



LUDWIG BOLTZMANN

1844-1906

Eine Ausstellung der

ÖSTERREICHISCHEN ZENTRALBIBLIOTHEK FÜR PHYSIK



LUDWIG BOLTZMANN 1844-1906

Eine Ausstellung der
ÖSTERREICHISCHEN ZENTRALBIBLIOTHEK FÜR PHYSIK

Ludwig Boltzmann 1844-1906

Eine Ausstellung der Österreichischen Zentralbibliothek für Physik/

An exhibition of the Austrian Central Library for Physics

Organisation und Gestaltung der Ausstellung/

Organization and preparation of the exhibition: Peter Graf, Alexander Zartl

Wissenschaftliche Beratung/*Scientific consulting:* Herbert Pietschmann

Englische Übersetzung/*English translation:* Lisa Aponte

Graphische Gestaltung der Ausstellung und des Katalogs/

Graphic design of the exhibition and the catalog: Alois Kiendlhofer

Druck/*Print:* digitaldruck.at

©2006 Österreichische Zentralbibliothek für Physik, Boltzmannngasse 5, 1090 Wien

©2006 *Austrian Central Library for Physics, Boltzmannngasse 5, 1090 Vienna*

ISBN 3-900490-11-2

Inhalt

Leben und Werk	6
<i>Life and Works</i>	7
1844–1863: Wien, Linz – Kindheit und Jugend	6
<i>Vienna, Linz – Early Days</i>	7
1863–1869: Wien – Studium	14
<i>Vienna – Studies</i>	15
1869–1873: Graz I – Mathematische Physik	28
<i>Graz I – Mathematical Physics</i>	29
1873–1876: Wien I – Mathematik	44
<i>Vienna I – Mathematics</i>	45
1876–1890: Graz II – Experimentalphysik	54
<i>Graz II – Experimental Physics</i>	55
1890–1894: München – Theoretische Physik	70
<i>Munich – Theoretical Physics</i>	71
1894–1900: Wien II – Theoretische Physik	78
<i>Vienna II – Theoretical Physics</i>	79
1900–1902: Leipzig – Theoretische Physik	96
<i>Leipzig – Theoretical Physics</i>	97
1902–1906: Wien III – Theoretische Physik	108
<i>Vienna III – Theoretical Physics</i>	109
1903–1906: Wien – Naturphilosophie	122
<i>Vienna – Natural Philosophy</i>	123
1906: Duino	132
<i>Duino</i>	133
Ausblick	138
<i>Prospect</i>	139
Physiker/innen über Ludwig Boltzmann	146
<i>Physicists about Ludwig Boltzmann</i>	146
Bibliographie	166

„Etwas zu verstehen, war für Boltzmann das schönste Erlebnis.“

Gerhard Kowalewski



Ludwig Boltzmann hat mit seinen Arbeiten zur kinetischen Gastheorie, Atomtheorie und Thermodynamik unbestritten die Physik seiner Zeit mitgeprägt wie wenige andere. Er konnte alle damals vorherrschenden Bedenken gegen die Molekulartheorie der Wärme zerstreuen und wurde durch die Aufdeckung des Zusammenhanges zwischen Entropie und thermodynamischer Wahrscheinlichkeit einer der wichtigsten Wegbereiter der modernen Physik.

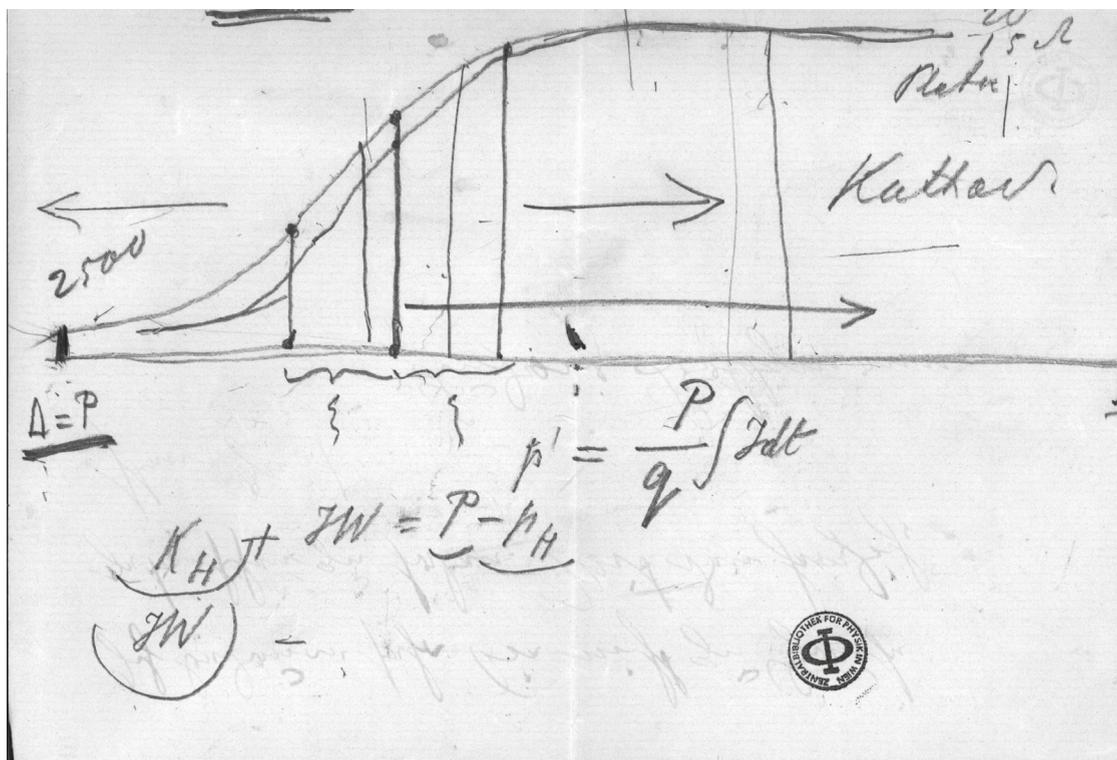
Boltzmann war kein verkanntes Genie. Er war schon zu Lebzeiten ein Star und ein Vorbild für viele Zeitgenossen. Als Lehrer wurde er aufgrund seiner Menschenliebe und Herzlichkeit verehrt, war selbst aber oft einsam und unglücklich und litt unter Depressionen. Es war Boltzmanns Tragik, dass er starb, bevor sich seine Ideen, für deren Umsetzung er gelebt hatte und die von vielen so vehement bekämpft wurden, allgemein durchgesetzt hatten.

Dem Wissenschaftler und Menschen Boltzmann, der stets für seine Überzeugungen eingetreten ist und sie bis an die Grenzen seiner persönlichen Leistungsfähigkeit gegen alle Einwände verteidigt hat, ist diese Ausstellung gewidmet.

Wolfgang Kerber

“The best experience for Boltzmann was to understand something.”

Gerhard Kowalewski



Ludwig Boltzmann left his mark on the physics of his time with his works about the kinetic theory of gases, atomism and thermodynamics like few others. He was able to resolve all existing doubts against the molecular theory of heat. By revealing the relationship between entropy and thermodynamic probability he became one of the most important pathfinders of modern physics.

Boltzmann was not an unrecognized genius. During his lifetime, he was a star and an idol for his contemporaries. He was admired as a teacher due to his philanthropy and kind-heartedness. But at the same time he was often lonely and unhappy and he suffered from depression. The tragedy of Boltzmann is that he died before the ideas for which he lived and struggled became widely accepted.

This exhibition is dedicated to the scientist and the person Ludwig Boltzmann, who always fought for what he believed in with all his strength.

Wolfgang Kerber

Ludwig Boltzmann: Leben und Werk

„Nur dadurch, dass jeder, wo und wie er eben kann, weiter arbeitet, können wir der Wahrheit näher kommen.“

Ludwig Boltzmann wurde am 20. Februar 1844 in der Nacht vom Faschingsdienstag zum Aschermittwoch zu den verhallenden Klängen eines Balles im Hause 286 der Wiener Vorstadt Landstraße geboren und am darauffolgenden Tag in der Pfarre St. Rochus und St. Sebastian auf die Namen Ludwig Eduard getauft. (Abb. 1.1, 1.2) Boltzmann sagte später, dass dieser Zeitpunkt seiner Geburt der Grund dafür sei, dass seine Stimmung so sprunghaft von ausgelassener Fröhlichkeit in tiefe Betrübniß umschlagen könne.

Boltzmann wuchs nicht nur in einer Zeit der Wende zwischen Ancien Regime und Moderne auf – es war die Zeit nach der Revolution von 1848, die Ringstraßenära und die Gründerzeit –, er sollte auch als Physiker eine Phase der Neuorientierung erleben. Es war die Wende vom klassisch-Newtonschen zum nachklassisch-modernen Weltbild der Naturwissenschaften, mitten in den Auseinandersetzungen zwischen Idealismus und Materialismus, zwischen den für unverrückbar gehaltenen Gesetzen gesellschaftlicher wie kosmologischer Ordnung und jenen Fortschrittsideen, die wir heute noch mit dem Stichwort „Darwinismus“ verbinden.

Genealogischen Erhebungen zufolge können Ludwig Boltzmanns Vorfahren zum Teil einige Generationen weit zurückverfolgt werden. (Abb. 1.3) Sie stammten aus Königsberg in der Neumark (heute Chojna in Polen). Von 1739 an war Ludwig stets einer der Vornamen der erstgeborenen männlichen Nachkommen in der Familie Boltzmann. Ludwig Boltzmanns Vater Ludwig Georg war Steuerbeamter („k. k. Cameral-Concipist, zuletzt Finanzbezirkscommissär“) und wurde bald nach der Geburt seines ältesten Sohnes Ludwig nach Wels und später nach Linz versetzt. Seine Mutter Katarina Pauernfeind entstammte einer bedeutenden Salzburger Handelsfamilie.

Als Ludwig 15 ist, stirbt der Vater an einem Lungenleiden, und er und seine beiden Geschwister Hedwig und Albert werden aus ihrer glücklichen Kindheit he-

rausgerissen. Die Mutter opfert für die Ausbildung Ihrer Kinder ihr gesamtes Familienvermögen, das sie als Mitgift in die Ehe mitgebracht hat.

In Linz wurde Boltzmann vor dem Eintritt in das Gymnasium 1854 privat unterrichtet. Als Vormund wird Karl von Lanser, Privatier in Salzburg, genannt. Er erhielt, wie damals in bürgerlichen Kreisen üblich, auch Klavierunterricht, einige Zeit sogar von Anton Bruckner. (Abb. 1.4) Boltzmann liebte und praktizierte das Klavierspielen Zeit seines Lebens und brachte es zu großer Perfektion. Beethoven war später sein Lieblingskomponist, und Boltzmann trug manchmal bei Gesellschaften einige Stücke vor.

Boltzmann war fast immer Klassenbeste und maturierte in Linz im Juli 1863 mit Auszeichnung. (Abb. 1.5) Im selben Jahr starb sein Bruder Albert.

Werk

Im Gymnasium hatte Ludwig Boltzmann das Glück, ausgezeichnete Lehrer zu haben (z. B. Josef Kudelka, Dr. Mathias Drbal und Dr. med. Domenicus Columbus). Er interessierte sich schon damals für Mathematik, wofür er gemeinsam mit seinem Bruder ausgearbeitete Beweis für den Pythagoräischen Lehrsatz Zeugnis ablegt. (Abb. 1.6, 1.7, 1.8)

Ludwig Boltzmann: Life and Works

“Only if everybody works on a topic that is in accordance with his abilities and in his own way can we get closer to the truth.”

Ludwig Boltzmann was born on February 20, 1844. It was the night between Shrove Tuesday and Ash Wednesday in Landstraße, a suburb of Vienna. On the following day he was christened Ludwig Eduard in the parish of St. Rochus and St. Sebastian. (Fig. 1.1, 1.2) Boltzmann once said that the date and time of his birth were the reason for the frequently rapid changes of his spirits from frolic cheerfulness to deep grief.

Boltzmann grew up in a time of change. It was the time after the revolution of 1848, the time between ancien regime and modernity. Just as those years were characterized by new ideas, the area of physics experienced changes during the life of Boltzmann. It was the turn from Newton’s classical worldview to the post-classical modern view of science, the dispute between idealism and materialism, between the rigid laws of society and cosmological order and the progressive ideas that we associate with the keyword “Darwinism”.

By genealogical research the ancestors of Ludwig Boltzmann can be traced back a few generations. (Fig. 1.3) They came from Königsberg in der Neumark (Chojna), a town that is now situated in Poland. Since 1739, “Ludwig” had always been the name of the first-born male child in the family of Boltzmann. The father of Ludwig Boltzmann, named Ludwig Georg, worked as a revenue officer. Right after Ludwig’s birth his father was sent to Wels and later on to Linz. His mother Katarina Pauernfeind stemmed from an important family from Salzburg which was involved in commerce.

At the age of fifteen his father died due to a lung disease and Ludwig, his brother Albert and his sister Hedwig were torn away from a happy childhood. The mother sacrificed all of the family’s assets which she had brought into the marriage for the education of her children.

Before Boltzmann entered grammar school in 1854 in Linz he obtained private lessons. The legal guardian of Boltzmann was Karl von Lanser, a man of indepen-

dent means from Salzburg. Boltzmann attended piano lessons, which was common for middle-class families at the time. For a while he was even taught by the famous composer Anton Bruckner. (Fig. 1.4) Boltzmann always loved to play the piano and over the years he acquired great perfection. Later on in life, Beethoven was his favorite composer and sometimes Boltzmann played some of his pieces at social events.

During his time in school Boltzmann was often the best in class and he passed the school leaving examination in July 1836 in Linz with distinction. (Fig. 1.5) In the same year his brother Albert died.

Works

Already in grammar school Ludwig Boltzmann was very interested in mathematics and to his great advantage he had excellent teachers (e. g. Josef Kudelka, Dr. Mathias Drbal and Dr. med. Domenicus Columbus). Boltzmann elaborated this proof for the theorem of Pythagoras in 1859, together with his brother Albert. (Fig. 1.6, 1.7, 1.8)

<p>Ludwig Boltzmann geboren am 20. Feb. den 21. Feb. getauft</p>	<p>Pauline Maria geboren am 20. Feb. den 21. Feb. getauft</p>	<p>Ludwig Eduard geboren am 20. Feb. den 21. Feb. getauft</p>	<p>Johanna Hab geboren am 7. Mai 1837 in der Pfarre zu Maria Plain bei Salzburg</p>
--	---	---	---

<p>Ludwig Boltzmann geboren am 20. Feb. den 21. Feb. getauft</p>	<p>Pauline Maria geboren am 20. Feb. den 21. Feb. getauft</p>	<p>Ludwig Eduard geboren am 20. Feb. den 21. Feb. getauft</p>	<p>Johanna Hab geboren am 7. Mai 1837 in der Pfarre zu Maria Plain bei Salzburg</p>
--	---	---	---

Eintragungen im Taufbuch der Pfarre St. Rochus und Sebastian in Wien Landstraße.
Oben: lautend auf „Ludwig Boltzmann“
Unten: Korrektur der Namensschreibung auf „Ludwig Boltzmann“

Abb. 1.1: Auszug aus dem Taufbuch/Part of the parish register

Taufbuch [Pfarre St. Rochus und Sebastian, Landstraße]								
Jahr, Monat, Tag	Wohnung und Nr. des Hauses	Namen des Getauften	Religion		Eltern		Patron	Anmerkungen
			Geschlecht	Ehelich	Vaters Name und Kondition oder Charakter	Mutters Tauf- und Zuname		
Februar 1844			männlich	katholisch				
den 20. Febr. geboren den 21. Febr. getauft	286	Ludwig Eduard	/	/	Ludwig Boltzmann protestantischer Rel. des Ludwig Boltzmann Bürger und Fabrikant in Wien und der Anna geb. Reich ehelicher Sohn, k.k. Cameral Con-	Katharina Pauernfeind, kath. Rel. Tochter des Christian Pauernfeind bürgerl. Spezereihändlers und der Elisabeth geb. Winninger	Katharina Marcus k.k. Kriegskasse-Offizierstochter Landstr. 337 im Namen der Hedwig Pauernfeind bürgerl. Spezereihändlers- Tochter wohnhaft in Salzburg	Johanna Hab Stadt Nr 93 ----- Getraut am 7. Mai 1837 Kirche zu Maria Plain bei Salzburg laut Trauung

Abb. 1.2: Auszug aus dem Taufbuch, Abschrift/Part of the parish register, copy

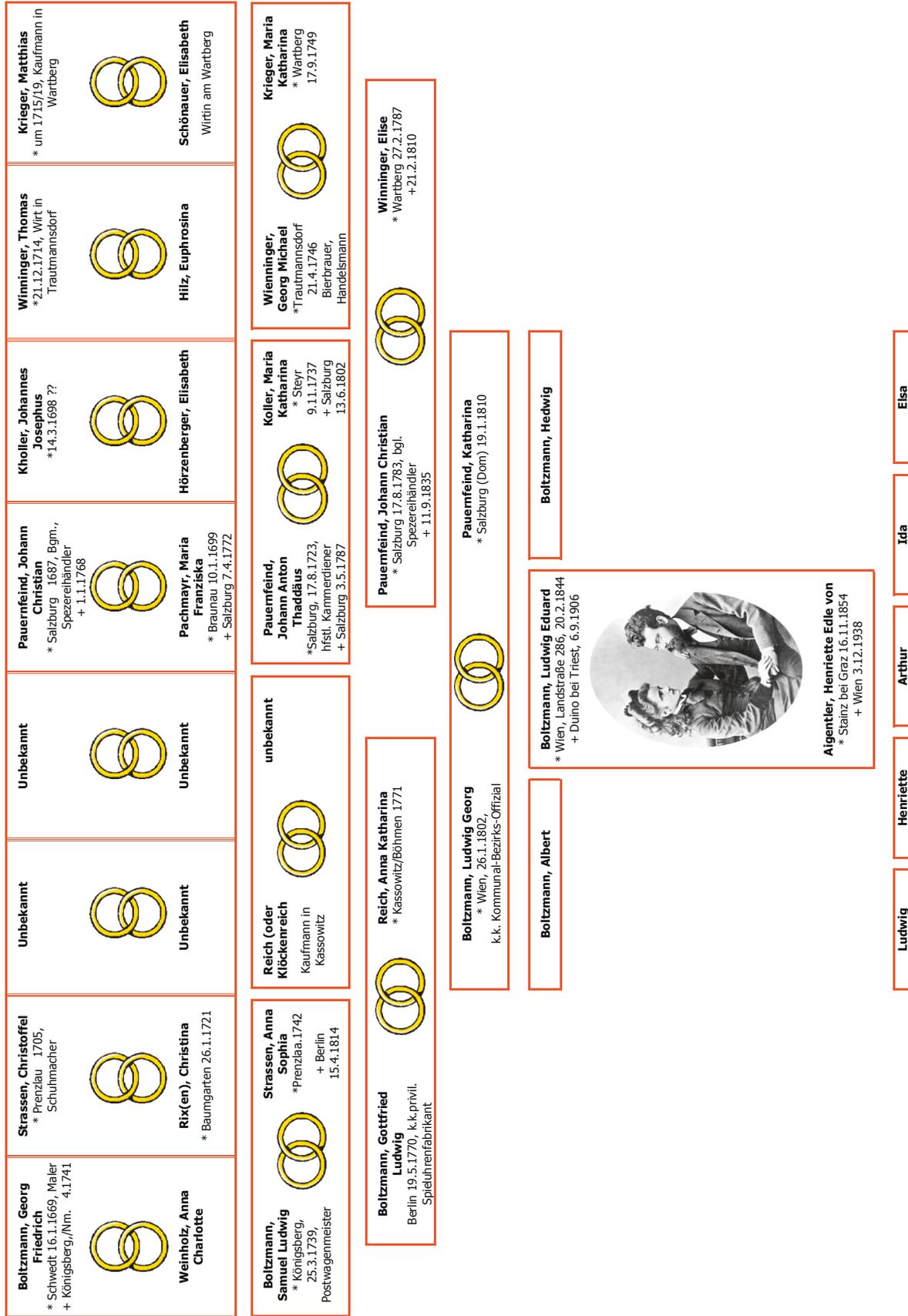


Abb. 1.3: Stammbaum von Ludwig Boltzmann/Family tree of Ludwig Boltzmann

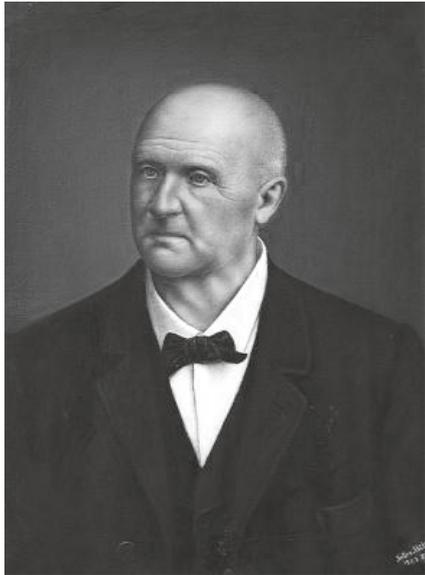


Abb. 1.4: Anton Bruckner, Boltzmanns Klavierlehrer in Linz/
Anton Bruckner, piano teacher of Boltzmann in Linz

