung der Physik einen machtvollen Schoß getrieben hat, die Relativitätstheorie, welcher sich als eine Entfaltung Machscher Ideen darstellt. Aber Mach war hier nicht Ausgangspunkt der Entwicklung, sondern ein Vorläufer, dessen Ideen seinerzeit keinen Einfluß zu erringen vermochten. Die Zeit für die Wirksamkeit dieser Ideen innerhalb der Physik war erst gekommen, als die physikalische Forschung zu ihnen durch ihre eigene Entwicklung hingedrängt worden war. Bei Mach ergaben sie sich nicht als Frucht physikalischer Untersuchungen, sondern als Resultat kritischer Betrachtungen. Als er sie aussprach, war die Physik noch nicht zu dem Problem vorgebrungen, für welches diese Ideen den erlösenden Gedanken bedeuten. Darum blieb ihnen die befruchtende Wirkung versagt, zu der sie befähigt waren. Die Tragik

dieser Erscheinung wird gemildert durch die Tatsache, daß Mach die Zeit noch erleben durfte, da die Relativitätstheorie in der Physik siegreich Einzug hielt. ²²

In der Durchführung seiner physikalischen Arbeiten bewährt Mach einen hohen Grad experimenteller Kunst und methodischen Scharfsinns. Schon in seiner Jugendarbeit über das Dopplersche Prinzip zeigt sich seine später immer wieder bewährte Fähigkeit höchster Ökonomie in der experimentellen Methodik. Welche Bedeutung diese Begabung, die wir bei allen Mitgliedern der älteren österreichischen Physikergeneration wahrnehmen können, in den alten physikalischen Instituten hatte, wird die jüngste Generation schwerlich voll begreifen können.

Machs Apparat zur akustischen Prüfung des Dopplerschen Prinzips ist ein vielgebrauchter Demonstrationsapparat geworden. Bemerkenswert aus seinen Untersuchungen über das Dopplersche Prinzip ist sein klarer Vorschlag, dasselbe durch Beobachtung der Spektrallinien auf astrophysikalische Probleme, so die Bewegung der Doppelsterne und die Bewegung unseres Sonnensystems im Fixsternsystem, anzuwenden. Die Notwendigkeit der Beobachtung der einzelnen Spektrallinien hatte allerdings schon Fizeau betont, dies war aber Mach unbekannt geblieben.

Mit der Untersuchung des Dopplerschen Prinzips hatte Mach das Gebiet der Wellenvorgänge betreten, welches nun das bevorzugte Feld seiner physikalischen Arbeit blieb. Eine große Reihe akustischer und optischer Untersuchungen ließ ihn hier schöne Früchte von bleibendem Werte ernten.

*In der Sitzung vom 1912 wurde Mach
in Redebeiträge über die Relativitätstheorie erwähnt.*

Die Untersuchung der akzidentellen Doppelbrechung im Glas brachte einen Fortschritt gegen ältere Arbeiten nach der quantitativen Seite hin. Sie setzte ihn in Stand, die Frage nach der Größe der in einem tönenden Glasstab auftretenden Spannungen zu beantworten. Es ergaben sich Kräfte von solcher Größe, daß die Tatsache, daß ein Glasstab durch bloßes Tönen zum Zerspringen gebracht werden könne, verständlich wurde. Im Zusammenhang mit diesen Untersuchungen steht die Untersuchung der akzidentellen Doppelbrechung plastischer Körper. Sie führte Mach zu dem Problem, akzidentelle Doppelbrechung in Flüssigkeiten zu suchen. Er ist sich vollständig klar darüber, daß nur rasch sich entwickelnde Spannungen solche Körper doppelbrechend machen können. Er versucht es daher damit, daß er sie zum Tönen bringt oder durch elektrische Entladungen erschüttert. Er untersucht auf diese Weise dicke Zuckerlösungen, Öl, etwas dünneren Kanadabalsam, aber ohne merkliches Resultat. Wenige Jahre später teilt Maxwell mit, daß er bei dünnflüssigem Kanadabalsam akzidentelle Doppelbrechung auffinden konnte. Schon bei Bewegung eines Spatels in dem Balsam zeigt sie sich an den Rändern des Spatels. Sehr bemerkenswert ist, daß sich Mach von dem Problem der akzidentellen Doppelbrechung in plastischen und flüssigen Körpern mit Hilfe der Molekulartheorie Rechenschaft zu geben suchte. Für die Beurteilung der Stellung, die Mach zur Molekulartheorie überhaupt einnahm, ist dies nicht unwichtig. Mach hatte ja in seinen Anfängen durchaus den Schulstandpunkt eingenommen und in seinem Lehr-

buch der Physik für Mediziner (1863) die Molekulartheorie konsequent festzuhalten gesucht, dabei aber, nach seiner eigenen Angabe, zuerst die Unzulänglichkeit der Theorie empfunden. Im Jahre 1872 übergab er seine Studie über die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit der Öffentlichkeit, in welcher er zur mechanischen Physik und zur Molekulartheorie in einer Weise Stellung nahm, daß es als ein Widerspruch erscheinen könnte, wenn er zu gleicher Zeit selbst von der Molekulartheorie Gebrauch macht. Dies tut er nämlich wirklich, da die angeführte Arbeit über die akzidentelle Doppelbrechung plastischer Körper in dasselbe Jahr fällt und er sie obendrein in seiner Schrift „Optisch-akustische Versuche“ 1873 mit den molekulartheoretischen Überlegungen abdruckt. Der Widerspruch verschwindet, wenn man sich klar macht, daß Machs Ablehnung der Molekulartheorie als Grundlage einer Weltansicht ihr noch sehr wohl als einer zweckmäßigen Hypothese innerhalb eines Spezialgebietes Geltung lassen darf. Dies ist in der Tat Machs Stellung gegenüber der Molekulartheorie, was oft übersehen wird. Die Arbeit über die akzidentelle Doppelbrechung plastischer Körper kann geradezu als handgreiflicher Beweis dafür gelten, daß Mach dem Physiker und Chemiker das Recht auf die Anwendung der Molekulartheorie auf rein physikalische und chemische Probleme nicht verkümmern wollte. Daß sein erkenntnistheoretisches Urtheil über die Molekulartheorie auf sein Verhalten als Physiker ihr gegenüber deutlich zurückgewirkt hat, ist verständlich und psychologisch konsequent. Er wollte später

auch als Physiker mit der Molekulartheorie nicht zu tun haben, dafür aber, daß er seinen hier skizzierten Standpunkt immer festgehalten hat, kann sich der Verfasser auf wiederholte mündliche Äußerungen Machs berufen.

Die Beschäftigung mit der Aufgabe, die Schwingungen eines tönenden Stabes optisch zu untersuchen, führte Mach zu dem Studium der Luftschwingungen. Er mühte sich auch hier um quantitative Bestimmungen und fand dazu ein geeignetes Mittel in transversal schwingenden Flammen. Die Analyse der Flammenform ergab die Möglichkeit, die Schwingungsweite der erregenden Luftschwingungen aus dem größten Horizontalabstand der Flammenränder zu berechnen. So fand er z. B. in der Mündung einer offenen Lippenpfeife von 275 cm Länge und 15 cm lichter Weite bei mäßigem Anblasen eine Schwingungsweite von 275 mm, welcher eine Amplitude der Druckschwankung von 0.0035 Atm. entsprach.

Das Studium der Luftschwingungen brachte Mach wieder mit einer Untersuchung Dopplers in Berührung, nämlich mit dessen Arbeit über die stroboskopische Methode. Mach gab zunächst eine eingehende Erläuterung des Prinzips derselben und legte in einer historischen Skizze die Verdienste Plateaus, Stampfers und Dopplers dar. Er selbst vervollkommnete die Methode durch Einführung der „stroboskopischen Selbstregulierung“, deren Prinzip am deutlichsten in jener Anordnung hervortritt, in welcher das Einsetzen der Momentanbeleuchtung durch den zu untersuchenden Körper selbst hervorgebracht und dafür gesorgt wird, daß der Beleuchtung folgerweise verschiedene Phasen-

unterschiede gegen die Schwingungen des erregenden Körpers gegeben werden können. Mit der stroboskopischen Methode wurden dann die Luftschwingungen in einer Pfeife untersucht. Die Pfeife lag horizontal, in der Pfeife wurde an der oberen Wand ein Platindraht ausgespannt und dieser dünn mit Schwefelsäure bestrichen. Die Schwefelsäure verteilt sich perlschnurartig auf dem Draht, wie schon Plateau fand und erklärte. Nun wird der Draht galvanisch erhitzt und es sinken feine Dampflinien quer durch die Pfeife herab. Bringt man die Pfeife zum Tönen, so kann man nun die Dampflinien stroboskopisch schwingen sehen.

Ich übergehe zahlreiche andere Untersuchungen und wende mich zu der Gruppe von Arbeiten, welcher Machs berühmteste physikalische Leistung, die photographische Fixierung der durch Projektile in der Luft eingeleiteten Vorgänge, angehört. Diese Arbeiten beginnen mit der Untersuchung der Antolik'schen Figuren, welche in Rufsichten durch elektrische Entladungen hervorgerufen werden. Mach findet, daß diese Figuren akustischen Ursprungs sind und durch die von der Entladung in der Luft bewirkte Explosionswelle erzeugt werden. Er begnügte sich aber nicht mit einer qualitativen Erklärung, sondern unterwarf die Erscheinung einem genauen Studium, zu welchem Zwecke er die Versuchsanordnung vielfach abänderte. Es war möglich, die Figuren als Ergebnis von Interferenzen zu deuten, wenn man die Schallgeschwindigkeit als eine Funktion der Schallstärke ansah. Gerade durch diese Untersuchungen Machs wird die Tatsache, daß Schall von gro-

ßer Stärke schneller fortschreitet als solcher von geringerer, wohl außer Zweifel gestellt.

Untersucht man die Geschwindigkeit einer Explosionswelle in verschiedenen Entfernungen vom Explosionszentrum, so findet man sie in der Nähe desselben größer als die normale Schallgeschwindigkeit. Ohne Zweifel hat man in der Nähe des Explosionszentrums mit einer Mitführung des Schalls durch die fortgeschleuderte Luft zu rechnen, solche Versuche sind daher nicht geeignet, die Frage nach der Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von der Schallstärke in durchsichtiger Weise zu lösen. Bei den Ruffiguren gibt es aber eine Erscheinung, welche den Einfluß der Schallstärke auf die Schallgeschwindigkeit sicherstellt: die von Mach sogenannte V -Ausbreitung. Wir betrachten den einfachsten Fall, zwei „punktförmige“ d. i. sehr kurze Funkenstrecken auf der beruhten Platte. Man müßte als Interferenzfigur der beiden von den Funkenstrecken ausgehenden Schallwellen eine Gerade erwarten, welche auf der Verbindungslinie der beiden Funkenstrecken senkrecht steht und durch den Halbierungspunkt dieser Verbindungslinie hindurchgeht. In Wirklichkeit bekommt man aber ein Interferenzbild, welches etwa zwei einander entgegengesetzten V gleicht, die mit ihren Spitzen in dem genannten Halbierungspunkt zusammenstoßen, wobei die den Winkel der V halbierende Gerade auf der Verbindungslinie der Funkenstrecken senkrecht steht. Dieses Bild läßt sich deuten, wenn man der Überdeckungsstelle zweier Wellen eine größere Fortschritungsgeschwindigkeit zuschreibt. Diese Überdeckungsstelle wirkt dann als Quelle

einer neuen Welle, welche sich mit einem Geschwindigkeitsüberschuß in den ursprünglichen Wellen ausbreitet.

Mach untersuchte die Funkenwellen auch optisch, nach der Schlierenmethode, wobei sich das bereits gefundene Erklärungsprinzip durchaus bewährte. Schließlich benützte er zu quantitativen Messungen an Funkenwellen den Jaminschen Interferentialrefraktor, wobei in den Gang des einen Strahls die Funkenwelle eingeschaltet wurde. Die Krümmung der Interferenzstreifen macht direkt den Verlauf der Dichte der Welle ersichtlich. Er fand Verdichtungen der Luft in Funkenwellen im Betrage von 0.15 Atm., während er in einer tönenden Pfeife 0.0035, Löpler und Volksmann 0.0037 Atm. gefunden hatten. Man sieht, wie gewaltig die Verdichtungen in Funkenwellen gegenüber jenen in gewöhnlichen Schallwellen sind.

