

307. E. B.: Der Einfluss von Ernst Mach und Ludwig Boltzmann auf Albert Einstein, in: Einstein-Centenarium (Hrsg. H. J. Treder), Akademie-Verlag, Berlin 1979, 227-237.

Einstein-Centenarium 1979,
Hsg. H.J. Treder,
Akademie-Verlag, Berlin 1979
Seiten 227-237
Geringfügig geändert.

DER EINFLUSS VON ERNST MACH UND LUDWIG BOLTZMANN AUF

ALBERT EINSTEIN

E. Broda

Institut für Physikalische Chemie
Universität Wien

Die Einflüsse von Mach und Boltzmann auf Einstein waren höchst wichtig

Albert Einstein war eine Persönlichkeit von so außerordentlichem Rang, daß die Diskussion seiner geistigen Ursprünge eine wichtige Aufgabe ist. Hier soll der Einfluß einerseits von Ernst Mach und andererseits von Ludwig Boltzmann auf Einstein besprochen werden. Beide Einflüsse waren, wenn auch in durchaus verschiedener Form, beträchtlich, und ihre Analyse ist lehrreich. Für den Autor dieses Beitrages gibt es auch noch das weitere Motiv, daß Mach und Boltzmann seine Landsleute, also Österreicher waren. Daher wirft die Untersuchung auch einiges Licht auf die Beziehungen Einsteins zu Österreich, dessen Staatsbürger Einstein ja auch vorübergehend war. In dem Artikel werden übrigens auch andere Österreicher erscheinen.

Über die Beziehungen Einsteins zu Mach stehen vor allem die Schriften von Friedrich Herneck¹⁻⁵⁾ zur Verfügung, dem man nicht nur Sammlung und Sichtung, sondern auch kritische Wertung der Probleme verdankt. Außerdem liegen in bezug auf Mach die Erinnerungen von Einsteins Prager Nachfolger Philipp Frank⁷⁾ und die Arbeiten von K.D. Heller⁸⁾, Gerald Holton^{9,10,11)} sowie John Blackmore¹²⁾ vor. Mit Boltzmann⁶⁾ habe ich mich seit Jahrzehnten befaßt, doch hat bisher niemand sein Verhältnis zu Einstein untersucht. In der vorliegenden Arbeit werden keine neuen Einzelergebnisse vorgelegt, vielmehr sollen die bekannten Tatsachen zusammenfassend vor dem historischen Hintergrund betrachtet werden.

Die Auseinandersetzung Einsteins mit Bohr, Born und Pauli und anderen über die Quantenmechanik mußte, so interessant sie auch ist, ausgeklammert werden. Natürlich traten nach Aufstellung der Unschärferelation und nach Einführung des Begriffs der Komplementarität neue Momente auf, die einer Analyse bedürfen. Sie erfolgt aber nicht hier.

Ernst Mach war ein bedeutender Experimentalphysiker

Mach war ein phantasievoller und erfolgreicher Experimentator. Seine Arbeiten lagen vorwiegend auf den Gebieten der Akustik und der Optik, wo er nicht nur den physikalischen, sondern auch den physiologischen Aspekten der Probleme Aufmerksamkeit schenkte.

Die Arbeiten können nur schlagwortweise genannt werden. Der ausführlichste Bericht findet sich bei Blackmore¹²⁾. Die "Mach-Zahl" erinnert noch heute an die schönen und aussagekräftigen Photographien der von fliegenden Geschossen ausgehenden Stoßwellen. Die "Mach-Banden" betreffen eine interessante Klasse von optischen Erscheinungen, die durch neurale Prozesse bewirkt werden. Mach verdankt man auch grundlegende Arbeiten über den Gleichgewichtssinn der Tiere, dessen Organ im Labyrinth des Ohres liegt. Mach wird schließlich als einer der Vorväter der Gestalttheorie in der Psychologie betrachtet.

Die hauptsächlichliche Bedeutung Machs lag aber auf den Gebieten der Wissenschaftsgeschichte und der Erkenntnislehre. In der Epistemologie hat Mach bekanntlich begeisterte Anhänger, aber auch scharfe Gegner gehabt.

Einstein wurde durch die Kritik Machs an der klassischen Mechanik gefördert

Im Jahre 1883 erschien Machs Werk über die "Mechanik in ihrer Entwicklung", in dem er die Begriffe des absoluten Raumes, der absoluten Zeit und der absoluten Bewegung scharfsinniger Kritik unterwarf. Nicht ohne Bedenken hatte sich seinerzeit Newton entschlossen, den absoluten Raum und die absolute Zeit zu akzeptieren, die von der Materie unabhängig sein sollen. Später wurden Newtons Annahmen geradezu zum Dogma.

Einstein wurde 1897 in Zürich durch seinen engen Freund Michele Besso, dem er dann sein Leben lang verbunden blieb, auf Mach aufmerksam gemacht¹³⁾. Machs Kritik an der Mechanik fiel bei Einstein auf fruchtbaren Boden²⁾ und beeinflusste ihn in der Zeit der Aufstellung der Speziellen Relativitätstheorie¹⁴⁾. So schrieb Einstein mehr als 40 Jahre später in seiner einzigen Autobiographie¹⁵⁾: "Ernst Mach war es, der in seiner Geschichte der Mechanik an diesem dogmatischen Glauben (an die Endgültigkeit der klassischen Mechanik. E.B.) rüttelte; dieses Buch hat gerade in dieser Beziehung einen tiefen Eindruck auf mich als Student ausgeübt ..."

In einem Brief an Besso 1948 schrieb Einstein⁴⁾ noch konkreter: "Da sehe ich sein (Machs) großes Verdienst darin, daß er den im 18. und 19. Jahrhundert herrschenden Dogmatismus über die Grundlagen der Physik aufgelockert hat. Er hat besonders in der Mechanik und Wärmelehre aufzuzeigen

gesucht, wie die Begriffe aus den Erfahrungen heraus entstanden sind. Er hat überzeugend den Standpunkt vertreten, daß diese Begriffe, auch die fundamentalsten, ihre Berechtigung nur von der Empirie aus erhalten, daß sie in keiner Weise logisch notwendig sind. Er hat besonders dadurch sanierend gewirkt, daß er deutlich machte, daß die wichtigsten physikalischen Probleme nicht mathematisch-deduktiver Art sind, sondern solche, die sich auf die Grundbegriffe beziehen."