Nro.	Name, Ort, Vaterland, Tag und Jahr der Geburt, dann Religion des Examinanden.	Sittliches Betragen	Religiö- se lehre	Lateinische Sprache	Griechische Sprache	Deutsche Sprache	Geschichte und Geographie	Bei den Semestral-Prüfungen:									
								Mathematik	Physik	Natur- geschichte	Philoso- phische Propädeutik	Italienische Sprache	Französische Sprache	Zeichnen	Gesang	Reise zur Universität	
2.	<p>Ludwig Boltzmann, ge- boren am 20. Februar 1844 zu Wien im Klosterstrassgasse Katholisch</p> <p>hat die Gymnasialstudien beendet, und zwar: alle sechs Klassen Jahre 1856 bis 1863 in Linz öffentlich.</p>	<p>müßig, säft.</p>	<p>Christliche Anschauung, ganzamt Uebersetzung Lekt. Bil.</p>														
								<p>Christliche Anschauung, ganzamt Uebersetzung Lekt. Bil.</p>									

Abb. 1.5: Protokoll über die Maturitätsprüfung, Juli 1863/Protocol of the school leaving examination – July 1863

L e h r b u c h
der
Experimental-Physik
zum Gebrauche in
Gymnasien und Realschulen,
so wie
zum Selbstunterrichte.

Leichtfaßlich dargestellt und mit vielen ins praktische Leben
einschlagenden Beispielen erläutert

von

Dr. August Kunze,

f. k. Professor der Physik an der Universität in Wien, em. Dekan und Rector der Lemberger Universität,
wirklichem Mitgliede der f. k. Landwirtschafts-Gesellschaft in Wien und der f. k. Landwirtschafts-Gesellschaft
in Galizien, des siebenbürgischen Vereins für Naturwissenschaften zu Hermannstadt und correspondirendem
Mitgliede der Akademie der Wissenschaften in Wien.

Mit 209 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Vierte verbesserte und vermehrte Auflage



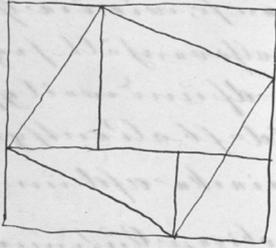
Wien, 1853.

Wilhelm Braumüller,

f. k. Hofbuchhändler.

Abb. 1.6: Kunze – Lehrbuch der Experimentalphysik/Kunze – textbook about experimental physics

je // fd (vorne) weil beide auf ge senkrecht stehen. $ae = ad$, weil
 für $\triangle aed$ und $\triangle adb$ gilt $\sin \angle e = \sin \angle b$. je // fd gilt auch $\sin \angle e = \sin \angle b$
 mit ab , weil, wie oben bereits für $\triangle aed$ und $\triangle adb$ gilt $\sin \angle e = \sin \angle b$.
 Nun ist $\angle e = \angle b$ erfüllt mit ab , in dem alle $\triangle aed$ sind $\sin \angle e = \sin \angle b$.
 $ek \parallel ea$ ab $\sin \angle e = \sin \angle b$ gilt auch für $\triangle aed$ und $\triangle adb$. $\sin \angle e = \sin \angle b$, $je // ab$,
 weil $\triangle aed$ und $\triangle adb$ auf ge senkrecht stehen. $je // ab$, weil $\triangle aed$ und $\triangle adb$
 sind $\sin \angle e = \sin \angle b$ gilt auch für $\triangle aed$ und $\triangle adb$. $\sin \angle e = \sin \angle b$, $je // ab$,
 also $\angle e = \angle b$: $ab^2 = e^2$: $ab^2 = ab^2 + ab^2 - ab^2 = ab^2$. $ab^2 = ab^2$ gilt auch für
 $\triangle aed$ und $\triangle adb$. $\sin \angle e = \sin \angle b$ gilt auch für $\triangle aed$ und $\triangle adb$.
 $e^2 = ab^2 + ab^2 + \frac{bc^2 \cdot ab^2}{ab^2} - \frac{(ab-bc)^2 \cdot ab^2}{ab^2}$ $\sin \angle e = \sin \angle b = \frac{ab \cdot bc}{e}$
 $e^2 = ab^2 + \frac{ab^3 + bc^3 ab - ab^3 bc + 2ab^2 bc^2 - bc^3 ab}{2ab^2}$
 $\frac{ab^3 + bc^3 ab - ab^3 bc + 2ab^2 bc^2 - bc^3 ab}{2ab^2} = \frac{2ab^2 bc^2}{2ab^2} = bc^2$
 $e^2 = ab^2 + bc^2$



Erfindung von Ludwig und Albert mit Hermann und August Schubert
 im Jahr Mai 1859.

... developed a proof for the Pythagorean theorem.

Abb. 1.8

Noch im Herbst 1863 übersiedelte die Familie Boltzmann nach Wien, um Ludwig im Oktober desselben Jahres das Studium der Mathematik und der Physik an der dortigen Universität zu ermöglichen. Nachdem er sich schon im Gymnasium mit besonderer Vorliebe mathematischen Studien zugewendet hatte, hörte er an der Hochschule die Vorlesungen der Professoren Andreas von Ettingshausen, Josef Petzval und Josef Stefan. (Abb. 2.1, 2.2, 2.3)

Das k. k. Physikalische Institut der Universität Wien befand sich in den Jahren 1851 bis 1875 in der Erdbergstraße 15 im 3. Wiener Gemeindebezirk. (Abb. 2.4) Ludwig Boltzmann war im Wintersemester 1863/64 zunächst außerordentlicher Zögling. Als ordentlicher Zögling konnte man erst nach dem Anhören von Vorlesungen aus Mathematik und Physik über mindestens zwei Semester aufgenommen werden; die Zahl der ordentlichen Zöglinge, die unentgeltlichen Unterricht erhielten (Stipendisten), war auf zwölf beschränkt. Boltzmann erlangte diesen Status im Sommersemester 1865 und behielt ihn bis zum Sommersemester 1866. (Abb. 2.5, 2.6, 2.7)

Boltzmann suchte sich durch Privatstudien mit der physikalischen Fachliteratur vertraut zu machen. Ein großer Teil der damaligen naturwissenschaftlichen Bücher war für den Selbstunterricht vorgesehen.

Nach der damals geltenden Prüfungsordnung war zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie ein sechssemestriges Studium erforderlich. Dazu kamen noch drei „strenge Prüfungen“ (Rigorosen), nämlich eine im jeweiligen Fach (abzulegen vor zwei Prüfern), eine in Geschichte (vor drei Prüfern) und eine in Philosophie (vor zwei Prüfern). Eine Dissertation wurde nicht verlangt, die Begutachtung einer solchen Arbeit war nicht vorgesehen. (Abb. 2.8, 2.9)

Seine strengen Prüfungen legte Ludwig Boltzmann am 6. Juli 1866 in Mathematik und Physik bei Franz Moth und Viktor von Lang, am 13. Juli 1866 in Philosophie bei Franz Lott und Robert Zimmermann und am 3. Dezember 1866 in allgemeiner und österreichischer Geschichte bei Albert Jäger, Josef von Aschbach und Hermann Suttner ab.

Am 21. Dezember 1867 suchte Ludwig Boltzmann um die Venia docendi für alle Fächer der mathematischen Physik an. (Es sei erwähnt, dass die seiner

zeitige „mathematische Physik“ mittlerweile zur „theoretischen Physik“ geworden ist, während die heutige mathematische Physik ein Grenzgebiet zwischen Physik und Mathematik darstellt). Das Habilitationsverfahren wurde aufgrund des Gesetzes vom 19. Februar 1848 ordnungsgemäß durchgeführt. Die durch den Dekan eingesetzte Kommission bestand aus den Professoren Josef Stefan, Physik; Carl Jelinek, Meteorologie; und Viktor von Lang, Physik. (Abb. 2.10)

Am 8. Februar 1868 legte Boltzmann das vorgeschriebene Kolloquium vor der Kommission ab. Die Probevorlesung fand am 27. Februar 1868 vor einem größeren Forum statt; Prüfung und Vorlesung gelangen „zur vollen Zufriedenheit“. Am 7. März sprach das Professorenkollegium der Philosophischen Fakultät einstimmig Boltzmanns Zulassung zum Privatdozenten der mathematischen Physik aus.

Eben als Boltzmann (Abb. 2.11, 2.12) begann, sein erstes Geld als Assistent zu verdienen, ging die Mitgift seiner Mutter zu Ende und er musste von nun an für den Unterhalt seiner Familie sorgen.

Vom Oktober 1866 bis September 1869 war Ludwig Boltzmann Assistent am k. k. Physikalischen Institut der Universität Wien, in welcher Eigenschaft er die Lehramtsprüfung für Mathematik und Physik für das Obergymnasium mit vorzüglichem Erfolg bestand. Anschließend verbrachte er im Schuljahr 1867/1868 am akademischen Gymnasium in Wien sein Probejahr. Er unterrichtete in einer vierten Klasse im Ausmaß von drei Wochenstunden selbständig Physik, und zwar – laut Lehrplan – Mechanik, Akustik, Magnetismus, Elektrizität und Optik. Als Lehrbuch diente Hermann Plicks „Vorschule der Physik“.

In der Rede, die Boltzmann 1896 anlässlich der Enthüllung des Denkmals für Josef Stefan im Arkadenhof der Universität Wien hielt und die heute vielleicht noch immer aktuell ist, ging Boltzmann auf die Ausstattung des Erdberger Institutes ein: „Noch in München, als die jungen Doctoranden zu mir kamen und gerne gearbeitet hätten, nur wussten sie nicht, was, da dachte ich: da waren wir in Erdberg doch andere Leute. Heute stehen die schönsten Apparate herum und man denkt nach, was man damit anfangen könne. Wir hatten immer genug Ideen; unsere Sorge war nur, woher die Apparate nehmen. Wenn es damals gelang, mit kleinen Mittel viel

In autumn 1863 Boltzmann's mother decided to move to Vienna together with Ludwig and his sister so that Ludwig was able to study mathematics and physics at the University of Vienna. Since Ludwig Boltzmann had developed a preference for mathematics back in grammar school, he attended the lectures of the professors Andreas von Ettingshausen, Josef Petzval und Josef Stefan at the university. (Fig. 2.1, 2.2, 2.3)

In the years between 1851 and 1875 the Imperial Institute of Physics was located in Erdbergstraße 15 in the third district. (Fig. 2.4) During the winter term 1863/64, Boltzmann was accepted as a pupil on an interim basis. In his last two semesters (1865/1866) he worked at the institute as a student who did not have to pay tuition. The number of this type of scholarship was limited to twelve students and the maximum duration was three semesters. (Fig. 2.5, 2.6, 2.7)

Boltzmann tried to become acquainted with literature about physics by private study. In those times a major part of scientific literature was intended for self-study.

In order to acquire the academic degree "Doctor of Philosophy", six semesters of study and three strict exams where necessary. One of them was in the examinee's main subject (two examiners); one was in the subject of history (three examiners) and one was in the subject of philosophy (two examiners). A dissertation was not required. (Fig. 2.8, 2.9)

Boltzmann was examined in mathematics and physics on the 6th of July 1866. The examiners were Franz Moth and Viktor von Lang. The examination in philosophy took place on the 13th of July 1866 and was conducted by Franz Lott and Robert Zimmermann. The examination in the subject of general and Austrian history took place on the 3rd of December 1866 and was conducted by Albert Jäger, Josef von Aschbach and Hermann Suttner.

On the 21st of December 1867 Ludwig Boltzmann applied for the *Venia docendi* for all subjects of mathematical physics. (It must be noted that the term "mathematical physics" is nowadays referred to as "theoretical physics", whereas "mathematical physics" is regarded as an academic area between mathematics and physics.) The process of habilitation was completed according to the law from the 19th of February 1848. The

commission was set up by the dean and constituted of these professors: Josef Stefan, physics; Carl Jelinek, meteorology; Victor von Lang, physics. (Fig. 2.10)

On the 8th of February 1868, Boltzmann completed the required colloquium. The test lecture took place on the 27th of February in 1868 in front of a large audience. Boltzmann passed the examinations and the test lecture with excellence. On the 7th of March the council of professors of the faculty of philosophy approved Boltzmann as a private lecturer for mathematical physics.

At the same time, when Boltzmann (Fig. 2.11, 2.12) started to earn money for the first time as an assistant, the dowry from his mother came to an end and he had to start earning a living for his family.

From October 1866 till September 1869 Ludwig Boltzmann was an assistant at the Institute of Physics of the University of Vienna. He passed his exam as a teacher for mathematics and physics with distinction. After that he served his probationary year during the term of 1867/1868 at the academic grammar school ("Akademisches Gymnasium") in Vienna. He taught fourth grade physics for three hours per week based on Hermann Pick's "Vorschule der Physik". The syllabus consisted of mechanics, acoustics, magnetism, electricity and optics.

In a commemorative speech at the unveiling of the memorial of Josef Stefan in the Arkadenhof at the University of Vienna, Boltzmann made a statement about the equipment at the institute of physics that might still be applicable today: "When I was in Munich, some young doctoral students came to me and wanted to work – but they had no idea on what. My first thought was that we in Erdberg had been of a very different mentality. Today there is a lot of equipment and everybody is speculating about what one could do with these apparatuses. We always had enough ideas but our problem was that we did not have the necessary equipment. Even though we succeeded to achieve much with small means, this does not imply that scientists should always have to be content with insufficient funds. One thing is underdeveloped in Vienna: the practical part of the education, which consists of experimenting. For this, such facilities are required as they exist in Berlin, Munich, Strasbourg and even Erlangen or Graz."¹

zu leisten, bitte ich aber daraus nicht den Schluss zu ziehen, dass man emsigen Forschern immer recht unzureichende Mittel zur Verfügung stellen sollte. Eins blieb in der That in Wien zurück, nämlich der praktische Unterricht der Lehramtskandidaten im Experimentieren. Da sind eben solche Mittel und Räume nöthig, wie sie heute nicht nur die physikalischen Institute in Berlin, München, Strassburg, sondern sogar in Erlangen und Graz besitzen.“¹

Werk

Die Jahre zwischen 1860 und 1870 waren eine aufregende Periode in der Physik, vergleichbar mit den zwanziger und dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts, als die Quantenmechanik entwickelt wurde. James Clerk Maxwell (Abb. 2.13) arbeitete an seiner Theorie des elektromagnetischen Feldes, die er 1868 veröffentlichte. Rudolf Clausius stellte das Konzept der Entropie in der Thermodynamik vor, und die kinetische Theorie begann modern zu werden. In dieser Periode begann Ludwig Boltzmann seine wissenschaftliche Karriere und schrieb einige seiner berühmtesten Arbeiten.

Noch während der Studienzeit wurde Boltzmann von seinem Lehrer Josef Stefan mit der neuen Maxwell'schen Theorie des Elektromagnetismus und mit der Atomistik vertraut gemacht. Maxwell (1831–1879) war für Ludwig Boltzmann zeitlebens Lehrer und Vorbild. Der Maxwell'sche Dämon (ein Gedankenexperiment des schottischen Physikers Maxwell zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik) macht eindeutig klar, dass die Einbeziehung probabilistischer Elemente unumgänglich ist – ein Gedanke, den Boltzmann in seiner berühmten Arbeit aus dem Jahre 1877 zum Höhepunkt entwickelte.

Boltzmann sagte später anlässlich der Enthüllung des Stefan-Denkmales in seinem Nachruf: „Nur zwei Physiker des Kontinents waren es, welche sofort die Bedeutung der Maxwell'schen Theorie erkannten: Helmholtz und Stefan. Als ich in vertrauteren Umgang mit Stefan trat, war sein erstes, dass er mir Maxwells Abhandlungen in die Hand gab, und da ich damals kein Wort Englisch verstand, noch eine englische Grammatik dazu.“²

Maxwell ist durch seine bahnbrechenden Arbeiten auf dem Gebiet der Elektrodynamik (Maxwell'sche Gleichungen) berühmt geworden; er hat aber ebenso fundamentale Arbeiten zur mechanischen Erklärung thermischer Phänomene geleistet.

Die erste wissenschaftliche Abhandlung Boltzmanns war 1865 eine Anwendung von Maxwells Theorie mit dem Titel „Über die Bewegung der Electricität in krummen Flächen“. (Abb. 2.14) Aber schon die zweite Arbeit im Jahre 1866 handelte von der mechanischen Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik – ein Thema, zu dem Boltzmann Zeit seines Lebens immer wieder zurückkehrte. (Abb. 2.15)

Die Maxwell-Boltzmannsche Verteilung

Ein grundlegendes Ergebnis der statistischen Physik ist die Maxwell-Boltzmann-Verteilung, welche die Geschwindigkeitsverteilung von Gaspartikeln als Funktion der Temperatur angibt.

