

ERNST MACH

WEGBEREITER DER MODERNEN PHYSIK

MIT AUSGEWÄHLTEN KAPITELN AUS SEINEM WERK

VON

K. D. HELLER

HAIFA
ZENTRALBIBLIOTHEK
DER PHYSIKALISCHEN INSTITUTE
DER UNIVERSITÄT HEIDELBERG
MID-1990 Heidelberg, Philosophenweg 16, T. 43645

BIBLIOTHEK
DER PHYSIKAL. INSTITUTE
der Universität Heidelberg
HEIDELBERG

30.4.65

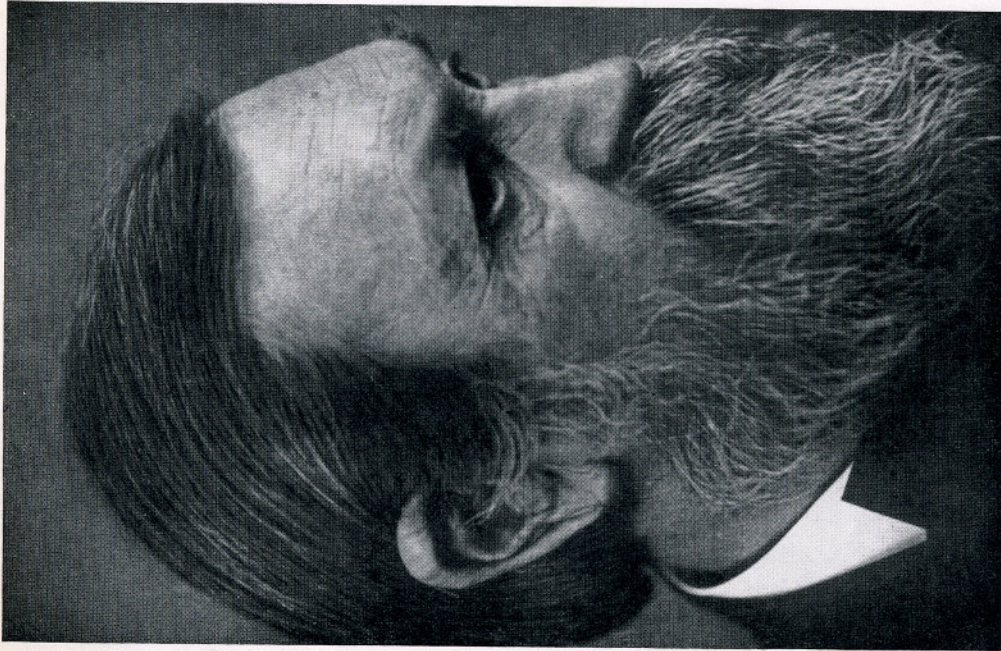


Inventarzeichen

4080

1964

SPRINGER-VERLAG
WIEN · NEW YORK



Th.B. phot.

MCM.

Dr Ernst Mach

INHALT

	Seite
Einleitung	1
Kindheit und Jugend	3
Studium und Dozentenjahre	11
Prag	16
Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit	23
Die Mechanik	30
E. Mach: Newtons Ansichten über Zeit, Raum und Bewegung	31
E. Mach: Übersichtliche Kritik der Newton'schen Aufstellungen	42
E. Mach: Die Ökonomie der Wissenschaft	48
Die Analyse der Empfindungen	65
Kleinpeter an Mach über Nietzsche	69
Engelmeyers Kritik der Mach'schen Erkenntnislehre	71
Petzoldts Kritik der „Analyse der Empfindungen“	76
Die Wärmelehre	78
E. Mach: Der Substanzbegriff	82
E. Mach: Kausalität und Erklärung	87
E. Mach: Das Ziel der Forschung	94
Philosophischer Lehrstuhl in Wien. Erkenntnis und Irrtum	96
E. Mach: Die Rassenfrage	99
E. Mach: Der Begriff	104
E. Mach: Sinn und Wert der Naturgesetze	119
Die Polemik Max Plancks gegen Mach. Machs Replik: Die Leitgedanken	133
Seine letzten Jahre	137
Machs Stellungnahme zur Relativitätstheorie	144
Anhang	151
Ernst Mach. Von A. Einstein	151
Einige Briefe an Ernst Mach	157
Nachwort. Von V. Kraft	168

