

Ludwig Boltzmann – Persönlichkeit – Karriere – Bedeutung

Von Walter Höflechner, Graz

Meine Damen und Herren!

Im heurigen Jahr jährte sich der Todestag Ludwig BOLTZMANNs zum 100. Male, und das ist wohl der konkrete Anlass für diesen Vortrag. Ich werde mich nicht mit den Details der Biographie BOLTZMANNs befassen und schon gar nicht mit den zahlreichen „Geschichten“ und Legenden, von denen sich schon Stefan MEYER distanziert hat und die doch noch immer so gerne erzählt werden. Ich möchte vielmehr versuchen, eher resümierend die wichtigsten Aspekte seines Lebens und wissenschaftlichen Schaffens zu skizzieren. (Die leitenden Daten finden sich im Anhang dieses Beitrages.)

Ich darf als bekannt voraussetzen, dass BOLTZMANN zweifellos einer der ganz großen Physiker war, die das alte Österreich hervorgebracht hat, und dass er an der Entwicklung der Physik am Übergang von der klassischen Physik zur modernen Physik, zur Quantenphysik wesentlich mitgewirkt hat. Er steht als Vollender einerseits und als Ahnender andererseits an der Schwelle: 1891 warf er in Halle den erst unter späteren Aspekten großen Satz in die Diskussion: „*Ich sehe keinen Grund, nicht auch die Energie als atomistisch eingeteilt anzusehen*“.

1 PERSÖNLICHKEIT

Die Beurteilungen der Persönlichkeit BOLTZMANNs stammen fast durchwegs aus späten Jahren, sind vielfach auch im Rückblick abgegeben worden, und sind durchwegs mit der dem Historiker gebotenen Kritik zu bewerten.

Ludwig BOLTZMANN war m.E. eine sehr geradlinig und direkt angelegte Persönlichkeit, die zudem von einem gewissen Ungestüm geprägt war. Als er 1870 und 1871 an die Universitäten Heidelberg und Berlin ging, um – obgleich schon Ordinarius – gewissermaßen sein Studium bei den regierenden Größen des Faches, bei KIRCHHOFF und HELMHOLTZ fortzuführen, verschaffte er sich sofort einen gewissen Ruf, indem er diesen beiden akademischen Halbgöttern bei der ersten Begegnung sozusagen mit der Tür ins Haus fiel und sie auf Fehler in ihren Arbeiten aufmerksam machte – *horribile auditu* für das dortige Publikum, auf das BOLTZMANN schon auch wegen des dort ungewohnten Wiener Dialektes einen eigenwilligen Eindruck machte.

Primär war ihm die Sache, die zu verfechten er sich verpflichtet fühlte. Arnold SOMMERFELD hat BOLTZMANN in der großen Auseinandersetzung in Lübeck mit einem Stier verglichen, den Gegner OSTWALD mit einem geschmeidigen Torero, der in diesem Fall jedoch vom Stier besiegt wird. BOLTZMANN war ein schlagfertiger, hartnäckiger und oft genug wohl auch sehr direkter und insofern etwas gefürchteter Diskutant, der sich wohl oft der durchschlagenden Direktheit und Wirkung seiner mitunter auch sarkastischen Formulierungen nicht immer ganz bewusst gewesen und dann wohl auch von den Konsequenzen betroffen gewesen sein mag. Ich denke, dass für die letzte Zeit MACHs Urteil recht treffend war, wenn er in Bezug auf BOLTZMANN meinte: böswillig sei er ja nicht, nur unglaublich naiv und burschikos, kurz ein Mann, „*der kein Gefühl für das Maß des Zulässigen hat*“. MACH bezog sich dabei auf BOLTZMANNs furiosen paraphrasierenden Vortragstitel „Beweis, dass Schopenhauer ein geistloser, unwissender, Unsinn schmierender, die Köpfe durch hohlen Wortkram von grund aus und auf immer degenerierender Philosophaster sei“ im Jänner 1905. – Noch 60 Jahre später konstatierte man in Berkeley etwas indigniert, dass BOLTZMANN 1905 dort deutlich gemacht habe, dass er sich an „*the very edges of civilization*“ angekommen gefühlt habe. OSTWALD hat ihn 1909 in seinen „Lebenslinien“ beurteilt als einen „*Fremdling in dieser Welt, von der Harmlosigkeit und Unerfahrenheit eines Kindes*“.

Aus BOLTZMANNs jungen Jahren ist diesbezüglich wenig überliefert. Ein Zeugnis seiner Akkuratess und Gründlichkeit ist sein Heiratsantrag aus dem Jahr 1875, in dem er der ins Auge gefassten jungen Dame – Henriette von AIGENTLER, die erste Studentin in der Physik und eine der ersten an der Universität Graz überhaupt – seine Situation klipp und klar darstellte und außerdem meinte, dass auch seine Mutter

und seine Schwester im künftigen ehelichen Haushalt leben würden – dazu ist es begreiflicherweise nicht gekommen.

Ludwig BOLTZMANN machte äußerlich physisch wie psychisch einen robusten Eindruck. Auch in seinen späten Jahren, als dies schon längst nicht mehr zutraf. Seine geistige Leistungsfähigkeit muss enorm gewesen sein, solange er über seine wissenschaftliche Arbeit hinaus von Widrigkeiten des Alltags unbehelligt blieb.

Seine psychische Konstitution wies aber wohl von Anfang an eine Disposition auf, die in späteren Jahren sich verstärkte und letztlich sein Ende bestimmte. In noch stärkerem Maße dürfte das auf seine bereits 1890 verstorbene Schwester zugetroffen haben. Der erste konkrete Hinweis auf jene Erkrankung, die ihn fortan in unter Belastung auftretenden und immer intensiver werdenden Schüben behelligte, ist für das Jahr 1885 nachweisbar, in dem seine von ihm sehr verehrte Mutter Katharina verstarb. Dann folgten die dramatischen Ereignisse um den Ruf nach Berlin im Frühjahr 1888, die Krise der Jahre 1900 und 1901 um die Berufung nach Leipzig und schließlich die finale Krise von 1906.

Das damals als „Neurasthenie“ bezeichnete Krankheitsbild subsumierte einen Komplex von Erscheinungen, den man mit einer Überreizung des Nervensystems und insbesondere mit einer Überlastung durch geistige Tätigkeit erklärte. Dieser „neurasthenische“, depressive Zustand wechselte ab mit Phasen der Euphorie und einer drängenden Selbstbestätigung. BOLTZMANN hat diese seine Disponierung selbst als solche angesprochen – derartige Erscheinungen wurden in jener Zeit in auffällender Häufung bei Professoren manifest.