In Fortsetzung von Maxwells Pionierarbeit von 1859 bestimmte Boltzmann 1868 die Energieverteilung zwischen den Atomen eines idealen Gases in voller Allgemeinheit. Er bestimmte, welcher Teil der Atome eines unter festgelegten äußeren Bedingungen gehaltenen Gases welchen Energiegehalt aufweist. Die Anzahl der Atome mit einem bestimmten Energiegehalt E wird durch eine Funktion beschrieben, die den „Boltzmann-Faktor“ $e^{-E/kT}$ enthält, wobei T die absolute Temperatur und k die Boltzmann-Konstante bezeichnen. Es ergibt sich eine Energieverteilungskurve, deren Maximum nahe der durchschnittlichen Energie der Atome in dem Gas liegt. Es ist unwahrscheinlich, dass ein Atom sehr viel mehr oder sehr viel weniger als die Durchschnittsenergie besitzt.

Das Interesse Boltzmanns für die Thermodynamik hatte wahrscheinlich Josef Loschmidt geweckt. (Abb. 2.16, 2.17) Loschmidt arbeitete als Privatdozent am physikalischen Institut und wurde ein Kollege, Lehrmeister und enger Freund, den Boltzmann sehr verehrte. Boltzmann hat ihm 1895 – zu einer Zeit heftigster Angriffe gegen die Atomistik – mit folgenden Worten ein würdiges Denkmal gesetzt:

„Phantastischer Spekulationen über die nähere Beschaffenheit der Atome müssen wir uns enthalten; aber, dass gewisse Diskontinuitäten im inneren Bau der Materie vorhanden sind, das wird für immer eine der wich-

Works

The years between 1860 and 1870 were an exciting period in the area of physics, comparable to the twenties and thirties in the 20th century with the development of quantum mechanics. James Clark Maxwell (Fig. 2.13) was working on his theory of electromagnetic fields which was published in 1868. Rudolf Clausius introduced the concept of entropy in thermodynamics and the kinetic theory became popular. It was during these years that Ludwig Boltzmann started his academic career and wrote some of his most important works.

Boltzmann's teacher Josef Stefan introduced him to the new theories of Maxwell about electromagnetism and to the subject of atomism. Throughout his whole life, Ludwig Boltzmann regarded Maxwell (1831–1879) as a teacher and personal idol. Maxwell's demon – a hypothetic intelligent agent devised to illustrate a thought experiment concerning the second law of thermodynamics – made it clear that the involvement of probabilistic elements was inevitable. Boltzmann further developed this thought in his famous work from the year 1877.

At the occasion of the unveiling of Stefan's memorial Boltzmann remembered: "There were only two physicists on this continent who immediately recognized the implication of Maxwell's theory: Helmholtz and Stefan. When I became acquainted with Stefan more closely, he gave me the papers of Maxwell and a book on English grammar since I did not understand a single word of English at this time."²

Maxwell became famous due to his groundbreaking work on electrodynamics (the Maxwellian equations), but additionally he had fundamental insights about the nature of heat.

The first scientific disquisition of Boltzmann from the year 1865 dealt with the movement of electricity in curved surfaces (Fig. 2.14); but already his second disquisition from 1866 was about the mechanical implications of the second law of thermodynamics – a topic that Boltzmann referred to repeatedly during his life. (Fig. 2.15)

The Maxwell-Boltzmann distribution

A fundamental result of statistical physics is the Maxwell-Boltzmann distribution which describes the velocity distribution of gas molecules as a function of temperature.

In continuation of Maxwell's pioneer work from 1859 Boltzmann determined the distribution of energy between the atoms of an ideal gas. He determined which fraction of the atoms in a gas contains which amount of energy. The number of atoms of a certain energy level E is a function containing the Boltzmann factor $e^{-E/kT}$ where T denotes the absolute temperature and k the Boltzmann constant. This yields the energy distribution curve, which has its maximum near the average energy of the atoms of the gas. It is unlikely that an atom possesses much more or much less than the average energy.

Josef Loschmidt, who worked as a private lecturer at the Institute of Physics and became a close friend, most likely stimulated Boltzmann's interest in thermodynamics. (Fig. 2.16, 2.17) In 1895, a time of heavy attacks against atomism, Boltzmann stated:

"We have to abstain from fantastic speculations about the nature of atoms. But it will always be one of the most important facts of science that there are certain discontinuities in the inner structure of matter. The order of magnitude at which those discontinuities occur is one of the greatest scientific discoveries, and it was found by no one else but our dear Loschmidt."³

1 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 92f.

2 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 96

3 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 248

tigsten Tatsachen der Naturwissenschaft bleiben, und eine der größten wissenschaftlichen Entdeckungen, die der Größenordnung der Dimensionen, an welche diese Diskontinuitäten gebunden sind, ist von niemand anderem als unserem Loschmidt gemacht worden.“³



Abb. 2.1: Andreas von Ettingshausen



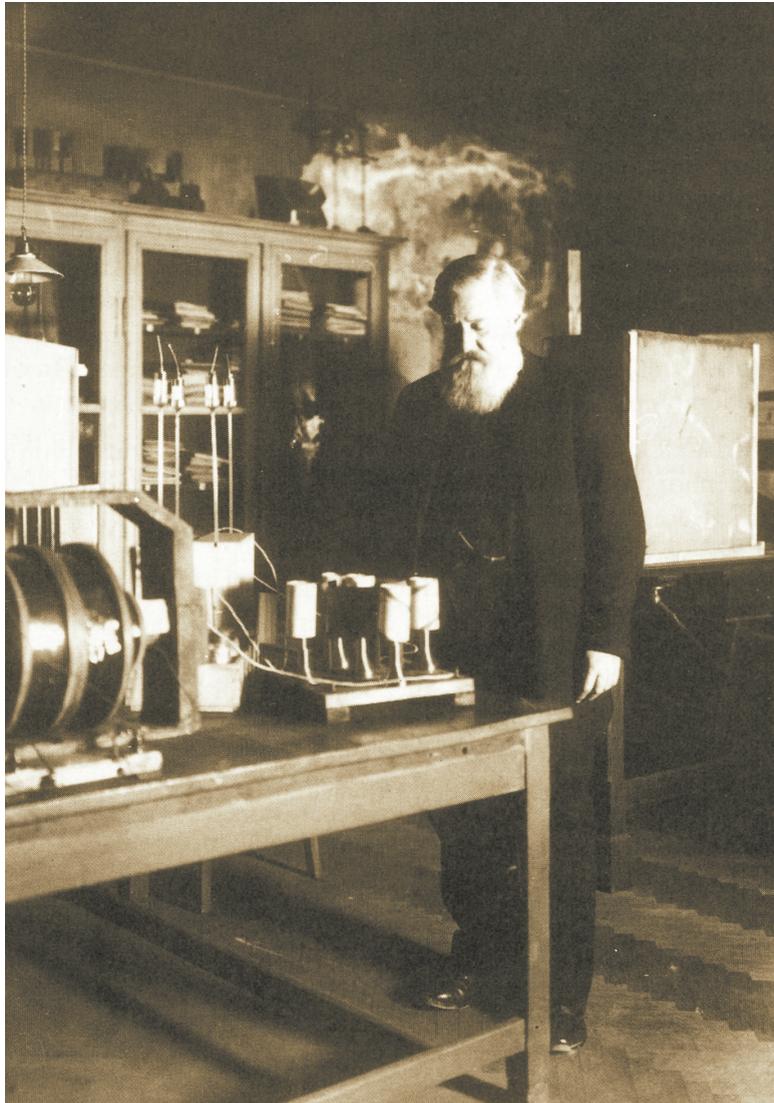
Abb. 2.2: Josef Petzval



Abb. 2.3: Josef Stefan



Abb. 2.4: Physikalisches Institut, Erdbergstraße 15/*Institute of physics, Erdbergstraße 15*



**Abb. 2.10: Viktor von Lang, ein Prüfer Boltzmanns beim Rigorosum/
*Viktor von Lang, one of Boltzmann's examiners***

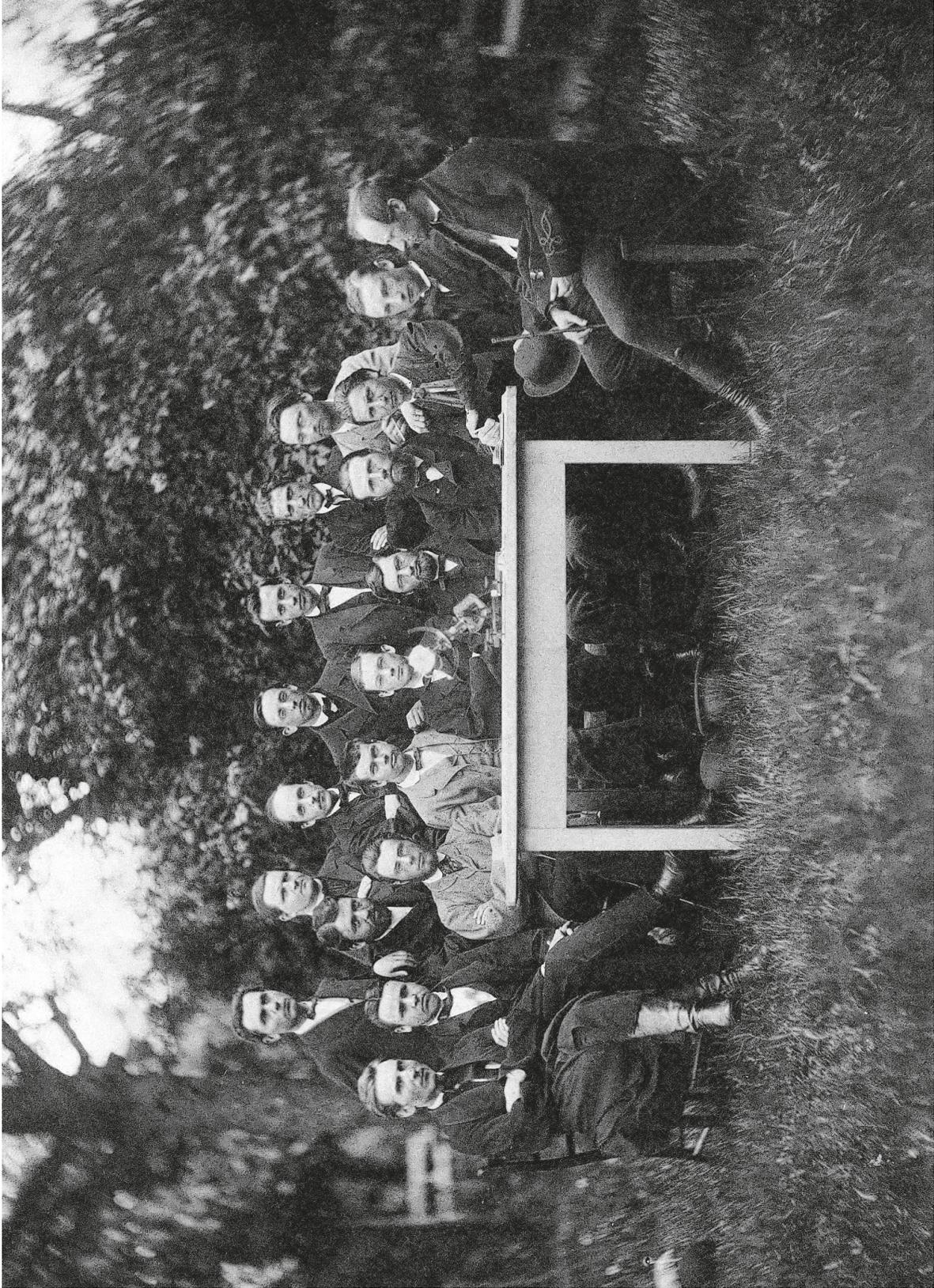


Abb. 2.7: Hörer des Physikalischen Institutes 1866, Boltzmann vorne, vierter von links/
Students at the institute of physics 1866, Boltzmann in the front, fourth person from the left side

Dominus Ludovicus Boltzmann die 20. Februarii
1844 in Vienna in Austria natus, exhibito testimonio
maturitatis e. r. gymnasiü Lincensis de dato 27. Julii
1863 in numerum civium academicorum in Universitate
Viennensi relatus, trienio studiorum philosophicorum
in eadem Universitate absoluto, subit die 6. Julii
1866 rigorosum primum e Mathesi et Physica et
cum respondisset:

Valde bene Moth

Valde bene Rang

Valde bene Linnig

Approbatus cum applausu

L. A. B. B. B. B. B.
Coll. prof. phil. h. t. B. B.

Idem dominus Ludovicus Boltzmann die 13. Julii
1866 subit rigorosum secundum e Philosophia et
cum respondisset:

Valde bene Lott

Valde bene Abhünermaier

Approbatus per unanimitatem
e applausu

L. A. B. B. B. B. B.
Coll. prof. phil. h. t. B. B.

Idem dominus Ludovicus Boltzmann die 3. Decem.
bris 1866 subit rigorosum tertium ex historia universa-
li et austriaca et cum respondisset:

Valde bene Leyer

Bene Aschbacher

Valde bene Lottner

Bene Bismarck

Approbatus per unanimitatem

L. A. B. B. B. B. B.
Coll. Prof. phil. h. t. B. B.

mon. 19/12. 66

Abb. 2.8: Boltzmanns Rigorosenprotokoll, 1866/Protocol of Boltzmann's doctoral exams, 1866

Herr Ludwig Boltzmann, geboren am 20. Februar 1844 zu Wien in Österreich, wurde nach Vorlegung eines Reifezeugnisses des k.k. Linzer Gymnasiums vom 27. Juli 1863 in die Zahl der akademischen Bürger an der Universität zu Wien aufgenommen und hat sich nach Absolvierung des dreijährigen Philosophie-Studiums an ebendieser Universität am 6. Juli 1866 der ersten strengen Prüfung aus Mathematik und Physik unterzogen und wie folgt entsprochen:

sehr gut Moth Franz, Math., sehr gut Burián Dr. Hermann Ferd., derzeit Dekan
1802-1879 *) des Doktorenkollegiums **)
sehr gut Lang Viktor, Exp. Ph. Approbiert mit Auszeichnung
1838-1921 *) Dr. Rob. Zimmermann Philos., 1824-1898 *)
derzeit Dekan des Professorenkollegiums der
philosophischen Fakultät

Derselbe Herr Ludwig Boltzmann hat sich am 13. Juli 1866 der zweiten strengen Prüfung aus Philosophie unterzogen und wie folgt entsprochen:

sehr gut Lott Franz, Philos., 1807-1874 *)
sehr gut Rob. Zimmermann Approbiert mit Stimmeneinheit
mit Auszeichnung
Dr. Rob. Zimmermann
derzeit Dekan des Professorenkollegiums der
philosophischen Fakultät

Derselbe Herr Ludwig Boltzmann hat sich am 3. Dezember 1866 der dritten strengen Prüfung aus allgemeiner und österreichischer Geschichte unterzogen und wie folgt entsprochen:

sehr gut Jäger Albert, Österr. sehr gut Suttner Hermann, derzeit Dekan des
Gesch., 1801-1891 *) Doktorenkollegiums **)
gut Aschbach Joseph, gut Schmarda Ludwig, Zoologie, 1819-
allgem. Gesch., Approbiert mit Stimmeneinheit 1908 *)
1801-1882 *) L.K. Schmarda
derzeit Dekan des Professorenkollegiums der
philosophischen Fakultät

prom. 19/12.76

*) Angaben nach Meister, R., Geschichte der Akademie der Wissenschaften in Wien 1847-1947, Wien 1947

**) Angaben nach: "Übersicht der akademischen Behörden...."

Abb. 2.9: Boltzmanns Rigorosenprotokoll, Abschrift/
Protocol of Boltzmann's doctoral exams, copy



Abb. 2.11: Ludwig Boltzmann um 1868 als Dozent/Boltzmann as lecturer, 1868

L 8-7

15 kr.
KUNSTEN KREUZER

Curriculum vitae.

Ludwig Boltzmann wurde
am 20. Februar 1844 zu Wien
geboren. Er studierte alle acht
Gymnasialklassen am vier. Gym-
nasium zu Linz, worauf
im Jahre 1863 die Maturität
prüfung mit Auszeichnung
ablagte. Hiernach war er an
mit 7. Semester Gymnasium
Leopoldsdorf an der Universität zu
Wien. Nachdem er sich an dem
Gymnasium mit besonderer
Belehrung mit mathematischen
Wissenschaften befähigt hatte, trat
er an der Universität die Vor-
lesungen der Gammelfachsch.
von Math., Physik, Chemie, Lang-
weiligkeit, etc. an. Er
studierte auf dem d. univ. Fac.
studium mit den Licentia-
den mathematischen Physik
möglichst eratsamt zu machen.
Im Sommersemester des Jahres
1865 wurde er ordentlichem Zug-
hörig der k. k. physikalischen Instit.



Abb. 2.12: Handgeschriebener Lebenslauf Boltzmanns aus dem Jahre 1867/
Handwritten CV of Boltzmann from the year 1867

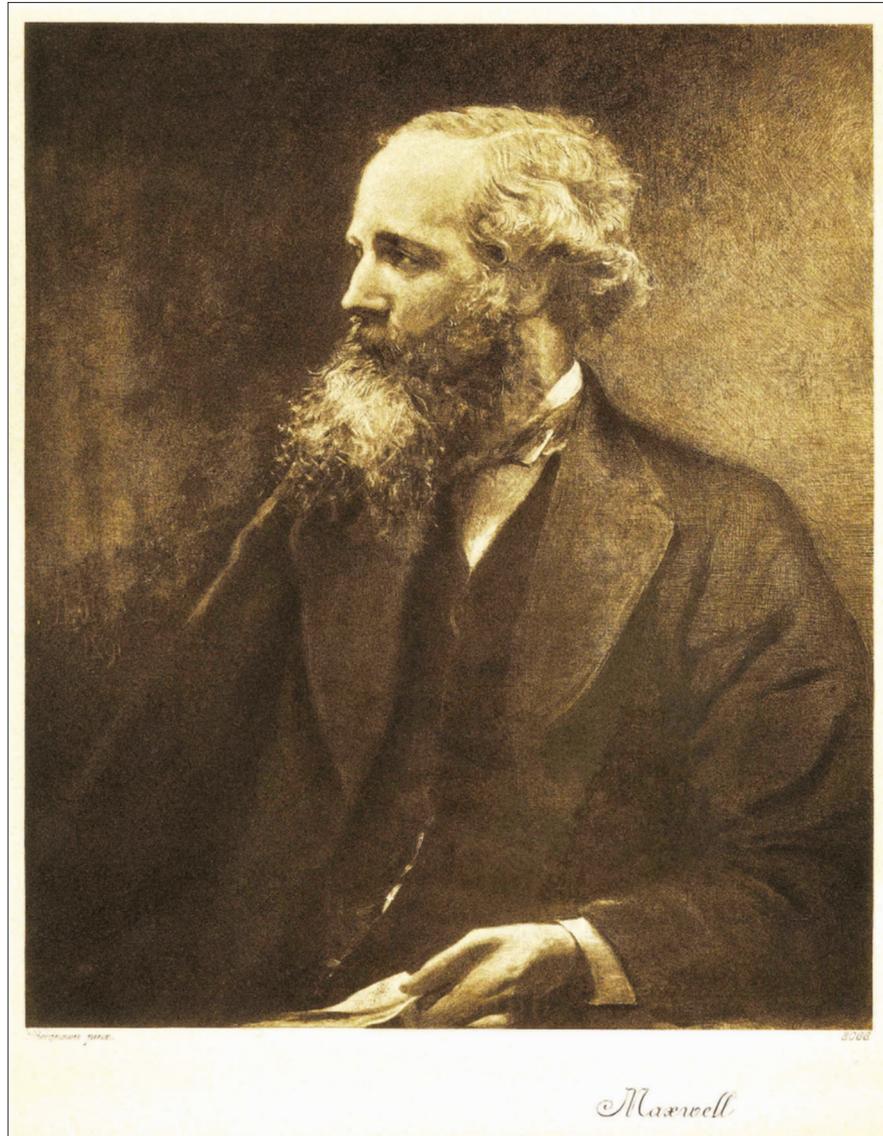


Abb. 2.13: James Clerk Maxwell

I.

