

Historische Reflexion als Kritik naturwissenschaftlicher Ontologie

Ernst Machs Kritik an der mechanistischen Auffassung des
Energieerhaltungssatzes und ihre Aktualität

GREGOR SCHIEMANN

I.

Ernst Machs Ablehnung der mechanistischen Auffassung des Energieerhaltungssatzes, wie er sie in seiner frühen Schrift „Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit“ von 1872 erstmals ausgeführt hat, ist in der bisherigen Rezeptionsgeschichte seiner antimetaphysischen Kritik physikalischer Theorien nicht hinreichend berücksichtigt worden. Sie verblieb weitgehend im Schatten anderer Themen, vor allem seiner Auseinandersetzung mit Newtons axiomatischer Grundlegung der Mechanik und seiner Zurückweisung atomistischer Ontologien in den Naturwissenschaften. Sofern sie beachtet wurde, standen zudem weniger Einzeluntersuchungen von Machs Argumentation im Vordergrund, als daß die mit ihr verbundenen Grundlagen seiner gesamten Wissenschaftslehre ins Zentrum rückten.¹

Eine Rekonstruktion des vernachlässigten Gegenstandes Machschen Denkens halte ich aus unterschiedlichen Erwägungen für sinnvoll. Machs Kritik nimmt in der Geschichte der Erhaltungs- und Energievorstellungen des 19. Jahrhunderts einen bedeutenden Platz ein. Aus der speziellen Energiethematik kann ferner für die Darstellung der Wissenschaftslehre von Mach ein Leitfaden gewonnen werden. Nicht zuletzt läßt sich seine Argumentation gegen die mechanistische Auffassung des Energiesatzes aber auch auf aktuelle Fragestellungen beziehen. Exemplarisch hierfür ist die mit der Feststellung des historischen Wandels der Erkenntnis verknüpfte Geltungsproblematik naturwissenschaftlicher Theorien, mit der sich Mach ebenfalls beschäftigte. Mach bemühte sich in seiner Schrift, die „vollständig gleichgültig[en]“², historisch kontingenten Elemente der betreffenden Theorien von ihrem unmittelbar auf die „Tatsachen“³ gegründeten und insofern hypothesenfreien Gehalt zu isolieren. Seine Argumentation berührt sich damit mit der in unserer Zeit zwischen Befürwortern und Gegnern des wissenschaftlichen Realismus geführten Auseinandersetzung um die Wahrheitsgeltung physikalischer Theorien, die in der Vergangenheit erfolgreiche Erklärungen zuwege brachten, deren Aussagen man aber heute keinen oder nur noch teilweise einen (realistisch verstandenen) Wahr-

¹ Vgl. die einschlägige Bibliographie in Blackmore, hg., 1992, mit weiteren Verweisen.

² Mach 1872, 22.

³ Zu Machs schillerndem Tatsachenbegriff vgl. Feyerabend 1988, 441 f.

heitsgehalt zuschreibt.⁴ An die Stelle der in der Anfangszeit dieser Kontroverse noch vorherrschenden pauschalen Beurteilung von früheren Theorien sind mittlerweile differenziertere Betrachtungsweisen getreten. Eine Schlüsselstellung nimmt nunmehr die Frage ein, inwieweit sich der ehemalige explanative Erfolg nicht mehr anerkannter Theorien auf die Geltung derjenigen Teilaussagen, die Nachfolgetheorien übernommen haben, zu stützen vermag.⁵

Zur Klärung dieser Fragestellung können die Ergebnisse von Machs Untersuchung zur mechanistischen Auffassung des Energieerhaltungssatzes herangezogen werden, auch ohne die nicht unproblematische Bestimmung seiner Position zum heutigen Realismus schon insgesamt vorgenommen zu haben.⁶ Indem er sich in seiner Kritik an den ontologischen Annahmen des Mechanismus auf die Wissenschaftsgeschichte beruft, steht er der von realismuskritischer Seite vorgetragenen Argumentation nahe. Andererseits mißt er den hypothesenfreien Theoriebestandteilen einen Geltungscharakter zu, der in seinem Wahrheitsanspruch durchaus mit der realistischen Behauptung theorieübergreifender Bestände der wissenschaftlichen Erkenntnis vergleichbar ist. Daß Mach mit einer quer zur heutigen Terminologie liegenden Analyse einen Beitrag zur Entschärfung gegenwärtiger Kontroversen leistet, läßt eine erneute Vergegenwärtigung der Schrift von 1872 und den sich daran anschließenden Überlegungen Machs lohnenswert erscheinen.