BIBLIOTHEK
DER PHYSIKAL. INSTITUTE
 der Universität Heidelberg
HEIDELBERG

wissenschaftliches Tagebuch wurde nach seinem Tode von Ludwig an Dingler zur Veröffentlichung gegeben.

Die ablehnende Haltung des alternden Mach gegenüber Einstein, die wir psychologisch verständlich machen wollten, tritt historisch ganz zurück gegen die Bedeutung seiner bahnbrechenden Kritik der Newton'schen Mechanik. Mit dieser hat Mach sich in die unsterblichen Annalen der Geschichte des menschlichen Denkens eingeschrieben.

Nach Niederschrift dieses Kapitels veröffentlichte Fr. Herneck noch zwei Briefe Einsteins an Mach. (Fr. Herneck: Zum Briefwechsel Albert Einsteins mit Ernst Mach — Forschungen und Fortschritte, 37. Jg., Heft 8, Akademieverlag, Berlin.)

Der eine ist der zeitlich früheste vom 9. August 1909, der zweite undatiert, ein Neujahrsbrief (1911/12 oder 1912/13).

Es sei hier darauf aufmerksam gemacht, daß bis 1959 von einer Korrespondenz Einsteins mit Mach nichts bekannt war und vier Schreiben Einsteins an Mach von Herneck aufgefunden und wissenschaftlich ausgewertet wurden. Die Gegenbriefe Machs an Einstein waren nicht auffindbar.

ANHANG

Ernst Mach

Von

ALBERT EINSTEIN

(Aus „Physikalische Zeitschrift“¹ vom 1. April 1916)

In diesen Tagen schied von uns Ernst Mach, der auf die erkenntnistheoretische Orientierung der Naturforscher unserer Zeit von größtem Einfluß war, ein Mann von seltener Selbständigkeit des Urteils. Bei ihm war die unmittelbare Freude am Sehen und Begreifen, Spinozas amor dei intellectualis, so stark vorherrschend, daß er bis ins hohe Alter hinein mit den neugierigen Augen des Kindes in die Welt guckte, um sich wunschlos am Verstehen der Zusammenhänge zu erfreuen.

Wie kommt aber ein ordentlich begabter Naturforscher überhaupt dazu, sich um Erkenntnistheorie zu kümmern? Gibt es nicht in seinem Fache wertvollere Arbeit? So höre ich manche meiner Fachgenossen hierauf sagen, oder spüre bei noch vielen mehr, daß sie so fühlen. Diese Gesinnung kann ich nicht teilen. Wenn ich an die tüchtigsten Studenten denke, die mir beim Lehren begegnet sind, d. h. an solche, die sich durch Selbständigkeit des Urteils, nicht nur durch bloße Behendigkeit auszeichneten, so konstatiere ich bei ihnen, daß sie sich lebhaft um Erkenntnistheorie kümmerten. Gerne begannen sie Diskussionen über die Ziele und Methoden der Wissenschaften und zeigten durch Hartnäckigkeit im Verfechten ihrer Ansichten unzweideutig, daß ihnen der Gegenstand wichtig erschien. Dies ist fürwahr nicht zu verwundern.