Über die Bewegung der Elektrizität in krummen Flächen.¹⁾

(Wien. Ber. 52. S. 214—221. 1865.)

I. Bewegung der Elektrizität auf einer Kugelfläche.

Herr Prof. Stefan leitete in seinen Vorlesungen über die Theorie des elektrischen Stromes aus dem selbstverständlichen Satze, daß bei einer Kugelfläche, die an den Endpunkten eines Durchmessers mit den Poldrähnen einer Batterie berührt wird, die Kurven gleicher Spannung Parallelkreise sein müssen, das merkwürdige Resultat ab, daß der Widerstand dieser Kugelfläche gleich ist dem einer unendlichen Ebene, in der die Elektroden in derselben Distanz sich befinden. Er veranlaßte

mich darauf hin, die Verteilung der Elektrizität auf einer Kugeloberfläche ganz allgemein zu untersuchen. Ich bestätigte sich der erwähnte Satz auch für jede unendliche Ebene und Ausströmungspunktes bestätigte. Rechnungen bereits beendet hatte, erschien in die Elektrostatik, Lehre vom Magnetismus und Dynamik, in welcher dieselbe Frage bei der gegebenen Lösung fehlerhaft ist, so daß die Untersuchungen hiermit der Öffentlichkeit überlassen.

Nehmen wir also eine Kugelschale mit dem Leitungsvermögen k , verschwindend kleiner Radius δ und einem Radius r . Zwei Punkten, A und B , mit den Poldrähnen Stromquelle berührt. Als Koordinaten der Kugelfläche wählen wir seinen Winkel θ und Halbirungspunkte C des A und B verbindenden Bogens und den Winkel φ , den die Ebene

¹⁾ Voranzeige dieser Arbeit Wien. Anz. Boltzmann, Gesammelte wissenschaftl. Abhandl. I.

II.

Abb. 2.14

Sonder-Abdruck aus dem LIII. Bde. der Sitzungsber. der kais. Akad. der Wissenschaften.

Über die mechanische Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie.

Von Ludwig Boltzmann.

(Vorgelegt in der Sitzung am 8. Februar 1866.)

Bereits längst ist die Identität des ersten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie mit dem Princip der lebendigen Kräfte bekannt; dagegen nimmt der zweite Hauptsatz eine eigenthümliche exceptionelle Stellung ein und wird sein Beweis auf hie und da nicht einmal sichern, keinesfalls aber klar vor Augen liegenden Umwegen geführt.

Es soll nun der Zweck dieser Abhandlung sein, einen rein analytischen, vollkommen allgemeinen Beweis des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie zu liefern, so wie den ihm entsprechenden Satz der Mechanik aufzufinden.

I. Bestimmung des Begriffes der Temperatur.

Zunächst ist uns hiezu die Bestimmung eines Hauptbegriffes der gesamten Wärmelehre nöthig, der bis jetzt noch nicht mit Schärfe und Einstimmigkeit defnirt wurde, nämlich des Begriffes der Temperatur. Wir werden hiebei offenbar am meisten im Geiste der mechanischen Theorie der Wärme verfahren, wenn wir zuerst die experimentelle Definition der Temperatur aufstellen und dann untersuchen, welche Function der die Molecularbewegung bestimmenden Größen derartige Eigenschaften besitzt, um als Repräsentant dessen gelten zu können, was sich uns in der Natur als Temperatur kundgibt. Es ist aber das erste und nothwendigste Bestimmungsstück der Temperatur, daß beliebige Körper von gleicher Temperatur, mit einander in Berührung gebracht, sich keine Wärme, also keine lebendige Kraft der Atombewegungen mittheilen und wir haben die Bedingungen aufzusuchen, die zu diesem Gleichgewicht der Wärme erforderlich sind. Zu diesem Zwecke betrachten wir zwei beliebige sich berührende Körper, die aus Atomen bestehen sollen, zwischen denen

Abb. 2.15

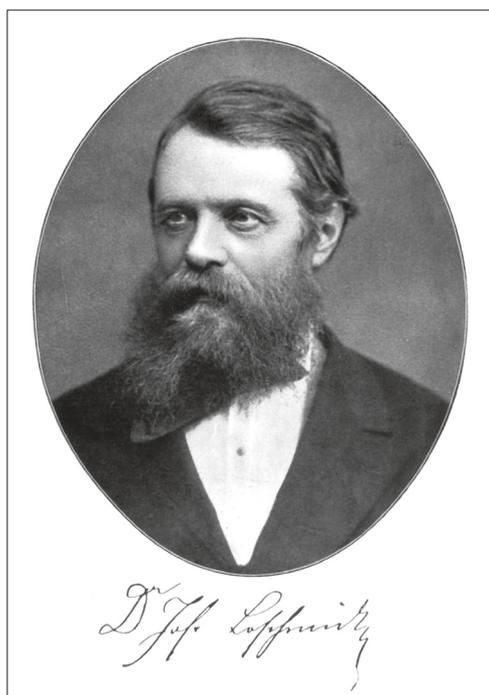


Abb. 2.16: Josef Loschmidt, Lehrer und Freund Boltzmanns/Josef Loschmidt, Boltzmann's teacher and friend

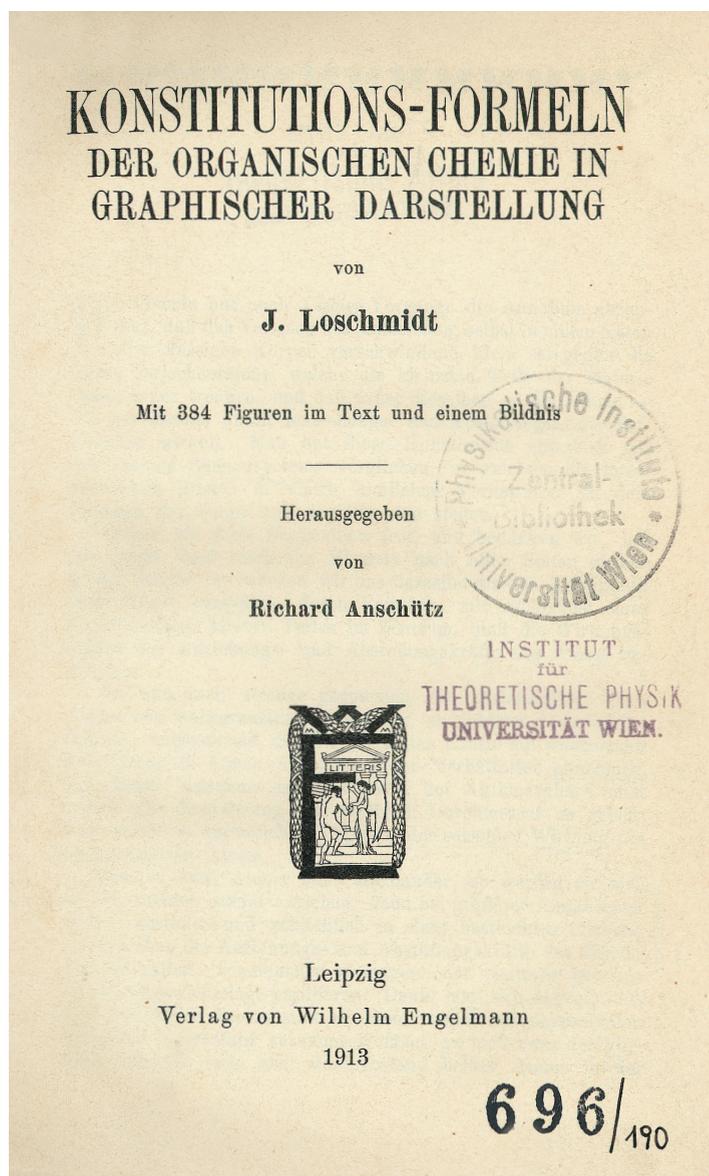


Abb. 2.17

Am 17. Juli 1869 folgte Boltzmann im Alter von 25 Jahren einer Ernennung zum ordentlichen Professor an die neuerrichtete Lehrkanzel für mathematische Physik der Karl-Franzens-Universität (Abb. 3.1) in Graz.

Während dieser ersten Grazer Epoche erhielt Boltzmann 1870 und 1871 Studienurlaube von je einem Semester, die er in Heidelberg bei berühmten Gelehrten wie Robert Bunsen (Abb. 3.2) und Gustav Kirchhoff (Abb. 3.3) sowie bei Hermann von Helmholtz (Abb. 3.4) in Berlin verbrachte.

Über das erste Zusammentreffen Boltzmanns mit Gustav Kirchhoff berichtet Leo Koenigsberger: „Bezüglich Boltzmanns ist mir noch eine Seminarstunde in Erinnerung, in welcher ich eine Variationsaufgabe behandeln lassen wollte, die aber keiner meiner vortrefflichen Seminaristen zweckmäßig anzugreifen wusste: auf meine Frage, wer von den Herren uns helfen wolle, erhob sich auf der letzten Bank ein hagerer, etwas älter als die übrigen Studierenden aussehender Zuhörer, trat an die Tafel und entwickelte in geschickter Weise, aber in so krassem österreichischem Dialekt, dass die Zuhörer sich eines Lächelns nicht erwehren konnten, die Lösung der Aufgabe. Da er sich vorher bei mir nicht gemeldet hatte, fragte ich ihn nach seinem Namen. Die Antwort war: „Dr. Boltzmann aus Wien“, von dem mir schon einige, von seinem Lehrer Stefan vorgelegte kleinere Noten aus den Mitteilungen der Wiener Akademie bekannt waren. Noch am Nachmittage desselben Tages kam er zu mir, um sich für eine demnächst erscheinende Wärmearbeit in betreff einiger algebraischer Probleme meinen Rat zu erbitten, und ich fragte ihn bei dieser Gelegenheit, ob er Kirchhoff schon persönlich kennen gelernt habe. Als er meine Frage ein wenig verlegen verneinend beantwortete, drückte ich ihm mein Erstaunen darüber aus, da er schon seit einigen Wochen in Heidelberg sich aufhielt, bis er mir endlich seine Befürchtung gestand, dass die Unterhaltung dann wohl sehr bald auf Kirchhoffs letzte Arbeit „Über die Bewegung von zwei Ringen in einer Flüssigkeit“ kommen könnte – es ist dies die fundamentale Untersuchung über die Parallelität der durch den hydrodynamischen Druck und elektrische Ringströme hervor gebrachten Bewegung – und dass es ihm dann unangenehm wäre, Kirchhoff zu sagen, dass die Arbeit einen mathematischen Fehler enthielte. Als er mir das Nähere auseinandergesetzt, und ich ihm versicherte,

dass Kirchhoff, wenn er seinen, übrigens das Resultat der Untersuchung nicht in Frage stellenden Irrtum eingesehen, ihm dann erst recht mit größter Liebenswürdigkeit entgegenkommen würde, entschloss er sich, ihn sogleich zu besuchen.

Einige Stunden später kam Kirchhoff zu mir und erzählte mir, dass Boltzmann gleich bei seiner Vorstellung ganz unvermittelt ihm mitgeteilt habe, dass er einen Fehler in jener Arbeit gemacht, und ich konnte an der Erregtheit von Kirchhoff, der bei seiner feinen, aber etwas formellen Art, sich zu geben, auch eine bescheidene und vorsichtige Rücksichtnahme von anderen verlangte, wohl erkennen, dass die Art der Mitteilung ihn Boltzmann gegenüber ein wenig stutzig gemacht hatte, sehr bald wurde ihr Verhältnis aber ein recht gutes, getragen von der gegenseitigen Hochachtung ihrer wissenschaftlichen Bedeutung.“¹

Auf einer Exkursion der Lehrerbildungsanstalt im Mai 1872 lernte Ludwig Boltzmann die Mathematikstudentin Henriette von Aigentler (Abb. 3.5) kennen, die sich sofort in Boltzmann verliebte und während der folgenden Jahre, die er in Wien verbrachte, stets bemühte, den Kontakt nie abbrechen zu lassen.

Werk

Ludwig Boltzmann arbeitete in seiner ersten Grazer Zeit sehr eng mit August Toepler (Abb. 3.6) zusammen und verfolgte neben theoretischen auch experimentelle Interessen, besonders im Anschluss an die Maxwellsche Theorie. An Toeplers Bemühungen um den Aufbau des Physikalischen Institutes sowie an den dort durchgeführten Experimenten nahm Boltzmann lebhaften Anteil.

Während des Studienurlaubs in Berlin bei Hermann von Helmholtz beschäftigte er sich erstmals mit Versuchen über die Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten, um damit die Maxwellsche Lichttheorie zu prüfen.

Dielektrizitätskonstante

Nach Maxwells Theorie wird das Licht als elektromagnetische Erscheinung erklärt. Die elektrische Größe, welche die Beziehung zwischen einer elektrischen und einer optischen Größe

On the 17th of July 1869, at the age of 25, Boltzmann took a newly established position as a full professor for mathematical physics at the Karl-Franzens University (Fig. 3.1) in Graz. There he worked together with August Toepler.

During two study visits in 1870 and 1871 Boltzmann worked in Heidelberg with Robert Bunsen (Fig. 3.2) and Gustav Kirchhoff (Fig. 3.3) as well as in Berlin with Hermann von Helmholtz. (Fig. 3.4)

Leo Koenigsberger said about the first meeting between Boltzmann and Gustav Kirchhoff: "Regarding to Boltzmann there is one thing that I still can remember: It happened during a seminar when I talked about calculus of variations and none of my students were able to solve a certain assignment. I asked for help and a student who was skinny and a little bit older than the rest stood up and came to the blackboard. He came up with an elegant solution, but in such a heavy Austrian accent that the other students could not resist smiling. Since he had not introduced himself at the beginning, I asked for his name. The answer was: "Dr. Boltzmann from Vienna." On the same day in the afternoon he came to me and asked me for advice regarding his current work regarding heat. At this occasion I asked him if he had already had the opportunity to meet Kirchhoff. He told me in an embarrassed way that this was not the case. I was surprised and asked him for the reason. He confessed that he had found a mathematical error in Kirchhoff's last work and therefore he did not dare to talk to him. He explained it to me in detail and I reassured him that Kirchhoff would not be upset about this. Right after that, Boltzmann decided to have a talk with Kirchhoff.

A few hours later Kirchhoff came to me and told me that Boltzmann had informed him about his error. Kirchhoff seemed to be a little disturbed. My impression was that Boltzmann's way to tell him about the mistake had not been the most diplomatic. Nevertheless, after a short while they established a good relationship that was based on mutual respect for each other's scientific importance."¹

On an excursion in May 1872 Ludwig Boltzmann met a student of mathematics named Henriette von Aigentler. (Fig. 3.5) Right away she fell in love with Boltzmann

and tried not to lose contact over the years, while Boltzmann lived in Vienna.

Works

During his first period in Graz, Ludwig Boltzmann was working together with August Toepler (Fig. 3.6). Besides his theoretical interests, he also pursued experimental work – especially in conjunction with Maxwell's theory. Boltzmann participated in Toepler's endeavors to create a physical institute and also in the experiments that were carried out there.

During his study visit in Berlin he performed experiments to determine dielectric constants in order to test Maxwell's theory of light.

Dielectric constants

According to Maxwell's theory, light is explained as an electromagnetic phenomenon. The parameter which describes the connection between electrical and optical quantities is the so-called dielectric constant. In a series of experiments Boltzmann examined this theoretically derived relationship for insulators as well as for gases. In accordance with his predictions the dielectric constant showed different values for different spatial directions.

In the year 1871 Boltzmann had an argument about priorities with Rudolf Clausius. (Fig. 3.7) It concerned the finding of the relationship between the second law of thermodynamics and the principle of least action. (Fig. 3.8) Clausius was not only one of the founders of thermodynamics – he had invented the concept of entropy and given it its name, deriving it from Greek Trope, which means „turning“ or „changing“ – but he was also one of the pioneers of the kinetic theory of gases.

Clausius had overlooked Boltzmann's second publication and an incidental paper by Loschmidt on the same topic. Boltzmann wrote at the end of the above-mentioned paper: "I think that I have proved my precedence in discovering the mechanical importance of the second law of thermodynamics. It only remains

herstellt, ist die sogenannte Dielektrizitätskonstante. In einer Reihe von Experimenten prüfte Boltzmann diese theoretisch abgeleitete Beziehung sowohl an isolierenden Festkörpern als auch an Gasen. Im Einklang mit der Vorhersage zeigte die Dielektrizitätskonstante in den verschiedenen Raumrichtungen verschiedene – und zwar die erwarteten – Werte.

1871 kam es zwischen Boltzmann und Rudolf Clausius (Abb. 3.7) zu einem Streit über die „Priorität der Aufindung der Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und dem Principe der kleinsten Wirkung“. (Abb. 3.8) Clausius war nicht nur einer der Begründer der Thermodynamik – von ihm stammte sowohl das Konzept der Entropie als auch die Bezeichnung (gr. Trope = Verwandlung) –, sondern er war auch einer der Pioniere der mechanischen Auffassung der Erscheinungen der Wärme, also der kinetischen Gastheorie.