II.

Mach geht in seiner Arbeit von 1872 davon aus, daß der Satz von der Erhaltung der Energie (bzw. Arbeit) auf zweierlei Weise ausgesprochen wird, als mechanischer Satz von der Unveränderlichkeit der Summe von kinetischer und potentieller Energie und als physikalischer Satz der Unmöglichkeit des Perpetuum mobiles.⁷ Die erste Formulierung kennzeichnet seiner Meinung nach die mechanistische Begründung der Energieerhaltung: Ein Satz, der nur im Gegenstandsbereich der Mechanik, der Bewegungen makroskopischer Körper, gilt, wird auf die gesamte Natur übertragen. Grundlage dieser Ausweitung ist die repräsentativ von Hermann von Helmholtz vertretene realistische Annahme,⁸ alle Vorgänge in der Natur kämen durch submikroskopische Prozesse, die den Gesetzen der Mechanik unterliegen, zustande.⁹ Aus dieser Ontologie glaubt der Mechanismus, auch die zweite Formulierung ableiten zu können.¹⁰

⁴ Boyd 1984 mit weiteren Literaturangaben, Laudan 1981, Laudan 1984, Kap. V, Kitcher 1993, Worrall 1994 und Psillos 1996.

⁵ Kitcher 1993, 149, Worrall 1994 und Psillos 1996, S309 f.

⁶ Einen (von Einseitigkeiten allerdings nicht freien) Ansatz für eine solche Rekonstruktion entwickelt Feyerabend 1988, indem er Machs Theorie der Forschung zu den realistischen Physikauffassungen von Albert Einstein und Max Planck ins Verhältnis setzt.

⁷ Mach 1872, 4.

⁸ Zu Helmholtz' Realismus vgl. Schiemann 1997, 255 ff. und 355 ff.

⁹ Mach 1872, 17 f.

¹⁰ Mach 1872, 4 und 17 f. und zu Helmholtz' Ableitung in Helmholtz 1847, 3 ff., vgl. Schiemann 1997, 201 ff.

Im Gegensatz zur ersten Formulierung gehört die zweite zu den heute noch uneingeschränkt akzeptierten Formulierungen der Energieerhaltung. Sie verzichtet auf den Rekurs auf Aussagen über nicht beobachtbare Entitäten und beschränkt sich auf die Nennung einer notwendigen Bedingung für den Verlauf meßbarer Vorgänge. Zudem ist sie verträglich mit der von Mach zeitlebens vertretenen Auffassung, daß der ersten Formulierung außerhalb des mechanischen Gegenstandsbereiches kein empirischer Gehalt (im Sinne einer experimentellen Überprüfbarkeit) zukommt. Während Mach 1872 den mechanistischen Erklärungen noch jeglichen Nutzen abspricht,¹¹ weist er später auf ihre historischen Erfolge ausdrücklich hin.¹² Ihre überragende Vormachtstellung in der Physik bezweifelt er freilich von Anfang an nicht.¹³