Neben dieser zentralen und lebensbestimmenden Krankheit war BOLTZMANN in späteren Jahren auch von anderen, von physischen Erkrankungen geprägt: Katarrhe, Nieren- und Blasenleiden und vor allem seine seit der Jugend vorhandene Sehschwäche machten ihm sehr zu schaffen. Obgleich BOLTZMANN den Mangel an Leistungsfähigkeit hinsichtlich seiner Augen immer wieder beklagt hat, scheint er sich doch nicht oft zu einer ärztlichen Behandlung durchgerungen zu haben: Das 1888 erstellte Attest lässt erkennen, dass sich BOLTZMANN trotz aller Unzulänglichkeit mit einer elf Jahre alten Brille zufrieden gegeben hat. Aus seinen späten Jahren ist überliefert, er habe bei dem von ihm so geliebten Klavierspiel mehrere Brillen übereinander aufgesetzt, er habe eine Vorleserin beschäftigen müssen und für ihn Bestimmtes sei extrem groß geschrieben worden. Gleichwohl hat er selbst bis in die letzten Jahre der Stenografie sich bedient.

BOLTZMANN hat in Berufsfragen stets unüberlegt voreilig gehandelt und hat sich damit selbst in ärgste Bedrängnis gebracht: Zum Jahreswechsel auf 1888 reist er innerhalb kürzester Zeit nach Berlin und schließt innerhalb von Stunden definitiv ab, um hierauf ein halbes Jahr hindurch in Österreich die Annahme eines Rufes zu verschweigen, den er dann – lange nach der Ernennung durch den König von Preußen – rückgängig zu machen bittet, um dann die Bitte der Rückgängigmachung rückgängig zu machen und schließlich auch diesen letzten Schritt noch rückgängig machen zu wollen, was natürlich in einem Desaster endet, das sein weiteres Verbleiben in Graz schwer beeinträchtigt und ihn bewogen hat, sich um eine Berufung anderswohin zu bemühen – so nahm Eugen LOMMEL in München die günstige Gelegenheit wahr und instradierte BOLTZMANNS Berufung dorthin. Ganz ähnlich unüberlegt und noch dramatischer verlief die Berufung nach Leipzig im Sommer 1900, in deren Zusammenhang er Rückkehrverhandlungen nach Wien einleitete, ehe er Wien überhaupt verlassen hatte; dieser Übergang nach Leipzig war flankiert von einem Sanatoriumsaufenthalt und gefolgt von Selbstmordversuchen und hatte schließlich zwei Jahre zur Folge, über die BOLTZMANN später kaum jemals gesprochen hat.

Als es Minister HARTEL schließlich gelang, 1902 BOLTZMANNS Wiederernennung in Wien durchzubringen, lag diesem Vorgang BOLTZMANNS ehrenwörtliche Erklärung zugrunde, Österreich nie mehr zu verlassen.

Wir sehen so BOLTZMANNS Persönlichkeit und sein ganzes Leben einem dramatischen und schließlich letalen Steigerungsprozess unterworfen, der natürlich auch sein wissenschaftliches Schaffen beeinflusst hat bzw. mit diesem in einer Wechselbeziehung steht. – Es zeugt von einer eklatanten Fehleinschätzung, wenn man in einer der meistbenutzten Darstellungen von BOLTZMANNS Leben als ersten Satz lesen kann: *„Das äußere Leben Ludwig Boltzmanns, des wohl größten Denkers, den Österreich hervorgebracht hat, verlief ruhig“*. (Vgl. dazu: Engelbert Broda, Ludwig Boltzmann. Mensch – Physiker – Philosoph, Wien²1986.)

2 KARRIERE

Ludwig BOLTZMANN kann – unbeschadet seiner persönlichen Genialität – in seinem wissenschaftlichen Schaffen auch als das Ergebnis eines Prozesses interpretiert werden, der mit den Erneuerungsbestrebungen zweier Männer – Andreas von BAUMGARTNER und Andreas von ETTINGSHAUSEN – in den 1820er Jahren einsetzte, dann langsam staatliche Förderung erfuhr und schließlich in der Begründung des Physikalischen Instituts in Wien im Jahre 1850 kulminierte, aus dem Physiker wie Josef STEFAN, Ernst MACH und eben Ludwig BOLTZMANN, aber auch zahlreiche andere namhafte Physiker hervorgegangen sind und dessen Nachwirken die Physik im 20. Jahrhundert noch eine Reihe höchst bedeutender, z.T. allerdings nicht mehr in Österreich wirkender, Physiker verdanken sollte – es sei stellvertretend nur der Name SCHRÖDINGER erwähnt.

Wie viele Institutionen und Assoziationen in derartigen Aufbruchsstimmungen – hier nach der Revolution von 1848 – vermittelte auch das Physikalische Institut ein enormes Maß an Motivation. Noch Jahrzehnte später hat BOLTZMANN dem Geist jener Jahre, dem „*Erdberg-Geist*“ nachgetrauert.

BOLTZMANN erfuhr die konzentrierte Förderung durch Josef STEFAN, dem er die Ernennung zum Ordinarius im Alter von 25 Jahren und die sein Lebenswerk entscheidende Begegnung mit der Arbeit James Clerk MAXWELLS verdankte.