Auch bei der Aufstellung der Allgemeinen Relativitätstheorie war Einstein durch Mach beeinflusst, wie er in seiner Autobiographie feststellt. Der Gedanke Machs, die in einem rotierenden Eimer auf das Wasser ausgeübten Kräfte könnten der Einwirkung der schweren Massen des Weltalls zuzuschreiben sein, sodaß man aus dem Auftreten solcher Trägheitskräfte nicht auf eine absolute Bewegung des Eimers schließen könne, hat Einstein fasziniert. Übrigens war, wie Einstein in seinem bewegten Nachruf auf Mach 1916 schrieb¹⁶⁾, das Argument schon Newton bewußt.

Zwar hat sich eine einfache Auflösung des hier vorliegenden Problems nicht als möglich erwiesen. Dennoch ist die Identifizierung von Trägheits- und Gravitationskräften bei der Entwicklung der Allgemeinen Relativitätstheorie ein Leitfaden geblieben^{1,2,10,11,17)}. Einstein sprach von einem Machschen Prinzip²⁾.

Mach war jedoch seit jungen Jahren ein Gegner der Atomistik

Im Jahre 1863 veröffentlichte Mach sein "Compendium der Physik für Mediciner", in dem er zwar noch von der Atomistik ausging, aber doch schon Bedenken gegen sie aussprach^{12,18,19)}. Im Jahre 1872 schließlich erschien Mach in seiner Schrift "Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit" als direkter Gegner der Atomistik^{12,18,19)}. Mach bestritt dort, daß Wärme Bewegung sei. In der "Mechanik" (1883) wie auch in der "Analyse der Empfindungen" (1886) lehnte Mach den Gedanken ab, daß es Atome mit konstanten Eigenschaften gebe. Machs großer wissenschaftlicher Gegner Boltzmann²⁰⁾ sagte lapidar, daß Mach "an Atome nicht glaubte".

Behauptungen von Zeitgenossen, Mach habe unter den Eindruck der atomistischen Erklärung der Brownschen Bewegung oder des Nachweises ein-

zelner Teilchenstrahlen aus radioaktiven Stoffen später die Atomistik akzeptiert, beruhen offenbar auf Mißverständnissen^{9,12,19}). Auch aus Franks⁷⁾ Bericht über den Besuch Einsteins bei Mach (zwischen 1910 und 1913; genauer Zeitpunkt unbekannt) ergibt sich nicht, daß Mach in bezug auf die Atomistik umgestimmt worden wäre. Mach blieb bis zu seinem Tode 1916 ein Gegner der Atomistik.

Die Feindseligkeit Machs gegen die Atomistik machte in seinem Umkreis atomistische Forschung oder Lehre schwierig. So schrieb Max Planck²¹⁾, daß (zu Ende des 19. Jahrhunderts. E.B.) "gegen die Autorität von Männern wie W. Ostwald, G. Helm, Ernst Mach (alle Antiatomisten. E.B.) eben nicht aufzukommen war". "Alle meine guten Gründe fanden kein Gehör."

Neuerdings ist von Holton auch wahrscheinlich gemacht worden¹¹⁾, daß der unglückselige Übergang des Wiener Physikers Felix Ehrenhaft zur Gegnerschaft gegen eine atomistische Deutung der Elektrizität, wie sie von Robert Millikan konsequent vertreten wurde, um 1910 auf den Einfluß Machs zurückging. Dessen Prager Freunde und Schüler, besonders Anton Lampa und Georg Pick, wollten auf einem physikalischen Lehrstuhl ihrer Universität, für den Ehrenhaft sich damals interessierte, keinen Atomisten haben.

(Fast unbegreiflich erscheint heute, daß die Antiatomistik einflußreicher Physiker des 19. Jahrhunderts auch durch die gewaltigen Erfolge der Atomistik in der Schwesterwissenschaft der Chemie nicht erschüttert wurde. Wie hätte man ohne Atomistik anorganische oder gar organische Chemie betreiben können? Dennoch wendete sich Mach in seiner "Wärmelehre" (1876) gegen die Atomistik auch in der Chemie. Für die Bedeutung der Atomistik für die Chemie ist übrigens weniger eine Kenntnis der absoluten Größe von Atomen als die Möglichkeit von Strukturformeln entscheidend.)

An der Universität Wien allerdings, wo Mach bis 1864 und dann wieder ab 1895 tätig war, setzte sich die Antiatomistik nicht durch¹²⁾. Mit der Nachfolge des erkrankten Physikers Andreas von Ettingshausen wurde im Jahre 1866 der Atomist Josef Stefan endgültig betraut, übrigens ein hervorragender Physiker und auch eine liebenswerte Erscheinung²⁰⁾. Die Physik wurde dann durch ihn, durch seinen Schüler Ludwig Boltzmann und durch Josef Loschmidt geprägt. Loschmidt brachte 1865 als erster Wissenschaftler der Welt den Mut zu einer quantitativen Abschätzung der Größe der Atome auf.

Mach wünschte die Übersiedlung von der Prager an die Wiener Universität, konnte aber dort nur einen Lehrstuhl der Philosophie (Geschichte und Theorie der induktiven Wissenschaften) erhalten. Dieses Fach, also gewissermaßen die Naturphilosophie, wurde dann, nachdem Mach wegen seiner 1896 aufgetretenen Erkrankung schon 1901 zurücktreten mußte, von dem aus Leipzig zurückgekehrten Boltzmann neben der Physik vertreten. Dies ist alles ausführlich bei Blackmore¹²⁾ dargestellt.

Man kann übrigens der Meinung sein, daß Machs Antiatomistik im Rahmen seiner positivistischen philosophischen Anschauungen, von denen alsbald die Rede sein wird, durchaus überflüssig war. Gar nicht ersichtlich ist, warum vom Standpunkt des Positivismus die Atome grundsätzlich weniger real (oder auch mehr real!) sein sollten als die Fichte, die Giraffe, die Sonne oder Sirius, deren Realität ja auch erst auf dem Wege über eine - mehr oder weniger unbewußte - Schlußkette festgestellt wird. Tatsächlich haben später Machs Anhänger, z.B. Frank²²⁾, die Einbeziehung der Atome in Machs positivistisches Weltbild versucht.

Einstein lernte die Atomistik bei Boltzmann

Als Zürcher Student widmete sich Einstein vor allem den Werken von Helmholtz, Kirchhoff, Mach, Hertz, Boltzmann und Lorentz^{7,10,11,13)}.