Wenn ich mich nicht aus äußeren Gründen, wie Gelderwerb, Ehrgeiz und auch nicht oder wenigstens nicht ausschließlich des sportlichen Vergnügens, der Lust am Gehirn-Turnen wegen einer Wissenschaft zuwende, so muß mich als Jünger dieser Wissenschaft

¹ Verlag Hirzel, Leipzig.

die Frage brennend interessieren: Was für ein Ziel will und kann die Wissenschaft erreichen, der ich mich hingeebe? Inwiefern sind deren allgemeine Ergebnisse „wahr“? Was ist wesentlich, was beruht nur auf Zufälligkeiten der Entwicklung?

Um nun Machs Verdienst zu würdigen, darf man nicht die Frage aufwerfen: Was hat Mach in diesen allgemeinen Fragen erdacht, was kein Mensch vor ihm ersann? Die Wahrheit in diesen Dingen muß immer und immer wieder von kräftigen Naturen neu gemeißelt werden, immer entsprechend den Bedürfnissen der Zeit, für die der Bildner arbeitet; wird sie nicht immer neu erzeugt, so geht sie uns überhaupt verloren. So ist es schwer, und auch gar nicht so wesentlich, die Fragen zu beantworten: „Was hat Mach gelehrt, was gegenüber Bacon und Hume prinzipiell neu wäre?“ „Was unterscheidet ihn wesentlich von Stuart Mill, Kirchoff, Hertz, Helmholtz, was den allgemein erkenntnistheoretischen Standpunkt gegenüber den Einzelwissenschaften anlangt?“ Tatsache ist, daß Mach durch seine historisch-kritischen Schriften, in denen er das Werden der Einzelwissenschaften mit so viel Liebe verfolgt und den einzelnen auf dem Gebiete bahnbrechenden Forschern bis ins Innere ihres Gehirnstübchens nachspürt, einen großen Einfluß auf unsere Generation von Naturforschern gehabt hat. Ich glaube sogar, daß diejenigen, welche sich für Gegner Machs halten, kaum wissen, wieviel von Mach'scher Betrachtungsweise sie sozusagen mit der Muttermilch eingesogen haben.

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

Die Bedeutung solcher Geister, wie Mach, liegt nun keineswegs nur darin, daß sie gewisse philosophische Bedürfnisse der Zeit befriedigen, die der eingefleischte Fachwissenschaftler als Luxus bezeichnen mag. Begriffe, welche sich bei der Ordnung der Dinge als nützlich erwiesen haben, erlangen über uns leicht eine solche Autorität, daß wir ihres irdischen Ursprungs vergessen und sie als unänderliche Gegebenheiten hinnehmen. Sie werden dann zu „Denknotwendigkeiten“, „Gegebenen a priori“ usw. gestempelt. Der Weg des wissenschaftlichen Fortschrittes wird durch solche Irrtümer oft für lange Zeit ungangbar gemacht. Es ist deshalb durchaus keine müßige Spielerei, wenn wir darin geübt werden, die längst geläufigen Begriffe zu analysieren und zu zeigen, von welchen Umständen ihre Berechtigung und Brauchbarkeit abhängt, wie sie im einzelnen aus den Gegebenheiten der Erfahrung herausgewachsen sind. Dadurch wird ihre allzu große Autorität gebrochen. Sie werden entfernt, wenn sie sich nicht ordentlich legitimieren können, korrigiert, wenn ihre Zuordnung zu den gegebenen Dingen allzu nachlässig war, durch andere ersetzt, wenn sich ein neues System aufstellen läßt, das wir aus irgendwelchen Gründen vorziehen.

Derartige Analysen erscheinen dem Fachwissenschaftler, dessen Blick mehr auf das Einzelne gerichtet ist, meist überflüssig, gespreizt, zuweilen gar lächerlich. Die Situation ändert sich aber, wenn einer der gewohnheitsmäßig benutzten Begriffe durch einen schärferen ersetzt werden soll, weil es die Entwicklung der betreffenden Wissenschaft erheischt. Dann erheben diejenigen, welche den eigenen Begriffen gegenüber nicht reinlich verfahren sind, energischen Protest und klagen über revolutionäre Bedrohung der heiligsten Güter. In dies Geschrei mischen sich dann die Stimmen derjenigen Philosophen, welche jenen Begriff nicht entbehren zu können glauben, weil sie ihn in ihr Schatzkästlein des „Absoluten“, des „a priori“ oder kurz derart eingereiht hatten, daß sie dessen prinzipielle Unabänderlichkeit proklamiert hatten.