Wie kann eine über die Mechanik hinaus nicht empirisch nachweisbare Auffassung in der gesamten physikalischen Forschung dennoch von beherrschendem Einfluß sein? Welche Beziehung besteht zwischen ihr und der zu ihr innermechanisch alternativen Formulierung von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobiles? Mach bereitet die Beantwortung dieser Fragen vor, indem er zeigt, daß bestimmte Vorstellungen von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobiles historisch bereits der innermechanischen Theoriebildung zugrunde gelegen haben. Am Material der Schriften verschiedener Mechaniker weist er nach, wie im Kontext ihrer Untersuchungen diese Vorstellungen erstmals Platz greifen und der Ableitung mechanischer Sätze dienen.¹⁴ Die Erfolge der neuzeitlichen Mechanik setzen demnach in gewissem Umfang die Erkenntnis der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile voraus. Insbesondere hängt die mechani(isti)sche Formulierung der Energieerhaltung vom Satz des ausgeschlossenen Perpetuum mobiles ab.¹⁵ Folglich handelt es sich bei diesem Satz weniger um eine Alternative zur mechanistischen Auffassung als vielmehr um denjenigen Gehalt der Aussagen der letzteren, der auch nach dem Verlust ihrer Anerkennung noch Gültigkeit außerhalb des Gegenstandsbereiches der Mechanik bewahren kann. An dieser Stelle läßt sich ein erster Anschluß an die erwähnte aktuelle Diskussion herstellen. Machs Charakterisierung des Satzes vom ausgeschlossenen Perpetuum mobiles genügt einem von realistischer Seite aufgestellten Kriterium für wahrheitsähnliche Aussagen vergangener Theorien, nämlich unverzichtbar zu den von ihnen erbrachten erfolgreichen Erkenntnisleistungen beigetragen zu haben.¹⁶

Worauf aber gründet sich der Satz vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile, wenn man sich weder das letztgenannte noch das mechanistische Argument zu eigen machen will? Mach entwickelt hierfür in seinen Schriften im wesentlichen zwei eng miteinander zusammenhängende Lösungsstrategien, die beide nicht beziehungslos, sondern quer zum Schema von realistischen und nichtrealistischen Interpretationen wissenschaftlicher Aussagen liegen. Nach ihrer ausführlichen Darlegung in der

¹¹ Mach 1872, 20 ff.

¹² Mach 1896, 363 f. u.ö.

¹³ Mach 1872, 16 ff. und 20.

¹⁴ Mach 1872, 5 ff.

¹⁵ Mach 1872, 19.

¹⁶ Psillos 1996, S309 f., der darauf hinweist, daß zu Carnots Erklärung des maximalen Wirkungsgrades nur das Prinzip vom ausgeschlossenen Perpetuum mobile, nicht aber dessen Vorstellung über die Natur der Wärme unverzichtbar beigetragen habe.

Schrift von 1872 unterzieht Mach die erste Strategie in späteren Werken einer, von kleineren Korrekturen begleiteten Präzisierung.¹⁷ Sie faßt die Aussage des Energiesatzes als Ausdruck elementarer methodischer Bedingungen auf, die – kantisch gesprochen – wissenschaftliche Erfahrung erst ermöglichen. Der „Satz vom ausgeschlossenen perpetuum mobile“, heißt es bei Mach 1872, sei „bloss eine besondere Form des Causalgesetzes [...], welche sich unmittelbar aus der jeder wissenschaftlichen Untersuchung vorausgehenden Annahme der Abhängigkeit der Erscheinungen von einander ergibt“.¹⁸