Nachdem die Arbeiten über Funkenwellen zum Abschluß gekommen waren, wandte sich Mach dem Studium der durch Projektile in der Luft eingeleiteten Vorgänge zu. Schon bei Gelegenheit einer früheren Arbeit hatte er versucht, die Luftverdichtung vor dem Projektil nach der Schlierenmethode sichtbar zu machen und photographisch zu fixieren. Das Resultat war zwar negativ, aber Mach war sich darüber klar, daß an der Fruchtlosigkeit des Versuches nicht die Methode, sondern die zu kleinen Geschossgeschwindigkeiten (höchstens 240 m in der Sek.), welche bei diesen Versuchen zur Anwendung gelangt waren, Schuld trugen. Ein positives Resultat konnte nur erwartet werden, wenn sich das Projektil mit Überschall-

geschwindigkeit bewegt. Das erwartete und teilweise au-
der Form nach vorausgesagte Resultat wurde schon bei
dem ersten Versuch mit einem solchen Geschosß erreicht.
Zur Erklärung der Erscheinungen wurde wieder die Stei-
gerung der Schallgeschwindigkeit bei großer Intensität der
Schallwelle herangezogen. Es gelangten bei Machs Ver-
suchen mit Geschossen, deren Geschwindigkeit die normale
Schallgeschwindigkeit überstieg, Verdichtungen der Luft
vor dem Geschosß bis zum Betrage von zwei Atmosphären
zur Beobachtung. Die Form der mit dem Geschosß mit-
bewegten Welle ergibt sich im allgemeinen aus dem
Huyghenschen Prinzip. Durch die Versuche Machs wurde
die Annahme der Artilleristen, daß die Geschosse eine Luft-
verdichtung mit sich führen, zur Gewißheit erhoben. Mel-
sens hatte eine hierauf Bezug habende Untersuchung unter-
nommen, wie es scheint, angeregt durch eigentümliche Vor-
kommnisse bei Schußwunden. Melsens' Untersuchung gab
Mach die Anregung, dieser Frage näherzutreten. Das
zweite Ergebnis war, daß die Luftverdichtung nur vor Ge-
schossen auftritt, die sich mit Überschallgeschwindigkeit be-
wegen. Das dritte besteht in der Aufklärung der eigen-
tümlichen Abhängigkeit des der Bewegung des Geschosses
entgegenwirkenden Luftwiderstandes von dessen Geschwin-
digkeit. Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten ist der Luft-
widerstand der Geschwindigkeit proportional, bei größe-
ren Geschwindigkeiten gilt das Gesetz, daß er dem Qua-
drat der Geschwindigkeit proportional zunimmt; sobald
aber die Geschwindigkeit des Geschosses die Schallgeschwin-
digkeit erreicht, tritt ein auffallender Sprung ein, der

Luftwiderstand wächst fast plötzlich viel rascher; von einer Geschößgeschwindigkeit von 400 m in der Sekunde an gilt zwar wieder das quadratische Gesetz, aber mit einem viel größeren Proportionalitätsfaktor als bei Unterschallgeschwindigkeit des Geschosses. Es ist leicht verständlich, wie dieses Verhalten mit der vor dem Geschöß sich ausbildenden Verdichtung zusammenhängt: Sobald die Geschwindigkeit des Geschosses die Schallgeschwindigkeit überschreitet, entsteht die Verdichtung, der durch die Luft fortschreitende Körper erhält plötzlich ein viel größeres Volumen, der Luftwiderstand muß daher plötzlich ansteigen, und wenn jetzt die Geschwindigkeit weiter wächst, so muß natürlich auch der Proportionalitätsfaktor des Luftwiderstandes einen größeren Wert haben als für das von keinem mitgeführten Mantel verdichteter Luft umgebene Geschöß. Viertens endlich ergaben Machs Versuche die Aufklärung der akustischen Wirkung so rasch fliegender Geschosse; die vom Geschöß mitgeführte Verdichtung kann vom Ohre nur als Knall empfunden werden.

Die Elektrizitätslehre nimmt in Machs physikalischen Veröffentlichungen einen verhältnismäßig geringen Raum ein. Hier sollen nur die Arbeiten prinzipieller Natur über die Unterschiede der beiden elektrischen Zustände hervorgehoben werden. Wurde auch nach Machs eigenen Worten das angestrebte Ziel nicht erreicht, und konnte auch, wie wir heute historisch einsehen, damals nicht erreicht werden, so sind doch die von Mach erfundenen Versuche, sowie die allgemeine Diskussion derselben bemerkenswert. Der von Mach ausgesprochene Gedanke, daß die Durchbrechung

eines Isolators durch eine elektrische Entladung durch Elektrolyse oder einen ihr gleichartigen Vorgang eingeleitet werde, kommt der modernen Auffassung sehr nahe; auch die Beobachtungen über den Potentialverlauf zwischen dem positiven und negativen Pol in flüssigen Isolatoren verdienen als Vorläufer moderner Untersuchungen besondere Hervorhebung.

Die physikalische Wissenschaft ist die eine der Grundlagen, auf welcher Mach das Gebäude seiner Erkenntnistheorie errichtet hat. Die Neigung zur Beschäftigung mit erkenntnistheoretischen Problemen lag in seiner geistigen Beschaffenheit und in dem eigentümlichen Charakter seiner Begabung. Es ist nun gewiß nicht zu bestreiten, daß die Physik ähnlich wie die Mathematik schon durch das Streben nach Exaktheit zu erkenntnistheoretischen Fragestellungen hinleitet, wie ja überhaupt jeder Zweig der Naturwissenschaften erkenntnistheoretische Probleme aufwirft, sobald einmal die erste Aufgabe, die Feststellung des Tatsächlichen, bis zu einer gewissen Höhe geführt ist. So sehen wir denn auch immer wieder bedeutende Physiker mit erkenntnistheoretischen Fragen beschäftigt — ich nenne z. B. Maxwell, Boltzmann, Herz. Doch beobachten wir, daß die Neigung zur Beschäftigung mit Erkenntnistheorie besonders bei solchen Männern ausgeprägt ist, welche sich, wie z. B. Helmholtz, nicht nur auf einem Spezialgebiet als Forscher betätigen. Es ist dies auch verständlich, denn gerade die Grenzgebiete sind fruchtbar an erkenntnistheoretischen Problemen. Vielleicht gilt sogar ganz allgemein, was im Falle Machs so deutlich ist, daß das Interesse

für erkenntnistheoretische Fragen die primäre Voraussetzung für solche Vielseitigkeit ist. Wie dem nun auch sein mag: auch bei Mach sehen wir, daß er nicht bloß die Physik zum Gegenstand seiner Spezialforschung gemacht hat; in seiner Forschertätigkeit nimmt die Sinnesphysiologie und die kritische und kritisch-historische Untersuchung der Physik einen ebenso breiten Raum ein wie diese selbst.

Wir müssen nun, dieser Feststellung entsprechend, unsere Aufmerksamkeit den sinnesphysiologischen Arbeiten Machs zuwenden. Hier kann aber eine eingehendere Besprechung nur der wohl berühmtesten sinnesphysiologischen Untersuchung Machs gewidmet werden, die er in seiner Schrift „Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen“ (1875) niedergelegt hat. Der Ausgangspunkt für seine Beschäftigung mit den Bewegungsempfindungen bildete eine physikalische Arbeit, nämlich eine Versuchsreihe über Flüssigkeiten, welche suspendierte Körperchen enthalten. Die von dem Beschleunigungszustand der aufgelegten Körper abhängige Belastung der Waage, die bei diesen Versuchen auftritt, legte ihm den Gedanken nahe, daß bei der Bewegung unseres Körpers ähnliche Verhältnisse bestehen und daß jeder Körperteil den andern als veränderliche, von der Bewegung abhängige Last empfinden kann. Nach Machs damaliger Auffassung liefert der ganze Körper Beiträge zu den Bewegungsempfindungen, die Annahme eines besonderen Organs derselben lag ihm damals noch fern. Ein Zufall, wie er sagt, führte ihn zu dem Nachdenken über die Bewegungsempfindungen zu-

rück. Er beobachtete die Schiefstellung der Häuser und Bäume beim Durchfahren einer Eisenbahnkurve. Sie ließ sich leicht erklären, wenn man annimmt, daß wir eine direkte Empfindung der resultierenden Massenbeschleunigung haben. Ob es eine solche Empfindung gibt, ob sie eine einfache oder aus verschiedenen Elementen zusammengesetzte ist, diese Frage zu beantworten war Sache des Experiments. Ist sie eine einfache, so muß ein besonderes Gleichgewichtsorgan existieren, welches vermöge seiner spezifischen Energie jeden Reiz mit einer Bewegungsempfindung beantwortet.

Mach schlug einen Weg des Experimentes ein, welcher ein deutliches Zeugnis dafür ist, daß in Machs Persönlichkeit als Naturforscher der Physiker die zentrale Position einnimmt, was sich ja auch, wie schon ausgeführt wurde, in seinem Entwicklungsgange ausspricht. Daß ihn dies nicht gehindert hat, über die Physik hinauszusehen, und spezifisch physikalische Gedankengänge nicht als die in allen Gebieten alleinseligmachenden zu werten, darin liegt seine durch sein Interesse für die Erkenntnistheorie bedingte Eigenart als Naturforscher. Mach experimentiert mit seinem eigenen Körper wie mit einem physikalischen Objekt. Seine Methode wird von einem Physiologen von Fach offenbar als fremdartig empfunden und aus diesem Gefühl heraus abgelehnt. Er wehrt sich dagegen mit den Worten: „Was die Bemerkung Böttchers über meine Abhandlung betrifft, daß ich mit dem Gleichgewichtsorgan wie mit einer gegebenen Größe operiere und es demnach keinen Zweck hätte, den daran geknüpften Betrachtungen

zu folgen, so habe ich dagegen nur folgendes zu bemerken. Er scheint hierbei nicht beachtet zu haben, daß Vivisektionen weder das einzige noch das beste Mittel sind, physiologische Tatsachen kennen zu lernen oder deren Theorien zu prüfen.“ Mach baute sich einen Drehstuhl, in welchem er die bei verschiedenen Bewegungsänderungen auftretenden Bewegungsempfindungen studierte. Er konstatiert zunächst, daß man nicht die Winkelgeschwindigkeit, sondern die Winkelbeschleunigung empfindet, er stellt fest, daß man die resultierende Richtung der Massenbeschleunigung bei der Drehung als Vertikale empfindet, er erkennt, daß ein sehr wichtiger, wenn nicht der wichtigste Beitrag zu den Bewegungsempfindungen im Kopfe ausgelöst wird. Die Arbeiten der Physiologen führen ihn zu der Auffassung, daß das wahrscheinliche Hauptorgan der Bewegungsempfindungen das Ohrlabirinth ist. Eine ausführliche, auf Versuche gestützte Diskussion der übrigen Möglichkeiten, daß die Bewegungsempfindungen vom Bindegewebe und den Knochen, der Haut, den Muskeln, dem Blute, den Augen, dem Hirn abhängen, läßt nur die bereits mitgeteilte Auffassung als berechtigt erscheinen. Kaum eine andere Arbeit Machs ist so bewegt, so reich an dramatischer Spannung wie diese, der logische Aufbau, die Klarheit der Formulierung, die Feinheit der Beobachtungen, die überall durchleuchtende Freude des Experimentators an der fortschreitenden Aufhellung des Problems erzeugen beim Leser jene ästhetische Wirkung, die, wie Mach gelegentlich ausgeführt hat, durch die Romantik und Poesie der Forschung ausgelöst wird und die Boltzmann

in seiner Gedenkrede auf Kirchhoff in begeisterten Worten als eine charakteristische Eigentümlichkeit bedeutender mathematischer Untersuchungen gepriesen hat. Diese Arbeit bildet auch ein schönes Dokument für Machs Charakter. Die rückhaltlose Würdigung der in die gleiche Zeit fallenden Untersuchungen Breuers über denselben Gegenstand, die diesen Forscher zu einem ähnlichen Resultat führten, ist ein Zeichen vornehmster Gesinnung, die in dem nach dem gleichen Ziele Strebenden nicht einen unbequemen Konkurrenten, sondern einen willkommenen Mitarbeiter erblickt.