Clausius hatte Boltzmanns zweite Veröffentlichung ebenso übersehen wie eine nach Boltzmanns Abhandlung erschienene Arbeit von Loschmidt zu demselben Thema. Boltzmann schreibt am Ende seiner oben angeführten Arbeit: „Ich denke, hiemit meine Priorität der Entdeckung der mechanischen Bedeutung des zweiten Hauptsatzes nachgewiesen zu haben und kann schließlich nur meine Freude darüber aussprechen, wenn eine Autorität vom Rufe des Herrn Clausius zur Verbreitung der Kenntnis meiner Arbeiten über mechanische Wärmetheorie beiträgt.“

Clausius erwidert dazu: „Boltzmann schließt ganz richtig, dass ich seine Abhandlung vollständig übersehen habe (...) Ich bedaure dieses Übersehen um so mehr, als ich mich jetzt nachträglich von dem großen Werthe der betreffenden Abhandlung überzeugt habe. Es versteht sich nun von selbst, dass ich Hr. Boltzmann in allen Punkten, in welchen seine Abhandlung mit der meinigen übereinstimmt, unbedingt die Priorität zugestehe, und es handelt sich nur noch darum, den Grad der Übereinstimmung zu constatiren. In dieser Beziehung räume ich sofort ein, dass seine Ausdrücke der Disgregation und Entropie bis auf zwei Punkte (...) mit meinen übereinstimmen.“²

In den vier Grazer Jahren zwischen 1869 und 1873 publizierte Boltzmann nicht weniger als 18 zum Teil sehr umfangreiche Arbeiten. Die bedeutendste Veröffentlichung in dieser ersten Grazer Periode war zweifellos seine umfangreiche Untersuchung „Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen“, die im Februar 1872 erschien. (Abb. 3.9, 3.10)

In dieser Arbeit kommt Boltzmann durch Betrachtung der Stöße zwischen zwei Gasmolekülen zu der nach ihm benannten Transportgleichung und zeigt, dass aus einer beliebigen Anfangsverteilung im Lauf der Zeit stets die Gleichgewichtsverteilung wird. Mit dieser Arbeit war es erstmals auch gelungen, eine Entropie für Nichtgleichgewichtszustände mechanisch zu erklären und damit das Irreversibilitätsproblem in den Griff zu bekommen. Die in der Arbeit aufgestellte Transport- oder Stoßgleichung, heute einfach Boltzmann-Gleichung genannt, führte zu dem später als H-Theorem bezeichneten Gesetz der Zunahme der Entropie, das seinerseits wieder zur Aufdeckung des Zusammenhanges zwischen Entropie und thermodynamischer Wahrscheinlichkeit und damit zu jener Formel führte, die in der Planckschen Fassung $S = k \log W$ heißt.

Es war eine Eigenschaft von Boltzmanns Arbeit, dass er viele seiner Veröffentlichungen sehr ausführlich ausarbeitete. Das überrascht kaum, denn er sagte einmal, dass Angelegenheiten von Eleganz dem Schneider und dem Schuster überlassen werden sollten. So war z. B. Boltzmanns Arbeit von 1872, in der er die Boltzmann-Gleichung aufgestellt und das H-Theorem bewiesen hat, 87 Seiten lang.

Es war das erste Mal, dass die Wahrscheinlichkeitsrechnung in solch einem grundlegendem physikalischen Gesetz wie dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik eingeführt wurde. Die meisten Zeitgenossen Boltzmann waren nicht imstande, diese Abweichung vom strengen Determinismus zu akzeptieren.

Im September 1872 schrieb Boltzmann an seine Mutter, dass er bei der Tagung der Physikalischen Gesellschaft in Berlin einen Vortrag über das Theorem gehalten hatte und dass, abgesehen von Helmholtz, mit dem sich eine interessante Diskussion entwickelte, kaum jemand in der Lage war, ihm zu folgen.

for me to express my gratitude about the fact that an authority of Mr. Clausius' rank helps to divulge the knowledge of my work on the subject of the mechanical theory of heat."

Clausius responded: "Boltzmann is right that I have overlooked his disquisition. (...) I regret this even more as I have now convinced myself of the great value of his paper. Now it goes without saying that I concede the priority to Mr. Boltzmann. In this respect I declare that his expressions for disgregation and entropy accord with mine except for two points".²

In the four years of Boltzmann's first sojourn in Graz between 1869 and 1873 he published 18 papers – some of them of considerable length. The most important work in this period was beyond doubt the article "Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen" which was published in February 1872. (Fig. 3.9, 3.10)

In this work, Boltzmann found the famous transport equation that is today known under his name through the consideration of collisions between gas molecules. He showed that almost all initial conditions will after a certain time lead to an equilibrium distribution. With

this he was able to explain the entropy for non-equilibrium states on the basis of the laws of mechanics and thereby solve the problem of irreversibility. The Boltzmann equation lead to the so-called H-theorem, which describes the relationship between entropy and thermodynamic probability in the equation $S = k \log W$ (in Max Planck's version).

One characteristic of Boltzmann's work is the extensive elaboration of details. This does not come as a surprise as Boltzmann once said that matters of elegance should be left to tailors and shoemakers. For example, the paper from 1872 about the H-theorem consisted of 87 pages.

It was the first time that probability calculus was introduced in such a fundamental physical law as the second law of thermodynamics. Most of Boltzmann's colleagues were not able to accept this deviation from strict determinism.

In September 1872 Boltzmann wrote to his mother that during a conference of the Physical Society in Berlin he had held a discourse about the H-theorem and only a few people had been able to comprehend it.

Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre – das Entropiegesetz

Das Entropiegesetz in seiner ursprünglichen Fassung wurde von Rudolf Clausius und William Thomson, dem späteren Lord Kelvin, zur Beschreibung von Kreisprozessen in thermodynamischen Systemen (z. B. Wärmekraftmaschinen) aufgestellt. In dieser Formulierung besagt es, dass in einem abgeschlossenen System Wärme niemals von selbst von einem kälteren auf einen wärmeren Körper übergeht. Rechnerisch drückte Clausius diesen Sachverhalt durch die Einführung der Entropie S aus, die sich dadurch auszeichnet, dass sie mit zunehmender Zeit niemals kleiner wird. Damit zeigte sich ein wesentlicher Unterschied zwischen thermodynamischen Systemen und solchen, deren zeitliche Entwicklung nach den Gesetzen der Mechanik abläuft: Während in letzteren jeder überhaupt mögliche Prozess auch in umgekehrter Reihenfolge ablaufen kann – man sagt: zeitlich reversibel ist –, ist dies in thermodynamischen Systemen nicht der Fall. Die zeitliche Umkehrung eines thermodynamischen Prozesses, bei dem die Entropie zunimmt, ist grundsätzlich unmöglich.

Diese Erkenntnis steht in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen des Alltags: Es gibt in der Natur eine ausgezeichnete Zeitrichtung (nämlich in Richtung Zukunft), die nur solche Wärmeprozesse zulässt, bei denen Temperaturunterschiede ausgeglichen und nicht etwa verschärft werden. Lässt man z. B. eine Tasse Kaffee offen stehen, so kühlt sie ab – niemals wird sie sich von selbst wieder erwärmen.

Doch der Begriff der Entropie lässt sich auch auf mechanische Systeme anwenden, wenn man ihn als Maß für den Grad der Ordnung (bzw. Unordnung) auffasst, in der sich das System befindet. Veranschaulichen wir uns dies am Beispiel des Billardspiels. Das System besteht in diesem Fall aus einer Anzahl von Kugeln, die über den Tisch rollen und dabei gegeneinander sowie an die Bande stoßen. Vor

dem Anstoß herrscht Ordnung: Die Kugeln sind fein säuberlich zu einem Dreieck aufgesetzt. Nach dem Anstoß breiten sich die Kugeln in einem komplizierten Durcheinander über den Tisch aus, wobei aber festzuhalten ist, dass dies nicht irgendwie zufällig erfolgt, sondern streng nach den Gesetzen der Mechanik.

So wie in einem thermodynamischen System können wir auch hier feststellen, dass es eine ausgezeichnete Zeitrichtung gibt, wenn wir folgendermaßen vorgehen: Wir nehmen eine Kamera zur Hand und filmen zuerst den Anstoß und dann eine weitere Szene, die die Kugeln nach dem Anstoß zeigt. Betrachten wir nun die zweite Szene, und zwar zuerst im Vor- und dann im Rücklauf: In beiden Fällen sehen wir im Prinzip das Gleiche, nämlich rollende und zusammenprallende Kugeln. Ein Außenstehender könnte nicht sagen, ob der Film gerade vor- oder zurückläuft, denn zwischen den beiden Zeitrichtungen gibt es in diesem Fall keinen grundlegenden Unterschied. Egal, wie man den Film auch ansieht: Er zeigt den Übergang von einem Zustand der Unordnung zu einem anderen Zustand der Unordnung, und für den Betrachter ist es offenbar gleichgültig, in welche Zeitrichtung sich das System dabei bewegt.

Anders verhält es sich, wenn wir die Szene mit dem Anstoß sehen. Richtig abgespielt zeigt sie, wie die Kugeln angestoßen werden und dann auseinander fliegen, d.h. wie ein Zustand der Ordnung in einen der Unordnung übergeht. Dies ist ein Phänomen, das wir aus unserer Alltagserfahrung sehr gut kennen. Beim Zurücklaufen des Films hingegen werden wir stutzig: Zu sehen sind anfangs scheinbar chaotisch durcheinander rollende Kugeln, die sich nach wenigen Augenblicken von selbst zu einem Muster ordnen – etwas, das weder der Zufall noch der geschickteste Billardspieler in der Praxis zustande bringen werden. Der Unterschied zwischen dem vorwärts- und dem rückwärtslaufenden Film ist in diesem Fall sofort sichtbar, denn einen spontanen Übergang

The second law of thermodynamics – the law of entropy

The law of entropy in its original version was introduced by Rudolf Clausius and William Thomson (later Lord Kelvin) to describe cycles in thermodynamic systems (e.g. heat engines). In this formulation the law says that in a closed system heat does not merge from a colder body into a warmer body. Mathematically, Clausius expresses this by the introduction of a new quantity named entropy (S) which is characterized by the fact that it cannot decrease with progressing time. This is a fundamental difference between thermodynamic systems and systems whose time evolution is governed by the laws of mechanics: In the latter systems all processes can be reversed, whereas in thermodynamic systems, the time reversal of a process in which entropy increases is impossible.

This insight is in accordance with observations from our daily life: In nature there is a specific direction of time – the future – which allows only such heat processes through which temperature differences are equaled out rather than aggravated. E. g. if you leave a cup of coffee outside it cools down – but it never gets warmer again on its own.

The concept of entropy can also be applied to mechanical systems if it is understood as a measure of the system's degree of order (or disorder). Let's illustrate this with the example of a game of pool billiards. The system consists of a number of balls which roll on a table and collide with each other and with the cushion. Before the first shot the system is in order: the balls are set up in a triangular pattern. After the first shot, the balls are spreading over the table in a complicated huddle. It has to be noted that this does not happen randomly but strictly according to the laws of mechanics.

As with a thermodynamic system we can observe that there is a specifically distinguished

direction of time if we proceed as follows: We take a camera and film first the initial shot and then a second scene which shows the balls after the initial shot. Now let's watch the second scene in forward and reverse mode: In both cases we basically see the same – rolling and colliding balls. A third party could not tell if the film is playing in forward or reverse mode. It shows the change from a state of disorder to another state of disorder and for the observer it does not matter in which direction of time the system is moving.

It is different when we watch the scene with the initial shot. If it is viewed in forward mode we see how the system changes from order to disorder. This is a phenomenon that can be observed often in our daily life. If we watch the scene in reverse mode we are surprised: We see a seemingly chaotic system that spontaneously evolves into a pattern. This is something that can be effected neither by accident nor by the most talented billiards player. The difference between the forward and the reverse mode is obvious because the spontaneous change from disorder to order does not happen in everyday life.

Though, what we observe in the second scene in reverse mode (the balls self-organizing themselves into a pattern) would be possible according to the laws of mechanics if the directions and velocities of the balls were chosen with absolute accuracy. In technical terms, they would have to be "correlated". However, such correlations would be destroyed by the tiniest deviation from the initial conditions. This is why they cannot be put into practice and are therefore irrelevant to physics.

Thus we recognize: In mechanical systems there is also a specifically distinguished direction of time which prefers changes of state from order to disorder.

With the statistical interpretation of entropy Ludwig Boltzmann tried to formulate thermo-

von der Unordnung zur Ordnung, wie wir ihn im letzteren Fall sehen, kennen wir aus dem Alltag nicht.

Trotzdem ist das, was die zweite Filmszene im Rücklauf zeigt – das selbsttätige Ordnen der Kugeln –, gemäß den Gesetzen der Mechanik möglich, wenn die Richtungen und Geschwindigkeiten der Kugeln exakt richtig gewählt, oder, wie man es in der Fachsprache nennt, „korreliert“ sind. Solche Korrelationen werden bereits durch kleinste Abweichungen von den richtigen Anfangsbedingungen oder sonstige Störungen vernichtet, weshalb sie in der Praxis nicht hergestellt werden können und daher keine Rolle spielen.

Wir erkennen also: Auch in mechanischen System gibt es eine ausgezeichnete Zeitrichtung, die solche Entwicklungen bevorzugt, bei denen ein Ordnungszustand in einen solchen der Unordnung übergeht.

Mit seiner statistischen Interpretation der Entropie unternahm Ludwig Boltzmann den Versuch, die Thermodynamik auf die Basis der Mechanik zu stellen, die zur damaligen Zeit das vorherrschende Paradigma der Physik war. Er entwickelte die statistische Sichtweise des Entropiegesetzes am Beispiel des Temperaturausgleichs zwischen Gasvolumina. Das Gas wird dabei als mechanisches System von Molekülen betrachtet, die sich in ununterbrochener

Bewegung befinden und nach den Gesetzen der Mechanik ständig gegeneinander und an die Wände des sie einschließenden Behälters prallen. Die Temperatur wird als Ausmaß der Bewegung der Moleküle interpretiert und der Temperaturausgleich dadurch erklärt, dass die schnellen Moleküle im wärmeren Teil des Gases durch die Zusammenstöße mit den langsamen, „kälteren“ Molekülen an diese einen Teil ihrer Energie abgeben.

In seiner Arbeit von 1872 griff Boltzmann auf die Annahme vom „molekularen Chaos“ zurück, die besagt, dass die Korrelationen, die durch einen Stoß zwischen Gasteilchen entstehen, keinen Einfluss auf das zukünftige Geschehen haben sollen und beim nächsten Stoß unberücksichtigt bleiben. Diesen Gedanken führte er in Form eines später als „Stoßzahlansatz“ bezeichneten Terms in seine Gleichung ein und konnte damit den als „H-Theorem“ in die Physik eingegangenen Satz beweisen: Auch in mechanischen Systemen kann die Entropie (ausgedrückt durch das H-Funktional) mit der Zeit niemals abnehmen.

Das molekulare Chaos ist selbst keine Folge aus den Gesetzen der Mechanik, sondern eine zusätzliche Annahme, die alle Korrelationen aus dem System eliminiert und damit zeitliche Entwicklungen verhindert, die – wie in dem obigen Beispiel mit den sich selbst ordnenden



dynamics on the basis of mechanics which was the prevailing paradigm of physics at this time. He developed the statistical view of the entropy law by considering temperature exchange in gases. In his framework, a gas was viewed as a mechanical system of molecules which are constantly in motion and, in accordance with the laws of mechanics, collide with each other and with the walls of the container. Temperature is used as a measure for the movement of the molecules. The temperature exchange is explained as follows: The fast molecules in the warmer part of the gas collide with the slow molecules in the colder part and thereby transfer a part of their energy to the “cold” atoms.

In his work from 1872 Boltzmann fell back upon the assumption of “molecular chaos”, which says that the correlations that are created by the collisions of gas particles do not have any influence on the next collisions and

on the future development in general. Boltzmann brought this idea into his equation by means of a mathematical term called “Stoßzahlansatz”. Thereby he was able to prove the H-theorem which states that in a mechanical system entropy – expressed by the H-functional – cannot decrease with progressing time.

Molecular chaos itself is not a consequence of the laws of mechanics but an additional assumption that eliminates all correlations from the system and therefore circumvents developments that correspond to a change of state from disorder to order as described in the above billiards example. In the end the Stoßzahlansatz is responsible for the fact that Boltzmann could construct a mathematical description for ideal gases based on the time-reversible laws of mechanics that distinguishes a direction of time in accordance with the second law of thermodynamics.



Billardkugeln – dem Übergang von einem ungeordneten zu einem geordneten Zustand entsprechen. Letzten Endes ist der Stoßzahlansatz dafür verantwortlich, dass Boltzmann auf der Basis der zeitlich umkehrbaren Gleichungen der Mechanik eine mathematische Beschreibung für die Entwicklung von Gasen konstruieren konnte, die eine Zeitrichtung auszeichnet und damit in Einklang mit dem zweiten Hauptsatz steht.

Die Mutter der Negentropie

Wer diesen Witz versteht, hat die Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik zumindest gefühlsmäßig erfasst: „In einem physikalischen System nimmt die Entropie ohne den Einfluss äußerer Kräfte niemals ab.“ Der Cartoon trifft genau, was Entropie für uns bedeutet – nämlich die Unordnung, die die beiden Knaben in ihrem Zimmer-System kräftig ansteigen lassen – und illustriert auch den Begriff der Negentropie, also der Ordnung, welche die geplagte Mutter wieder herstellen muss.

Entropie ist Unordnung, also die Verteilung von Spielzeug über den ganzen Raum. Ist die

Entropie gleich null, dann herrscht im Systemvollständige Ordnung: Alle Sachen befinden sich an ihrem Platz.

Die Mutter bringt als lebender Organismus durch Aufräumen Entropieminderung (oder Negentropie) in das System. Doch wenn man die Situation weitläufiger betrachtet, stellt sich heraus, dass dies ein teuer erkaufter Erfolg ist: Zwar sieht es im Zimmer wieder ordentlich aus, doch verbraucht die Mutter, um ihre Arbeit verrichten zu können, mehr Atemluft als sonst und bringt Kohlendioxid in ihre Umwelt ein. Lokal, d. h. bezogen auf die Spielsachen, ist die Entropie gesunken, doch für das Gesamtsystem aus Zimmer und Raumluft ist sie durch die Beimischung des Stoffwechselprodukts gestiegen. Um Negentropie in die Spielsachen bringen zu können, musste die Mutter diese von außen importieren. Gegen das Entropiegesetz kann auch die klügste Mutter nichts ausrichten, wie Leo Szilard schon 1929 feststellte: „Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik gilt auch für abgeschlossene Systeme, die intelligente Wesen enthalten.“ Darum können Lebewesen sich in abgeschlossenen Systemen nicht besonders gut entfalten.



Abb. 3.1: Universität Graz/The University of Graz

The mother of Negentropy

Everyone who understands this joke also comprehends the meaning of the second law of thermodynamics, at least intuitively: “In a physical system, entropy cannot decrease without interference from the outside.” The cartoon shows what entropy means for us – it is the disorder which the two boys increase by strewing their toys about the room. It also illustrates the term “negentropy” – the order that has to be reinstated by the afflicted mother.