Unter den genannten Autoren ist natürlich in erster Linie Boltzmann als produktiver Atomist bemerkenswert. Nach Aussagen von Einsteins späterem Mitarbeiter Cornelius Lanczos²³⁾, der in seinem Buch Einstein als den natürlichen Nachfolger Boltzmanns bezeichnete, hat Einstein sich in seinen jungen Jahren mit Begeisterung der "Gastheorie" Boltzmanns gewidmet. In seiner Autobiographie betonte Einstein bei der Darstellung der gleichen Zeit, daß "dem Wesen nach schon von Boltzmann geleistet worden war, aus der statistischen Theorie die Grundgesetze der Thermodynamik zu deduzieren". Die berühmte Formel $S = k \log W$ nannte Einstein "Boltzmanns Prinzip". Übrigens verdanken wir diese einfache Form der Formel bekanntlich Planck.

Irgendeinen Zweifel an der Atomistik hat Einstein während seines ganzen Lebens nicht gehegt. Schon seine ersten Veröffentlichungen - noch vor dem unvergleichlichen Jahr 1905 - stehen eindeutig in der atomistischen Tradition. Im Jahre 1908 schrieb Friedrich Adler, von dem noch die Rede

sein wird, aus Zürich an seinen Vater in Wien, daß Einstein "in der Richtung Boltzmann einer der entscheidendsten und anerkanntesten (Physiker)" war³⁴⁾. Machs antiatomistische Auffassungen wurden durch Einstein zunächst meist ignoriert. Doch brachte er sie bei seinem Besuch bei Mach zur Sprache⁷⁾.

Die bedeutendste jener früheren Arbeiten Einsteins, die in einem engeren Sinn atomistisch sind, ist natürlich der klassische Artikel über die Schwankungen aus dem Jahre 1905, in dem Einstein die mögliche Beziehung zur Brownschen Bewegung erwähnt²⁴⁾. Laut Autobiographie war dabei sein Hauptziel, "Tatsachen zu finden, welche die Existenz von Atomen von bestimmter endlicher Größe möglichst sicherstellen". Bekanntlich kam Marian von Smoluchowski in Lwow (Lemberg), früher ein Schüler Stefans und Exners, fast gleichzeitig (1906) zu ähnlichen Ergebnissen²⁵⁾, und Jean Perrin²⁶⁾ bestätigte die Richtigkeit der Formeln Einsteins im Jahre 1908 experimentell. Daß Boltzmann, dem die Erscheinung der Brownschen Bewegung bekannt war²⁰⁾, und dem der Gedanke, es könne sich um eine Fluktuation handeln, auch nicht fremd war²⁰⁾, von den Ergebnissen Einsteins nicht mehr Notiz nahm, ist eine Tatsache voll Tragik.

In einem weiteren und auch tieferen Sinn muß aber auch die noch wichtigere Arbeit Einsteins, ebenfalls aus dem Jahre 1905, über die Quantenstruktur der elektromagnetischen Strahlung²⁷⁾ als atomistisch gekennzeichnet werden. Wird hier doch erstmals der in vieler Hinsicht so erfolgreichen, ja unentbehrlichen Kontinuumstheorie des Lichtes eine moderne Teilchentheorie zur Seite gestellt. Diese und spätere^{28,29)} Arbeiten Einsteins waren nicht nur theoretisch ungemein wichtig, sondern sie brachten auch sozusagen als Nebenprodukte Erkenntnisse von größter experimenteller und praktischer Bedeutung, nämlich das Grundgesetz des photoelektrischen Effekts, das photochemische Äquivalenzgesetz und die Vorhersage der stimulierten Lichtemission, der Grundlage des Lasers,

Erinnert sei auch an Einsteins atomistische Arbeiten über die spezifische Wärme der Festkörper³⁰⁾ und an die Mitbegründung der Bose-Einstein-Statistik³¹⁾, die sich natürlich letzten Endes von der Boltzmann-Statistik ableitet. Wenn Einstein sich in seiner letzten Lebensperiode auch auf die Frage einer einheitlichen Feldtheorie konzentrierte, so änderte er doch seine Ansichten über Atomistik und Statistik in keiner Weise.

Mach warf auch die Relativitätstheorie über Bord

Einstein hatte sich im Zusammenhang mit der Speziellen Relativitätstheorie auf Machs Kritik an der klassischen Mechanik berufen. Daher bestand trotz Mangel an einer eindeutigen öffentlichen Stellungnahme Machs in der Fachwelt wenig Zweifel, daß Mach mit der Theorie einverstanden war. Man konnte sogar annehmen, daß er ihre Erfolge als einen Triumph werten würde. Auch gibt es keinen Hinweis, daß bei dem einzigen Treffen zwischen Einstein und Mach in Wien Differenzen betreffend die Relativitätstheorie auftraten⁷⁾.

Einstein hatte immer wieder großzügig seine geistige Dankesschuld Mach gegenüber betont. So bezeichnete er sich 1909 brieflich als Machs (ihn) "verehrenden Schüler"³⁾. Dabei meinte er nicht nur Machs Kritik an der klassischen Mechanik, sondern Einstein schätzte ganz allgemein die "unbestechliche Skepsis und Unabhängigkeit Machs"¹⁵⁾. In seinem Nachruf auf Mach¹⁶⁾ schrieb Einstein: "Tatsache ist, daß Mach durch seine historisch-kritischen Schriften ... 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 Machscher Betrachtungsweise sie sozusagen mit der Muttermilch eingesogen haben. (Einstein denkt hier wohl an Planck, der übrigens selbst berichtet, daß er als junger Mann Mach folgte³²⁾. E.B.) ... niemand kann es den Erkenntnistheoretikern nehmen, daß sie der Entwicklung hier (der Relativitätstheorie, E.B.) die Wege geebnet haben, von mir selbst weiß ich mindestens, daß ich insbesondere durch Hume und Mach direkt und indirekt sehr gefördert worden bin."

Doch schrieb Mach, der inzwischen zu seinem Sohn nach Bayern übersiedelt war, schon 1913 das Vorwort zu seinen "Prinzipien der physikalischen Optik", das dann 1921 posthum erschien. Die Zeitbombe tickte, wie Holton sagt. Zur allgemeinen Überraschung distanzierte sich Mach hier nämlich in einem als Testament gemeinten Vorwort eindeutig von der Relativitätstheorie: "... entnehme ich, daß mir langsam die Rolle des Wegbereiters der Relativitätstheorie zugeadacht wird ... Wenn Philosophen und Physiker den Kreuzzug gegen mich predigten, so mußte ich dies natürlich finden ... muß es aber mit derselben Entschiedenheit ablehnen, den Rela-

tivistischen vorangestellt werden, mit welcher ich die atomistische Glaubenslehre abgelehnt habe. Warum aber und inwiefern ich die heutige, mich immer dogmatischer anmutende Relativitätslehre für mich ablehne, welche sinnesphysiologischen Erwägungen, erkenntnistheoretischen Bedenken und vor allem experimentell gewonnenen Einsichten mich hierzu im einzelnen veranlaßten, das soll in der Fortsetzung dieses Werkes dargetan werden". Sogleich sei angemerkt, daß sinnesphysiologische Bedenken irrelevant wären und daß Mach mit den ihm verfügbaren Mitteln unmöglich beweiskräftige Aussagen experimenteller Natur gewinnen konnte.