Der Leser errät schon, daß ich hier vorzugsweise auf gewisse Begriffe der Lehre von Raum und Zeit sowie der Mechanik anspiele, welche durch die Relativitätstheorie eine Modifikation erfahren haben. Niemand kann es den Erkenntnistheoretikern nehmen, daß sie der Entwicklung hier die Wege geebnet haben; von mir selbst weiß ich mindestens, daß ich insbesondere durch Hume und Mach direkt und indirekt sehr gefördert worden bin. Ich bitte den Leser, Machs Werk: „Die Mechanik in ihrer Entwicklung“ in die Hand zu nehmen und

die unter 6. und 7. im zweiten Kapitel gegebenen Betrachtungen („Newtons Ansichten über Zeit, Raum und Bewegung“ und „Übersichtliche Kritik der Newton'schen Aufstellungen“) zu lesen. Dort finden sich Gedanken meisterhaft dargelegt, die noch keineswegs Gemeingut der Physiker geworden sind. Diese Partien sind noch deshalb besonders anziehend, weil sie an wörtlich zitierte Stellen Newtons anknüpfen. Hier einige Rosinen:

Newton: „Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand. Sie wird auch mit dem Namen Dauer belegt.“

„Die relative, scheinbare und gewöhnliche Zeit ist ein fühlbares und äußerliches, entweder genaues oder ungleiches Maß der Dauer, dessen man sich gewöhnlich statt der wahren Zeit bedient, wie Stunde, Tag, Monat, Jahr.“

Mach: „... Wenn ein Ding A sich mit der Zeit ändert, so heißt dies nur, die Umstände eines Dinges A hängen von den Umständen eines anderen Dinges B ab. Die Schwingungen eines Pendels gehen in der Zeit vor, wenn dessen Exkursion von der Lage der Erde abhängt. Da wir bei Beobachtung des Pendels nicht auf die Abhängigkeit von der Lage der Erde zu achten brauchen, sondern dasselbe mit irgendeinem anderen Ding vergleichen können (...), so entsteht leicht die Meinung, daß alle diese Dinge unwesentlich seien. Wir sind außerstande, die Veränderungen der Dinge an der *Zeit* zu messen. Die Zeit ist vielmehr eine Abstraktion, zu der wir durch die Veränderung der Dinge gelangen, weil wir auf kein bestimmtes Maß angewiesen sind, da eben alle untereinander zusammenhängen.“

Newton: „Der absolute Raum bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand stets gleich und unbeweglich.“

„Der relative Raum ist ein Maß oder ein beweglicher Teil des ersteren, welcher von unseren Sinnen, durch seine Lage gegen andere Körper bezeichnet und gewöhnlich für den unbeweglichen Raum genommen wird.“

Dann folgt eine entsprechende Definition der Begriffe „absolute Bewegung“ und „relative Bewegung“. Hierauf:

„Die wirkenden Ursachen, durch welche absolute und relative Bewegung voneinander verschieden sind, sind die Fliehkräfte von der Achse der Bewegung. Bei einer nur relativen Kreisbewegung

existieren diese Kräfte nicht, aber sie sind kleiner oder größer, je nach Verhältnis der Größe der (absoluten) Bewegung.“

Es folgt nun die Beschreibung des wohlbekannten Eimerversuches, welcher die letzte Behauptung anschaulich begründen soll.