Entropy is disorder, i. e. the distribution of toys over the whole room. If the entropy is zero, then the system is in complete order: All toys are where they belong.

The mother as a living organism reduces the entropy (or increases the negentropy) of the

system. But if you view the situation on a larger scale, you will find that this is an expensive process: Even though the room is tidy again, the mother uses up additional air and creates more carbon dioxide. Regarding the toys, entropy is reduced, but for the complete system consisting of the room and the air entropy is increased. In order to increase negentropy the mother would have to import it from outside the system. Even the smartest mother cannot bypass the law of entropy, as Leo Szilard noted already in 1929: “The second law of thermodynamics also applies to systems which are maintained by intelligent beings.” That is why closed systems are not conducive to the well-being of living organisms.

1 Koenigsberger, Leo: Mein Leben, Heidelberg: Winter, 1919, S. 105f

2 Clausius, Rudolf: Poggendorfs Annalen 144 [1872], S. 265f.



Abb. 3.2: Robert Bunsen



Abb. 3.3: Gustav Kirchhoff



Abb. 3.4: Hermann von Helmholtz



Abb. 3.5: Henriette von Aigentler

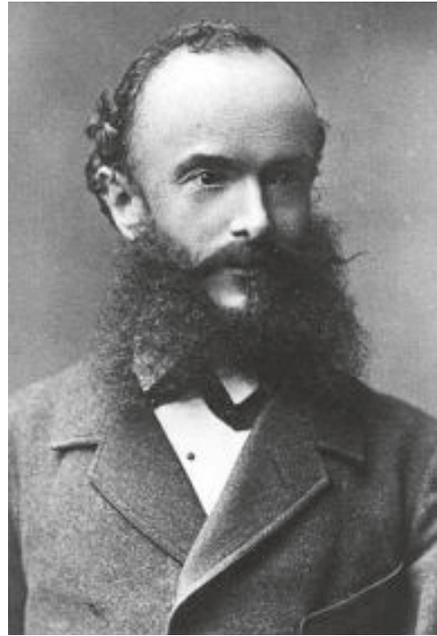


Abb. 3.6: August Toepler, Kollege und Trauzeuge von Boltzmann/*August Toepler, colleague and witness to the marriage of Boltzmann*



Abb. 3.7: Rudolf Clausius

230

$$\left. \begin{array}{l} i \text{ statt } t_2 - t_1 \\ mcTi \text{ statt } \int_{t_1}^{t_2} \frac{mc^2}{2} dt \end{array} \right\} B$$

schreiben. Dadurch geht die erste der Formeln (24) meiner Abhandlung über in

$$\delta Q = 2 \sum \frac{\delta(mcTi)}{i}$$

oder nach Multiplication mit T und Division durch dieselbe GröÙe unter dem Summenzeichen (was erlaubt ist, da T für alle Punkte denselben Werth hat.

$$\delta Q = 2T \delta \sum mc \log(Ti),$$

was mit der Formel (35) des Hrn. C. identisch ist. Meine Formel (24a) giebt uns die Entropie. Bezeichnen wir dieselbe mit S und führen die Bezeichnung des Hrn. C. ein, so erhalten wir:

$$S = 2 \sum mc \log(Ti) + C,$$

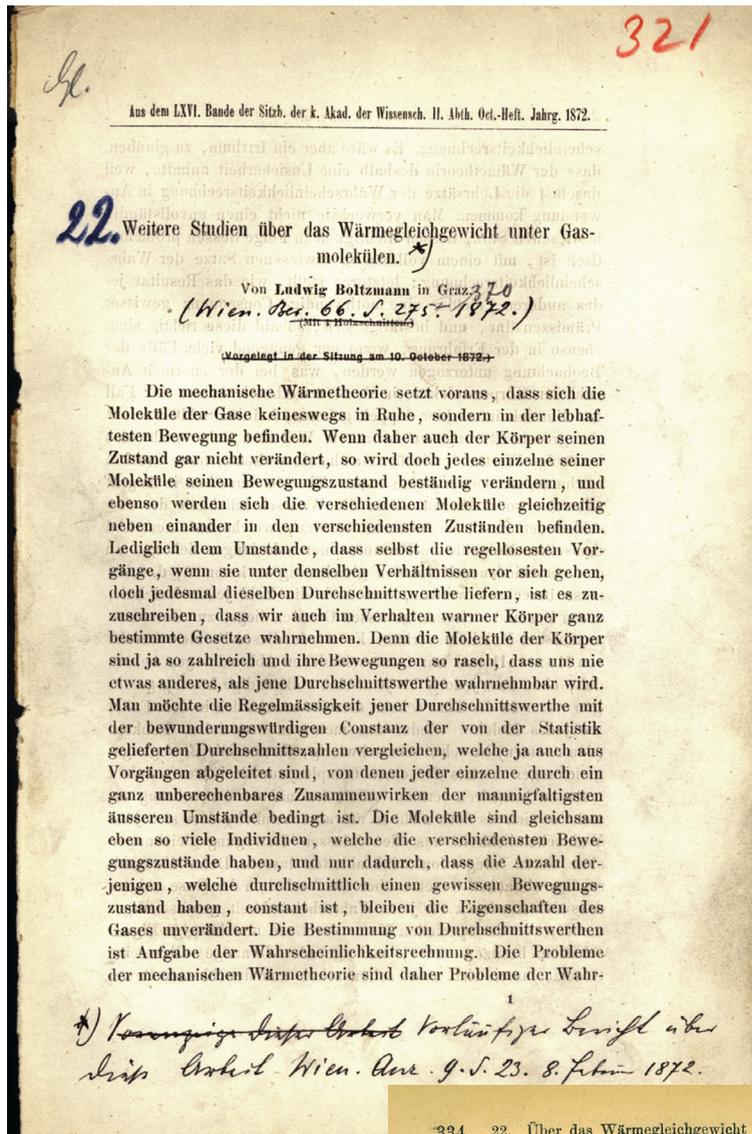
welche Gleichung mit der Gleichung (36) des Hrn. C. übereinstimmt. Nur fehlt das calorische Arbeitsäquivalent, da ich die Wärme immer in mechanischem Maafse gemessen voraussetze. Machen wir die Bezeichnungsvertauschungen (B) in meiner Formel (25a), so erhalten wir

$$\delta L = \sum \frac{\delta(mcTi)}{i} + \sum mc T \frac{\delta i}{i} = T \delta \sum mc \log(Ti^2),$$

also die Formel (34) des Hrn. C., deren Division durch T uns die Disgregation ebenfalls in Uebereinstimmung mit Hrn. C. liefert. Ich denke hiemit meine Priorität der Entdeckung der mechanischen Bedeutung des zweiten Hauptsatzes nachgewiesen zu haben und kann schließlicly nur meine Freude darüber aussprechen, wenn eine Autorität vom Rufe des Hrn. Clausius zur Verbreitung der Kenntnifs meiner Arbeiten über mechanische Wärmetheorie beiträgt.

Graz, den 16. Mai 1871.

Abb. 3.8: Zur Priorität der Auffindung der Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und dem Prinzip der kleinsten Wirkung, 1871/*Rudolf Clausius and Boltzmann had an argument about the discovery of the meaning of the second law of thermodynamics*



334 22. Über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen.

$$(16) \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial f(x, t)}{\partial t} &= \int_0^{\infty} \int_0^{x+x'} \left[\frac{f(\xi, t)}{\sqrt{\xi}} \frac{f(x+x'-\xi, t)}{\sqrt{x+x'-\xi}} - \frac{f(x, t)}{\sqrt{x}} \frac{f(x', t)}{\sqrt{x'}} \right] \\ &\quad \times \sqrt{x x'} \psi(x, x', \xi) dx' d\xi. \end{aligned} \right.$$

Dies ist die Fundamentalgleichung für die Veränderung der Funktion $f(x, t)$. Ich bemerke nochmal, daß die Wurzeln alle positiv zu nehmen sind, sowie auch ψ und die f wesentlich positive Größen sind. Setzen wir für einen Augenblick

Abb. 3.9, 3.10: In dieser Arbeit wird 1872 die berühmte Boltzmann-Gleichung aufgestellt und das H-Theorem bewiesen/In this work from 1872 the famous Boltzmann equation was developed and the H-theorem was proven

Im Jahre 1873 wurde der 71-jährige Ordinarius der zweiten Lehrkanzel für Mathematik an der Universität Wien, Franz Moth, in den Ruhestand versetzt, und Ludwig Boltzmann kehrte als Professor der Mathematik nach Wien zurück. (Abb. 4.1, 4.2, 4.3)

Die Lehrkanzeln für Mathematik an der Wiener Universität (1850–1880)

Nach den Reformen des Studienwesens, die 1848 eingesetzt hatten, bestanden an der philosophischen Fakultät der Wiener Universität zwei ordentliche Lehrkanzeln für Mathematik. Die erste war mit Josef Petzval besetzt (ab 1877 im Ruhestand), die zweite mit Franz Moth (emeritiert 1873). Als Nachfolger von Moth kam Ludwig Boltzmann aus Graz nach Wien und wirkte hier von 1873 bis 1876. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Boltzmann bereits im Winter 1873/74 Vorlesungen gehalten hat. Die Vorlesungsverzeichnisse weisen unter dem Namen „Boltzmann“ folgende Einträge auf:

SS 1874 1. Theorie der Differentialgleichungen
 2. Mechanische Wärmetheorie

WS 1874/75 Differential- und Integralrechnung

SS 1875 1. Zahlentheorie
 2. Ausgewählte Kapitel aus der
 höheren Analysis

WS 1875/76 Analytische Geometrie

SS 1876 Funktionentheorie

Für das nächste Semester war wieder Differential- und Integralrechnung angekündigt. Diese Vorlesung konnte Boltzmann aber wegen seiner neuerlichen Berufung nach Graz nicht mehr halten.

Auf Drängen der Fakultät war 1875 ein drittes Ordinariat für Mathematik genehmigt und mit Emil Weyr (Abb. 4.4) aus Prag besetzt worden. In Gemeinschaft mit Emil Weyr gründete Ludwig Boltzmann das „Mathematische Seminar“.

Die „Herrlichkeit“ dreier nebeneinander bestehender Lehrkanzeln dauerte aber nur ein Jahr. Boltzmann nahm einen Ruf nach Graz an, Josef Petzval wurde mit Erreichung der Altersgrenze pensioniert. Diesen zwei Abgängen steht nur eine Berufung gegenüber: Leo Koenigsberger kam zu Ostern 1877 aus Dresden nach Wien und hatte die erste und die zweite Lehrkanzel zu vereinigen.

So waren vom Sommer 1877 bis zum Abgang Koenigsbergers nach Heidelberg im Jahre 1884 wieder nur zwei Ordinariate besetzt. Die durch Boltzmanns Abgang nach Wien 1873 in Graz freigewordene Lehrkanzel für mathematische Physik übernahm nach etwa zweijähriger Vakanz Heinrich Streintz, der diese Stelle bis zu seinem Tod innehatte.

1875 nahm Boltzmann an einer Naturforscherversammlung in Graz teil. Dieser Aufenthalt führte zu einem Heiratsantrag an Henriette von Aigentler. (Abb. 4.5, 4.6) Für seinen Antrag wählte er die „schriftliche Form“, denn diese erschien ihm „der Ruhe und Besonnenheit förderlicher“. Auch legte der Brautwerber Wert darauf, seiner zukünftigen Ehefrau keine falschen Hoffnungen zu machen: „Mein Einkommen im vorigen Jahr war 5400 Gulden, es wird also zur Führung des Haushaltes genügen. Allein reicht dieser Betrag nicht dazu aus, um Ihnen viele Zerstreungen zu bieten. Auch sage ich Ihnen voraus, dass ich mich oft werde in meine Studierstube einschließen müssen.“ (Abb. 4.7, 4.8)

Werk

Während seiner ersten Wiener Professur setzte Ludwig Boltzmann die im Sommer bei Helmholtz in Berlin begonnenen Arbeiten zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten (Abb. 4.9) fort. Dabei arbeitete er eng mit August Toepler in Graz zusammen und wurde auch von den Dissertanten Thomas Romich und Adolf Fajdiga unterstützt. So entstanden zwischen 1872 und 1874 sieben Experimentaluntersuchungen zu diesem Thema, wobei die Arbeit „Über die Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstanten des kristallisierten Schwefels nach verschiedenen Richtungen“ (Abb. 4.10) am bekanntesten wurde.

1875 nahm Boltzmann seine theoretischen Untersuchungen wieder auf. Zuerst erschien seine Arbeit „Über das Wärmegleichgewicht von Gasen, auf welche äußere Kräfte wirken“, in der er seine Arbeit von 1872 fortführte. Gegen Boltzmanns Vorstellungen hatte noch im gleichen Jahr ausgerechnet sein väterlicher Freund Joseph Loschmidt den berühmten Umkehrinwand erhoben.

Die Gesetze der Mechanik bevorzugten an sich keine Zeitrichtung; dennoch ist im täglichen Leben die in die Zukunft fortschreitende Zeitrichtung ausgezeichnet.

In 1873 Franz Moth, the 71 year-old full professor for mathematics at the University of Vienna, resigned and Ludwig Boltzmann returned as his successor to the University of Vienna. (Fig. 4.1, 4.2, 4.3)

The chair for mathematics at the University of Vienna (1850-1880)

After the reform of the universities which had started in 1848, the faculty of philosophy at the University of Vienna had two chairs for mathematics. Josef Petzval occupied the first one (he resigned in 1877) and Franz Moth the second one (resigned 1873). Boltzmann was the successor of Moth and held the chair from 1873 to 1876. Boltzmann started lecturing most probably in winter 1873/74. The university calendar lists these lectures under his name:

Summer term 1874 1. Theory of differential equations
 2. Mechanical theory of heat

Winter term 1874/75 Differential and integral calculus

Summer term 1875 1. Number theory
 2. Selected chapters of higher analysis

Winter term 1875/76 Analytical geometry

Summer term 1876 Complex analysis

For the following term also differential and integral calculus was planned. But due to his appointment to Graz, Boltzmann was unable to hold these lectures.

On request of the faculty, a third chair for mathematics was approved in 1875 and occupied by Emil Weyr (Fig. 4.4) from Prague. Together with Weyr, Boltzmann founded the “Mathematical seminar”.

The luxury of three parallel chairs at the same time lasted for only one year. Boltzmann moved to Graz and Josef Petzval resigned because of his advanced age. These two departures were compensated by only one new arrival: Leo Koenigsberger, who came from Dresden to Vienna in 1877, had to unite two of the professorships. Thus, between summer 1877 and the leave of Koenigsberger to Heidelberg in 1884, only two chairs were in existence. Heinrich Streintz, who substituted

Boltzmann in 1873, occupied the professorship for mathematical physics for the rest of his life.

In 1875 Boltzmann participated in a meeting of scientists in Graz. This stay resulted in a marriage proposal to Henriette von Aigentler. (Fig. 4.5, 4.6) He chose to do this in written form because it seemed “beneficial for peace and thoughtfulness”. He also made sure that his future wife would not entertain false hopes: “Last year, my income amounted to 5400 gulden which will be enough to keep house. But it will probably not be enough for all kinds of amusements and pleasures. I also have to tell you that because of my work I will sometimes have to lock myself up in my study.” (Fig. 4.7, 4.8)

Works

During his first time as a professor in Vienna, Ludwig Boltzmann continued his work on the determination of dielectric constants (Fig. 4.9) which he had started in Berlin. He worked together with August Toepler in Graz and was also supported by Thomas Romich and Adolf Fajdiga who were working on their dissertations. This resulted in seven experimental surveys regarding this topic during 1872 and 1874. The most well-known is “About the different dielectric constants of crystallized sulfur depending on the direction”. (Fig. 4.10)

1875 Boltzmann started to continue his theoretical explorations. First, he published his paper “On the thermal equilibrium in gases under the influence of exterior forces” where he continued his work from 1872. In the same year Boltzmann’s friend Loschmidt came up with the famous Umkehreinwand to show that Boltzmann’s approach involved a paradox.

The laws of mechanics in themselves do not prefer a specific direction of time; still, the progress of time towards the future is obvious in everyday life. The reason for this is not yet completely clear. Loschmidt was the first scientist to point this out and he showed that according to the laws of mechanics every system of gas molecules with increasing entropy must correspond to a system where entropy decreases. He stated: “The terrorist nimbus of the second law of thermodynamics that made it look like the final destroyer of all life in the universe is

Warum das so ist, ist bis heute nicht in vollem Umfang aufgeklärt. Loschmidt wies als erster auf diese Problematik hin und zeigte, dass jedem System von Gasmolekülen mit zunehmender Entropie gemäß den Gesetzen der Mechanik eines mit abnehmender Entropie entsprechen muss. Er folgerte: „Damit wäre auch der terroristische Nimbus des zweiten Hauptsatzes zerstört, welcher ihn als vernichtendes Princip des gesamten Lebens des Universums erscheinen lässt, und zugleich würde die tröstliche Perspective eröffnet, dass das Menschengeschlecht betreffs der Umsetzung von Wärme in Arbeit nicht einzig auf die Intervention der Steinkohle oder der Sonne angewiesen ist, sondern für alle Zeiten einen unerschöpflichen Vorrath verwandelbarer Wärme zur Verfügung haben werde.“



Abb. 4.1: Ludwig Boltzmann, 1875

Boltzmann über die Theorie

Der desolate Zustand des Physikalischen Institutes in der Erdbergstraße erweist sich für Boltzmann als Segen. Statt sich mit der mangelhaften Ausstattung des Labors zu plagen, wendet er sich der theoretischen Physik zu. (Abb. 4.11)

„Die Idee, welche mein Sinnen und Wirken erfüllt, (ist der) Ausbau der Theorie. Ihr zum Preise ist mir kein Opfer zu groß, sie, die den Inhalt meines ganzen Lebens ausmacht.“¹ (Abb. 4.12)

Boltzmann beantwortet auch selbst, was für ihn Theorie bedeutet: „Ich bin der Meinung, dass die Aufgabe der Theorie in der Konstruktion eines rein in uns existierenden Abbildes der Außenwelt besteht.“²

„Keine Gleichung stellt irgend welche Vorgänge genau dar, jede idealisiert sie, hebt Gemeinsames heraus und sieht von Verschiedenem ab, geht also über die Erfahrung hinaus. Je kühner man über die Erfahrung hinaus geht, desto allgemeinere Überblicke kann man gewinnen, desto überraschendere Tatsachen entdecken, aber desto leichter kann man auch irren.“³

„Es kann nicht unsere Aufgabe sein, eine absolut richtige Theorie, sondern vielmehr ein möglichst einfaches, die Erscheinung möglichst gut darstellendes Abbild zu finden. Es ist sogar die Möglichkeit zweier ganz verschiedener Theorien denkbar, die beide gleich einfach sind und mit den Erscheinungen gleich gut stimmen, die also, obwohl total verschieden, beide gleich richtig sind. Die Behauptung, eine Theorie sei die einzig richtige, kann nur der Ausdruck unserer subjektiven Überzeugung sein, dass es kein anderes, gleich einfaches und gleich gut stimmendes Bild geben könne.“⁴

now overcome. This opens the comforting perspective that humanity will not have to depend on coal and the sun alone when it comes to the generation of power from heat; there will always be an inexhaustible source of convertible heat that can be used to perform mechanical work.”