Vordergründig lässt sich BOLTZMANNs akademische Karriere wesentlich in drei Abschnitten sehen:

- 1 Die Zeit bis 1888/1890, also bis zur Krise um die Berufung nach Berlin: Dieser erste Abschnitt umfasst die Anfänge in Wien, die erste Professur in Graz, die erste Professur (für Mathematik) in Wien und die zweite Professur in Graz. Es sind dies die Jahre der konzentrierten und höchst fruchtbaren, aber sehr zurückgezogenen Arbeit, in denen letztlich alles entsteht, was BOLTZMANN groß gemacht hat. Seine fundamentalen Arbeiten sind 1866, 1872 und 1877 entstanden.
- 2 Dann die 1890er Jahre in München und in Wien: Die Arbeit dieser Jahre dient letztlich dem Ausbau, der Diskussion und der Verteidigung des bis dahin Erkannten. So ist der zweite Abschnitt gekennzeichnet von internationaler Wahrnehmung, von Reisen und Tagungen – BOLTZMANN befindet sich im inneren Kreis der Spitzenkräfte und im Wechselspiel der Diskussionen. Noch bevor BOLTZMANN im deutschen Sprachraum volle Anerkennung und Respekt erfuhr, erlangte er beides in England, und die dort im Rahmen der BAAS gemachten Erfahrungen haben sein Vorgehen und Verhalten in Deutschland bestimmt – war er doch 1895 entschlossen, in Lübeck „*eine Debatte a la british association zu provozieren*“, wie er es in einem Brief im Juni davor an OSTWALD ausdrückte. In den Jahren der Münchener und der zweiten Wiener Professur, d.h. in den 1890er Jahren, befand sich BOLTZMANN auf der Höhe seines Lebens, seines Ansehens, aber er verfügte wohl nicht mehr über seine volle Leistungskraft.
- 3 Die Zeit nach 1900, die maßgeblich durch seine Krankheit und durch die Befassung mit der Philosophie geprägt ist. Die dritte Periode ist trotz zeitweise scheinbar heiterer und initiativer Aspekte von tragischer Natur – sie ist geprägt von dem von Woldemar VOIGT angesprochenen Verstummen in Hinblick auf die Physik und der Befassung mit Philosophie, der BOLTZMANN in einem Schreiben an Franz von BRENTANO „*vielfach [...] Schuld*“ an seiner Neurasthenie, an seiner Depression gab. An dieser Grundstimmung ändern die initiativ-übermütige Übernahme der Nachfolge MACH hinsichtlich des Lehrauftrags für Geschichte und Theorie der induktiven Wissenschaften und auch die vermeintlich ach so lustige „*Reise eines deutschen Professors in das Eldorado*“ nichts.

Lassen Sie mich zum dritten Punkt kommen und die wissenschaftliche Bedeutung BOLTZMANNs ansprechen. In Zusammenhang damit muss ich darauf verweisen, dass ich kein Physiker, sondern Historiker bin, folglich also leicht einen Fehltritt begehen kann.

3 Bedeutung

In Bezug auf die physikalischen Inhalte seiner wissenschaftlichen Tätigkeit ist BOLTZMANN maßgeblich bestimmt von James Clerk MAXWELL, mit dem er allerdings nie Kontakt aufgenommen hat, und von Rudolf CLAUSIUS. Die Beziehung zu MAXWELL erstreckt sich auf beide der das wissenschaftliche Leben BOLTZMANNs bestimmenden Bereiche:

- auf die experimentalphysikalische Erhärtung der elektromagnetische Lichttheorie MAXWELLS und
- auf das Ringen um die Gültigkeit des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik.

MAXWELLS elektromagnetische Lichttheorie, also das Postulat, dass Elektrizität und Magnetismus zwei Erscheinungen letztlich eines Phänomens seien, dem als eine elektromagnetische Strahlung auch das Licht zuzuordnen sei, war ein Novum, eine gewaltige Herausforderung. Diese Theorie zu beweisen, war eines der Anliegen der Physik der Zeit. Die MAXWELL'schen Gleichungen sind 1864 in den „Philosophical Transactions“ der Royal Society veröffentlicht worden. Es war Josef STEFAN, der diese Arbeiten nebst einem Englischlehrbuch BOLTZMANN in die Hand drückte.

Die Frage der elektromagnetischen Lichttheorie führte BOLTZMANN zu den experimentalphysikalisch höchst diffizilen Untersuchungen der Dielektrizität, mit denen er die seitens der Theorie gemachten Vorhersagen praktisch-experimentell überprüfte. So entstanden sieben subtile experimentelle Arbeiten, die nicht nur BOLTZMANN nach dem Urteil Ernst MACHS als einen „kaum zu übertreffenden“ Experimentator auswiesen, sondern BOLTZMANN im Frühjahr 1874 zur Annahme führten, dass er „die Richtigkeit der [MAXWELL'schen Theorie] nunmehr experimentell erwiesen“ habe – dies zwölf Jahre vor dem experimentellen Nachweis der elektromagnetischen Wellen durch HERTZ im Jahre 1886. Der Großteil dieser hervorragenden und über seinen Tod hinaus gerühmten Experimente ist in Graz durchgeführt worden, und zwar in einem nicht beheizbaren Raum im obersten Stockwerk des alten Universitätskomplexes in der Bürgergasse. BOLTZMANN hat selbst in seinen Arbeiten die Versuchsanordnungen ausführlich beschrieben und aus der Erinnerung hat sein damaliger Assistent Albert von ETTINGSHAUSEN (später selbst ein namhafter Physiker) seinerseits 1906 in seiner „Gedächtnisrede auf Boltzmann“ eingehend über diese Experimente berichtet.

Auch wenn BOLTZMANN hinsichtlich der elektromagnetischen Lichttheorie Großes geleistet hat, so war sein eigentlich zentrales Thema doch die Wärmelehre: Früh postulierte Physiker, dass Wärme eine Folge von Bewegung sei. In der Wärmelehre erarbeiteten die deutschen Physiker August KRÖNIG und Rudolf CLAUSIUS die kinetische Gastheorie und CLAUSIUS führte 1865 den Begriff Entropie ein und die beiden entwickelten maßgeblich weiter, was als mechanische Wärmelehre, als Thermodynamik bezeichnet wird, deren Erster Hauptsatz der Satz von der Erhaltung der Energie ist und deren Zweiter Hauptsatz (gefunden von CLAUSIUS) besagt, dass Energie von selbst nicht von einem kalten auf einen warmen Körper übergehen könne.

Die hinter beiden Bereichen – hinter der mit der Vorstellung vom Äther als Medium verknüpften elektromagnetischen Lichttheorie wie hinter der Thermodynamik – stehende Auffassung war die der Mechanik. „Das Grundgesetz der Mechanik“ war für BOLTZMANN „der Gott, von dessen Gnaden die Könige regieren“. Ihre Prämisse war die Atomistik in Gestalt der Interaktion von festen Teilchen. Und die mechanistische Erklärung dieser Phänomene war es, die BOLTZMANN beschäftigte und an die Grenzen der klassischen Physik führte:

- der Äther als das von MAXWELL postulierte, eine mechanische Erklärung der elektromagnetischen Theorie ermöglichende Medium, wurde noch von EINSTEIN nur widerstrebend als entbehrlich eliminiert und
- der Zweite Hauptsatz kollidierte in seinen mechanistischen Erklärungsversuchen trotz aller Bemühungen mit der als unbezweifelbar erachteten Irreversibilität von Naturvorgängen.