Die zweite Strategie sieht vom Inhalt des Energiesatzes ab und rekurriert stattdessen auf die Bedingungen seiner Entdeckung. 1872 spricht er nur sehr vage davon, daß der Satz „mehr oder weniger klar fast allen bedeutenden Forschern *vorgeschwebt*“ habe und seine „Gültigkeit lange vor dem Ausbau der Mechanik *gefühl*“ worden sei.¹⁹ Was damit gemeint ist, erläutert Mach erst 1883 am Beispiel von Simon Stevins Beweis für das statische Gleichgewicht auf schiefen Ebenen. Stevin gewinnt die Gleichgewichtsbedingungen aus einem berühmten Gedankenexperiment, in dem er sich – aus heutiger Sicht nicht ganz zu recht – auf die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobiles beruft. Er betrachtet einen sogenannten Kugelkranz, der, über ein vertikal gestelltes Dreieck gelegt, sich im ruhenden Gleichgewicht befindet, weil es – aus Stevins Sicht – falsch wäre anzunehmen, die Kugeln könnten „von selbst eine ewige Bewegung bewirken“²⁰. Nach Mach steht hinter dieser Begründung ein für die Naturwissenschaften überhaupt kennzeichnendes Vorgehen. In Stevins Überlegungen zum Perpetuum mobile komme eine „*ganz instinktive* Erkenntnis“ zum Ausdruck, die „höhere Autorität“ als die „einfache[] klare[] direkte[] Beobachtung“ habe.²¹ Im Gegensatz zum Experiment fühle man bei dieser Erkenntnisart deutlich, daß man „*selbst* zu [ihrem ...] Zustandekommen [...] *nichts* beitrage[...]“: „Das Mißtrauen gegen unsere eigene subjektive Auffassung des Beobachteten fällt also weg.“²² Als Geltungsbasis reiche das Instinktive allerdings nicht aus. Es könne ebenso wie das Bewußte irreführen. Wenn es sich jedoch in Gebieten, in denen man sich gut auskenne, „mit der größten begrifflichen Kraft“ verbinde,²³ schaffe es Erkenntnisse, die „in den allgemeinsten und stärksten Zügen die Naturvorgänge nachahmen“²⁴ und „ein ganz besonderes Vertrauen genießen“²⁵ würden.

Obwohl Stevin wie viele andere Naturforscher in Gedanken experimentiert, erhalten seine Ergebnisse für Mach also keinesfalls fiktiven Charakter. Sie gehören vielmehr zum „bleibenden Eigenthume der Menschheit“²⁶ und sind folglich dem historischen Theorienwandel entzogen. Ein hypothetisches Element mißt Mach diesen Erkenntnissen allein deshalb zu, weil der wissenschaftliche Fortschritts-

¹⁷ Vgl. v.a. Mach 1883, 516 ff., Mach 1896, 324 ff., und Mach 1910a, 210 ff.

¹⁸ Mach 1872, 46.

¹⁹ Mach 1872, 5 und 19 (Hervorb. von mir).

²⁰ Simon Stevin, *Hypomnemata mathematica*. Leiden 1605, S. 45. Üb. nach Mach 1910a, 171.

²¹ Mach 1883, 50 (Hervorheb. im Text).

²² Ebenda (Hervorheb. im Text).

²³ Mach 1883, 51.

²⁴ Ebenda.

²⁵ Mach 1883, 98.

²⁶ Mach 1910a, 222.

prozeß niemals zu einem Abschluß, dem er sich paradoxerweise gleichwohl approximativ nähere, komme.²⁷ Machs Begründung für die von ihm behaupteten invarianten Erkenntnisse, die aus der Einheit von Intuition und begrifflich verarbeiteter Erfahrung hervorgehen, unterscheidet sich nun erheblich von realistischen Begründungen theorieübergreifender Bestände, sofern sich diese auf Erklärungserfolge stützen, die sich der Annahme nicht beobachtbarer Entitäten verdanken. Dennoch steht sie ihnen sowohl im Bemühen, ein dem geschichtlichen Wandel enthobenes Naturwissen zu finden, als auch im Wahrheitsanspruch, der diesem Wissen eigen sein soll, nicht nach.