Mach dürfte Einsteins Aufstieg wegen der Atomistik mit gemischten Gefühlen betrachtet haben. Allerdings hätte Machs Ablehnung der Atomistik durch Anerkennung der Relativitätstheorie kompensiert werden können. Tatsächlich hatte Mach nach brieflicher Angabe Einsteins "Freude" an der Relativitätstheorie³⁾. Auch gegen die Berufung Einsteins nach Prag erhob Mach offenbar keine Einwendungen.

Über die Gründe des nunmehr 75jährigen Mach, sich dennoch, und zwar öffentlich, gegen Einstein zu wenden, ist viel nachgedacht worden. Mach habe sich "hinreißen lassen"³³⁾ oder sei dem Einfluß Hugo Dinglers unterlegen^{5, 10, 11, 12)}. Man dachte auch an eine Art Altersstarrsinn⁸⁾. Auch Einstein selbst äußerte sich in diesem Sinn¹²⁾. Man kann jedoch auch nach tieferen Gründen für die Trennung und die Konfrontation suchen. Grob gesagt, dürfte es sich darum handeln, daß für Einstein die Relativitätstheorie in erster Linie nicht eine Frage der Methodologie oder Epistemologie, sondern eine physikalische Aussage über die reale, unabhängig existierende Außenwelt war. Nur der Vollständigkeit halber sei zugefügt, daß auch der leidenschaftliche Anhänger Machs Friedrich Adler ein Gegner der Relativitätstheorie war³⁴⁾.

Mach lehnte die Realität der Welt ab und wurde deshalb von Boltzmann bekämpft

Mach hatte sich, nachdem er ursprünglich von Kant beeindruckt gewesen war, einer positivistischen (phänomenalistischen, empiriokritizistischen) Erkenntnislehre zugewendet. Den beobachtenden Menschen seien nur die Empfindungen ("Elemente") gegeben, wie z.B. in der "Analyse der Empfin-

dungen" und in "Erkenntnis und Irrtum" (1905) dargelegt. Aus den Empfindungen auf eine reale Außenwelt zu schließen, sei Metaphysik und daher abzulehnen. Gegenstand der Wissenschaft sei demnach nicht eine von Menschen unabhängige Realität, sondern bloß die denkökonomische Verknüpfung von Empfindungen.

Boltzmann kämpfte temperamentvoll gegen den philosophischen Idealismus und Positivismus an. In seinen Schriften finden wir achtungsvolle Kritik an Kant, aber schärfste, ätzende Polemik gegen Hegel und Schopenhauer²⁰⁾. Den subjektiven Idealisten, den Bischof Berkeley, nannte Boltzmann den Erfinder der größten "Narrheit, die je ein Menschenhirn ausgebrütet hat, des philosophischen Idealismus, der die Existenz der materiellen Welt leugnet"²⁰⁾. Die realistische Philosophie Boltzmanns wird unter anderem in seiner Polemik²⁰⁾ gegen Ostwalds Vortrag gegen den Materialismus (1896) ausgeführt:

"Überhaupt hat das Mißtrauen zu den aus den direkten Sinneswahrnehmungen erst abgeleiteten Vorstellungen zu dem dem früheren naiven Glauben entgegengesetzten Extrem geführt. Nur die Sinneswahrnehmungen sind uns gegeben, daher - heißt es - darf man keinen Schritt darüber hinausgehen. Aber wäre man konsequent, so müßte man weiter fragen: Sind uns auch unsere gestrigen Sinneswahrnehmungen gegeben? Unmittelbar gegeben ist uns doch nur die eine Sinneswahrnehmung oder der eine Gedanke, den wir jetzt im Moment denken. Wäre man konsequent, so müßte man nicht nur alle anderen Wesen außer dem eigenen Ich, sondern sogar alle Vorstellungen, die man zu allen früheren Zeiten hatte, leugnen. Woher weiß ich denn davon? Durch Erinnerung; aber woher weiß ich, daß nicht bloß die Erinnerung vorhanden ist, die Wahrnehmung aber, auf die ich mich erinnere, niemals vorhanden war, wie das bei Irren fortwährend, und hie und da auch bei Nichtirren vorkommt. Will man also nicht zum Schlusse kommen, daß überhaupt nur die Vorstellung, die ich momentan habe, und sonst gar nichts existiert, was schon durch den Nutzen des Wissens für die Handlungsweise widerlegt wird, so muß man schließlich bei aller dabei nötigen Vorsicht doch unsere Fähigkeit, aus den Wahrnehmungen auf etwas, was wir nicht wahrnehmen, Schlüsse zu ziehen, zugeben, die wir freilich immer zu korrigieren haben, sobald sie mit Wahrnehmungen in Widerspruch kommen."

Die Argumentation wird später in dem Artikel mit dem bezeichnenden Titel "Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur" (1897) fortgeführt, auf den hier nicht näher eingegangen werden kann. In einem Vortrag vor der Philosophischen Gesellschaft in Wien (1905) gegen Schopenhauer schließlich wird die Anschauung, zu der sich Boltzmann bekannte, direkt statt als Realismus als Materialismus bezeichnet²⁰⁾: "Der Idealismus behauptet nur die Existenz des Ich, die Existenz der verschiedenen Vorstellungen, und sucht daraus die Materie zu erklären. Der Materialismus geht von der Existenz der Materie aus und sucht daraus die Empfindungen zu erklären."

Über die "methodologischen Spekulationen, die in der präzisesten, geistreichsten Weise von Mach zum Ausdruck gebracht wurden" schreibt Boltzmann²⁰⁾: "Dieser behauptet geradezu, der Zweck der Wissenschaft sei nur Arbeitersparnis. Fast mit gleichem Recht könnte man, bemerkend, daß bei Geschäften die größte Ersparnis wünschenswert ist, diese für den Zweck der Verkaufsbuden und des Geldes erklären, was ja in gewissem Sinn in der Tat richtig wäre. Doch wird man nur ungern, wenn die Distanzen und Bewegungen; die Größe, physikalische und chemische Beschaffenheit der Fixsterne ergründet, wenn Mikroskope erfunden und damit die Urheber unserer Krankheiten entdeckt werden, dies als bloße Sparsamkeit bezeichnen."