Damit ist in beiden Fällen der mechanistische Erklärungsversuch letztlich gescheitert. Hier liegt – zumindest in Bezug auf die Thermodynamik – BOLTZMANNs großes, ihn bewegendes und mit Zweifeln quälendes Problem.

Mit der kinetischen Gastheorie, die auf mechanischen Vorstellungen beruht, verknüpft war das Problem der Atomistik, die, wie bereits erwähnt, eine Prämisse des mechanistischen Erklärungsmodells darstellte und im Unterschied zur Chemie in der Physik keineswegs allgemein anerkannt war, sondern seitens der Phänomenologen wie MACH, die die Vorstellung einer Kontinuums-Struktur der Materie vertraten, lebhaft angefochten wurde. BOLTZMANN war keineswegs ein dogmatischer, zelotischer Verfechter der Atomistik, sondern seinerseits an der kontrastierenden Arbeit der Phänomenologen interessiert, wobei er sich allerdings einer letztlich sich erweisenden Korrektheit der atomistischen Vorstellung sicher war. Atomistik bedeutete für ihn natürlich längst nicht mehr eine Atomistik im Sinne DEMOKRITS, sondern – insbesondere nach der Benennung des Elektrons 1891 durch George J. STONEY und die eigentliche „Entdeckung“ des Elektrons durch Joseph John THOMSON im Jahre 1898 – im Grunde genommen nur mehr eine diskontinuierliche Struktur; der Begriff „Atom“ war ein Bild, ein Begriff, mit dem man im Sinne der Mechanik innerhalb eines diskontinuierlichen Systems zu operieren hatte, solange sich nichts Besseres fand. Bereits in den 1890er Jahren ist BOLTZMANN in Zusammenhang mit der Begrifflichkeit der Physik wie andere vor ihm und neben ihm auf die grundlegende Frage der Sprache bzw. der wissenschaftlich korrekten Verständigung gestoßen. Sie hat ihn zu einer Auffassung von Theorie geführt, die im Grunde genommen das Falsifizierungsprinzip POPPERS vorwegnimmt, wenn er von Modellen und dann später von Bildern spricht, die ihm gewissermaßen eine Vorstufe einer Theorie im eigentlichen Sinne sind und durch bessere ersetzt werden, sobald man bessere gefunden hat. D.h., es geht um ein sukzessives Annäherungsverfahren, dem letztlich nur asymptotische Effizienz zukommen könne.

Wie bereits angedeutet, hat BOLTZMANN noch als Student sich der Thermodynamik zugewandt und 1866 bereits eine höchst bedeutende Arbeit zur mechanischen Bedeutung des Zweiten Hauptsatzes geliefert.

Die kinetische Gastheorie geht von dem mechanischen Modell kugelförmiger Moleküle bzw. Atome aus, die je nach Temperatur über Energie verfügen, sich innerhalb eines definierten Gasvolumens (oder auch Festkörpers) dementsprechend schnell oder langsam frei bewegen und permanent Zusammenstöße produzieren, die natürlich mit einem Energieabtausch und einem Energieverlust verbunden sind, welcher letzterer sich in Wärme äußert, die aus dem System, aus dem Gas entweicht. – (1904 hat BOLTZMANN'S Nachfolger Leopold PFAUNDLER BOLTZMANN zum 60. Geburtstag ein Gerät geschenkt, das diese Vorstellung zweidimensional *ad oculos* demonstriert: Eine modernere Fassung des Problems sehen Sie in dieser Computerdemonstration zur Thermodynamik: <http://mc2.cchem.berkeley.edu/Java/molecules/index.html> Man kann sich das auch als Mischungsvorgang vorstellen: ein Tropfen schwarzer Tinte in einem Glas Wasser.)

Dieser Vorstellung entsprechend hat MAXWELL die kinetische Gastheorie als eine „Übungsaufgabe in der Mechanik“ bezeichnet und 1866 eine mathematische Fassung der Problematik geliefert, wie sich eben auch BOLTZMANN – damals noch Student! – damit befasst und im selben Jahr 1866 seine fundamentale Arbeit „Über die mechanische Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie“ vorlegte, in der er die Tatsache ermittelt, *„daß die Temperatur eines Gases der mittleren kinetischen Energie der Moleküle proportional ist“*.

1872 veröffentlichte BOLTZMANN seine Arbeit „Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen“, in der er mit Hilfe der in der Folge nach ihm benannten BOLTZMANN-Gleichung (auch „Transportgleichung“) die Zunahme der Entropie eines idealen Gases als einen irreversiblen Prozess beschrieb (obgleich im mikroskopischen Bereich reversible dynamische Prozesse vorliegen!) und nachwies, dass sich bei den Teilchen stets die 1860 bereits von MAXWELL postulierte Geschwindigkeitsverteilung einstelle – diese Verteilung ist in einer Kurve darstellbar, die diesem H-Theorem entsprechend als H-Kurve bezeichnet wird. (H nimmt niemals ab; da H als Entropie definiert wird, nimmt die Entropie stets zu.) Die aus dem H-Theorem resultierende Formel ist in ihrer PLANCK'schen Fassung auf BOLTZMANN'S Grabmonument am Wiener Zentralfriedhof eingemeißelt.

Die Berechnung derartiger komplexer Systeme mit unzähligen Teilchen führte naheliegenderweise zu einer statistischen Behandlung dieser Vorgänge, zur statistischen Mechanik, heute „statistische Physik“, als deren Schöpfer BOLTZMANN neben MAXWELL und dem US-Amerikaner Josiah W. GIBBS gilt. GIBBS hat seine abschließende Arbeit „Elementary Principles in Statistical Mechanics“ 1902 veröffentlicht, zu einer Zeit, als EINSTEIN seinerseits und völlig unabhängig ein weiteres Mal dieselbe Entwicklungsarbeit leistete, um hinterher die *„den Gegenstand tatsächlich erschöpfenden Untersuchungen von Boltzmann und Gibbs“*

konstatieren zu müssen. (In neuerer Zeit ist die Frage aufgeworfen worden, ob nicht BOLTZMANNs statistisches Verfahren bereits die BOSE-EINSTEIN-Statistik vorweggenommen habe, zumal die BOSE-EINSTEIN-Statistik wie die FERMI-DIRAC-Statistik im Grenzfall großer Energien in die BOLTZMANN-Statistik übergehe.) – Die Boltzmann-Statistik (auch als GIBBS-BOLTZMANN-Verteilung bezeichnet) gibt die Wahrscheinlichkeit des Zustandes eines genau definierten thermischen Systems an.