Diese Arbeit ist ferner ausgezeichnet durch ihren Reichtum an sonstigen sinnesphysiologischen Beobachtungen und Bemerkungen, so z. B. über die allgemeine Theorie der Nachwirkungen. Es ist weiter beachtenswert, daß sie die erste Formulierung der allgemeinen erkenntnistheoretischen Auffassungen bringt, die Mach später in seiner „Analyse der Empfindungen“ vertieft und ausgeführt darlegt.

Von den übrigen sinnesphysiologischen Arbeiten Machs sei nur noch eine kurz erwähnt, welche bei der Deutung der von Haga und Wind unternommenen Versuche über die Beugung der Röntgenstrahlen eine Rolle gespielt hat. Die auf den Photographien sichtbaren Randstreifen der Beugungsspalte sind nicht objektiv vorhanden, sondern kommen dadurch zustande, daß die objektive Lichtverteilung nach dem subjektiven Eindruck beurteilt wird. Der subjektive Eindruck der Beleuchtung einer Netzhautstelle hängt aber, wie Mach (1866—1868) gezeigt hat, von

dem Mittel der Abweichungen der Beleuchtung der Nachbarstellen ab.

Wir wenden uns nun den physikalisch-historischen Untersuchungen Machs zu. Sie sind in einigen Abhandlungen und fünf größeren Schriften niedergelegt, von denen eine noch nicht erschienen ist. Die vier vorliegenden sind: Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit (Prag 1872); Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt (1883); Die Prinzipien der Wärmelehre historisch-kritisch entwickelt (1896); Kultur und Mechanik (1915). Es steht noch aus die Geschichte der Optik.

Mach wurde schon frühzeitig durch sein erkenntnistheoretisches Interesse für die allgemeinen Probleme der Physik und mit den Versuchen ihrer Bewältigung zusammenhängenden Begriffsbildungen zu physikalisch-historischen Studien geführt. Er begann mit denselben nach seiner eigenen Angabe etwa um das Jahr 1863. Man kann diese Studien geradezu als erkenntnistheoretische in dem Sinne bezeichnen, als sie die Bildung von Erkenntnis historisch klarzulegen unternehmen, damit Einsicht in Struktur des Vorganges der Erkenntnisgewinnung vermitteln und schließlich die für die Bestimmung des Begriffes der Erkenntnis notwendigen Merkmale desselben induktiv erfassen lehren. Die erste bedeutende Veröffentlichung Machs auf diesem Gebiete war die 1872 in Prag bei Calve (2. Aufl. Leipzig 1909, A. Barth) erschienene Schrift über die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit. In dieser Schrift tritt

uns Machs selbständige Gedankenwelt bereits in ihren Hauptzügen vollendet entgegen, sie zeigt, daß Mach um diese Zeit bereits auf dem Gipfel seines Anstieges angelangt war. Er war damals schon mit sich im reinen, seine Orientierung bereits im wesentlichen festgelegt. Alle seine späteren Arbeiten stellen eine Entwicklung und Weiterführung, in theoretischer und experimenteller Hinsicht, der in dieser Schrift entwickelten Gedanken dar. Die Schrift gibt eine historisch-kritische Untersuchung des Prinzips der Erhaltung der Energie, das sich bei einer bloß an die Jahreszahlen haltenden historischen Betrachtung als die Ausdehnung des in der Mechanik formulierten Satzes von der Erhaltung der Arbeit auf das Gesamtgebiet der physikalischen Erscheinungen darstellt. Dieser Auffassung gegenüber unternimmt Mach den Nachweis, daß das Prinzip nicht mechanischen Ursprungs sein kann, weil es, wie die historisch-kritische Analyse zeigt, in der Form des Satzes vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile an dem Aufbau der Mechanik beteiligt war. In diesem Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile erkennt Mach eine Form des Kausalgesetzes, welches nach seinen Darlegungen nichts anderes bedeutet als die Voraussetzung, daß die Erscheinungen voneinander abhängen, oder anders ausgedrückt, daß jede Erscheinung eine Funktion anderer Erscheinungen ist. Im Zusammenhang mit diesen Überlegungen wird an den philosophischen Formulierungen des Kausalgesetzes, speziell an der Formulierung Fechners Kritik geübt. Fechner definierte als Inhalt des Kausalgesetzes: „daß überall und zu allen Zeiten, insoweit dieselben

Umstände wiederkehren, auch derselbe Erfolg wiederkehrt, soweit nicht dieselben Umstände wiederkehren, auch nicht derselbe Erfolg wiederkehrt". Mach betont, daß das ausdrückliche Hineinziehen des Räumlichen und Zeitlichen in das Kausalgesetz zumindest überflüssig sei. Da wir nämlich das, was wir Raum und Zeit nennen, wieder nur an gewissen Erscheinungen erkennen, so sind räumliche und zeitliche Bestimmungen gleichfalls nur Bestimmungen durch andere Erscheinungen. Die Zeit wird gegeben durch den Drehungswinkel der Erde, die Raumlagen erkennen wir durch gewisse Affektionen unserer Netzhaut, unserer optischen oder anderer Meßapparate. Raum und Zeit sind nicht selbständige Wesen, sondern Formen der Abhängigkeit der Erscheinungen voneinander. „Der physikalische Raum, welchen ich im Sinne habe (und welcher zugleich die Zeit in sich enthält) ist also nichts anderes als Abhängigkeit der Erscheinungen voneinander. Die vollendete Physik, welche diese Grundabhängigkeit kennen würde, hätte keine besonderen Raum- und Zeitbetrachtungen mehr nötig, denn diese wären ohnehin schon mit erschöpft.“ Wir werden auf die Bedeutung dieser Stelle noch zurückkommen; vorerst wollen wir aber in der Betrachtung des weiteren Inhaltes der Schrift fortfahren.

Aus den angeführten Überlegungen über das Kausalgesetz folgt, daß die Welt wie eine Maschine ist, bei der die Bewegung gewisser Teile durch die Bewegung anderer bestimmt ist (Kausalgesetz), allein über die Bewegung der ganzen Maschine ist nichts bestimmt. Wo die ganze Maschine sozusagen hinaus will, ist durch das Kau-

salgeseß nicht gesagt, kann auch durch keinerlei Forschung ermittelt werden, ist keine wissenschaftliche Frage.

Wenn wir von einem Ding in der Welt sagen, daß es in einer gewissen Zeit eine gewisse Änderung erleiden wird, so setzen wir es als abhängig von einem andern Teil der Welt, den wir als Uhr benützen. Wenn wir aber einen solchen Satz für die ganze Welt aussprechen, so begehen wir einen Fehler, weil wir dann nichts mehr übrig haben, worauf wir das Weltall wie auf eine Uhr beziehen könnten. Für das Weltall gibt es keine Zeit. Darum haben auch Sätze, wie der Satz von der Dissipation der Energie, auf das Weltall angewendet keinen Sinn. Dieser Satz führt da zu der Behauptung von dem dereinstigen „Wärmetod“ des Weltalls. „Naturwissenschaftliche Sätze von der erwähnten Art scheinen mir schlimmer als die schlimmsten philosophischen.“ Diese Kritik Machs erscheint ganz besonders bemerkenswert. Denn gerade solch allgemeine, das ganze Weltall betreffende Sätze gleißen gewissermaßen als die berückendsten Blüten an dem Baume der Wissenschaft und nehmen das Interesse weiterer Kreise in ganz anderer Weise gefangen als irgendwelche Detailfeststellungen. In ihnen glaubt man die Grundpfeiler für eine exakte Naturphilosophie zu erkennen. Um so wichtiger, um so bedeutungsvoller ist ihre kritische Analyse! Der Satz vom Wärmetod des Weltalls verletzt einen elementaren Instinkt. Es ist darum nicht zu verwundern, daß er auch solchen Forschern, welchen Machs kritische Betrachtungsweise fernliegt, Unbehagen verursacht. Volkmann hat einen Ausweg vom Boden der

kinetischen Theorie der Materie aus gegeben. Das Verhältnis seiner Lösung zu der Machs kann hier nicht näher erörtert werden.

Im Zusammenhang mit der Analyse des Kausalgesetzes liegt die Erörterung der Aufgabe der Forschung und die Analyse der Natur der Wissenschaft nahe. Beides wird in der Schrift durchgeführt. Die Aufgabe der Forschung ist die Ermittlung der Abhängigkeit der Erscheinungen voneinander. Die Inventarisierung der gefundenen Abhängigkeiten, die schließlich einen unermesslichen Umfang annehmen würde, konstituiert aber noch nicht Wissenschaft. Die Wissenschaft kommt erst durch die ökonomische Darstellung der Forschungsergebnisse zustande. Diese erreicht sie durch die Formulierung von Gesetzen. Die Gesetze bieten einen bequemen und kompendiösen Ersatz für ein unzählige Einzelfälle umfassendes Inventar. Außer diesem Streben nach Zusammenfassung möglichst vieler Tatsachen in eine übersichtliche Form zeigt die Wissenschaft noch eine weitere Tendenz, die ebenfalls ökonomischer Art ist. Sie ist bemüht, die komplizierteren Tatsachen in möglichst wenige und möglichst einfache zu zerlegen. Diesen Vorgang nennen wir Erklären.

In vollständiger Übereinstimmung mit Mach, aber unabhängig von ihm, hat Kirchhoff in seinen Vorlesungen über Mechanik (1. Auflage 1876) als Aufgabe der Mechanik definiert: „Die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben.“ Kirchhoffs Formulierung wirkte wohl zunächst befremdend, hat aber in der deutschen theoretischen

Physik, so in den theoretischen Arbeiten von Heinrich Herz, nachhaltigen Einfluß geübt. Machs Schrift blieb ziemlich unbeachtet, es ist daher begreiflich, daß auch heute noch sogar in Fachkreisen gelegentlich der Meinung Ausdruck gegeben wird, Mach habe seinen Standpunkt von Kirchhoff übernommen.

Im Dienste der beiden Funktionen der Wissenschaft stehen die Hypothesen und Theorien. Es ist wieder ökonomisch, wenn man versucht, neu entdeckte Erscheinungen auf die bestbekanntesten und geläufigsten zurückzuführen. Von diesem Gesichtspunkte aus würdigt Mach in rückhaltloser Weise die Bestrebungen, die ganze Physik auf Mechanik zurückzuführen. Da ihm aber die mechanischen Vorgänge nur psychologisch und historisch als Grundlage der Physik erscheinen, sieht er die zeitgenössische Physik mit ganz anderen Augen an als seine Zeitgenossen. Sein freier Standpunkt gegenüber der damals herrschenden Grundansicht läßt ihn Betrachtungen anstellen, die vielen als Kezereien, ja vielleicht sogar als Spott erscheinen mußten. Von hier aus wird die Gereiztheit verständlich, welche aus einzelnen Polemiken gegen ihn herausklingt. Freilich, berechtigt war solche Gereiztheit nicht und Mach hat sie darum auch als persönliche Kränkung empfunden.

Nach Mach haben alle Theorien nur Bedeutung als Mittel der wissenschaftlichen Forschung. „Das Ziel der Naturwissenschaft ist der Zusammenhang der Erscheinungen. Die Theorien aber sind wie dürre Blätter, welche abfallen, wenn sie den Organismus der Wissenschaft eine Zeitlang in Atem gehalten haben.“ So ist denn auch der

Versuch, die gesamte Physik auf Mechanik zurückzuführen, nach Mach nur als ein Mittel der Forschung und Darstellung zu werten. Hierin stehen Maxwell und Herz unserem Denker ganz nahe, auch Boltzmann finden wir gelegentlich auf diesem Standpunkt.