Beides ist bei Mach scharf gegen die Feststellung der historischen Kontingenz von denjenigen Theorien bzw. Theorieteilen abgesetzt, die sich empirisch nicht überprüfen lassen und zu denen er im Kontext seiner Erörterungen des Energieerhaltungssatzes natürlich dessen mechanistische Deutung zählt. Mach vergleicht die dem Mechanismus zugrunde liegende Behauptung einer Bewegung submikroskopischer Materiepartikel („Moleculé“) mit vorangehenden Ontologien der Physik der Wärme und Elektrizität. Die Verschiedenheit der Vorstellungen habe lediglich „historische Gründe“ und sei „vollständig conventionell“;²⁸ ihre Auswahl von „Grundthatsachen [... sei] Sache der Bequemlichkeit, der Geschichte und der Gewohnheit“.²⁹ Mach verfolgt mit seinem Rekurs auf die Wissenschaftsgeschichte das Ziel, ontologische Annahmen aus der Physik wie aus der Wissenschaft überhaupt zu verbannen. Seiner Auffassung nach verkomplizieren sie auf Dauer das Geschäft der Forschung, deren Zweck darin bestehe, „möglichst vollständig die Tatsachen mit dem geringsten Kraftaufwand darzustellen“.³⁰ Der Erkenntnisprozeß hat in Machs Wissenschaftslehre dem „Ökonomieprinzip“ zu folgen, das „zwecklose Tätigkeit“ sukzessiv ausschließt.³¹ Empirisch gehaltlose Theorieteile tragen lediglich zeitweise zur Minimierung des „Kraftaufwandes“ bei. Nur solange sich die Wissenschaft noch nicht im erstrebten Zustand des metaphysikfreien Optimums befindet, gesteht Mach dem „speculative[n] Element eine gewisse Berechtigung“³², d.h. Zweckmäßigkeit zu. Vor dem Hintergrund dieser Fortschrittskonzeption läßt sich seine Argumentation wie folgt nachzeichnen: Die „aller Orten“³³ als wahr akzeptierte mechanistische Auffassung von der Energie geht von der Falschheit der vorangehenden Vorstellungen aus.³⁴ Diese waren aber in vergleichbarer Weise wie jene für die (ökonomische Gestaltung der deskriptiven Aufgabe der) Forschung zweckmäßig.³⁵ Also kann Zweckmäßigkeit mit Falschheit verbunden sein und vermeintliche Wahrheit der optimal zweckmäßigen Struktur der Forschung durchaus im Wege stehen.

²⁷ Mach 1883, 479 f., 501 u.ö.

²⁸ Mach 1872, 22.

²⁹ Mach 1872, 33.

³⁰ Mach 1883, 501.

³¹ Mach 1910b, 654.

³² Mach 1896, 461, vgl. auch Mach 1910a, 268.

³³ Mach 1872, 16.

³⁴ Z.B. Mach 1872, 20: die „mechanische Wärmetheorie [... sagt, ...] Wärme [...] kann [...] kein Stoff sein“.

³⁵ Mach verweist etwa darauf, daß Carnot mit der Wärmestoffvorstellung seine Wirkungsgradberechnungen (vgl. Anm. 16) gefunden habe (Mach 1872, 20 f.).

Um nun eine weitere Beziehung zur gegenwärtigen Auseinandersetzung um die Geltungsproblematik wissenschaftlicher Theorien herzustellen, ist in dieser Argumentationsskizze der Begriff der Zweckmäßigkeit durch den (geeignet definierten) des Erklärungserfolges zu ersetzen. Dann tritt die Verwandtschaft mit der von Larry Laudan vertretenen „pessimistischen Induktion“ hervor. Laudan wendet sich dagegen, den realistisch verstandenen wissenschaftlichen Wahrheitsanspruch heutiger Theorien durch den Hinweis auf ihren Erfolg zu rechtfertigen. Seiner Auffassung nach können diese Theorien nicht realistisch interpretiert werden, weil frühere erfolgreiche Theorien nach denselben Kriterien einer realistischen Wissenschaftsauffassung heute nicht mehr für wahr gehalten werden. Demnach verbindet sich Erfolg sowenig mit Wahrheit wie Wahrheit durch die erfolgreiche Struktur der Forschung erklärbar ist.³⁶