Den entscheidenden Schritt hat BOLTZMANN 1877 mit seiner berühmten Arbeit „Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmeleichgewicht“ gesetzt. So wies nicht nur die Problematik an sich, sondern auch ihre Behandlung im Detail auf die Grenzen der klassischen Physik, indem sie dazu führte, den Bereich der strikten Kausalität zu verlassen und einen statistischen, probabilistischen Charakter der thermodynamischen Vorgänge im Mikrobereich zu postulieren. Noch zu BOLTZMANNs Lebzeiten wurden 1899 im Wege der SCHWEIDLER'schen Schwankungen hinsichtlich des radioaktiven Zerfalls weitere Phänomene dieser Art bekannt. Und MAX PLANCK hat das, was er erst als mathematischen Trick BOLTZMANNs interpretierte, schließlich als den Zugang zur Quantentheorie erkannt. Im weiteren 20. Jahrhundert gewinnt die Diskussion um die Kausalität in der Physik eine noch viel weitere Dimension – von EINSTEINs „*Gott würfelt nicht*“ bis hin zu dem heute von den Quantenphysikern gerne strapazierten Begriff des „*objektiven Zufalls*“, der von ihnen als „*eine der profundesten Entdeckungen der Naturwissenschaften*“ des 20. Jahrhunderts bezeichnet wird (Anton ZEILINGER) – man möchte dem bei aller Würdigung der Leistungen der Physiker doch immer noch das Argument DEMOKRITS entgegenhalten: „*Die Menschen haben sich ein Trugbild des Zufalls erdichtet, als Deckmantel für ihre eigene Ratlosigkeit*“.

So wurden in BOLTZMANNs Arbeiten zur kinetischen Gastheorie thermodynamische Vorgänge mechanisch modelliert. Nun ist ein mechanisches System aber prinzipiell als reversibel zu betrachten, und es wurden dementsprechend Einwände gegen dieses Erklärungsmodell der Thermodynamik erhoben. LOSCHMIDT, BOLTZMANNs Lehrer und väterlicher Freund, hat früh, 1876, unter Hinweis auf die Reversibilität in der Mechanik den „Umkehrinwand“ vorgebracht, und 1896, nach Lübeck, erhob PLANCKs Schüler ERNST ZERMELO auf der Grundlage eines Theorems von POINCARÉ den „Wiederkehrinwand“. POINCARÉ hatte nämlich gefolgert, dass jedes abgeschlossene mechanische System nach hinreichend langer Zeit seinen Ausgangspunkt, seinen ursprünglichen Zustand wieder erreichen könne.

Diesen Einwürfen, insbesondere jenem von ZERMELO, war schwer zu begegnen. BOLTZMANN berechnete die Wiederkehrzeit für die Teilchen eines einzigen Kubikzentimeters eines idealen Gases mit einem Zeitraum von $10^{10^{19}}$ Sekunden – es ist dies ein ungeheurer Zeitraum, der zwar für den Menschen auf eine de-facto-Irreversibilität hinausläuft, streng wissenschaftlich aber eindeutig eine Aussage zugunsten der Reversibilität ist und damit einen Widerspruch zum Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik und zum Postulat der Unumkehrbarkeit der Naturvorgänge bedeutete und gegen eine eindeutige Auszeichnung einer bestimmten Zeitrichtung stand.

Als Konsequenz dieser Einwände stellte sich die Frage, ob:

- 1 Entweder das mechanistische Erklärungsmodell BOLTZMANNs nicht zutreffe
- 2 oder die Allgemeingültigkeit des Zweiten Hauptsatzes nicht gegeben sei – eine damals schier unvorstellbare Annahme mit enorme Konsequenzen hinsichtlich der eindeutigen Gerichtetheit von Zeit.

1877 hatte BOLTZMANN bereits neben der rein mechanistisch-kausalen und damit deterministischen Begründung das Element der Wahrscheinlichkeit in die Erklärung miteinbeziehen müssen. So sah sich BOLTZMANN früh gezwungen, die Allgemeingültigkeit des Zweiten Hauptsatzes zur Diskussion zu stellen und hat ihn auch selbst als einen Wahrscheinlichkeitssatz bezeichnet: Es ist dies ein Vorgang, dessen Bedeutsamkeit erst später in den aus dieser Veränderung resultierenden tiefgehenden Diskussionen um Kausalität und Determinismus zu Beginn des 20. Jahrhunderts klar werden sollte, in der es wesentlich um das Verhältnis von statistischen, d.h. wahrscheinlichkeitsbehafteten und deterministischen Aussagen in der Physik, ja in den Naturwissenschaften überhaupt ging.

Die intensive Diskussion seines H-Theorems durch die englischen Physiker in den späten 1880er und den frühen 1890er Jahren, in der die Zeit-Asymetrie ebenfalls berührt wurde und in der nach einer fulminanten Veranstaltung in Oxford der britische Physiker Edward Parnell CULVERWELL scheinbar arglos frug: „*Will anyone say exactly what the H-Theorem proves?*“, sowie die mitunter rüde Opposition William

THOMSONS (Lord KELVINS) haben ihn 1895 zu klareren Feststellungen hinsichtlich seiner Auffassung veranlasst, so schrieb er: „*Mein Minimum-Theorem [= H-Theorem] und der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik sind lediglich Wahrscheinlichkeitsaussagen*“. Der Einwurf OSTWALDS in Lübeck, dass „*die tatsächliche Nichtumkehrbarkeit der wirklichen Naturerscheinungen [...] das Vorhandensein von Vorgängen [beweise], welche durch mechanische Gleichungen nicht darstellbar sind*“, und dass dies die Unhaltbarkeit der Atomistik erweise, sowie die Einwürfe, die im Gefolge der Lübecker Diskussion von 1895 folgten (insbesondere ZERMELOS Wiederkehrerwand), haben in BOLTZMANN verstärkt Zweifel aufkommen und ihn letztlich wohl erkennen lassen, dass dieses sein zentrales wissenschaftliches Vorhaben nicht aufgehe. In Auseinandersetzung mit der Energetik OSTWALDS und auch mit der phänomenologischen Position Ernst MACHS schrieb er im selben Jahr 1895: „*die Möglichkeit einer mechanischen Erklärung der ganzen Natur ist nicht bewiesen, ja daß wir dieses Ziel vollkommen erreichen werden, kaum denkbar. Doch ist ebensowenig bewiesen, daß wir darin nicht noch vielleicht große Fortschritte machen werden, und daraus noch vielfachen neuen Nutzen ziehen können [...] Die Ausdruckweise der allgemeinen theoretischen Physik ist vielmehr heute noch die zweckmäßigste und praktischste, die uralten Bilder der mechanischen Physik sind noch keineswegs überflüssig*“. – Im Februar 1898 schrieb BOLTZMANN an Felix KLEIN, dass ihm in einem neurasthenischen Anfall, wie er solche „*in Wien wieder so oft habe*“, „*die Furcht*“ gekommen sei, „*daß die ganze H-Kurve ein Unsinn sei*“.