Machs Ansichten wurden durch sein Milieu mitgeprägt

Die philosophischen Gegenspieler Mach und Boltzmann lebten während der gleichen historischen Periode im gleichen Staatswesen, dem habsburgischen Österreich. (Beide waren übrigens "Hofräte"!) Inwieweit kann ihre unterschiedliche Philosophie zu Zeit und Ort in Bezug gesetzt, wenn schon nicht erklärt werden? Zur vollen Erklärung würde man natürlich auch die volle Kenntnis persönlicher Umstände brauchen, über die man nicht verfügt.

Mach stammte aus kleinen Verhältnissen und kannte das schwere Leben kleiner Leute. Dies mag dabei mitgeholfen haben, daß er zu politisch fortschrittlichen Gedanken neigte. Er trat gegen Militarismus, Nationalismus, Rassenhaß und Antisemitismus auf. Im österreichischen Herrenhaus, dem er seit 1901 angehörte, setzte Mach sich im gleichen Jahr für die Herab-

setzung des Arbeitstages der Bergarbeiter auf 9 Stunden und 1907 für das allgemeine Wahlrecht ein. Er spendete für die Arbeiterpresse. Insbesondere auch lehnte er - freilich nunmehr im Gegensatz zur offiziellen Sozialdemokratie - den seit 1914 tobenden Weltkrieg ab. In dieser Hinsicht unterschied sich Mach vorteilhaft auch von sonst so verdienten Männern wie Planck und Haeckel. Fast nur Einstein widerstand gleichfalls der nationalistischen Welle. Dieser vermerkte auch in seinem Nachruf¹⁶⁾ Machs charakterfeste, kriegsgegnnerische Stellung.

Zu Machs Anhängern gehörte, wie erwähnt, auch der junge Physiker Friedrich Adler³⁴⁾, der Sohn des langjährigen Wiener sozialdemokratischen Führers Victor Adler, der aber in Zürich lebte. Friedrich Adler war mit Einstein befreundet. Nachdem er 1916 zum Protest gegen den Krieg den österreichischen Ministerpräsidenten, den Grafen Stürgkh, erschossen hatte, verfaßte er im Gefängnis eine Schrift³⁵⁾, durch die er den Positivismus Machs den Sozialisten als eine geeignete Erkenntnistheorie empfahl. Auch im Kreise der russischen Sozialdemokratie hatte Mach viele Anhänger. Dies ist heute natürlich hauptsächlich durch Lenins³⁶⁾ Buch bekannt, in dem er Machs Ansichten einer materialistischen Kritik unterwarf. Ein Hauptanliegen Lenins war bekanntlich, die enge Verwandtschaft des Positivismus mit den Lehren Berkeleys (1710) darzutun.

Inwiefern erschien nun Machs Positivismus Sozialisten als attraktiv? Hier seien nur in Kürze und heuristisch einige Gedanken geäußert, die freilich weiterer Prüfung bedürfen. Vor dem Ersten Weltkrieg hatten die sozialdemokratischen Parteien zwei Gesichter. Einerseits stand die Partei etwa in Österreich mit den ihr nahestehenden Gewerkschaften in dauerndem Kampf gegen die herrschenden Klassen. Zahlreich und wichtig waren ihre sozialen und politischen Errungenschaften. Andererseits wich die Partei gerade in schwierigen Fragen frontalen Konflikten aus. Insbesondere unterstützte sie leider ab 1914 den Krieg.

Die Sozialdemokratie hatte sich nämlich innerhalb des habsburgischen Staates ziemlich wohnlich eingerichtet und wurde auch - im Gegensatz etwa zu slawischen oder italienischen Nationalisten und Irredentisten - zunehmend als staaterhaltend betrachtet. So schildert Frank⁷⁾, wie Einstein in Wien durch die Hochachtung beeindruckt war, mit der die offiziellen Kreise Victor Adler behandelten. Ihrerseits zögerte die Sozial-

demokratie, ihre Errungenschaften und Besitztümer durch Konfrontation zu riskieren. Ein Immobilismus, älteren Österreichern nicht unbekannt, war die Folge.

Der Positivismus entsprach nun der Weltanschauung vieler Sozialdemokraten. Einerseits Ablehnung der Religion, der Metaphysik und der objektiv-idealistisch begründeten Ideologien, die zur Rechtfertigung der Privilegien der herrschenden Klassen dienten. Statt dessen kühler Empirismus und Denkökonomie. Andererseits aber auch Ablehnung eines als "krass" bezeichneten, konflikträchtigen Materialismus, wäre er auch mildernd als Realismus bezeichnet.

Der Positivismus ließ sich vortrefflich mit einer milden, ironischen Skepsis sowohl gegenüber den bestehenden Zuständen als auch gegenüber revolutionären Plänen verbinden. Solche Skepsis wurde im Habsburgerstaat vielfach empfunden und hat auch in der oft aus Wiener und Prager Kaffeehäusern stammenden Literatur Ausdruck gefunden. Skepsis und Immobilismus sind gut vereinbar. Freilich war der Positivismus in Österreich keineswegs auf Sozialdemokraten beschränkt. Unter dem Einfluß Machs standen beispielsweise die liberalen, z.T. sogar konservativen Schriftsteller Hermann Bahr, Hugo von Hofmannsthal, Arthur Schnitzler und Robert Musil¹²⁾.

Erstaunlich ist, daß im Gegensatz zu Mach Boltzmann, politisch gesehen, in seinem philosophischen Streben allein stand. Seine Ansichten erinnern in vielem an jene von Friedrich Engels. Doch ist kein Kontakt Boltzmanns mit der Arbeiterbewegung oder auch nur mit ihr nahestehenden Intellektuellen bekannt. Dabei sehen wir von Wilhelm Ostwald ab, mit dem Boltzmann befreundet war, der aber sein wissenschaftlicher und philosophischer Gegner war. Der Geistesriese Boltzmann hatte seine Anschauungen in unerbittlicher Konsequenz als Einzelgänger selbst erarbeitet. In seiner bürgerlichen Umgebung erregte er mit ihnen meist Anstoß, und die daraus folgende Isolierung war wohl ein Teilmotiv für seinen schließlichen Selbstmord in einer Stunde der Verzweiflung.