Unzertrennlich verbunden mit der mechanischen Physik ist die Atomistik. Aus den vorhergehenden Ausführungen ergibt sich schon der ablehnende Standpunkt, welchen Mach ihr gegenüber als einer fundamentalen Grundlage der Physik einnimmt. Aber er will sie nicht aus der Physik und Chemie verbannen, er läßt sie gerne als Forschungsmittel des Physikers und Chemikers gelten. Freilich findet sein freier Blick auch noch innerhalb der Atomtheorie Ansatzstellen für eine Kritik. Er wirft ihr Enge vor, die aus der Beschränkung auf das Gesehene und Getastete fließt. „Nun gibt es aber Wahrnehmungsformen anderer Sinne, die dem Raume vollständig analog sind, so die Tonreihe für das Gehör, die einem Raume von einer Dimension entspricht, mit welchen Formen wir uns nicht den gleichen Passus erlauben. Wir denken nicht alles klingend und stellen uns die Molekularvorgänge nicht musikalisch, nicht in Tonhöhenverhältnissen vor, obzwar wir dazu gerade so berechtigt sind, wie dazu, uns dieselben räumlich zu denken.“ Ebenso wenig ist es notwendig, sich bei molekulartheoretischen Überlegungen auf den empirischen Raum zu beschränken, und so erörtert er denn auch die Möglichkeit, zur Darstellung der Struktur des Moleküls Mannigfaltigkeiten von mehr als drei Dimensionen heranzuziehen, also die Beziehung auf den empirischen

dreidimensionalen Raum aufzugeben. Wenn in neuerer Zeit A. B. B. die Annahme diskutiert (Annalen der Physik 1913), daß im Innern des Atoms Nicht-Euklidische Geometrie mit positivem oder negativem Krümmungsmaß gilt, so bewegt er sich in der Richtung der von Mach angedeuteten Möglichkeit, die ausschließliche Beziehung auf den Raum der (klassischen) Physik fallen zu lassen.

Ungemein bezeichnend für Mach ist das Hereinspielen physiologischer Gesichtspunkte, welches zu der Betonung der erkenntnistheoretischen Gleichwertigkeit des Getasteten, Gehörten, Gesehenen usw. führt. Diese Erkenntnis gibt auch dem Problem der Fernwirkung ein neues Gesicht. Die Vorstellung einer Fernwirkung hat sehr bedeutenden Denker Schwierigkeiten verursacht, da ein Körper per nur da wirken könne, wo er ist. „Aber wo ist ein Körper? Ist er nur dort, wo wir ihn tasten? Kehren wir die Sache um! Ein Körper ist dort, wo er wirkt. Er nimmt einen kleinen Raum ein für das Getast, einen größeren für das Gehör, einen noch größeren für das Gesicht. Wie käme der Tastsinn dazu, uns allein zu diktieren, wo ein Körper ist?“ Das sieht für eine oberflächliche oder in den eingprägten Schulvorstellungen befangene Beurteilung einer geistreichen Spielerei gleich, eröffnet aber dem Denken eine neue Bahn. Dem Physiologen liegt, wie das Beispiel Herings zeigt, solche Betrachtung freilich näher als dem Physiker.

In ähnlicher Weise führt Mach an einem anderen Orte aus, daß von einer Sinnestauschung nicht gesprochen werden darf, wenn man einen ins Wasser gesteckten Stab ge-

knickt sieht. Der Stab ist optisch tatsächlich geknickt, haptisch ist er es nicht. Erkenntnistheoretisch ist das Gesehene, die Knickung, gleichwertig mit dem Getasteten, der Nichtknickung. Welche Kraft intellektueller Erregung in einer solchen Bemerkung liegen kann, hat der Verfasser einmal staunend an der leidenschaftlichen Abwehr erfahren, der dieses Beispiel bei einem Philosophen begegnete. Dieses Erlebnis hat die Überzeugung des Verfassers von der noch lange nicht ausgeschöpften befruchtenden Wirkung der Machschen Erkenntnistheorie ungemein vertieft. Zur Sache selbst möge noch eine Bemerkung hinzugefügt werden. Wir sprechen in dem betrachteten Falle von einer Täuschung des Gesichtes; solche Wertung ist dem naiven Menschen natürlich, weil das Getast einen biologischen Vorrang vor dem Gesicht hat. Das Mehr an biologischer Bedeutung ist aber nicht maßgebend für die erkenntnistheoretische Wertung; wie Lichtenberg sagt¹⁾: „... das Mehr und Weniger ist für die eigentlich philosophische Betrachtung nichts“.

Im Jahre 1883 erschien Machs historisch-kritische Darstellung der Mechanik, von der 1912 die siebente Auflage herausgekommen ist. In diesem Buche zeigt sich der bedeutende Denker in seiner vollen Größe, eine reiche Fülle tiefer Gedanken ist hier in einfachster und durchsichtigster, ja geradezu in anmutiger Form vorgetragen. Es ist unmöglich, hier auf den Inhalt dieses Werkes näher einzugehen; es muß genügen, darauf hinzuweisen, daß es Klar-

¹⁾ Vermischte Schriften, 9. Bd., S. 149. (Göttingen bei Heinrich Dieterich 1806.)

heit überall dort bringt, wo sie am allernötigsten war und ist (erwähnt seien z. B. der Kraftbegriff, der Massenbegriff), und daß es das erste Werk der Selbstbesinnung in der Physik darstellt, welches gerade in der drängenden Flut der sich überstürzenden Entdeckungen und Fortschritte der modernen physikalischen Forschung von größter Bedeutung war und ist. Der Gegenwartswert dieses Buches ist heute noch nicht geringer als zur Zeit seines ersten Erscheinens und es werden noch Jahrzehnte vergehen, ehe es, weil seine Gedanken Gemeingut der wissenschaftlichen Tradition geworden, zu den klassischen Werken versammelt sein wird, welche zwar allgemein als berühmt bekannt sind, aber nur mehr von sehr wenigen gelesen werden. In diesem Buche werden Gedanken, welche in der Schrift über die Erhaltung der Arbeit nur knapp vorge tragen oder erst angedeutet sind, näher ausgeführt und ergänzt. Mit allem Nachdruck wird der Standpunkt vertreten und eingehend begründet, daß jede wissenschaftliche Erklärung ökonomische Beschreibung ist. Seiner allgemeinen, durch die kritische Untersuchung naturwissenschaftlicher Erkenntnis gewonnenen Auffassung entsprechend, daß die Naturwissenschaft nur Abhängigkeiten der Erscheinungen voneinander vorfinde und zu untersuchen habe, vertritt Mach streng die Relativität aller Bewegung, auch der drehenden, eine Lehre, die ihm die Gegnerschaft bedeutender Physiker eingetragen hat. Die neueste Entwicklung der Relativitätstheorie hat die Bedeutung dieser von manchen wie eine Kezerei eingeschätzten Lehre Machs klar zutage treten lassen und die Gegner verstummen ge-

macht. Mach ist der Vorläufer der allgemeinen Relativitätstheorie und hat ihr lange vor Einstein und Minkowski den Boden bereitet. Einstein selbst betont in seinem Nachruf auf Mach (Physikalische Zeitschrift 1. April 1916), „daß Mach die schwachen Seiten der klassischen Mechanik klar erkannt hat und nicht weit davon entfernt war, eine allgemeine Relativitätstheorie zu fordern, und dies fast vor einem halben Jahrhundert! Es ist nicht unwahrscheinlich, daß Mach auf die Relativitätstheorie gekommen wäre, wenn in der Zeit, als er jugendfrischen Geistes war, die Frage nach der Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit schon die Physiker bewegt hätte“. Einstein hebt am angegebenen Orte auch mit Wärme hervor, daß er insbesondere durch Hume und Mach direkt und indirekt sehr gefördert worden sei, und verweist nachdrücklich auf Machs Mechanik, denn „dort finden sich Gedanken meisterhaft dargelegt, die noch keineswegs Gemeingut der Physiker geworden sind“. Diese Stellungnahme Einsteins sei hier angemerkt, weil Machs Gegner, worauf wir weiter unten zurückkommen werden, seiner Gedankenwelt einen hemmenden Einfluß auf das Fortschreiten der physikalischen Forschung zugeschrieben haben.

Einstein bezieht sich in seiner Würdigung auf Machs Ausführungen über Newtons Ansichten von Zeit, Raum und Bewegung, sowie seine Kritik des Newtonschen Eimer-versuches, die oben mitgeteilte Stelle aus der Schrift über die Erhaltung der Arbeit dürfte seiner Aufmerksamkeit entgangen sein. Der physikalische Raum, von welchem Mach dort spricht, dieser Raum, der zugleich die Zeit in

sich enthält, mutet wie eine Vorahnung der Minkowskischen Fassung der Relativitätstheorie an. Lagrange führt im Artikel 185 seiner „Théorie des fonctions analytiques“ (erschienen im Jahr 5 der Republik) folgendes aus¹⁾: „Ich will nun die Theorie der Funktionen in Beziehung auf die Mechanik betrachten. Hier beziehen sich die Funktionen ihrem Wesen nach auf die Zeit — und da die Lage eines Raumpunktes von drei rechtwinkligen Koordinaten x , y , z abhängt, werden diese Koordinaten als Funktionen der Zeit t zu betrachten sein. Also kann man die Mechanik als eine vierdimensionale Geometrie ansehen und die mechanische Analyse als eine Erweiterung der geometrischen.“ Fechner beschäftigt sich in einer seiner klassischen kleinen Schriften, die er unter dem Decknamen eines Dr. Mises veröffentlicht hat, mit der Frage, wieviel Dimensionen der Raum hat. Er behauptet, er habe deren vier. Die vierte Dimension sei uns auch zugänglich. Unsere dreidimensionale Körperwelt ist ein Schnitt durch die vierdimensionale, alle Bewegungen in der dreidimensionalen beruhen darauf, daß die Körper sich in Wirklichkeit auch in die vierte Dimension erstrecken, unser dreidimensionaler Raum sich als Ganzes in der Richtung der vierten Dimension verschiebt, wodurch immer neue dreidimensionale Ausschnitte aus der vierdimensionalen Welt für uns wahrnehmbar werden. Nach dieser Vorstellung ist also Vergangenes, Gegenwärtiges und Zukünftiges der dreidimensionalen Welt für ein wahrnehmendes Wesen

¹⁾ Ich verdanke den Hinweis auf diese Stelle meinem Kollegen Professor Dr. Philipp Franke.

der vierdimensionalen Welt gleichzeitig da, wir dreidimensionale Erdenbewohner können es aber nur in zeitlicher Aufeinanderfolge erfahren. Auch Lagrange und Fechner erscheinen sonach als Vorläufer der Ideen Minkowskis, sie sind aber von ihm viel weiter entfernt als Mach. Lagrange scheint überhaupt nur die formale Behandlung der mechanischen Probleme im Auge zu haben. Fechner ringt vor allem nach einem freieren philosophischen Standpunkt (wenn er auch dieses Ringen unter einer halb scherzhaften Form verbirgt), die Beschränkung auf die Phronomie aber, welche seiner Darstellung zugrunde liegt, führt ihn zu einem vierdimensionalen Raum, welcher die gesamte Fülle der physikalischen Erscheinungen nicht zu fassen vermag. Mach aber will seinen physikalischen Raum, welcher zugleich die Zeit in sich enthält, das ist also die Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit durch die Abhängigkeiten der physikalischen Erscheinungen voneinander, welche eine vollendete Physik kennen würde, bestimmt sehen. Wenn es also nach Einstein nicht unwahrscheinlich ist, „daß Mach auf die Relativitätstheorie gekommen wäre, wenn in der Zeit, als er jugendfrischen Geistes war, die Frage nach der Bedeutung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit schon die Physiker bewegt hätte“, so dürfen wir aus der oben angeführten Stelle der Schrift über die Erhaltung der Arbeit den Schluß ziehen, daß es nicht unwahrscheinlich ist, daß er seine Relativitätstheorie in die Gestalt zu gießen versucht hätte, welche Minkowski der Relativitätstheorie gegeben hat.

Auf die kritische Geschichte der Wärmelehre soll nur ganz

Kurz hingewiesen werden. Es dürfte ausreichend sein, die strenge begriffliche Scheidung zwischen der rein phänomenologischen Thermodynamik mit ihren beiden Hauptsätzen und der mechanischen Wärmetheorie hervorzuheben. Dies gibt wiederum Anlaß, die mechanische Physik unter die kritische Lupe zu nehmen. Mach anerkennt neuerdings die Bedeutung der mechanistischen Grundauffassung für die Forschung und billigt die Darstellung physikalischer Vorgänge durch mechanische und die Erläuterung derselben durch mechanische Analogien. Einen ähnlichen Standpunkt finden wir bei Maxwell und Herz. Nimmt man aber die Versuche der mechanischen Darstellung, wie Mach sagt, „gar zu ernst und buchstäblich“, so erhält man „eine recht künstliche Darstellung der Welt, in welcher wir kaum die Wirklichkeit wiedererkennen. Und tatsächlich erscheint Menschen, welche sich längere Zeit der mechanisch-atomistischen Naturauffassung hingegeben haben, die uns bestvertraute Sinnenwelt plötzlich als das größte Welträtsel“. Machs Ideal ist die rein phänomenologische Physik. Er nimmt gegenüber der mechanistischen Grundauffassung in der Physik und Chemie ungefähr denselben Standpunkt ein wie gegenüber der Stofftheorie in der Wärmelehre. Die Bedeutung, welche diese Theorie für die Entwicklung der Wärmelehre gehabt hat, ihre Rolle als Bildnerin fundamentaler Begriffe, die eine selbständige die Lebenszeit der Theorie, der sie entsprossen sind, überdauernde Existenz innerhalb der Wärmelehre gewonnen haben, ist von Mach sehr liebevoll dargestellt worden. Die Stofftheorie der Wärme liefert ein schönes Beispiel für die

Funktion, welche Mach der Theorie in der Wissenschaft überhaupt zuschreibt.