Daß der von Mach thematisierte geschichtliche Wandel darüber hinaus auch in der Nähe eines modernen Theorienrelativismus steht,³⁷ geht teilweise auf die von ihm selbst gewählten Formulierungen zurück. Seinen sonstigen Ausführungen in der Schrift von 1872 widersprechend heißt es beispielsweise in deren Einleitung: „Die Geschichte hat alles gemacht, die Geschichte kann alles ändern.“³⁸ Und der letzte Satz dieser Schrift verkündet in nicht minder überzogenem Ton: „Die Theorien [...] sind wie dürre Blätter, welche abfallen, wenn sie den Organismus der Wissenschaft eine Zeit lang in Athem gehalten haben.“³⁹

Die Tatsache der historischen Veränderlichkeit physikalischer Theorien, zumal wenn sie ohne Hinweis auf die invarianten Bedingungen und Erkenntnisleistungen der Wissenschaft angesprochen wird, erhöht freilich das Gewicht der Frage nach den Ursachen für den beherrschenden Einfluß von Aussagen, denen selbst kein empirischer Gehalt zukommt. Im Hinblick auf die mechanistische Interpretation des Energieerhaltungssatzes gibt Mach hierauf eine Reihe von Antworten, auf die ich an dieser Stelle lediglich aus Platzgründen nicht eingehe.⁴⁰ Festzustellen bleibt, daß er den Theoriebegriff bei der Erörterung der Historizität der physikalischen Erkenntnis offensichtlich in einer anderen Bedeutung verwendet, als er ihn im Hinblick auf den Satz von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobiles gebraucht.⁴¹ Dieser Satz geht – um im Bild zu bleiben – in den Stamm des Wissens ein, trägt zu dessen Umfangsvergrößerung bei und widersteht allem Wechsel.

³⁶ Laudan 1981 und 1984, Kap. V.

³⁷ Wise 1983, 20 f., und Noé 1992.

³⁸ Mach 1872, 3.

³⁹ Mach 1872, 46.

⁴⁰ „Umstände“, durch die die „Entwicklung der mechanischen Natursicht [...] begünstigt“ wurde (Mach 1883, 513), nennt Mach u.a. in Mach 1872, 20 ff., Mach 1883, 510 ff., Mach 1910a, 187 ff., Mach 1896, 316 ff., und in Mach 1915.

⁴¹ Vgl. z.B. König 1968, 107 f., der zwischen zwei Theoriebegriffen bei Mach unterscheidet. Der eine umfaßt Theorien, die nur auf beobachtbaren Tatsachen gründen, der andere – im Hinblick auf den eben zitierten Satz, Mach 1872, 46 – die „Blättertheorien“, die Tatsachen nur „indirekt“ beschreiben und im Fortschrittsprozeß sukzessiv durch den ersten Typ zu ersetzen sind.

III.

Zu Machs Verdiensten in der Geschichte der Energievorstellungen gehört, auf die unabhängig von ontologischen Deutungen geltenden Erkenntnisse schon in einer Zeit hingewiesen zu haben, als der Mechanismus in der Physik noch in voller Blüte stand. Seine Kritik führt ihn zur ersten Formulierung der Grundlagen seiner Wissenschaftslehre, in der Voraussetzungen und Tatsachen von historisch variablen Aussagen der Forschung deutlich geschieden sind. Mit der Ablehnung der mechanistischen Ontologie vertritt er eine Auffassung, die der für den Realismus typischen Annahme der Existenz von nichtbeobachtbaren Entitäten entgegensteht. Es ist deshalb nicht erstaunlich, daß der argumentative Rekurs auf die Wissenschaftsgeschichte, mit der er den überzogenen Realitätsbezug der mechanistischen Interpretation verneint, Verwandtschaft mit einer Kritik am Wahrheitsanspruch wissenschaftlicher Theorien zeigt, wie sie in unserer Zeit von antirealistischer Seite (repräsentativ von Laudan) vorgetragen wird. Im Gegensatz zum heutigen Mainstream der Realismuskritik bestreitet Mach jedoch nicht einen Bestand von Erkenntnissen, der dem historischen Wandel enthoben ist und dessen Vergrößerung dazu beiträgt, sich dem Ziel einer abschließenden Ordnung des Wissens zu nähern. Wenn gegenwärtig, wie von realistischer Seite behauptet, der beste Weg zur Verteidigung des Realismus im Nachweis stabiler und invarianter Elemente der wissenschaftlichen Erkenntnis besteht,⁴² dann hat man Anlaß daran zu erinnern, daß Mach in seiner Kritik der mechanistischen Fassung der Energieerhaltung, um die es hier ging, auf einige solcher Elemente aufmerksam macht, ohne allerdings ihrer realistischen Interpretation zu verfallen.