Über die politischen Ansichten Boltzmanns liegen wenig Hinweise vor. Er bezeichnete sich als einen "alten Demokraten"²⁰⁾, bekannte seine Sympathie zu republikanischen Gedankengängen²⁰⁾ und meinte in bezug auf das damalige Amerika, Worte Schillers gebrauchend: "Die Freiheit brütet Kolosse aus."²⁰⁾ Das Wort "Sozialismus" oder verwandte Begriffe kommen bei Boltzmann nicht vor.

Das weitere Schicksal der Schule Machs in Mitteleuropa

(Als Einschub einige Worte über das weitere Schicksal der Schule Machs in Österreich und überhaupt in Mitteleuropa. Natürlich konnte eine so tief verwurzelte Geisteshaltung wie der Positivismus mit dem Ende des Habsburgerreiches 1918 nicht plötzlich ein Ende finden. Im Gegenteil. Durch die Diskreditierung der nationalistischen und klerikalen Reaktion im Kriege und die Verstärkung der Rolle der Sozialdemokratie in den Anfängen der Republik Österreich, ähnlich wie in Deutschland, erhielt die positivistische Richtung in beiden Ländern Auftrieb. In den Zwanzigerjahren blühte der "Wiener Kreis", dessen gesetzliche Basis ein "Verein Ernst Mach" bildete. Ein Denkmal des Meisters wurde bezeichnenderweise in einem Park der sozialdemokratisch verwalteten Gemeinde Wien, nicht aber, wie dies sonst üblich war, im Arkadenhof der vorwiegend konservativen Universität errichtet.

Innerhalb des Wiener Kreises wirkten bedeutende und zumeist fortschrittlich denkende Männer wie Rudolf Carnap, Philipp Frank, Hans Hahn, Otto Neurath, Hans Thirring und Edgar Zilsel. Der führende Mann, der Physiker-Philosoph Moritz Schlick, wurde 1936 von einem reaktionären Fanatiker ermordet. Die positivistisch-idealistische Gedankenrichtung wurde uns damals jungen Zeitgenossen, die nur an öffentlichen Veranstaltungen teilnahmen, wenig bewußt. Wir bemerkten mehr die Stellungnahme gegen die Metaphysik und das Bekenntnis zu einer wissenschaftlichen Weltanschauung. Übrigens war innerhalb des Wiener Kreises eine allmähliche zaghafte Annäherung an eine Art Realismus ("Physikalismus") festzustellen^{37,38,39}).

Die nazistischen Barbaren vernichteten den Wiener Kreis, nachdem er schon unter dem reaktionär-diktatorischen Regime von Dollfuß und Schuschnigg (1934-1938) seiner Lebenskraft beraubt worden war. Die Mitglieder des Wiener Kreises waren zumeist keine Kämpfer. Sie verstreuten sich über die Welt und hatten hier und dort, so in den USA, noch Schüler. Doch ist die Zeit des Positivismus sicherlich vorbei. Der Erkenntnislehre Machs kommt eher historisches Interesse zu.

Der durch ein gewisses Maß, an Realismus modifizierte Empiriokritizismus wird von Blackmore¹²⁾ als boltzmannisierter Machismus bezeichnet.

Übrigens wurde Boltzmann auch schon neben vielen anderen Autoren, u.a. Marx und Einstein, im Manifest des Wiener Kreises "Wissenschaftliche Weltauffassung" (1929) als Ahnherr beschworen⁴⁰⁾. Kurios wird die Sache freilich, wenn der Herausgeber einer Auswahl von Schriften Boltzmanns innerhalb einer Serie über den Wiener Kreis, der Niederländer S.R. de Groot, seine Überraschung ausspricht, daß Boltzmann nach Ansicht des gegenwärtigen Autors (E.B.) die Auffassungen Machs nicht teilte, sondern bekämpfte⁴¹⁾. Allerdings lehnte de Groot die Ansicht nicht ab.)

Einstein zweifelte nie an der Realität der Welt und erkannte schließlich den Positivismus als unbrauchbar

Einstein betrachtete die Physik nie anders denn als Wissenschaft von der wirklichen Welt. So schrieb er in seiner Autobiographie schon über seine Jugend: "Da gab es draußen die große Welt, die unabhängig von uns Menschen da ist und vor uns steht wie ein großes ewiges Rätsel, wenigstens teilweise zugänglich unserem Schauen und Denken. Ihre Betrachtung wirkte (nach einer traditionell-religiösen Phase in der Jugend Einsteins. E.B.) als eine Befreiung."

Mit dem Ablauf der Jahrzehnte nahm Einstein allmählich explizit gegen den Positivismus Stellung. Seine Diktion wird jener Boltzmanns ähnlich. 1938 schrieb Einstein an Solovine^{2,13)}: "Wie nämlich zu Machs Zeiten ein dogmatisch-materialistischer Standpunkt schädlich dominierte, so in unserer Zeit ein übertriebener positivistisch-subjektivistischer. Man erklärt den Anspruch auf Erfassung der Natur als objektiver Außenwelt als veraltetes Vorurteil, indem man aus der Not der Quantentheoretiker eine Tugend macht."

Einstein versuchte Mach, den er ja verehrte, vor dem Vorwurf zu retten, er befasse sich gar nicht mit der wirklichen Welt, innerhalb derer sich die Menschen (Plural!) bewegen. So schrieb er 1916 in seinem Nachruf¹⁶⁾: "Alle Wissenschaft faßt er (Mach) als Streben nach Ordnung der elementaren Einzelerfahrungen auf, die er als "Empfindungen" bezeichnete. Diese Wortbezeichnung brachte es wohl mit sich, daß der nüchterne und vorsichtige Denker von solchen, die sich nicht eingehend mit seinen Werken befaßten, öfter für einen philosophischen Idealisten

und Solipsisten gehalten wurde." Dazu sei bemerkt, daß natürlich niemand außer einem Psychopathen sich selbst für einen Solipsisten hält oder die Konstruktion eines konsequenten solipsistischen Weltbildes mit entsprechender Verhaltensweise auch nur versucht. Die Frage ist aber, ob der Positivismus logisch eine reinliche Trennung vom Solipsismus verträgt.