Wir wenden uns nun dem Werke zu, in welchem Mach seinen sinnesphysiologischen und psychologischen Studien eine zusammenfassende Darstellung gegeben und in welchem er die Synthese seiner Auffassung physikalischer, physiologischer und psychologischer Probleme in der Formulierung seines allgemeinen erkenntnistheoretischen Standpunktes niedergelegt hat. Dieses Werk führt den Titel: Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen. Es erschien das erstmal im Jahre 1885 und liegt jetzt (1918) in siebenter Auflage vor. Die zweite Auflage erschien aber erst im Jahre 1900. Aus diesen Angaben läßt sich abnehmen, wie außerordentlich das Interesse an der Denkrichtung Machs in den letzten zwei Jahrzehnten gewachsen ist.

Dieses Werk Machs gestattet uns wohl den tiefsten Einblick in die feinsten und letzten Wurzeln seiner geistigen Persönlichkeit. Was wir, die Einzelleistungen in seinen verschiedenen Arbeitsrichtungen zurückverfolgend, als gemeinsamen Ausgangspunkt erschließen können, tritt uns hier ganz unmittelbar als der Urgrund entgegen, aus welchem seine vielspältige Arbeit Antrieb und Richtung erhält. Hier enthüllt sich ein Geist, dem durch die Forschung in einem Einzelgebiete nicht Genüge geschieht, ein Geist, der nach dem Archimedischen Punkte ringt, ein wahrhaft philosophischer Geist, der aus seiner Natur heraus ein gemeinsames Fundament für alle die verschiedenen Zweige der Forschung suchen muß, die um eine exakte Er-

Kenntnis bestimmter Ausschnitte aus der Welt der Tatsachen ringen. Das intellektuelle Unbehagen, welches sich beim Übergang von physikalischen zu physiologischen und psychologischen Problemen unter Festhaltung einer speziellen, etwa mechanischen Grundauffassung einstellt, wird für einen solchen Geist zur treibenden Kraft, einen allgemeinen Standpunkt zu suchen, der kein solches Unbehagen nach sich zieht und daher auch nicht letzten Endes zu einer Resignation führt, die jede weitere Bemühung als aussichtslos und vergeblich erscheinen läßt. Die Methode seines Suchens aber war bestimmt durch die in seinen physikalisch-historischen und sinnesphysiologischen Arbeiten bewährte Ansicht, daß alles Metaphysische als müßig und die Ökonomie der Wissenschaft störend auszuschalten sei.

Unser Erleben zeigt uns eine innige Verflechtung physikalischer, physiologischer und psychischer Vorgänge. Um sie der wissenschaftlichen Zusammenfassung zugänglich zu machen, welche dieser Verflechtung Rechnung trägt, ist also eine einheitliche Grundauffassung zu suchen, von welcher aus in jedes Einzelgebiet vorgedrungen werden kann. Eine solche Grundansicht ist eben die mechanische (oder wie wir hinzufügen können, jede sonst denkbare physikalische) Weltansicht nicht. Sie führt beim Übergang zur Psychologie zu Emil du Bois-Reymonds Ignorabimus. Der entgegengesetzte Versuch, vom Psychischen auszugehen, der zum Solipsismus führen muß, wenn er folgerichtig durchgeführt wird, stößt auf Schranken, die in gleicher Weise unüberwindlich sind. In ernsthafter Weise ist dieser Versuch in der Wissenschaft niemals wirksam

geworden. Die Versuche, eines der in so inniger Verflechtung sich darstellenden Tatsachengebiete zum Ausgangspunkt einer einheitlichen Betrachtung zu machen, die nicht von vornherein einzelne Problemgruppen als ewig unlösbar hinstellen will, sind als gescheitert anzusehen. Die erwünschte einheitliche Grundauffassung kann nur auf einem anderen Wege zu erreichen versucht werden. Machs Aufstellung einer solchen einheitlichen Grundansicht haben die Zeitgenossen die Machsche Philosophie genannt. Mach selbst aber lehnt den Titel eines Philosophen ab. Er will keine grundsätzlich neue Philosophie aus der Wiege heben, sondern eine alte, abgestandene aus der Naturwissenschaft entfernen. „Das Land des Transzendenten ist mir verschlossen. Und wenn ich noch hinzufüge, daß dessen Bewohner meine Wißbegierde gar nicht zu reizen vermögen, so kann man die weite Kluft ermessen, welche zwischen vielen Philosophen und mir besteht.“ Eine abgeschlossene Weltanschauung zu geben lag ihm fern: „Die höchste Philosophie des Naturforschers besteht eben darin, eine unvollendete Weltanschauung zu ertragen, und einer scheinbar abgeschlossenen, aber unzureichenden vorzuziehen.“ Wie aus diesen Stellen hervorgeht, richtet sich seine Absage nicht bloß gegen die Metaphysik, sondern auch gegen die Aufstellung eines abgeschlossenen Weltbildes. Um Machs Stellungnahme zu verstehen, muß man sich klar machen, daß er das Hindernis nicht darin sieht, daß die Forschung das Material der Erfahrung immer mehr vergrößert und daß ein Ende dieses Prozesses nicht absehbar ist, sondern darin, daß er den Versuch der Aufstellung

eines definitiven Rahmens, in welchen dieses Erfahrungsmaterial eingeschlossen werden kann, für unwissenschaftlich hält. Nach seiner Ansicht kann man nicht behaupten und beweisen, daß ein solcher Rahmen, daß eine Philosophie, welche die gesamte Erfahrung von heute widerspruchsfrei in sich begriffe, auch noch die Erfahrung von morgen aufnehmen könnte. Es bleibt die Möglichkeit offen, daß durch die Erweiterung des Tatsachenmaterials eine Sprengung dieses Rahmens notwendig werden könnte. Der Versuch der Aufstellung einer geschlossenen Weltansicht, welche mehr als Hypothese sein will, setzt die Überzeugung voraus, daß eine Weltansicht denkbar ist, welche alle zukünftige Erfahrung in sich aufnehmen kann. Solche Überzeugung könnte nur transzendenter Natur, sie kann nicht Ergebnis der Erfahrung sein. Eine wissenschaftliche Weltanschauung muß daher die Eigenschaft aller Erfahrung teilen, niemals vollendbar zu sein. In diesem Sinne sagt er von der Grundansicht, die er aufgestellt hat: „Es gibt — keine Machsche Philosophie, sondern höchstens eine naturwissenschaftliche Methodologie und Erkenntnispsychologie, und beide sind, wie alle naturwissenschaftlichen Theorien, vorläufige unvollkommene Versuche.“

Bei der Aufsuchung eines Standpunktes, den er nicht zu wechseln brauchte, wenn er von der Physik zur Physiologie und Psychologie überging, ging Mach von dem natürlichen Weltbild aus, wie es ein jeder Mensch ohne sein Zutun bei geistigem Erwachen in sich vorfindet. Mach analysiert das natürliche Weltbild; das Ergebnis der Ana-

lyse ist seine Elementenlehre. Die physischen Befunde lassen sich in derzeit nicht weiter auflösbare Elemente auflösen: Farben, Töne, Drücke, Wärmen, Räume, Zeiten usw. Diese Elemente zeigen sich abhängig sowohl von Umständen, welche außerhalb der räumlichen Umgrenzung des eigenen Körpers, als auch von solchen, welche innerhalb derselben liegen. Insofern und nur insofern letzteres der Fall ist, nennen wir diese Elemente auch Empfindungen. Das Physische und das Psychische enthält also gemeinsame Elemente — wo Mach für „Element, Elementenkomplex“ die Bezeichnung „Empfindung, Empfindungskomplex“ gebraucht, muß man sich gegenwärtig halten, „daß die Elemente nur in der bezeichneten Verbindung und Beziehung, in der bezeichneten funktionalen Abhängigkeit Empfindungen sind. Sie sind in anderer funktionaler Beziehung zugleich physikalische Objekte“. Unter den Elementen gibt es eine Gruppe von Elementen, wie Willensregungen, Gefühle, Erinnerungsbilder usw. Das natürliche Weltbild bezeichnet relativ beständige Elementenkomplexe von Farben, Tönen, Wärmen, Drücken usw., als Körper; unter diesen findet sich ein durch Besonderheiten ausgezeichnete Komplex, der unser Leib heißt. Der Komplex der Elemente Willensregungen, Gefühle, Erinnerungsbilder usw. wird gewöhnlich mit dem Komplex „Leib“ vereinigt als „Ich“ der Körperwelt entgegengestellt, zuweilen wird auch der erste Komplex allein als „Ich“, alle anderen Komplexe einschließlich des Leibes als Körperwelt zusammengefaßt. Bei genauer Beobachtung zeigt sich, daß alle diese Komplexe miteinander funk-

tional zusammenhängen. Änderungen in der „Körperwelt“ ziehen Änderungen im „Ich“ nach sich, aber auch umgekehrt. Das natürliche Weltbild und damit das gewöhnliche Denken und Sprechen sind bestimmt durch die Stärke des Zusammenhanges zwischen den Elementenkomplexen, welche die Sonderung der Gruppen „Ich“ und „Körperwelt“ ohne Zutun des Nachdenkens herbeiführen. Verschiedene Umstände, darunter vor allem die biologische Bedeutung, verhindern, daß die Fortpflanzung mancher Veränderungen aus dem einen Komplex in den andern, insbesondere aus dem „Ich“ in die „Körperwelt“ beachtet wird. Erst der Imperativ des wissenschaftlichen Forschungsdranges erzwingt die Einstellung der Aufmerksamkeit auf die hierhergehörigen Tatsachen.

Der Komplex aller Elemente bildet die Welt. Diese ist aber ein zusammenhängender Komplex, welcher, an irgendeinem Element angefaßt, ganz in Bewegung gerät. Freilich ist die Ausdehnung des Bereiches, innerhalb welches die Bewegung auffallend ist, je nach dem Ausgangselement sehr verschieden. „Ein Magnet in unserer Umgebung stört die benachbarten Eisenmassen, ein Stürzen des Felsstück erschüttert den Boden, das Durchschneiden eines Nerven aber bringt das ganze System von Elementen in Bewegung. Ganz unwillkürlich führt das Verhältnis zu dem Bilde einer zähen Masse, welche an mancher Stelle (dem Ich) fester zusammenhängt.“

Nach bestreitet die Möglichkeit, die Welt mit absoluten Begriffen aufbauen zu können. Wir sind nur umstände, das gegebene natürliche Weltbild zu analysieren.

Das derzeitige Ende dieser Analyse sind die Elemente, die bisher nicht weiter zerlegt werden konnten, ohne daß die Möglichkeit auszuschließen ist, daß die Analyse derselben in Zukunft noch weiter getrieben werden kann. Für diesen Standpunkt gibt es keine Kluft zwischen Körpern und Empfindungen, zwischen außen und innen, zwischen der materiellen und der geistigen Welt. Das Hineindenken in diesen Standpunkt ist freilich nicht leicht. Es erfordert radikale Ausstoßung der an das natürliche Weltbild anknüpfenden Denkgewohnheiten, welche um so schwerer fällt, als sich diese nicht bloß für das Leben, sondern auch innerhalb der Spezialwissenschaften als außerordentlich tragfähig erwiesen haben. So daß es nicht zu verwundern ist, daß Machs Standpunkt selbst von hervorragenden Forschern, die innerhalb ihrer Wissenschaft außerordentliche Kraft der Abstraktion bewährt haben, mit Leidenschaft bekämpft worden ist.