Die Kritik, welche Mach diesem Standpunkt zuteil werden läßt, ist sehr interessant; ich zitiere aus derselben einige besonders prägnante Stellen. „Wenn wir sagen, daß ein Körper K seine Richtung und Geschwindigkeit nur durch den Einfluß eines anderen Körpers K' ändert, so können wir zu dieser Einsicht gar nicht kommen, wenn nicht andere Körper $A, B, C \dots$ vorhanden sind, gegen welche wir die Bewegung des Körpers K beurteilen. Wir erkennen also eigentlich eine Beziehung des Körpers K zu $A, B, C \dots$. Wenn wir nun plötzlich von $A, B, C \dots$ absehen und von einem Verhalten des Körpers K im absoluten Raum sprechen wollten, so würden wir einen doppelten Fehler begehen. Einmal könnten wir nicht wissen, wie sich K bei Abwesenheit von $A, B, C \dots$ benehmen würde, dann aber würde uns jedes Mittel fehlen, das Benehmen des Körpers K zu beurteilen und unsere Aussage zu prüfen, welche demnach keinen naturwissenschaftlichen Sinn hätte.“

„Die Bewegung eines Körpers K kann immer nur beurteilt werden in bezug auf andere Körper $A, B, C \dots$. Da wir immer eine genügende Anzahl gegeneinander relativ festliegender oder ihrer Lage nur langsam ändernder Körper zur Verfügung haben, so sind wir hierbei auf keinen bestimmten Körper angewiesen und können bald von diesem, bald von jenem absehen. Hierdurch entstand die Meinung, daß diese Körper überhaupt gleichgültig seien.“

„Der Versuch Newtons mit dem rotierenden Wassergefäß lehrt nur, daß die Relativdrehung des Wassers gegen die Gefäßwände keine merklichen Zentrifugalkräfte weckt, daß dieselben aber durch die Relativdrehung gegen die Masse der Erde und die übrigen Himmelskörper geweckt werden. Niemand kann sagen, wie der Versuch verlaufen würde, wenn die Gefäßwände immer dicker und massiger und zuletzt mehrere Meilen dick würden ...“

Die zitierten Zeilen zeigen, daß Mach die schwachen Seiten der klassischen Mechanik klar erkannt hat und nicht weit davon entfernt war, eine allgemeine Relativitätstheorie zu fordern, und dies schon vor fast 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. Beim Fehlen dieser aus der Maxwell-Lorentz'schen Elektrodynamik fließenden Anregung reichte auch Machs kritisches Bedürfnis nicht hin, um das Gefühl der Notwendigkeit einer Definition der Gleichzeitigkeit örtlich distanter Ereignisse zu erwecken.

Die Betrachtungen über Newtons Eimerversuch zeigen, wie nahe seinem Geiste die Forderung der Relativität im allgemeineren Sinne (Relativität der Beschleunigungen) lag. Allerdings fehlt hier das lebhafteste Bewußtsein davon, daß die Gleichheit der trägen und schweren Masse der Körper zu einem Relativitätspostulat im weiteren Sinne herausfordert, indem wir nicht imstande sind, durch Versuche darüber zu entscheiden, ob das Fallen der Körper relativ zu einem Koordinatensystem auf das Vorhandensein eines Gravitationsfeldes oder auf einen Beschleunigungszustand des Koordinatensystems zurückzuführen sei.

Mach war seiner geistigen Entwicklung nach nicht ein Philosoph, der sich die Naturwissenschaften als Objekt seiner Spekulationen wählte, sondern ein vielseitig interessierter, emsiger Naturforscher, dem die Erforschung auch abseits vom Brennpunkte des allgemeinen Interesses gelegener Detailfragen sichtlich Vergnügen machte. Hier von zeugen die schier unzählbaren Einzeluntersuchungen aus dem Gebiete der Physik und empirischen Psychologie, die er teils allein, teils zusammen mit Schülern publizierte. Von seinen physikalischen Experimentaluntersuchungen sind diejenigen über die Schallwellen, welche von Geschossen erzeugt werden, am bekanntesten geworden. War auch der dabei verwendete Grundgedanke nicht prinzipiell neu, so zeigten doch diese Untersuchungen von außergewöhnlicher experimenteller Begabung. Es gelang ihm, die Dichteverteilung der Luft in der Umgebung eines mit Überschallgeschwindigkeit fliegenden Geschosses photographisch aufzunehmen und so über eine Gattung akustischer Vorgänge Licht zu verbreiten, über welche man vor ihm nichts wußte. Sein populärer Vortrag hierüber wird jedem Freude machen, der an physikalischen Dingen Freude haben kann.