Abb. 4.4: Emil Weyr

Boltzmann about theory

The desolate state of the institute of physics in the Erdbergstraße turned out to be beneficial for Boltzmann and in the end for physics as a whole. Boltzmann turned to theoretical physics instead of struggling with the defective equipment of the laboratory. (Fig. 4.11)

“...the idea that fulfills my striving and works is the expansion of theory. No sacrifice is too high for this goal, which represents the meaning of my whole life ...”¹ (Fig. 4.12)

Boltzmann answered the question of what theory meant for him: “In my opinion the endeavor of theory is to construct an image of the outer world that just exists in ourselves.”²

“No equation represents any process of nature exactly. Every equation idealizes, highlights common things, hides differences and therefore goes beyond experience. The more boldly you go beyond experience, the more general is the overview that you can gain and the more surprising are the facts that can be discovered, but the greater is the probability that you will err.”³

“It cannot be our goal to develop an absolutely perfect theory, but to find a simple as possible and also concise characterization of a phenomenon. It is conceivable to have two different theories which are both equally simple and describe a phenomenon equally correctly. So, these theories would be different but they both would be right. The assertion that a given theory is the only correct one must always be regarded as a subjective conviction that there is no other equally simple and equally correct characterization.”⁴

1 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 76

2 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 77

3 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 222

4 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 216

Klein, VIII Gloriantiguffe 2
27. September 1875.

Großvater's Gemüthe!

Es ist mir eine rechte Vergnügung mit Ihnen zu schreiben
 Sie wissen schon, wie ich mich auf mich, da ich Sie schon
 wissen können konnte, fand ich in selbigen Brief
 alle jene Eigenschaften in Ihnen zu sein, welche mir
 genügt sein, nicht nur übersteigt einen Mann
 zu beglücken, sondern gerade zu wissen und ich dan
 wurde Vergnügen zu beglücken. Denn so mancher
 tief stürzte Trauerpunkt und jämmerlichen Tinn
 manlich für Menschen sind, denn einziges Krag
 tal ihre Arbeit ist, so scheint mir das, das ich
 dan und Liebe nicht bester kann, wenn die
 Götter kein Kraftreich, kein Lustreich für
 die Bestenungen des Mannes sind und bloß für
 ein Gemüthe, nicht für ein mit der Hand
 sein ist. Ich frage Sie daher das Gemüthe, das
 ich Sie liebe. Das Gemüthe, wenn ich Ihnen das
 nicht für mich und meine Missethats in Graz

Abb. 4.5: Heiratsantrag/Proposal of marriage, 1875

Wien, VIII Florianigasse 2, 27. IX. 1875

Hochgeehrtes Fräulein!

Schon bei meiner ersten Begegnung mit Ihnen machten Sie einen tiefen Eindruck auf mich; da ich Sie aber kennen lernte, fand ich in seltener Weise alle jene Eigenschaften in Ihnen vereint, welche mir geeignet scheinen, nicht nur überhaupt einen Mann zu beglücken, sondern gerade zwischen uns eine dauernde Sympathie zu begründen. Denn so unentbehrlich strenge Sparsamkeit und häuslicher Sinn namentlich für Menschen sind, deren einziges Kapital ihre Arbeit ist, so scheint mir doch, dass eine dauernde Lieb nicht bestehen kann, wenn die Frau kein Verständnis, keine Begeisterung für die Bestrebungen des Mannes hat und bloß seine Haushälterin, nicht seine mitstreitende Genossin ist. Empfangen Sie daher das Geständnis, dass ich Sie liebe. Der Gründe, warum ich Ihnen dies nicht schon während meines Aufenthalts in Graz eröffnete, sind mehrere. Erstens scheint mir bei derartigen Anlässen überhaupt die schriftliche Form der Erklärung die passendere, weil der Ruhe und Besonnenheit förderlichere. Dann erhob sich in Graz über mich ein Stadtklatsch in einer Weise, die ich lieber nicht erörtern will, die mich aber ärgerte. Ferner wollte ich mich, schon um sie nicht zu beleidigen, noch mit meiner Mutter besprechen, obwohl ich ohnedies wusste, dass sie meinem Glück kein Hindernis in den Weg legen würde. Wenn ich nicht in der schmerzlichsten Täuschung befangen bin, so wird meine Liebe von Ihnen erwidert. Ich möchte Sie aber schon Ihres eigenen Lebensglücks wegen bitten, nur nach sorgfältiger Prüfung Ihres Inneren und ruhiger Überlegung der Umstände mir zu antworten. Denn so wenig ich glaube, dass die kalten und unerbittlichen Konsequenzen der exakten Naturwissenschaft irgendwie auf das Gemüt hemmend wirken sollen und können, so ziemt es doch uns Vertretern derselben, in unseren Handlungen nur besonnener Überlegung, nicht momentanen Stimmungen zu folgen.

Sie sind von Natur aus so reich an Talenten ausgestattet, dass Sie sich leicht selbst Ihren Lebensunterhalt verdienen können, während die Männer meines Berufs sich hie und da der Dankbarkeit der Nachwelt, aber selten reicher Dankbarkeit der Mitwelt zu erfreuen haben. Um sich prosaisch auszudrücken, ich glaube, dass Sie sich als Mädchen pekuniär besser stehen würden, denn als meine Frau. Wenn Sie auch nur an eine Möglichkeit glauben könnten, dass in späteren Jahren der Gedanke hieran Ihre Seele betrüben könnte, so will [ich] lieber den Schmerz einer abschlägigen Antwort ertragen. Als Mathematikerin werden Sie Zahlen, die ja die Welt beherrschen, nicht unpoetisch finden. Ich beziehe gegenwärtig jährlich 2400 fl Gehalt, (mit 200 fl Quinquennalzulage), jährlich 1200 fl Personalzulage wurde mir bei meiner Berufung nach Zürich bewilligt. Jährlich 800 fl. ist meine Aktivitätszulage. Kollegiengeld und Prüfungstaxen betragen im Vorjahre etwa 1000 fl; diese letztere Einnahme ist jedoch nicht sicher. Mein Einkommen im vorigen Jahre war also 5400 fl. Diese Summe scheint zwar nicht klein und wird zur Führung des Haushalts genügen; allein sie reicht bei der enormen Teuerung nicht aus, um Ihnen viele Zerstreungen und Vergnügungen bieten zu können; auch sage ich im voraus, dass ich mich teils wegen der lästigen Berufsgeschäfte, teils wegen meiner eigenen Arbeiten, oft in meine Studierstube werde einschließen müssen und dass ich Ihnen meinen Antrag nicht stellen würde, wenn ich Ihre Bescheidenheit und Anspruchslosigkeit nicht kannte. Vermögen habe ich nicht, außer 5000 fl, die ich mir erspart, wovon aber mindestens 3000 fl meiner Schwester gehören, da sie früher ihrem väterlichen Erbteile entnommen wurden.

Noch eine wichtige Sache muss ich erwähnen. Sie wissen, dass ich bis jetzt mit meiner Mutter und Schwester zusammenwohnte, welche sich sehr freuen würden, mit Ihnen in Beziehung zu treten. Ich möchte weder diesen noch mir den Schmerz antun, mich von ihnen zu trennen, und hoffe, dass Sie diese meine Gesinnung verstehen und sich eventuell entschließen würden, mit ihnen zusammenzuwohnen; beim edlen Charakter meiner Mutter und Schwester steht nicht zu befürchten, dass Ihnen dieselben ihren Rat irgendwie aufdrängen werden, der Ihnen jedoch, wie Sie es wünschen, sicher gerne zu teil werden wird.

Sollten Sie meinen Antrag nicht verwerfen, so würden wir die näheren Umstände später besprechen, und ich würde Sie, wenn Sie minderjährig sind, um die Adresse Ihres Vormundes bitten, um bei demselben um Ihre Hand anzuhalten.

Ich bitte, an Frau KIENZL nochmals meinen Dank für alles Liebe, was sie mir erwiesen, zu entrichten und sie zu versichern, dass mich die dankbare Erinnerung an sie Zeit meines Lebens begleiten wird. An den Hrn. Bürgermeister und die übrigen Familienmitglieder meine Empfehlungen. Ich bin nicht in der Stimmung, diesmal noch über andere Dinge zu schreiben, und verbleibe mit der Bitte, mir nach reiflicher Überlegung Ihren Entschluss zugleich mit Nachrichten über Ihr Befinden mitteilen zu wollen.

Ihr Sie innig liebender und verehrender Freund

Ludwig Boltzmann

Abb. 4.6: Heiratsantrag, Abschrift, 1875

Vienna, VIII Florianigasse 2, 27. IX. 1875

Dear Miss,

When I met you for the first time you left a great impression on me. As I got to know you I found not only all those attributes of you that are necessary to make a man happy but that create everlasting sympathy between the two of us. For people whose only capital is their work, caniness and homely sense is very important. But to me it seems that this is not enough for everlasting love. It is essential that the woman posses understanding and enthusiasm for the endeavors of her man. She should be a companion rather than just a good housekeeper. Please accept my confession of love to you. There are several reasons why I have not told you this during my stay in Graz. First of all, I think for such an occasion it is more adequate to do it in written form, because it is beneficial for peace and considerateness. Additionally at this time rumors about me were being spread in a way that I do not want to discuss, which annoyed me. In order not to insult my mother I wanted to ask her before, even though I knew that she would not do anything that prevents me from being happy. I think I am not painfully wrong when I assume that you reciprocate my feelings. I would like to ask you for your answer, but please only after you have thought about it very carefully. I do not think that the cold consequences of the exact science inhibit my feelings, but the advocates of science should only act after thorough contemplation and not be based on the current mood.

You are gifted with many talents and you could easily earn a living on your own. Men of my profession can give a lot to their posterity, but they do not expect (financial) appreciation by their fellow men. To express myself in a prosaic way, I think that in terms of a monetary point of view you would be better off as a maid than as my wife. If you have only the smallest doubt that you could regret this decision one day, I would rather receive a painful negative answer. As a mathematician you will not find numbers, which the world is based on, to be unpoetic. Currently, I earn 2400 fl, with an additional 200 fl bonus. An additional yearly allowance of 1200 fl was promised for my appointment to Zurich. Per year I receive an activity allowance of 800 fl. Examination fees amounted to 1000 fl last year; the last earning is not secure though. Altogether my income last year was 5400 fl. The sum does not appear to be small and will be enough to keep house but in regard to the rising costs of living it will not be enough for all kinds of amusements and pleasures. I also have to tell you that because of work and business I will have to lock myself in the study room sometimes. I would not make this proposal if I did not know your modesty and undemanding nature. I do not own many assets, except 5000 fl of which 3000 fl belong to my sister.

There is another important detail I have to mention. You know that I am living together with my mother and my sister, who indeed would be happy to make your acquaintance. I do not want to cause neither them nor myself any pain by leaving them and hope that you understand this and that you are willing to live together with us. My mother and my sister have both a noble character. They will not obtrude their advice, but are willing to give it in case you wish so.

If you are not going to reject my proposal, we could talk about this in more detail later on. If you are still under age please tell me the address of your legal guardian so that I can ask for your hand in marriage.

Please give my thanks and love to Ms. Kienzl for all that she has done, or is about to do for me and assure her that my gratitude to her will always accompany me. I am sending best regards to the mayor and his other family members. I am not in the mood to write about other things this time. Once again, I ask you to let me know your answer after thorough contemplation and please let me know how you are.

Your intimate and adoring friend,
Ludwig Boltzmann.

Abb. 4.6: Proposal of marriage, copy 1875

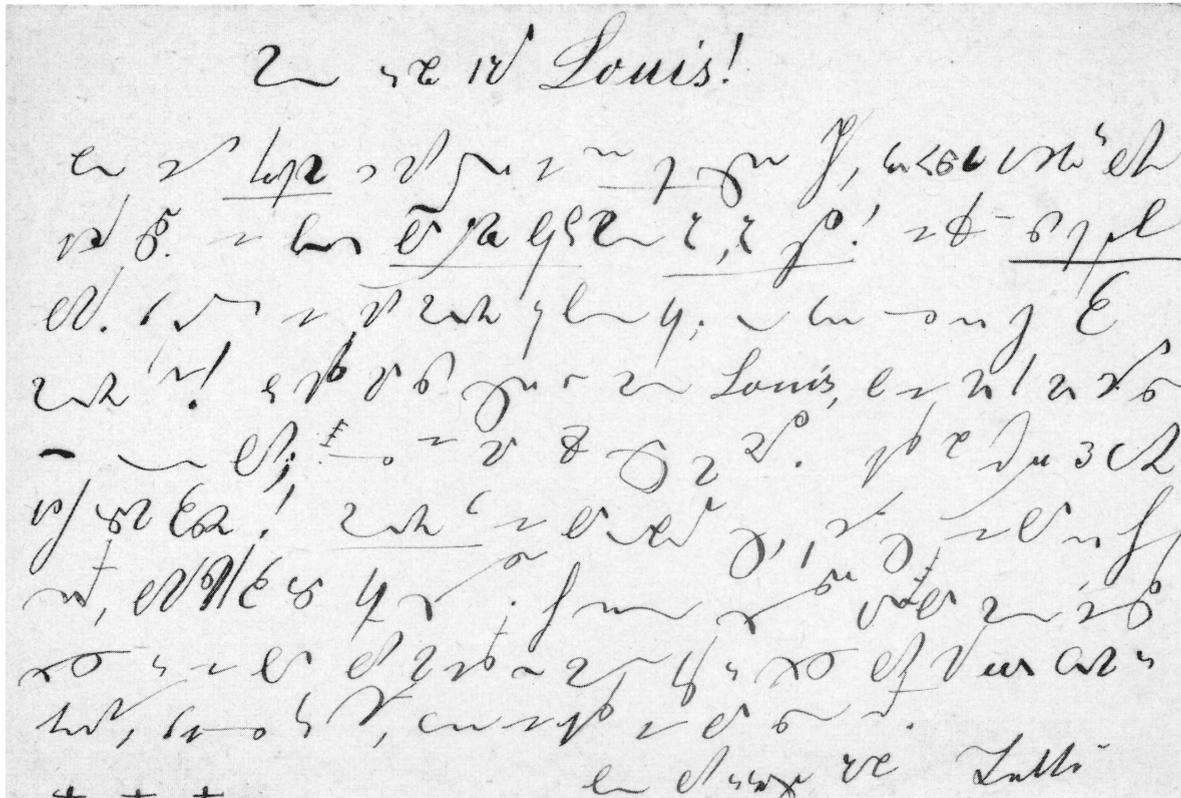


Abb. 4.7: Korrespondenzkarte von Henriette von Aigentler an Ludwig Boltzmann/
Postcard from Henriette von Aigentler to Ludwig Boltzmann, 1876

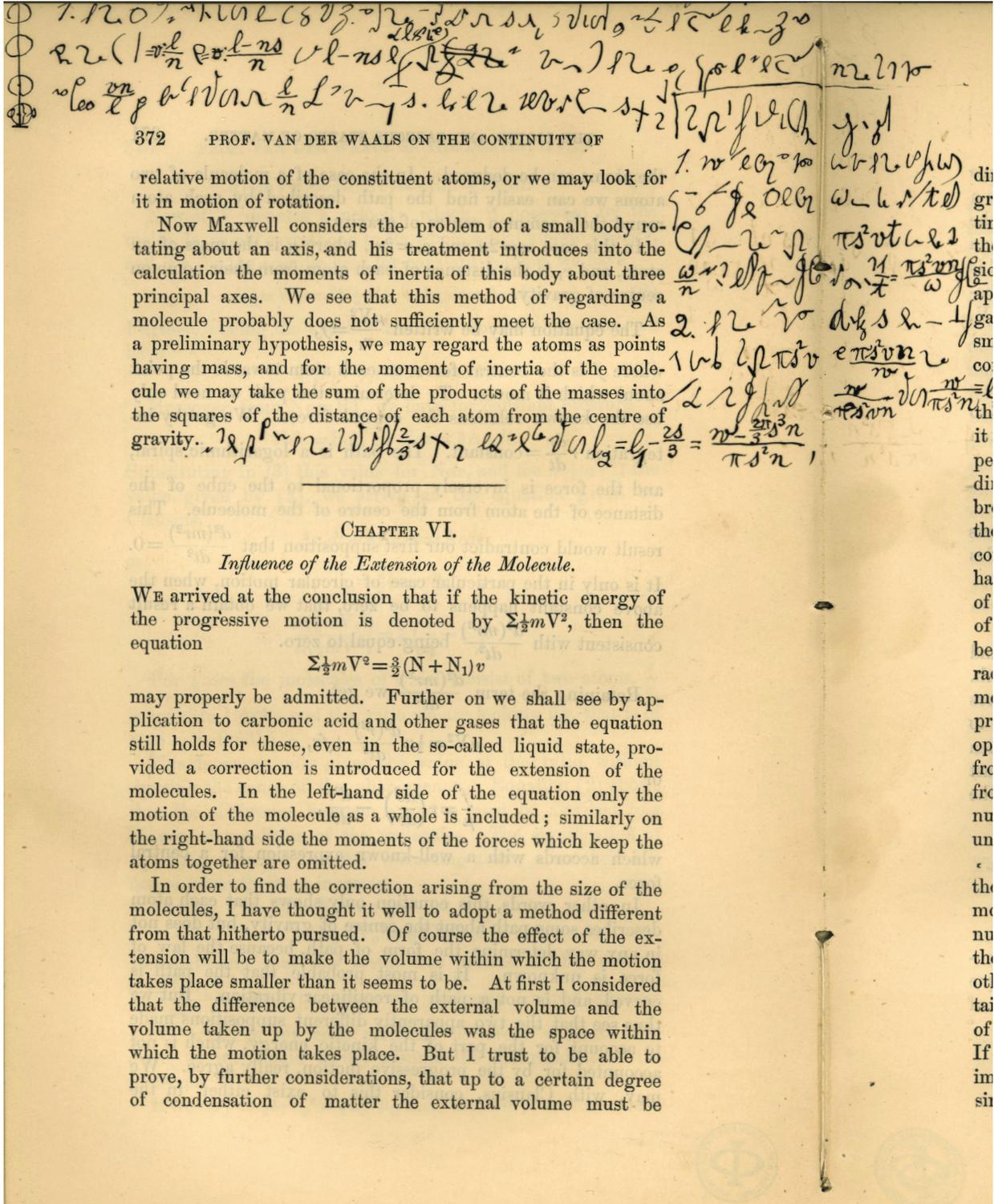


Abb. 4.8: Stenographische Bemerkungen von Boltzmanns Hand finden sich in vielen Büchern und Sonderdrucken aus seinem Besitz. Auch die Korrespondenz zwischen Boltzmann und seiner Frau wurde zum Teil in Kurzschrift verfasst/ Stenographic remarks created by Boltzmann can be found in many of his books. Also the correspondence with his wife was partially written in stenographic type

L. Boltzmann, Experimentelle Bestimmung der Dielektritätsconstante von Isolatoren

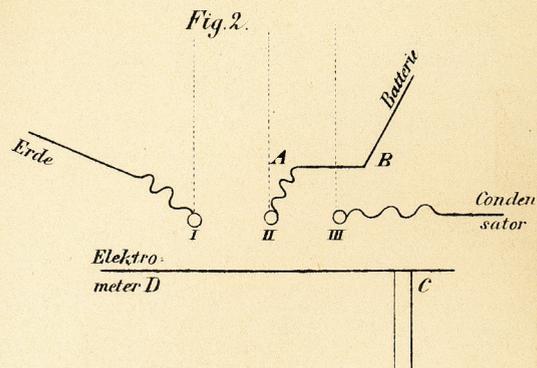
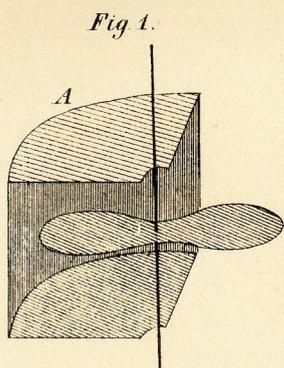


Fig. 3.