Trotz dieser Probleme – die bis heute nicht wirklich gelöst sind (vgl. Stanford Encyclopedia of Philosophy) – und trotz der Neuerungen, die sich in Bezug auf die Mechanik anbahnten, hat BOLTZMANN an der Mechanik als Fundament der Physik festgehalten. Als BOLTZMANN im Sommer 1904 in St. Louis an einem großen internationalen Kongress am Rande der Weltausstellung teilnahm, wurde diese seine Position nochmals deutlich: Der Anti-Atomistiker Henri POINCARÉ hielt einen berühmt gewordenen Vortrag, in dem er MACH'sche Vorstellungen aufnahm und das sogenannte spezielle Relativitätspostulat formulierte, ja überhaupt eine neue Physik prophezeite, wenn er ausführte, dass nunmehr nicht wenige der Auffassung seien, „*dass die klassische Mechanik nur deswegen wahr zu sein scheint, weil wir immer nur mit kleinen Geschwindigkeiten rechnen, dass aber ihre Gültigkeit sofort aufhört, wenn wir Geschwindigkeiten in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit zuließen*“. OSTWALD trat als großer Philosoph auf und zog zweifellos eine gewisse Aufmerksamkeit auf sich. Der BOLTZMANN ebenfalls vertraute Felix KLEIN aber legte einen hochinteressanten Bericht zu „*Mathematik, Physik, Astronomie an den deutschen Universitäten in den Jahren 1893–1903*“ vor, in dem er BOLTZMANN als ein Relikt vergangener Zeiten darstellte, als die letzte Säule der Atomistik, als den einzigen, der noch annehme, „*daß die letzten Bestandteile der Materie streng punktförmig sind und dementsprechend par distance aufeinander wirken*“. KLEIN konnte sich auf BOLTZMANN'S eigene Aussage von 1899 beziehen, als dieser in seiner Arbeit „*Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit*“ formuliert hatte: „*[...] ich bin allein übrig geblieben von denen, die das Alte noch mit voller Seele umfaßten, wenigstens bin ich der einzige, der noch dafür [...] kämpft. Ich betrachte es als meine Lebensaufgabe, durch möglichst klare, logisch geordnete Ausarbeitung der Resultate der alten klassischen Theorie [...] dazu beizutragen, daß das viele Gute und noch immer Brauchbare [...] nicht einst zum zweiten Male entdeckt werden muß, was nicht der erste Fall dieser Art in der Wissenschaft wäre*“.

BOLTZMANN selbst hielt in St. Louis einen Vortrag über die statistische Mechanik – und er musste wohl den Eindruck gewinnen, als nicht mehr zeitgemäß eingeschätzt zu werden. All das geschah an einem Nachmittag. BOLTZMANN hat nicht mehr erlebt, wie EINSTEIN seine kinetische Gasttheorie als Paradebeispiel hervorragender erklärender naturwissenschaftlicher Arbeit rühmte.

Es waren dies die Gegebenheiten, die BOLTZMANN eigentlich zu schaffen machten. Es fehlte ihm aber in den ausgehenden 1890er Jahren bereits die Kraft, sich lösend mit diesen Fragen zu befassen.

Wenn BOLTZMANN auch hinsichtlich der Physik ab 1900 nahezu verstummt ist – es erschien praktisch nur mehr der 1905 in unglaublich kurzer Zeit gemeinsam mit Josef NABL verfasste Beitrag „*Kinetische Theorie der Materie*“ – so hat er sich natürlich auch in den letzten Jahren mit tiefgehenden physikalischen Fragestellungen befasst. In einem Brief an den Philosophen Franz von BRENTANO im Jänner 1905 findet sich eine Erörterung der Vorstellung von diskreter Zeit, von Zeitatomen: Er unternehme es, schreibt er an BRENTANO, „*die Zahl zu bestimmen, welche für die Zeit dieselbe Rolle spielt, wie die Loschmidtsche für*

die Materie, die Zahl der Zeitatome = der diskreten Zeitmomente, aus denen eine Sekunde besteht. Sie scheint von der Ordnung $10 \text{ hoch } 10 \text{ hoch } 10 \text{ hoch } 10^4$ zu sein. Offenbar hat er die Vorgänge in der Natur dieser zeitlichen Distinktion untergeordnet – Franz EXNER hat sich später diesbezüglich auf BOLTZMANN bezogen. BOLTZMANN hat dazu nicht mehr publiziert und wir wissen auch nichts über seine Haltung gegenüber der Vorstellung von diskreten Energieeinheiten, wie PLANCK sie entwickelt hat und wie sie BOLTZMANN bereits 1891 in den Raum gestellt hatte.

4 PHILOSOPHIE

1895 hatte die Wiener Philosophische Fakultät die Ernennung Ernst MACHS auf eine Professur „der Philosophie, insbesondere für Geschichte und Theorie der induktiven Wissenschaften“ erreicht. Die Forderungen der Naturwissenschaftler nach einer ihren Bedürfnissen entsprechenden Philosophie war unüberhörbar und äußerte sich ja auch darin, dass sich in jenen Jahren der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert unter dem Eindruck der Entwicklung der Physik zahlreiche Physiker philosophischen Fragen sich zuwandten.

Als BOLTZMANN in Leipzig lehrte, wandte sich OSTWALD eben mit dem ihm eigenen Impetus seinerseits der Philosophie zu, gründete sofort eine entsprechende Zeitschrift (die „Annalen der Naturphilosophie“, dann ab 1913 als „Annalen der Natur- und Kulturphilosophie“) und veröffentlichte 1902 auch gleich seine „Vorlesungen über Naturphilosophie“.