Literatur:

- Blackmore, J., hg., 1992, *Ernst Mach – A Deeper Look*, Dordrecht usw.
 Boyd, R., 1984, The Current Status of the Realism Debate. In *Scientific Realism*, ed. J. Leplin, Berkeley, 41-82.
 Feyerabend, P. K., 1988, Machs Theorie der Forschung und ihre Beziehung zu Einstein. In *Ernst Mach – Werk und Wirkung*, hg. R. Haller, F. Stadler, Wien, 435-462.
 Helmholtz, H. v., 1847, *Über die Erhaltung der Kraft*, Leipzig 1889.
 Kitcher, P., 1993, *The Advancement of Science*, New York/ Oxford.
 König, G., 1968, Der Wissenschaftsbegriff bei Helmholtz und Mach. In *Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaftstheorie im 19. Jahrhundert*, hg. A. Diemer, Meisenheim am Glan, 90-114.
 Laudan, L., 1981, A Confutation of Convergent Realism. *Philosophy of Science* 48, 19-49.
 Laudan, L., 1984, *Science and Values*, Berkeley usw.
 Mach, E., 1872, *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, Prag.
 Mach, E., 1883, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt*. Nachdruck der 7. Auflage von 1912, Berlin 1988.
 Mach, E., 1896, *Die Principien der Wärmelehre, historisch-kritisch entwickelt*, 2. Auflage, Leipzig 1900.
 Mach, E., 1905, *Erkenntnis und Irrtum*. Nachdruck der 5. Auflage von 1926, Darmstadt 1991.
 Mach, E., 1910a, *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, 4. Auflage, Leipzig.

⁴² Psillos 1996, S308.

- Mach, E., 1910b, Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen. In Mach, 1883, 653-669.
- Mach, E., 1915, *Kultur und Mechanik*, Stuttgart.
- Noé, K., 1992, Mach's Relativism vs. Apriorism and the Mechanistic World View. In Blackmore, hg., 1992, 229-242.
- Psillos, S., 1996, Scientific Realism and the 'Pessimistic Induction'. *Philosophy of Science* 63, S306-S314.
- Schiemann, G., 1997, *Wahrheitsgewißheitsverlust. Hermann von Helmholtz' Mechanismus im Anbruch der Moderne. Eine Studie zum Übergang von klassischer zu moderner Naturphilosophie*, Darmstadt 1997.
- Wise, M.N., 1983, On the Relation of Physical Science to History in Late Nineteenth-Century Germany. In *Functions and Uses of Disciplinary Histories*, eds. L. Graham, W. Lepeines and P. Weingart, Vol. VII, 3-34.
- Worrall, J., 1994, How to Remain (Reasonably) Optimistic: Scientific Realism and the „Luminiferous Ether“. *PSA*, Vol 1, 334-342.

Sonderdruck aus:

Nicht im Handel

Perspektiven der Analytischen Philosophie
Perspectives in Analytical Philosophy

Band 23

Rationalität, Realismus, Revision

Vorträge des 3. internationalen Kongresses der
Gesellschaft für Analytische Philosophie
vom 15. bis zum 18. September 1997
in München

Herausgegeben von
Julian Nida-Rümelin

Rationality, Realism, Revision

Proceedings of the 3rd international congress
of the Society for Analytical Philosophy
September 15–18, 1997
in Munich

Edited by
Julian Nida-Rümelin



Walter de Gruyter · Berlin · New York

1999