In Machs Anschauungskreis ist kein Platz für den philosophischen Begriff der Substanz. Wir sind gewöhnt, einen Körper als etwas Beständiges anzusehen. Indem wir nun einmal dies, ein andermal ein anderes sinnliches Element weglassen, ohne daß der Rest aufhörte, den Körper zu repräsentieren, in Erinnerung zu rufen, geraten wir auf die Vorstellung, daß noch immer etwas übrig wäre, wenn wir alle Elemente wegließen, es bildet sich die Vorstellung eines außersinnlichen Trägers der Eigenschaften, einer Substanz des Körpers im philosophischen Sinne. Diese Idee zerfließt aber in der Analyse, sie erweist sich als ein Produkt der dichtenden Phantasie. Be-

ständiger als alles, was man bisher Substanz genannt hat, erweist sich die Beständigkeit der Verbindung der Reaktionen, welche die physikalischen Sätze darlegen, sie sind die höchste Substanzialität, welche die Forschung bisher enthüllen konnte.

Besonderer Hervorhebung bedarf auch in dieser knappen Übersicht die in der vorstehenden Darlegung der Elementenlehre schon angedeutete Beantwortung des Ich-Problems, welche Mach vom Standpunkt seiner Grundansicht entwickelt. Nicht das Ich ist für Mach das Primäre, sondern die Elemente. „Die Elemente bilden das Ich. Ich empfinde Grün, will sagen, daß das Element Grün in einem Komplex von anderen Elementen (Empfindungen, Erinnerungen) vorkommt. Wenn ich aufhöre Grün zu empfinden, wenn ich sterbe, so kommen die Elemente nicht mehr in der gewohnten, geläufigen Gesellschaft vor. Damit ist alles gesagt.“ Für die Spezialforschung ist es unter Umständen zweckmäßig, nicht bis auf die Elemente zurückzugehen, sondern mit Elementenkomplexen zu beginnen oder auch dauernd zu operieren. Solche Elementenkomplexe sind für den Physiker die Körper, für den Psychologen das Ich. Soweit ist alles in Ordnung. Die Scheinprobleme entstehen mit Bildung des Substanzbegriffes (Materie, Seele); solche Probleme lassen sich nur auflösen, wenn man die Komplexe analysiert und auf die Elemente zurückgeht. Die Welt besteht also für Mach nicht aus rätselhaften Wesen, den „Körpern“, welche mit einem andern ebenso rätselhaften Wesen, dem „Ich“, die allein zugänglichen „Empfindungen“, wie

Farben, Räume, Zeiten, Töne usw. erzeugen; vielmehr sind die Farben, Räume, Zeiten, Töne usw. die vorläufig letzten Elemente, welche die Körper, welche das Ich aufbauen. Die Aufgabe der Forschung ist es, den gegebenen Zusammenhang dieser Elemente, ihre funktionale Abhängigkeit voneinander aufzudecken. Untersuchen wir die Abhängigkeiten zwischen Elementen der Körperwelt, so treiben wir Physik (im weitesten Sinn), untersuchen wir die Abhängigkeiten zwischen Elementen der Körperwelt und des Ich, so treiben wir Physiologie und Psychologie. Die große Kluft zwischen physikalischer und psychologischer Forschung verschwindet aber von dem Standpunkt der Elementenlehre: „Eine Farbe ist ein physikalisches Objekt, sobald wir z. B. auf ihre Abhängigkeit von der beleuchtenden Lichtquelle (andern Farben, Wärmen, Räumen usw.) achten. Achten wir aber auf ihre Abhängigkeit von der Netzhaut, so ist sie ein psychologisches Objekt, eine Empfindung. Nicht der Stoff, sondern die Untersuchungsrichtung ist in beiden Gebieten verschieden.“

In der Erforschung der funktionalen Abhängigkeiten besteht die Ergründung der Wirklichkeit. Auch hier dürfen wir uns durch die für praktische Zwecke gebildeten Zusammenfassungen, wie Körper, Ich, Geist, Materie . . . , nicht hindern und durch ihre biologische Bedeutung in ihrer erkenntnistheoretischen Beurteilung nicht verführen lassen.

Bemerkenswert ist, was Mach über die Einstellung des Spezialforschers z. B. des Physikers gegenüber erkenntnis-kritischen Erwägungen sagt. Er ist der Ansicht,

daß sich der Spezialforscher durch solche Überlegungen nicht allzusehr beunruhigen zu lassen braucht. Seine Begriffe würden, sofern sie sich als unzureichend erweisen sollten, schnell genug durch die Tatsachen berichtigt. Wenn es sich aber um die Verbindung von Nachbargebieten von verschiedenem und eigenartigen Entwicklungsgang handelt, so kann dieselbe nicht mit Hilfe der beschränkteren Begriffe eines engen Spezialgebietes vollzogen, hier müssen durch allgemeinere Erwägungen für das weitere Gebiet ausreichende Begriffe gebildet werden. „Nicht jeder Physiker ist Erkenntniskritiker, nicht jeder muß oder kann es auch nur sein. Die Spezialforschung beansprucht eben einen ganzen Mann, die Erkenntnistheorie aber auch.“ Aus dem letzten wörtlich angeführten Satz klingt ein Ton der Abwehr. In der Tat ist auch diese ganze Auseinandersetzung eine Antwort an Max Planck.

Mach hat das nicht seltene Schicksal bedeutender Denker, die einen neuen Standpunkt der Weltbetrachtung gefunden haben, reichlich an sich erfahren. Bei aller Anerkennung für die Einzelleistungen Nichtbeachtung, Mißverständnis oder scharfe Opposition gerade gegen die Hauptgedanken, welche in der Geschichte der Wissenschaft seiner Erscheinung das charakteristische Gepräge geben werden. Es ist ganz natürlich, daß der Widerspruch aus jenem Arbeitsgebiet am lautesten tönte, aus welchem Mach seinen Aufstieg zu den allgemeinen Problemen genommen hat: der Physik. Seine Stellung zur Atomtheorie mußte zu prinzipiellen Erörterungen führen, als diese Theorie einen erneuten Aufschwung nahm, und von

da aus führte die Betrachtung folgerichtig zur Kritik seiner Wissenschaftstheorie überhaupt. Das Prinzip der Ökonomie wurde als hemmend, den Flug der Phantasie lähmend gebrandmarkt. Gegen diesen Vorwurf ist zu erwidern, daß das Ökonomieprinzip von Mach nicht als Regula philosophandi aufgestellt, sondern auf Grundlage seiner kritischen und historisch-kritischen Untersuchungen als Ausdruck der Tendenz ausgesprochen wurde, welche das Werden der Wissenschaft und ihre weitere Entwicklung beherrscht. Daraus folgt aber nicht, daß der Einzelne seine Arbeit durch dasselbe bewusst bestimmen lassen müsse oder solle. Der Weg des einzelnen Forschers sowohl als der ganzer Epochen ist nicht immer der kürzeste, das Ökonomieprinzip ist gewissermaßen ein makroskopischer Satz wie der zweite Hauptsatz der Thermodynamik es vom Standpunkt der mechanischen Theorie der Wärme aus ist. Der Einzelne folgt dem Ökonomieprinzip, auch wenn er sich auf einem Wege befindet, der später verlassen wird. Als Newton seine Lichttheorie aufstellte, strebte er zu dem Ziele, einen Rahmen zu schaffen, der nicht nur die von ihm in Betracht gezogenen optischen Erscheinungen umfassen sollte, genau so wie Huyghens mit seiner Lichttheorie, aber keiner von beiden konnte voraussehen, wie sich seine Theorie gegenüber neuen Entdeckungen der Zukunft bewähren würde. Es ist gar nicht nötig, daß sich der Einzelne bei seiner wissenschaftlichen Forschungsarbeit ökonomische Gesichtspunkte zum Leitmotiv nimmt, denn in der Forschungsarbeit an sich liegt eine ökonomische Tendenz. Damit entfällt auch die Schwierigkeit, im Einzel-

fall festzustellen, worauf sich die Forderung der Ökonomie eigentlich beziehen solle. „Für den einen bedeutet sei ein Minimum an Hypothesen, für den anderen etwa ein Minimum an Energiearten.“ (Frank: Die Bedeutung der physikalischen Erkenntnistheorie Machs für das Geistesleben der Gegenwart. Die Naturwissenschaften, 5. Jahrgang, Heft 5, 2. Februar 1917, S. 69.) Für das Machsche Prinzip ist das gleichgültig, es kommt auf „Bequemlichkeit und Ersparnis im Denken“ an, was, wie wir hinzufügen können, für den experimentellen Forscher das Minimum an Aufwand von Versuchen und Apparatur zur Erreichung des erstrebten Zieles bedeutet. Innerhalb seiner Grundauffassung gehorcht auch der Atomist dem Ökonomieprinzip, ob er bei seiner Arbeit daran denkt oder nicht; für den Experimentator ist es stets bewußt leitender Gesichtspunkt wie für den konstruierenden Techniker. Diese Tatsache ist gewissermaßen ein experimenteller Beweis für das Machsche Prinzip. Sieht man näher zu, so zeigt sich auch, daß der erwähnte Vorwurf in Wirklichkeit gegen Machs Ideal einer phänomenologischen Physik gerichtet ist und das Ökonomieprinzip nur insofern berührt, als dieses für Mach das Motiv für die Bevorzugung der phänomenologischen gegenüber der atomistischen Physik ist.

Wir sind der Meinung, daß selbst die Anerkennung der Moleküle und Atome als „Realitäten“, die Mach abgelehnt hat¹⁾, dem Ideal der phänomenologischen Phy-

¹⁾ Welchen heuristischen Wert Mach der Atomtheorie beigelegt hat, geht vielleicht am besten daraus hervor, daß er

sik nicht widerspricht. Es erscheint uns nicht ausgeschlossen, daß die jüngsten Untersuchungen über Brownsche Bewegung, über die Interferenz der Röntgenstrahlen u. ä. Mach selbst bewogen haben könnten, Moleküle und Atome als „beständige Elementenkomplexe“ anzuerkennen. Sobald aber die Tatsachen zu der Überzeugung führen, daß Moleküle und Atome in diesem Sinne Realitäten sind, hat der Physiker das Recht, sie in dem Aufbau seiner Wissenschaft genau so zu verwenden wie die „Körper“ selbst. Sie werden dann eben Bausteine für das Gebäude der physikalischen Phänomenologie, das nun zwar eine Verfeinerung seiner Struktur, aber keine prinzipielle Veränderung erfährt. Die Machsche Konstatierung, daß die Physik „ökonomische Beschreibung“ ist, wird dadurch ebensowenig erschüttert als seine Lehre, daß die mechanistische Grundansicht nicht fähig ist, der Gesamtheit des Geschehens gerecht zu werden. Man kann sich vom Machschen Standpunkt aus ohne Widerspruch die spöttische Bemerkung Plancks zu eigen machen: „Es würde mich gar nicht wundern, wenn ein Mitglied der Machschen Schule eines Tages mit der großen Entdeckung herauskäme, daß . . . die Realität der Atome gerade eine Forderung der wissenschaftlichen Ökonomie ist“ — vorausgesetzt freilich, daß sich eine Einigung über den Be-

aus der Schrift von Kahlbaum und Schaer über Schönbein hervorhebt: „Ebendasselbst wird auch dargelegt, wie sehr Schönbein den Mitforschenden gegenüber (in der Donfrage) im Nachteil war, weil er die Hilfe der atomistischen Vorstellungen verschmähte“.

Lampa, Ernst Mach.

4

49

griff der Realität erzielen ließe. Hier würde der innerste Kern der Divergenz zwischen Mach und Planck zum Vorschein kommen und klar hervortreten, daß es sich in diesem Streit letzten Endes um den Substanzbegriff, also einen metaphysischen Begriff handelt.

Ähnlich liegt es wohl auch in der Kontroverse über Machs Auffassung der Kausalität. Die ablehnende Stellung vieler Philosophen wird auch von Physikern geteilt. So sagt der hervorragende Theoretiker A. Sommerfeld in seinem Festartikel zu Plancks sechzigstem Geburtstag über die Diskussion zwischen Planck und Mach: „Hier galt es für Planck das Recht der physikalischen Forschung auf freie Hypothesenbildung, den Glauben an die Einfachheit und Schönheit der Naturgesetze, die Gesundheit der physikalischen Weltanschauung zu verteidigen gegenüber einer Philosophie, die die Naturgesetze zu bloßen funktionalen Abhängigkeiten ohne kausale Färbung heruntersetzen und die Naturwissenschaften nur als eine ‚ökonomische Anpassung unserer Gedanken an unsere Empfindungen‘ hinstellen wollte.“ (Die Naturwissenschaften, Jahrgang 6, Heft 17, 26. April 1918, S. 199.) Dieser Ausspruch, welcher in seiner Wiedergabe Machscher Lehren sehr anfechtbar ist, gibt keine genügende Grundlage für eine Diskussion, da eine Definition des Begriffes „kausale Färbung“ fehlt. Es mag darum dahingestellt bleiben, ob für Sommerfeld die Elimination der Transszendenz der Grund für die Ablehnung der Machschen Kausalitätsauffassung bildet oder nicht. Eine Auseinandersetzung mit den Ausführungen von Machs philosophischen

Gegnern, welche den Rahmen dieser Schrift überschreiten würde, soll an anderer Stelle gegeben werden.