Als BOLTZMANN 1902 nach Wien zurückkehrte, geriet er im Herbst 1902 in die immer noch offene Regelung der Nachfolge für MACH, der 1898 einen Schlaganfall erlitten hatte und sich 1901 hatte pensionieren lassen müssen, womit die von ihm versehene Naturphilosophie vakant war. Als sich die Sache als ziemlich verkorkst erwies, erklärte BOLTZMANN von sich aus, willens zu sein, Vorlesungen in der Nachfolge MACHS zu halten. Es wird sich nie mehr feststellen lassen, inwieweit BOLTZMANN einer vielleicht dem Vorbild OSTWALDS nacheifernden augenblicklichen Intention folgte – eine Einschätzung, die man aus dem Sitzungsprotokoll gewinnt – oder aber eine diesen Eindruck erwecken sollende Äußerung machte auf Grundlage eingehender Vorbesprechungen; vermutlich wird für die verschiedenen Gruppierungen innerhalb der Kommission und der Fakultät das eine wie das andere in gewisser Hinsicht zugetroffen haben. BOLTZMANNS Bereitschaft kam jedoch dem Fachphilosophen Friedrich JODL sehr gelegen, da damit der Weg für die ihm am Herzen liegende Experimentalpsychologie geebnet schien. Als der Meteorologe PERNTNER etwas skeptisch fragte, wie BOLTZMANN derartige Vorlesungen zu halten gedächte, erklärte dieser, „das Werk Machs genau zu kennen“, und willens zu sein, „die Vorlesungen in seinem Sinne zu halten, insbesondere über Erkenntnistheorie“.

Tatsächlich hat BOLTZMANN im Spätherbst 1903 in wildem Enthusiasmus und unter großer Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit und unter einer Fülle von *captationes benevolentiae* seine Vorlesungen zur „Naturphilosophie“ aufgenommen. Es gibt darüber unterschiedliche Nachrichten von Zeitgenossen. Stefan MEYER, der wohl den besten Einblick in die eher äußeren Umstände hatte, erinnerte sich 1944 seinem Freund Hans BENNDORF gegenüber: „Nach seiner Rückkehr von Leipzig hatte er zu seiner sonstigen Tätigkeit auch noch in Nachfolge von Mach die Vorlesungen über Naturphilosophie übernommen. Nach einigen sehr geistvollen Anfangsvorlesungen geriet das aber sehr bald ins Stocken und freute ihn nicht mehr“. Die Fachphilosophen, insbesondere MACH, beobachteten sein Tun mit einigem Argwohn.

BOLTZMANNs philosophischer Mentor wurde – unfreiwillig – Franz von BRENTANO, den BOLTZMANN im Frühjahr 1905 in dessen Haus in Belleguardo bei Florenz für einige Wochen aufsuchte und einigermassen strapazierte. BOLTZMANN hatte sich zu Beginn des Jahres 1904 in einem Hoch befunden und plante „sein erstes Werk über Metaphisik“ zu schreiben, verfiel dann aber – als die Hörer ausblieben – in eine depressive Phase, in der er der Philosophie Schuld an seiner Verfassung gab. 1905 folgte neuerlich eine sehr euphorische Stimmung, die sich ja über seine Reise ins Eldorado bis in den Herbst 1905 erstrecken sollte.

Zweifellos strebte BOLTZMANN nach Erkenntnisgewinn aus einer Art Synthese zwischen Philosophie und Physik, und er hatte auch früher schon – vor allem in seiner Gedenkrede auf Josef STEFAN, aber auch in anderen Arbeiten der 1890er Jahre – seine Vorstellungen hinsichtlich der Entwicklung von Wissenschaft entfaltet. Doch: wenngleich BOLTZMANN in jenen Jahren außerordentlich an philosophischen Fragen interessiert war, so war er doch kein Fach-Philosoph; er besaß weder die nötige Vorbildung noch die

wünschenswerte Ruhe, Konstanz und Abgeklärtheit des Urteils. Auch wenn es zweifellos in der Intention eines Teiles der Fakultät lag, dass von ihm eher unkonventionelle, nicht-historistische Philosophie vorgetragen würde, so erforderte aber auch das eine gewisse breitere Grundlage. Der Heidelberger Philosoph Erhard SCHEIBE hat unlängst ein Buch über „Die Philosophie der Physiker“ herausgebracht, das in weiten Bereichen auf BOLTZMANN Bezug nimmt, und SCHEIBE spricht sogar von einer „BOLTZMANN’schen Tradition“. Nirgends aber geht er konkret auf BOLTZMANN’S „Principien der Naturphilosophie“ ein, wie sie 1990 nach Jahrzehnten mühevoller Arbeit von BOLTZMANN’S Enkelin Ilse FASOL veröffentlicht worden sind.

BOLTZMANN persönlich hat zweifellos die Auseinandersetzung mit der Philosophie als eine große Bereicherung empfunden und in ihr auch ein Feld neuerlicher Selbstbestätigung gesehen. Letztlich aber – als ihm die Philosophie gegenüber der Physik mehr und mehr in den Vordergrund trat und überhaupt der Kontakt zur Physik zurückging, wenn nicht verloren ging – ist ihm die Philosophie zur Last geworden und sind ihm die Unsicherheit und Ungewissheit der durch sie vermittelten Erkenntnis, die Relativierung weiter Bereiche bedrückend geworden; ja es erhob sich ihm die grundlegende Frage der Möglichkeit der Verständigung und damit wissenschaftlicher Arbeit. Im Jänner 1906 schreibt er an BRENTANO: *„Wie beneide ich Sie um Ihre stets gleiche Heiterkeit und Zufriedenheit. Sie sind wahrhaft ein echter Philosoph. Ich bin doch auch schon 62 Jahre alt, aber noch zu gar keiner Gemütsruhe gelangt. In solchen Zeiten des Trübsinns bin ich auch recht schwarzsehend bezüglich meiner eigenen philosophischen Ansicht, ja bezüglich der Möglichkeit philosophischer Erkenntnis überhaupt.“* Er fühlte sich *„auf einem unglaublich niedrigen Niveau der geistigen Energie angelangt“*.