An Schlick schrieb Einstein⁴²⁾ im Jahre 1930 deutlich: "Im allgemeinen entspricht Ihre Darstellung meinem Begriffsstil insofern nicht, als ich Ihre ganze Orientierung sozusagen als zu positivistisch empfinde ... Ich sage Ihnen geradezu: Die Physik ist der Versuch einer begrifflichen Konstruktion eines Modells der wirklichen Welt und ihres gesetzlichen Aufbaus. Allerdings muß die Physik die empirischen Beziehungen zwischen den uns zugänglichen Sinnesbeziehungen darstellen; aber nur in dieser Weise ist sie an sie gekettet ... Sie werden über den "Metaphysiker" Einstein erstaunt sein. Aber jedes vier- oder zweibeinige Tier ist in diesem Sinn ein Metaphysiker."

In seiner Autobiographie meinte Einstein: "Die Physik ist eine Bemühung, das Seiende als etwas begrifflich zu erfassen, was unabhängig vom Wahrgenommen-Werden ist" und an anderer Stelle: "In meinen jungen Jahren hat mich aber auch Machs erkenntnistheoretische Einstellung sehr beeindruckt, die mir heute als im Wesentlichen unhaltbar erscheint. Er hat nämlich die dem Wesen nach konstruktive und spekulative Natur allen Denkens und im besonderen des wissenschaftlichen Denkens nicht richtig ins Licht gestellt und infolge davon die Theorie gerade an solchen Stellen verurteilt, an welchen der konstruktiv-spekulative Charakter unverhüllbar zutage tritt, z.B. in der kinetischen Atomtheorie."

Die konstruktiv-spekulative Vorgangsweise, auch durch Aufstellung gedanklicher oder sogar materieller Modelle, war natürlich gerade Boltzmanns Stärke. Es ist bezeichnend, daß Einstein sich niemals und nirgends von Boltzmanns Methodologie oder Erkenntnistheorie distanziert hat, also auch nicht zu jener Zeit, als er noch von Mach beeinflusst war.

Einsteins philosophische Entwicklung könnte zeitgeschichtlich mitbedingt gewesen sein

Man kann an eine selbsttätige, immanente Entwicklung der philosophischen Ansichten Einsteins denken, die ihn die Unhaltbarkeit des Positivismus lehrte. Doch dürfte die Entwicklung zum Teil auch durch Wechselwirkung mit der sozialen Umwelt bedingt gewesen sein. In seinen Schweizer Jahren lebte der junge Einstein mit der Welt in Frieden und sah keine Notwendigkeit, sich von seinen wissenschaftlichen Gedanken ablenken zu lassen. Die Erschütterungen durch die Weltkriege und ganz besonders durch den Nazismus führten dann zu einem Wandel. Dies mag umso mehr der Fall gewesen sein, als Einstein fühlen konnte, daß Abermillionen Menschen zu ihm als Humanisten und Friedensfreund aufblickten und von ihm moralischen Halt erwarteten.

Unter diesen Umständen hat Einstein wohl den verstärkten Wunsch nach einer Weltauffassung verspürt, die für die Praxis, auch die gesellschaftliche Praxis, brauchbarer ist als der Positivismus. Eine Auffassung, die man nicht in dem Augenblick beseite legen muß, in dem man von der kontemplativen Betrachtung zur zielbewußten Tätigkeit übergeht, etwa bei wissenschaftlichen Experimenten, besonders aber auch in ethisch motivierter Tätigkeit.

Die Wirklichkeit ist natürlich insofern dialektisch widerspruchsvoll, als die reale Außenwelt nicht nur den Geist des Menschen beeinflusst, sondern auch Objekt seiner praktischen Tätigkeit ist. Keineswegs liegen nur einheitliche Mächte "Empfindungen" oder "Elemente" vor, die eine Unterscheidung zwischen Ich und Welt ausschließen. Wer wirken will, muß wohl an die Realität der Welt glauben, zu der er auch im Widerspruch steht. Die skeptische Pedanterie des Positivismus, die konsequent gar nicht durchgeführt werden kann, mußte Einstein ungeduldig machen.

Dagegen war Mach von seinen positivistischen Anschauungen her zum Gegner von Begriffen wie Kraft (im physikalischen und im sozialen Sinn) und Kausalität geworden und wollte nur funktionelle Zusammenhänge gelten lassen. Mach war auch zu Skepsis gegenüber einem mehr oder weniger konstanten Ich gekommen. Eine Darlegung findet sich wieder bei Blackmore¹²⁾. Wenn Mach in einer von Herneck¹⁾ überlieferten Äußerung anerkannte, daß

der Standpunkt des Solipsismus "besser für einen beschaulich dahinträumenden Fakir als für einen ernst denkenden und aktiven Menschen passe", so tritt darin zutage, daß bekanntlich eine Lebens- und Arbeitsweise, die mit dem Positivismus konsistent ist, nicht möglich ist.

Es ist eine merkwürdige Tatsache, daß die Philosophie Machs, der an der Arbeiterbewegung interessiert war, für den praktischen Einsatz ungeeignet ist, dagegen die Philosophie Boltzmanns, der politisch nicht engagiert war, einen geeigneten Ausgangspunkt für fortschrittliche Aktivität bildet.

Einstein hat zunehmend gezeigt, daß er wirken wollte und es auch liebte, wenn Menschen in seinem Sinne wirksam wurden. Denken wir etwa an seine letzte, gewissermaßen posthume Tat, die in Gemeinschaft mit Bertrand Russell erfolgte Mitbegründung der internationalen Bewegung der Wissenschaftler für den Weltfrieden, die jetzt als Pugwash-Bewegung bekannt ist.

Einsteins spätere erkenntnistheoretische Anschauungen sind auch mit dem Namen Platons in Zusammenhang gebracht oder als der Metaphysik nahestehend bezeichnet worden^{2,10,43}). Damit sollte ausgedrückt werden, daß Einstein aufgrund seiner Überzeugung von der fundamentalen Einfachheit und Harmonie der Welt bei der Konstruktion von Theorien innere Konsistenz der Möglichkeit unmittelbarer experimenteller Bestätigung vorzog. In diesem Zusammenhang kann man daran erinnern, daß Einstein schon nach Aufstellung der Speziellen Relativitätstheorie, also als junger Mann, über die experimentellen Ergebnisse (1906) des ausgezeichneten Physikers Kaufmann, die der Theorie zu widersprechen schienen, nicht beunruhigt war⁹⁾ - so fest war Einsteins Vertrauen in seine logisch konsistente und einfache Theorie. Die Bezeichnung Platonismus ist aber unberechtigt. Nicht aus Ideen, sondern aus Materie bestand die Welt Einsteins zu jeder Zeit seines Lebens, aus Materie freilich, die nach seiner festen Überzeugung letzten Endes einfachen Gesetzen gehorcht.