Machs philosophische Studien entspringen einzig dem Wunsche, einen Standpunkt zu gewinnen, von dem aus die verschiedenen wissenschaftlichen Fächer, denen er seine Lebensarbeit gewidmet hatte, als ein einheitliches Streben sich auffassen ließen. Alle Wissenschaft faßt er als Streben nach Ordnung der elementaren Erfahrung auf, die er als „Empfindung“ bezeichnete. Diese Wortbezeichnung brachte es wohl mit sich, daß der nüchternen und vorsichtigen Denker von solchen, die sich nicht eingehend mit seinen

Werken befaßten, öfter für einen philosophischen Idealisten und Solipsisten gehalten wurde.

Beim Lesen der Mach'schen Werke fühlt man angenehm das Behagen, das der Autor beim mühelosen Niederschreiben seiner prägnanten, treffenden Sätze gefühlt haben muß. Aber nicht nur intellektuelles Vergnügen und Freude am guten Stil machen die Lektüre seiner Bücher immer wieder so anziehend, sondern auch die gütige, menschenfreundliche und hoffnungsfrohe Gesinnung, die oft zwischen den Zeilen hervorschimmert, wenn er über allgemein menschliche Dinge redet. Diese Gesinnung schützte ihn auch vor der Zeitkrankheit, von der heute wenige verschont sind, vor dem nationalen Fanatismus. In seinem populären Aufsätze „Über Erscheinungen an fliegenden Projektilen“ hat er es sich nicht versagen können, im letzten Absatze seiner Hoffnung auf eine Verständigung der Völker Ausdruck zu geben.

EINIGE BRIEFE AN ERNST MACH

FRANZ BRENTANO AN MACH

Unter der nachgelassenen Korrespondenz Ernst Machs befinden sich zwei Briefe von Brentano, die Auskunft über die Beziehungen zwischen beiden Denkern geben. Der erste Brief aus dem Jahr 1895 begrüßt die Berufung Machs nach Wien.

„... Es ist Ihnen wahrscheinlich nicht bekannt, daß ein Zufall es fügte, daß ich im letzten Winter, wo ich ein kleines Kolleg über Positivismus und Monismus las, in dem ersten Teile mich auch mit Ihren Ansichten eingehend beschäftigte. Comte und Kirchoff führte ich als Vertreter eines inkonsequenten, J. St. Mill und Mach als Vertreter eines vorgeschrittenen Positivismus an. Allerdings suchte ich zu zeigen, wie er in keiner seiner Formen haltbar sei, aber schon die Gesellschaft zeigt Ihnen, daß ich nur mit Achtung Ihrer gedenke. Es ist und war immer meine Überzeugung, daß die Übereinstimmung in einzelnen Aufstellungen — und wären es selbst solche von weittragender Bedeutung — von minderm Belange ist, als die Übereinstimmung in der Methode der Forschung.“

Im Jahre 1901 schreibt der Prager Dr. Eisenmeyer einen Brief aus Florenz, Via Bellosguardo 10, dem Wohnsitz Brentanos.

Er schreibt, Brentano würde sich freuen, mit Mach benachbart zu wohnen, er sei im Begriffe, in der Nachbarschaft eine Wohnung für Mach zu mieten. Er bedauere, daß er bei dem Gedankenaustausch