Uns zu Machs Büchern zurückwendend, können wir seine „Populärwissenschaftlichen Vorlesungen“ (4. Aufl. 1910) nur erwähnen, sein letztes großes Werk „Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung“ (1. Aufl. 1905, 3. Aufl. 1917) nur kurz streifen. Diese beiden Werke bilden den bequemsten Zugang zu Machs Gedankenwelt. Während aber in den Vorlesungen bloß Einzelbilder geboten werden, gibt die zusammenhängende Darstellung des zweiten Werkes eine für das systematische Studium geeignete Einführung. In „Erkenntnis und Irrtum“ hat Mach nach seinem eigenen Ausdruck versucht, „die Psychologie der Forschung auf autochthone Gedanken der Naturwissenschaft zurückzuführen“. Unter den Naturforschern wird insbesondere dem Physiker der hier eingeschlagene Weg den allgemeinen erkenntnistheoretischen Standpunkt Machs leichter erfaßbar machen als die unvermittelte, seinen Denkgewohnheiten fremdartige Darstellung in der „Analyse“, welche freilich darum nicht überflüssig wird. „Erkenntnis und Irrtum“ macht deutlich, daß für Mach die Erkenntnistheorie Biologie des Erkennens ist. Es erscheint nicht undenkbar, daß, sowie die Entwicklungslehre zum Verständnis der Entwicklung des Erkennens beizutragen vermag und gerade auf Mach in diesem Sinne von starkem Einfluß gewesen ist, umgekehrt die Biologie des Erkennens für die allgemeine Biologie (im allgemeinsten Sinne) anregend wirken kann. Die Analogien zwischen Tatsachen zweier Forschungsge-

biete sind für jedes derselben belehrend und Quellpunkte neuer Ideenentwicklungen. Das Gehirn ist ein Komplex von Einzelwesen mit (enger) gegenseitiger Bindung, die Lebewesen der Erde bilden in ähnlicher Weise einen Komplex von Einzelwesen mit (engerer oder loserer) Bindung. Hier Anpassung an die physischen Lebensbedingungen (Medium, Klima usw.), dort Anpassung der Gedanken an die Tatsachen; hier Anpassung an die Einflüsse der gegenseitigen Bindung, dort Anpassung der Gedanken aneinander. Dies nur als Beispiel einer Analogie, wie wir sie im Auge haben. Die Analogie zwischen Gedächtnis und Vererbung ist ein weiteres berühmtes Beispiel. Diese Analogie hat zu bedeutenden biologischen Untersuchungen Anstoß gegeben.

Unser Überblick über Machs Lebensarbeit ist am Ende angelangt. So lückenhaft er auch ist, so hoffen wir doch, daß er die imposante Geschlossenheit der gedanklichen Leistung des großen Forschers erkennen läßt. Schon in jungen Jahren brach bei Mach das Interesse für allgemeine Probleme durch. Als er kaum dem Knabenalter entwachsen war, er war damals fünfzehn Jahre alt, fielen ihm in der Bibliothek seines Vaters, von dem er viele Züge der intellektuellen und moralischen Verfassung geerbt hat, Kants Prolegomena zu jeder künftigen Metaphysik in die Hand. Dieses Buch bewährte auch bei ihm die so oft beobachtete Wirkung der Kantischen Philosophie; es zerriß den Schleier der naiven realistischen Weltansicht. Aber bald empfand er, wie er sich ausdrückt, die müßige Rolle, die das „Ding an sich“ spielt. Hiermit war die Abkehr

von dem transzendentalen Idealismus Kants eingeleitet. Trotzdem ist ein gewisser idealistischer Zug in Machs Denken unleugbar. Er geht aber, wie mir scheint, nicht so sehr auf jene idealistische Phase seines Denkens als auf die idealistische Anlage seiner moralischen Persönlichkeit zurück und äußert sich wesentlich nur in negativer Richtung: er hat es ihm erleichtert, sich von den Urteilen der „natürlichen“ Auffassung, deren praktische, biologische Bedeutung er nicht hoch genug werten zu müssen glaubte, frei zu halten. Schon am Gymnasium lernte er durch seinen Lehrer, Vater Bessely die Entwicklungslehre Lamarcks und Darwins kennen. Er erkannte frühzeitig ihre Bedeutung für die Erkenntnistheorie. Die ständige Beachtung entwicklungstheoretischer Gesichtspunkte ist für Machs psychologische und erkenntnistheoretische Untersuchungen charakteristisch. Erwähnen wir noch die intellektuelle Erschütterung, welche ihm Lichtenbergs bekannter Ausspruch bereitete, nach welchem man statt „Ich denke“ zutreffender sagen sollte „Es denkt“, so haben wir die äußeren Einflüsse in seiner Jugendzeit erschöpft. Schon im Alter von siebzehn bis achtzehn Jahren hat er ein Erlebnis, in welchem das Resultat seiner halb unbewußten geistigen Arbeit gefühlsmäßig zum Durchbruch kommt, etwa so, wie der jugendliche Buddha bei seiner ersten Ausfahrt in die Welt die Wahrheit vom Leiden und den Weg der Erlösung erschaut. Mach erzählt: „An einem heiteren Sommertage im Freien erschien mir einmal die Welt samt meinem Ich als eine zusammenhängende Masse von Empfindungen, nur im Ich stärker zu-

sammenhängend. Obgleich die eigentliche Reflexion sich erst später hinzugesellte, so ist doch dieser Moment für meine ganze Anschauung bestimmend geworden.“ Diesem Erlebnis verdankte er auch das feine psychologische Verständnis für die Rolle des halb instinktiven Erschauens bei den großen Forschern, wie z. B. bei Galilei. In späterer Zeit übten noch Herbart und Fechner einen starken, aber bloß anregenden Einfluß auf ihn, Hume hat er erst kennen gelernt, nachdem er seinen eigenen Standpunkt schon gefunden hatte. Nicht unwesentlich ist der starke künstlerische Einschlag in seiner Persönlichkeit, der zum Teil ein Erbe seiner Mutter war. Er befähigte ihn zu dem vollendeten Stil, den wir in allen seinen Schriften bewundern können. Bedauerlicherweise hat die Schönheit seiner Darstellung gelegentlich die unerwünschte Wirkung gehabt, die volle Bedeutung seiner Gedanken zu verhüllen. Man muß sich bei der Lektüre Machscher Schriften hüten, sich durch die Leichtigkeit der Diktion und durch das Fehlen philologischer Schwierigkeiten zu allzurastem Lesen hinreißen zu lassen. Machs Gedanken erschließen sich aus seinen künstlerisch geformten Sätzen nur dem ganz, der sie in Wahrheit nachdenkt.

Machs geistige Überlegenheit ist im Vereine mit der tiefen Güte seiner Natur die Quelle einer nicht gewöhnlichen Schalkhaftigkeit, die sich in den lebenswürdigsten Einfällen intellektuellen Wizes äußerte. Das charakteristischste Beispiel ist vielleicht das folgende. In einer Schrift des Philosophen Chr. Fr. Krause, die ein Bekannter ihn zu lesen nötigte, fand Mach folgende Stelle:

„Aufgabe: Die Selbstanschauung ‚Ich‘ auszuführen.

Auflösung: Man führt sie ohne weiteres aus.“

Um zu zeigen, wie man wirklich die Selbstanschauung „Ich“ ausführt, entwarf Mach die in der „Analyse der Empfindungen“ (7. Aufl., S. 15) reproduzierte Zeichnung. Machs „Ich“ ist dabei monokular, mit dem linken Auge „selbstgeschaut“.

Der geistreiche Witz, von welchem Mach allerdings sehr sparsamen Gebrauch macht, erinnert an Lichtenberg, dessen intellektueller Charakter überhaupt viele mit dem intellektuellen Charakter Machs übereinstimmende Züge zeigt. Für Lichtenberg wie für Mach ist das unbeirrbare Streben nach geistiger Klarheit, die Kraft selbständiger Auffassung, das starke Interesse für physikalische und psychologische Probleme charakteristisch. Während aber bei Lichtenberg die Geduld zu einer langwierigen systematischen Arbeit fehlt, so daß er den Reichtum seiner Natur in einem Feuerwerk sprühender Einfälle verausgabte, folgt bei Mach dem Einfall immer die konzentrierte Arbeit. Wenn Lichtenberg z. B. sagt: „Wenn das Licht trotz seiner Geschwindigkeit noch eine Schwere hat, so würde doch so etwas wie Refraktion am Horizonte erscheinen müssen, weil es von der Erde stark gezogen wird. Eigentlich wäre es Inflexion, durch die ganze Masse der Erde bewirkt¹⁾“, — so bleibt es eben ein geistreicher Einfall, ohne jede Folge für die Entwicklung der Wissenschaft. Welche Bedeutung die konsequente Verfolgung dieses Einfalls für die Physik gehabt hätte, vermögen wir ja heute

¹⁾ ebenda, S. 261

deutlich zu sehen. Hätte es zu Lichtenbergs Zeiten schon Eisenbahnen gegeben, so hätte Lichtenberg höchstwahrscheinlich denselben Einfall bezüglich der Schiefstellung der Häuser und Bäume beim Durchfahren einer Kurve gehabt wie Mach; ob eine systematische Untersuchung über Bewegungsempfindungen gefolgt wäre, ist mehr als fraglich.

Die ungewöhnliche Kraft der Konzentration eines so vielfältigen, selbständig erworbenen Erfahrungsmaterials befähigte Mach zu der hohen erkenntnistheoretischen Leistung, in welcher seine gesamte wissenschaftliche Arbeit wie in einem Brennpunkt gesammelt erscheint. Wie alles, was aus dem gewohnten Vorstellungskreis herausfällt, fand diese Leistung nur langsam den Weg in das Bewußtsein der Zeitgenossen. Nur was gegen den Widerstand sich durchzuringen vermag, hat die Kraft, neue Wege zu erschließen. Heute freilich ist die Bedeutung der Machschen Erkenntnistheorie durch ihre Ausstrahlung in die verschiedensten Wissensgebiete einem weiteren Kreis offenbar geworden und um Mach ist es etwa seit einem Jahrzehnt nicht mehr so einsam wie vor rund vierzig Jahren. Andere, von den Philosophen insbesondere Avenarius, sind auf anderen Wegen zu einem ähnlichen Standpunkt gelangt. Für den Naturforscher aber wird Machs Weg immer der gangbarste bleiben, denn er ist, um Machs Ausdruck zu wiederholen, durch autochthone Gedanken der Naturwissenschaft erschlossen. Der Naturforscher, der aus dem Gehege seiner Spezialdisziplin heraus nach einem übersichtlicheren Standpunkt, nach einer „Welt-

ansicht" strebt, wird an Mach nicht vorübergehen können. Ob er ihm dann folgen will und kann, oder nicht, die erregende Wirkung der Machschen Gedanken, die Erschließung eines ganz neuen, weiteren Gesichtskreises wird ihre befreiende Wirkung nicht versagen.