Immerhin lag die letzte Lebens- und Schaffensperiode Einsteins der Zeit schon ferne, als die Einflüsse von Mach und Boltzmann noch unmittelbar gegenwärtig waren. Die späteren Entwicklungen bedürfen wohl, wie schon anfangs angedeutet, einer gesonderten und vertieften Untersuchung.

Gegenstand einer weiteren Untersuchung sollte übrigens sein, inwieweit Einstein sich für die belebte Natur und ihre Entwicklung interessierte. Der Physiker Mach war auch ein erfolgreicher Physiologe und der Physiker Boltzmann war durch seine evolutionistischen und bioenergetischen Beiträge geradezu ein Mitbegründer der Biophysik. Mach und Boltzmann waren Darwinisten. Einstein scheinen diese Fragen weniger beschäftigt zu haben. Es wäre festzustellen, ob dies wirklich so war, und wenn es so war - warum?

1. F. Herneck, Physik. Bl. 14, 385 (1958); Wiss. Z. Humboldt-Univ., Mathem.-Naturwiss. Reihe 6, 209 (1956/57)
2. F. Herneck, Forschen und Wirken, Festschrift zur 150-Jahrfeier der Humboldt-Univ., Berlin 1960
3. F. Herneck, Physik. Bl., Juni 1961
4. F. Herneck, Einstein und sein Weltbild, Berlin 1976
5. F. Herneck, Forschungen und Fortschritte 37, 239 (1963)
6. E. Broda, Ludwig Boltzmann, Mensch - Physiker - Philosoph, Wien 1955 und Berlin 1957
7. P. Frank, Einstein, Sein Leben und seine Zeit, München-Leipzig 1949 (Neudruck: Wiesbaden-Braunschweig 1979)
8. K.D. Heller, Ernst Mach, Wien 1964
9. G. Holton, in: R.S. Cohen and R.S. Seeger, Hrsgg., Ernst Mach, Physicist and Philosopher, Dordrecht 1970
10. G. Holton, Thematic Origins of Scientific Thought, Cambridge 1973
11. G. Holton, in: R. McCormach and L. Pyenson, Hrsgg., Historical Studies in the Physical Sciences, Baltimore 1978
12. J. Blackmore, Ernst Mach, Berkeley 1972
13. C. Seelig, Albert Einstein, Zürich 1954
14. A. Einstein, Ann. Phys. 17, 891 (1905)
15. A. Einstein, Autobiographical Notes, in: P.A. Schilpp, Hersg., Albert Einstein, Philosopher-Scientist, Evanston, Ill. 1949
16. A. Einstein, Physik. Z. 17, 101 (1916)
17. H. Goenner, in R.S. Cohen und R.S. Seeger, l.c.
18. E. Hiebert, in R.S. Cohen und R.S. Seeger, l.c.
19. S.G. Brush, Ernst Mach and Atomistics, Harvard Project Physics, Cambridge, Mass., ohne Datum
20. L. Boltzmann, Populäre Schriften, Leipzig 1905
21. M. Planck, Wissenschaftliche Selbstbiographie, Leipzig 1948
22. P. Frank, in: R.S. Cohen und R. Seeger, l.c.
23. C. Lanczos, The Einstein Decade, London 1964
24. A. Einstein, Ann. Phys. 17, 549 (1905)
25. M. v. Smoluchowski, Ann. Phys. 21, 756 (1906)
26. J. Perrin, Les atomes, Paris 1913
27. A. Einstein, Ann. Phys. 17, 132 (1905)
28. A. Einstein, Ann. Phys. 19, 371 (1906)
29. A. Einstein, Physik. Z. 18, 21 (1917)
30. A. Einstein, Ann. Phys. 22, 180 (1907)

31. A. Einstein, S.B. Akad. Wiss. Berlin 281 (1924)
32. M. Planck, Physik. Z. 11, 1186 (1910)
33. H. Hönl, Physik. Bl. 16, 571 (1960)
34. J. Braunthal, Victor und Friedrich Adler, Zwei Generationen Arbeiterbewegung, Wien 1965
35. F. Adler, Ernst Machs Überwindung des mechanischen Materialismus, Wien 1918
36. W.I. Lenin, Materialismus und Empirio-kritizismus, Moskau 1947, ursprünglich russisch, 1909
37. V. Kraft, Der Wiener Kreis, Wien 1968
38. P. Frank, in: R.S. Cohen und R.S. Seeger, l.c.
39. P. Frank, (1962), zit. nach S.G. Brush, l.c.
40. A.J. Ayer, Hsg., Logical Positivism, Glencoe 1959
41. S.R. de Groot, in: B. McGuinness, Hsg., Ludwig Boltzmann, Theoretical Physics and Philosophical Problems, Dordrecht 1974
42. Zit. nach Holton⁹⁾ (Rückübersetzung aus dem Englischen)
43. V. Lenzen, in A. Schilpp, l.c.

Weitere einschlägige Literatur

- A. von Obermayer, Zur Erinnerung an Josef Stefan, Wien 1893
- J. Boncelj, Jožef Stefan, Laibach 1960
- H. de Martin, J.J. Loschmidt, Dissertation, Wien 1948
- A. Teske, Marian Smoluchowski, Leben und Werk, Warschau 1977
-
- E. Broda, Einstein und Österreich, Wien 1980
- E. Broda, The intellectual quadrangle Mach-Boltzmann-Planck-Einstein, CERN Report 81-10, Genf 1981
- E. Broda, The interaction of Boltzmann with Mach, Ostwald and Planck and his influence on Nernst and Einstein, 16th International Congress on the History of Science, Bucharest, 1981
- E. Broda, Ludwig Boltzmann, Der Mann und das Werk, Mitt. Österr. Ges. f. Gesch. d. Naturwiss. 1, 21 (1981)
- E. Broda, Boltzmann, Einstein, natural law and evolution. Comp. Biochem. Physiol. 67B, 373 (1980)
- E. Broda, Ethics and evolution in Boltzmann's and Einstein's thought, in: M. Kageyama et al., Hrsgg., Science and Scientists, Dordrecht 1981
- E. Broda, Boltzmann and Darwin, Internationales Boltzmann-Symposium, Wien 1981

- E. Broda, Darwin and Boltzmann, Symposium Darwin Today, Kühlungsborn 1981
- E. Broda, Ludwig Boltzmann als evolutionistischer Philosoph, Symposium der Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte, Reaktionen auf naturwissenschaftliche Konzepte und Ideen in anderen Wissenschaften des 19. Jahrhunderts, Aachen 1982