In seinen letzten Wiener Jahren frequentierte BOLTZMANN relativ häufig die Versammlungen der Philosophischen Gesellschaft, und er geriet in einen etwas sonderbar anmutenden philosophischen Disput mit Wilhelm OSTWALD „Über das Glück“, der für ihn beklemmend endete:

Zu Ende November 1904 hielt OSTWALD in Wien einen Vortrag über das Glück unter quasi-energetischen Aspekten, als er Willensakte als energetisches Geschehen interpretierte, indem er sie als „psychische“ Energie der im physiologischen Sinne durch den Menschen umgesetzten Energie zur Seite stellte und in Formeln zu fassen suchte, von denen BOLTZMANN später feststellte, dass *„der echte Mathematiker“* sie so nicht schreiben hätte können – er betrachtete diesen Vortrag *„halb und halb“* als einen Scherz und vertrat die Ansicht, dass die OSTWALD’sche Energetik *„lediglich auf einem Mißverständnisse der Mach’schen Ideen“* beruhe. Als die Druckfassung des OSTWALD’schen Vortrags erschien, fand sich BOLTZMANN geradezu persönlich apostrophiert, wenn OSTWALD bezüglich der von ihm als wesentlich postulierten *„Widerstandsempfindungen“* schrieb: *„Den entgegengesetzten Zustand bietet der Neurastheniker dar. Bei diesem sind die Widerstandsempfindungen exzessiv gesteigert; er ist außer Stande, den kleinsten Entschluß zu fassen, weil er die entgegengesetzten Widerstände nicht überwinden kann, und er gehört zu den unglücklichsten Menschen, die es gibt.“* Über weitere persönliche Kontakte zwischen BOLTZMANN und OSTWALD liegen keine Informationen vor.

BOLTZMANN’S Ringen um Naturerklärung kann m.E. als ein sehr treffendes Beispiel für den Übergang vom 19. zum 20. Jahrhundert gesehen werden. In ihm vollzog sich, in seinen Arbeiten manifestiert sich der tiefgehende Wandel der Weltsicht von der vermeintlich gewonnenen Gewissheit physikalischer Erkenntnis zu einer von völlig neuen Vorstellungen bestimmten, hinter der alten Folie erst langsam erkennbar werdenden Dimension.

Wenn wir das heute so sehen können – ohne damit den Anspruch auf die Richtigkeit dieses Bildes zu erheben – so war dies Ludwig BOLTZMANN verwehrt. Und das wohl hat einen wesentlichen Teil der Last ausgemacht, die er auf sich fühlte.

5 Anhang

Ludwig Boltzmann 1844–1906

Jugend, Studium, Assistenten- und Dozentenzeit in Wien	1844–1868	
	Matura	1863
	Studium	1863–1866
	Doktorat	1866
	Habilitation	1867/68
Die erste Grazer Professur <i>für Mathematische Physik</i>	1869–1873	
	Heidelberg (+ Berlin)	1870
	Berlin	1871
Die erste Wiener Professur <i>für Mathematik</i>	1873–1876	
	Ruf ETH Zürich	1875
	Ruf Freiburg	1875
	Heirat	1876
Die zweite Grazer Professur <i>für (allgemeine und experimentelle) Physik</i>	1876–1890	
	Kinder 1878, 1880, 1881, 1884	
	Dekan	1878/79
	Tod der Mutter	1885
	Rektor	1887/88
	Ruf Berlin	1887/88
Die Münchener Professur <i>für Theoretische Physik</i>	1890–1894	
	Tochter Elsa	1891
	Reise nach Oxford	1894
Die zweite Wiener Professur <i>für Theoretische Physik</i>	1894–1900	
	Lübeck	1895
	Reise in die USA (Worcester)	1899
Die Leipziger Professur <i>für Theoretische Physik</i>	1900–1902	
Die dritte Wiener Professur <i>für Theoretische Physik</i> Lehrauftrag für Geschichte und Theorie der induktiven Wissenschaften	1902–1906	
	1903–1906	
	Reise in die USA (St. Louis)	1904
	Reise in die USA (Berkeley)	1905
	Tod in Duino	1906 09 05

Jugend, Studium, Assistenten- und Dozentenzeit in Wien	1844–1868
1866	Über die mechanische Bedeutung des 2. Hauptsatzes In der Folge weitere Arbeiten zur Gastheorie
Die erste Grazer Professur	1869–1873
1872	Experimente zu den Elektrizitätskonstanten Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen
Die erste Wiener Professur	1873–1876
	Fortführung der Experimente zu den Dielektrizitätskonstanten in Graz Maxwells Elektrizitätstheorie Theorie der elastischen Nachwirkung
Die zweite Grazer Professur	1876–1890
1877	Arbeiten zur Gastheorie resp. zur Thermodynamik Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung
1884	Arbeiten zu Magnetismus, Elektrizität, Gasreibung und Gasdifffusion
1887	Stefan'sches Gesetz
	Über die mechanischen Analogien des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik
1890	Über die Hertz'schen Versuche
Die Münchener Professur	1890–1894
1891	Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität u. des Lichtes Bd 1
1892	Über die Methoden der theoretischen Physik
1893	Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität u. des Lichtes Bd 2
1894	Diskussion in der BAAS in Oxford (Ehrendoktorat)
Die zweite Wiener Professur	1894–1900
1894/95	Diskussion in Nature
1895	Diskussion in Lübeck
1895	Ein Wort der Mathematik an die Energetik
1896	Vorlesungen über Gastheorie Bd 1
1896	Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. E. Zermelo
1897	Über Hrn. Zermelos Abhandlung ,Über die mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge'
1898	Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik
1897	Vorlesungen über die Principe der Mechanik Bd 1
1897	Über Hrn. Zermelos Abhandlung ,Über die mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge'
1898	James C. Maxwell, Über physikalische Kraftlinien (Ostwalds Klassiker)
1898	Vorlesungen über Gastheorie Bd 2
1899	Reise in die USA (Worcester) – Vorlesungen zur Mechanik
1899	Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit
Die Leipziger Professur	1900–1902
Die dritte Wiener Professur	1902–1906
1904	Vorlesungen über die Prinzipien der Mechanik Bd 2
1904	Reise in die USA (St. Louis) – Über statistische Mechanik
1905	Zur Theorie des Glücks von W. Ostwald
1905	Reise in die USA (Berkeley) – Reise eines deutschen Professors in das Eldorado
1905	Kinetische Theorie der Materie (gem. mit J. Nabl)