Mit großer Entschiedenheit hat Mach betont, daß es keine Machsche Philosophie gibt. Darin wollen wir ihm zustimmen, denn er hat keine systematische Bearbeitung der verschiedenen Gebiete durchgeführt, welche nach dem feststehenden Begriff der Philosophie zu ihr gerechnet werden. Aber er hat einen philosophischen Standpunkt gefunden, von welchem aus eine systematische Bearbeitung dieser verschiedenen Gebiete denkbar ist. In seinen Werken finden sich kurze, gelegentliche Bemerkungen über die verschiedensten philosophischen Gegenstände, aus denen sich ergibt, daß sein Nachdenken einen viel größeren Teil des Gesamtgebietes der Philosophie umspannt hat als denjenigen, welchen er systematisch bearbeitet hat. Seine Aufmerksamkeit war nicht auf das bearbeitete Teilgebiet eingeschränkt und darum dürfen wir ihn wohl als Philosophen bezeichnen, obzwar er diesen Titel auch abgelehnt hat. Aus diesen verstreuten Bemerkungen sowohl wie aus seinem praktischen Verhalten vermögen wir uns ungefähr ein Bild zu machen, welche Gestalt eine Machsche Philosophie erhalten hätte, wenn er sie ausgearbeitet hätte. Daß es zu ihrer Ausarbeitung nicht kam, mögen wir bedauern, aber wir können es verstehen: es hat ihm, wenn vielleicht auch nicht gelegentlich an Lust, so doch gewiß an Zeit dazu gefehlt. Und wenn wir vor die Wahl gestellt

wären, so würden wir ohne Bedenken erklären, daß wir leichter auf das verzichten können, was er nicht gemacht hat, als auf das, was er gemacht hat. So einzigartig sind seine kritischen und historisch-kritischen Untersuchungen zur Physik und seine sinnesphysiologischen Leistungen.

Mach war ein Philosoph und zwar auch ein Philosoph in dem höchsten Sinne, welchen man mit dieser Bezeichnung verbinden kann, das ist ein Führer der Menschheit, ein Wegweiser zu einem Ideal. Die Wissenschaft ist ihm das Schwert, welches den Weg zum Ziel bahnen soll und kann. Er ist Utilitarist. Aber sein Utilitarismus wird durch die höchste sittliche Idee bestimmt und dadurch von den letzten Schlacken elementarer Instinkte befreit. Denn das Ideal, das ihm vorschwebt, ist die sittliche Weltordnung. Die nüchterne Kritik, die ehrwürdige Vorstellungen von ihrem Throne stößt, ist ihm nicht Zweck, sondern Mittel zu dem Höchsten, was wir Menschen erstreben können. Er malt keine Utopie, sondern er stellt ein Ziel vor uns hin, von dessen Erreichbarkeit wir überzeugt sein dürfen, weil wir das Mittel zu seiner Erreichung, die Wissenschaft, schon in der Hand haben.

Das Ideal der sittlichen Weltordnung ist bei Mach nicht das Ergebnis einer theoretischen Spekulation, sondern eine aus seinem warmfühlenden Herzen, seinem „buddhistischen“ Gewissen stammende Forderung. Dies spricht er in „Erkenntnis und Irrtum“ selbst mit den folgenden Worten klar aus: „Bedenken wir die Qualen, welche unsere Vorfahren unter der Brutalität ihrer sozialen Einrichtungen, ihrer Rechts- und Gerichtsverhältnisse, ihres

Uberglaubens, ihres Fanatismus zu erdulden hatten, erwägen wir die reichliche Erbschaft der Gegenwart an diesen Gütern, stellen wir uns vor, was wir davon noch in unseren Nachkommen miterleben werden, so ist uns dies ein genügend mächtiger Antrieb, an der Verwirklichung des Ideales einer sittlichen Weltordnung mit Hilfe unserer psychologischen und soziologischen Einsichten eifrig und kräftig mitzuarbeiten.“ Der unmittelbare Antrieb zur Postulierung des Ideals einer sittlichen Weltordnung liegt also für Mach in dem Leiden. Auch hier ist alles Metaphysische ausgeschaltet. Sein ethischer Standpunkt ist durch einen Satz bestimmt, den er an anderer Stelle ausgesprochen hat: „Alles ist ja nur für uns Menschen, an sich hingegen ist nichts.“

In seiner Persönlichkeit hat Mach den Willen zur sittlichen Weltordnung in reinsten Erscheinung zum Ausdruck gebracht. Ich habe Mach kennen gelernt, nachdem er sich, veranlaßt durch sein körperliches Leiden, vom Lehramt zurückgezogen hatte. Ich war, als ich mich auf den Weg zu ihm begab, gewiß, dem Eindruck einer bedeutenden, genialen Persönlichkeit entgegenzugehen, aber ich war nicht gefaßt auf das, was ich erlebte. Es war etwas ganz anderes, als was ich bis dahin an überragenden Geistern kennen gelernt hatte, etwas durchaus Verschiedenes von dem großen Forscher, dem großen Dichter; ich stand einem Heiligen gegenüber, der die letzten Reste der Erdschwere überwunden und aus dessen Augen die unbeirrbar gute des Allesverstehenden erstrahlte. Und wie ich ihn das erstemal gesehen, so habe ich ihn immer wieder gesehen.

In Machs Persönlichkeit erkannte ich den ungeschriebenen Teil der Machschen Philosophie.

Machs Ausgangspunkt für die Aufstellung seines ethischen Ideals deckt sich dem Ausdruck nach mit der ersten heiligen Wahrheit des Buddhismus, der heiligen Wahrheit vom Leiden. Machs Denken zeigt überhaupt eine bemerkenswerte Übereinstimmung seines charakteristischen Hauptzugs mit jenem der Denkart Buddhas: in der Ausschaltung des Metaphysischen¹⁾ und in der Verwerfung des Substanzbegriffs. Wir verweisen, um dies zu belegen, auf Oldenbergs „Buddha“, aus dem wir einige Stellen anführen wollen.

„Man hat den Gegensatz der brahmanischen und der buddhistischen Auffassung von der Existenz der Dinge so ausgedrückt, daß jene im Begriff des Werdens nur das Sein, diese nur das Nichtsein erfasse. Wir ziehen es vor, jede Wendung, welche den Buddhismus das Nichtsein als die wahre Substanz der Dinge hinstellen ließe, zu vermeiden und uns dahin auszudrücken, daß die Spekulation der Brahmanen in allem Werden das Sein, die der Buddhisten in allem scheinbaren Sein das Werden ergreift. Dort die kausalitätslose Substanz, hier die substanzlose Kausalität.“ ... „Wo die Quellen liegen, aus welchen diese Kausalität ihr Recht und ihre Macht schöpft, fragt der Buddhismus nicht. Er läßt die Welt des Entstehens und Vergehens ebensowenig von einem Gott ge-

¹⁾ Buddha übernimmt allerdings die allgemein indische Lehre von der Wiedergeburt, aber weitere metaphysische Spekulation lehnt er ab.

schaffen, wie von einem schöpferischen Naturgrunde aus seinem Innern heraus enthüllt werden. Er nimmt ihr Dasein, das Wirken des Weltgesetzes als Tatsache hin. Wollte man, keineswegs in vollem Einklang mit den Denkgewohnheiten des Buddhismus selbst, aussprechen, was in diesem Reiche der Endlichkeit das Absolute ist, könnte man als solches nur das regierende Weltgesetz der Kausalität nennen. Wo es kein Sein gibt, sondern allein Geschehen, kann als das Erste und Letzte nicht eine Substanz, sondern nur ein Gesetz erkannt werden.“ ... „Daß der Buddhismus die Existenz der Seele verneint, ist nicht unrichtig, aber man darf dies nicht in einem Sinne verstehen, der diesem Gedanken irgendwie ein materialistisches Gepräge aufdrücken würde. Es ließe sich mit demselben Recht sagen, daß der Buddhismus die Existenz des Körpers leugnet. Körper wie Seele existiert nicht als eine in sich selbst geschlossene Substanz, sondern allein als ein Komplex von mannigfaltig sich verschlingenden Prozessen des Entstehens und Vergehens ... Wir müssen uns der uns gewohnten Vorstellungsweise hier völlig entäußern. Pflegen wir unser Innenleben nur dann als ein verständliches gelten zu lassen, wenn wir seinen wechselnden Inhalt, jedes einzelne Gefühl, jeden einzelnen Akt des Willens in Beziehung auf ein und dasselbe bleibende Ich betrachten dürfen, so ist diese Art zu denken dem Buddhismus von Grund aus widerstrebend. Hier wie überall verwirft er den Halt, welchen wir dem Treiben der Kommenden und gehenden Ereignisse durch die Vorstellung einer Substanz, an oder in welcher sich jene ereignen, zu geben

lieben. Ein Sehen, ein Hören, ein Sichbewußtwerden, vor allem ein Leiden findet statt; eine Wesenheit aber, die das Sehende, das Hörende, das Leidende wäre, erkennt die buddhistische Lehre nicht an.“ ... „Die Kausalität, oder um das indische Wort (paticcasamuppāda) genauer wiederzugeben, das Entstehen (eines Dinges) in Abhängigkeit (von einem andern Dinge), stellt ein Verhältnis zwischen zwei Gliedern dar, von denen das eine und darum auch das andre in keinem Augenblick sich selbst gleich ist. Es gibt kein der Ordnung der Kausalität unterworfenen Sein, das sich nicht in ein Sichwandeln, in Geschehen auflöste. In dem fortwährenden, vom Naturgesetz der Kausalität beherrschten Oszillieren zwischen Sein und Nichtsein liegt allein die Wirklichkeit der Dinge, welchen Inhalt dieser Welt ausmacht.“ ... „Von Dingen oder Substanzen, in dem Sinne eines in sich selbst ruhenden Daseins, wie wir ihn mit diesen Worten zu verbinden pflegen, kann für den Buddhismus nach dem allen überhaupt nicht die Rede sein.“

Und so wie Buddha auf jede metaphysische Frage die Antwort weigert, — wofür die buddhistische Literatur die stehende Formel hat: „Das hat der Erhabene nicht offenbart“ — und das Denken des Fragers in den Bereich der Heilslehre verweist, so lehnt Mach in gleicher Weise alles Metaphysische als „müßig“ ab, wenn auch, seinem Ausgangspunkt entsprechend, aus anderen, d. i. aus erkenntnistheoretischen Gründen. Trotzdem ist auch hier ein verwandter Zug, das Prinzip der Denkökonomie, unverkennbar.

Nach weist auf diese Verwandtschaft des buddhistischen Denkens mit seinem eigenen selbst hin, indem er zu dem in der „Analyse der Empfindungen“ ausgesprochenen Satz: „Die Zumutung, sich auf der Sonne statt auf der Erde stehend als Beobachter zu denken, ist nun aber eine Kleinigkeit gegen die Forderung, sein Ich für nichts zu achten, dasselbe in eine vorübergehende Verbindung von wechselnden Elementen aufzulösen“ die Anmerkung hinzufügt: „Der Buddhismus kommt hier seit Jahrtausenden vorzugsweise von der praktischen Seite entgegen“.

Wohl ist, wie oben hervorgehoben, die erste Heilswahrheit Buddhas mit der ersten „Heilswahrheit“ Nachs dem Ausdruck nach identisch, aber sie ist es nicht dem Begriffe nach. Und darum muß auch die Heilslehre beider verschiedene Wege gehen. Aber darin kommen sie schließlich wieder überein: sie suchen die Erlösung in der Erkenntnis und dem von der Erkenntnis beherrschten Handeln. Das Leiden, das Buddha zum Nachdenken trieb, ist Geburt, Krankheit, Alter und Tod, von Liebem getrennt sein, mit Unliebem vereint sein, nicht erlangen, was man begehrt; das Leiden, welches Nach durch die Aufrichtung einer sittlichen Weltordnung zum Verschwinden bringen will, entstammt den Beziehungen der Menschen zueinander. Für das Leiden, von welchem Buddhas Lehre befreien will, hat die Wissenschaft keine andere Erlösung als die, welche in der bewußten Unterwerfung unter die Gesetzmäßigkeit des Geschehens liegt. Nach selbst hat sie in seinem schweren Leiden und in seinem Tod bewährt.

Es muß jedem Menschen überlassen werden, zu ent-

scheiden, ob er sich gegenüber Geburt und Tod, den Problemen Buddhas, mit der wissenschaftlichen Weltansicht begnügen könne oder nicht, unbedingt zu verwerfen ist jedoch die Leichterzigkeit, mit der mancher Denkfähige solchen Fragen aus dem Wege geht, ebenso wie die Unaufrichtigkeit oder Sophistil, die hier so häufig in schillerndem Aufputz tiefsinnige Philosophie vortäuschen. Wir wollen und können nicht demjenigen widersprechen, der hier eine Grenze des wissenschaftlichen Denkens überhaupt erblickt. Aber wir neigen uns in Ehrfurcht vor der sittlichen Größe, die sich angesichts dieser Probleme in gedanklicher Klarheit bei der unvollendeten wissenschaftlichen Weltansicht bescheidet.



Druck von Hesse & Becker in Leipzig.