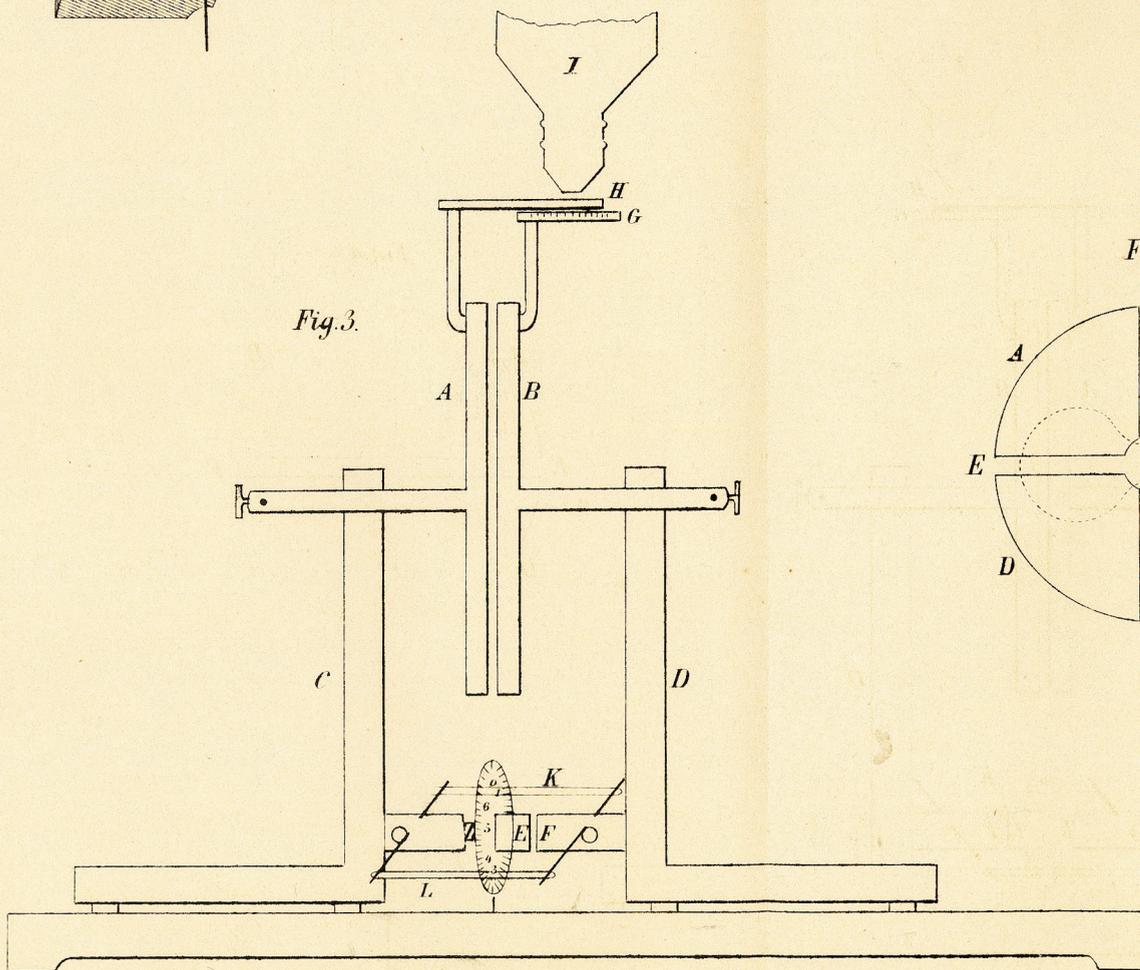
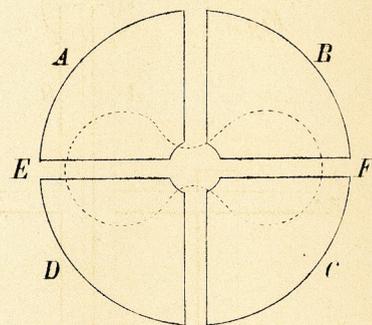


Fig. 4.



M. Fahrmbacher lith.

Druck v. Jos. Wagner in Wien

Sitzungsber. der kais. Akad. d. W. math. naturw. Cl. LXVI. Bd. II. Abth. 1873.

Abb. 4.9

Aus dem LXX. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. II. Abth. Oct.-Heft. Jahrg. 1874.

Über die Verschiedenheit der Dielektricitätsconstante des kry- stallisirten Schwefels nach verschiedenen Richtungen.

Von **Ludwig Boltzmann**,

correspondirendem Mitgliede der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

(Mit 2 Holzschnitten.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 8. October 1874.)

Gemäss der elektromagnetischen Theorie des Lichtes sind die Lichtschwingungen ein und dasselbe mit kleinen Verschiebungen der Elektrizität (Electric displacements) senkrecht zur Richtung des Lichtstrahles. Die verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben kann entweder von Verschiedenheit der Magnetisirungs- oder der Dielektricitätsconstante herrühren. Die geringe Anziehung, welche alle durchsichtigen Körper im Vergleiche zu Eisen durch Magnete erfahren, beweist, dass die Magnetisirungsconstante in allen durchsichtigen Körpern fast genau denselben Werth wie in Luft (respective im leeren Raume) hat. Es muss daher die Verschiedenheit in Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes von Verschiedenheiten der Dielektricitätsconstanten herrühren. Wenn in einem und demselben Körper Verschiedenheiten in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nach verschiedenen Richtungen herrschen, so muss dies also ebenfalls daher rühren, dass derselbe nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Dielektricitätsconstante besitzt (vergleiche Maxwell. Phil. mag. ser. 4 vol. 23 pag. 24 u. phil. transact. vol. 155, pag. 501). Ich suchte nun in verschiedenen anisotropen Krystallen diese Verschiedenheit der Dielektricitätsconstante in verschiedenen Richtungen nachzuweisen. Zwei Substanzen, Kalkspat und Quarz, welche ich zuerst prüfte, erwiesen sich hiezu wenig geeignet, weil bei denselben die Dielektricitätsconstante mit der Zeit der Einwirkung der Elektrizität wächst, mit anderen Worten, weil sie dielektrische Nachwirkung besitzen. Da nun aber so kurze Einwirkungszeiten, wie



Abb. 4.10

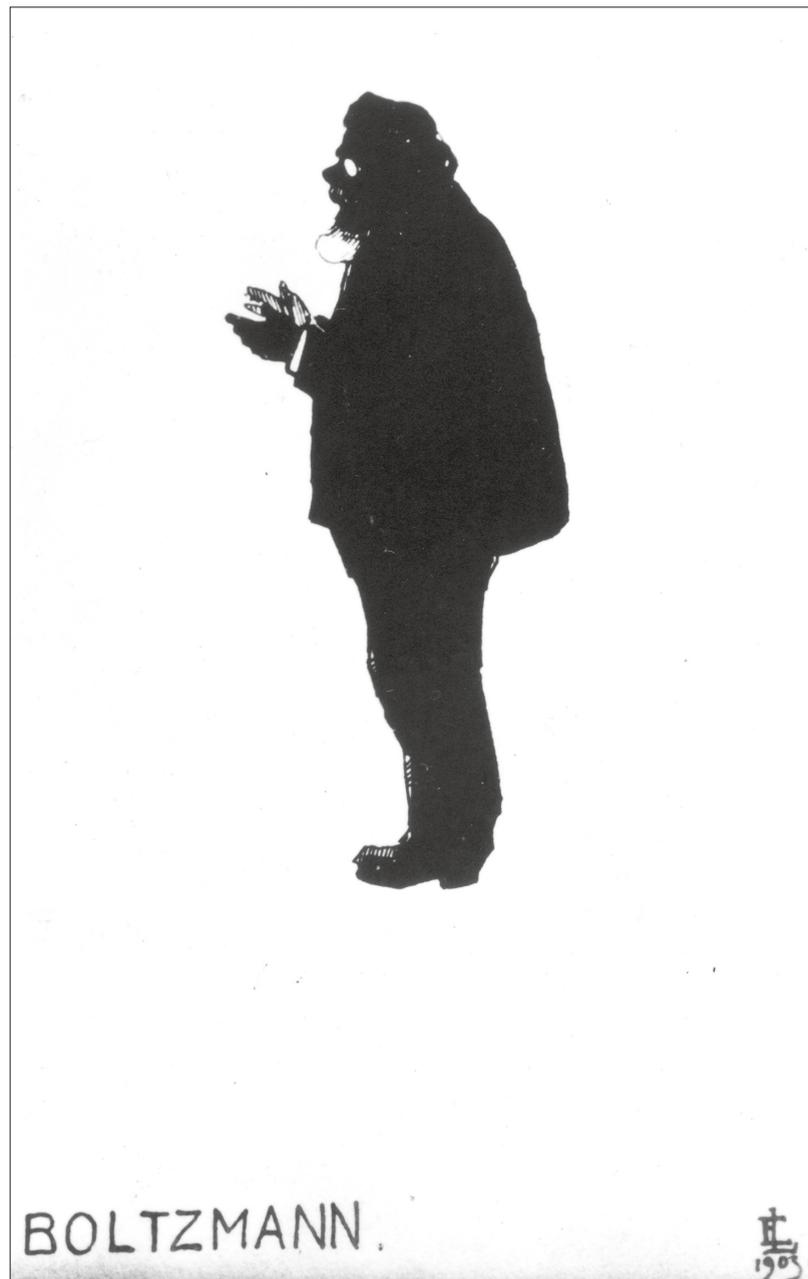


Abb. 4.11: Karikatur von Przibram zu Boltzmanns Methoden der theoretischen Physik/*Caricature created by Przibram about Boltzmann's methods for statistical physics*

Über die Methoden der theoretischen Physik.

Von L. Boltzmann in München.

Von der Redaction des Katalogs aufgefordert, dieses Thema zu behandeln, sah ich alsbald, dass nur wenig Neues zu sagen bleibt; so vieles und gediegenes wurde gerade in neuerer Zeit hierüber geschrieben. Ist ja doch für unsere Zeit eine fast übertriebene Kritik der Methoden der naturwissenschaftlichen Forschung charakteristisch; eine potenzierte Kritik der reinen Vernunft möchte man sagen, wenn dieses Wort nicht vielleicht all zu unbescheiden wäre. Es kann auch nicht meine Absicht sein, diese Kritik nochmals zu kritisiren; nur einige orientirende Worte will ich für jene bringen, welche diesen Fragen ferner stehen, aber doch Interesse dafür hegen.

In der Mathematik und Geometrie war es zunächst unzweifelhaft das Bedürfnis nach Arbeitersparnis, welches von den rein analytischen wieder zu den constructiven Methoden sowie zur Veranschaulichung durch Modelle führte. Scheint dieses Bedürfnis auch ein rein praktisches, selbstverständliches, so befinden wir uns doch gerade hier schon auf einem Boden, wo eine ganze Gattung modern methodologischer Speculationen emporwuchs, die in der präzisesten, geistreichsten Weise von *Mach* zum Ausdrucke gebracht wurden. Dieser behauptet geradezu, der Zweck der Wissenschaft sei nur Arbeitersparnis.

Fast mit gleichem Rechte könnte man, bemerkend, dass bei Geschäften die grösste Ersparnis wünschenswert ist, diese einfach für den Zweck der Verkaufsbuden und des Geldes erklären, was ja in gewissem Sinne in der That richtig wäre. Doch wird man nur ungern, wenn die Distanzen und Bewegungen, die Grösse, physikalische und chemische Beschaffenheit der Fixsterne ergründet,



Abb. 4.12

Von 1869 bis 1876 führte August Toepler die Lehrkanzel für Experimentalphysik in Graz. Es gelang ihm, den Bau eines eigenen Institutes nach seinen Plänen durchzusetzen. Das 1875 bezogene Gebäude und dessen vorzügliche Ausstattung dienten weithin als Vorbild.

Als Toepler bald nach Vollendung „seines“ Baues einen Ruf nach Dresden annahm, wurde Ludwig Boltzmann (Abb. 5.1) sein Nachfolger als Ordinarius für Experimentalphysik und Leiter des Physikalischen Institutes. Gleichzeitig wurde Albert von Ettingshausen Boltzmanns Hilfskraft in experimentellen und administrativen Belangen.

Die Jahre 1876 bis 1890 werden als Boltzmanns zweite Grazer Zeit bezeichnet. Sie verliefen äußerst erfolgreich und waren für Boltzmann wohl die glücklichsten Jahre seines Lebens. Sein Ruhm verbreitete sich rasch und junge Wissenschaftler aus vielen Ländern pilgerten in die Stadt, um von ihm zu lernen. (Abb. 5.2) Darunter waren spätere Nobelpreisträger wie Svante Arrhenius, dem Bahnbrechendes auf dem Gebiet der Elektrolyse gelingen sollte, oder Walter Nernst, der Erfinder der nach ihm benannten „Nernstlampe“.

Boltzmann stand mit einer großen Zahl von Physikern in brieflicher Verbindung: August Toepler, Leo Koenigsberger, Lord Rayleigh, Hermann von Helmholtz, Maurice Levy, Hendrik Antoon Lorentz und Wilhelm Ostwald. Er erreichte einen sehr hohen Bekanntheitsgrad in wissenschaftlichen Kreisen und wurde in einer Maxwell-Biografie neben diesem und Rudolf Clausius als einer der Begründer der kinetischen Gastheorie gefeiert:

“But we are indebted for all the modern developments of the molecular theory of gases, as well as for its establishment on a sound dynamical basis, mainly to the researches of three men – Professor Rudolf Clausius, Dr. Ludwig Boltzmann of Vienna and James Clerk Maxwell.”¹

Auch privat hatte Ludwig Boltzmann eine glückliche Zeit. Am 17. Juli 1876 heiratete er Henriette von Aigentler, eine gebildete junge Dame, die selbst mathematische und physikalische Studien betrieben hatte. (Abb. 5.3)

Ihre Ehe wurde sehr glücklich. Es gab nur gelegentlich Spannungen zwischen Henriette und ihrer Schwiegermutter, die im selben Haushalt lebte. Vier der fünf

Kinder Boltzmanns kamen zwischen 1878 und 1884 in Graz zur Welt. Die jüngste Tochter wurde erst 1891 in München geboren. (Abb. 5.4)

Damit seine Kinder in einer gesunden Umgebung aufwachsen konnten, kauften die Boltzmanns ein Landhaus mit herrlichem Ausblick auf der sogenannten „Platte“ (Abb. 5.5) in Oberkroisbach bei Graz. Von den Studenten und Kollegen wurde es „Boltzmannneum“ genannt. Boltzmann schaffte sogar eine Kuh an, damit seine Familie täglich mit frischer Milch versorgt werden konnte.

Ab Oktober 1876 wurde es Ludwig Boltzmann gestattet, den Titel eines „Direktors“ zu führen.

Wie beliebt Boltzmann in der Grazer Universität war, zeigt auch die Tatsache, dass er 1878 zum Dekan der philosophischen Fakultät und 1887 zum Rektor gewählt wurde. In dieser Funktion hielt er am 15. November 1887 eine Festrede zum Gedenken an Gustav Robert Kirchhoff (Abb. 5.6), der kurz davor gestorben war. Boltzmann, der Kirchhoff aus seiner Zeit in Heidelberg (1871) kannte, war von dessen Arbeit sehr eingenommen und hatte seine Schriften genau studiert.

Nach Kirchhoffs Tod wurde Boltzmann dessen Stelle in Berlin zu so günstigen Bedingungen angeboten, dass es für die österreichische Unterrichtsverwaltung zunächst unwahrscheinlich schien, ihn an einer österreichischen Universität halten zu können. Boltzmann nahm die Berufung 1888 an, da ihm die Aussicht auf engen wissenschaftlichen Kontakt mit Helmholtz sehr gefiel – war dieser doch zu der Zeit der einzige deutsche Physiker, der auf Boltzmanns statistische Überlegungen einging. Aber obwohl der deutsche Kaiser Wilhelm bereits seine Ernennungsurkunde unterschrieben hatte, trat er doch noch von dem Angebot zurück. Private Gründe (erstmalig wird sein Nervenleiden „Neurasthenie“ (Abb. 5.7) akut und psychiatrisch behandelt) sowie eine Gehaltserhöhung und der Titel eines Regierungsrats dürften Boltzmann umgestimmt haben, vorläufig noch in Graz zu bleiben.

Boltzmanns wachsendes internationales Ansehen begann sich auch in zunehmendem Maße in Ehrungen zu manifestieren. Seine Ernennung zum Regierungsrat erfolgte im Alter von nur 37 Jahren, er erhielt den Baumgartner-Preis der kaiserlichen Akademie der Wis-

Between 1869 and 1876 August Toepler occupied the chair for experimental physics in Graz. The new building for the institute was constructed according to his plans. The building was used from 1875 on; the building itself and the good equipment served as an example for others.

Soon after “his” building was finished, Toepler moved to Dresden and Ludwig Boltzmann (Fig. 5.1) became his successor as full professor for experimental physics and head of the institute. At the same time Albert von Ettinghausen became Boltzmann’s assistant with respect to administrative tasks and experiments.

The years from 1876 till 1890 are referred to as Boltzmann’s second period in Graz; he was very successful and probably had the happiest years of his life. His excellent reputation spread quickly and many young scientists from different countries came to Graz, among them the later Nobel Prize winners Svante Arrhenius and Walter Nernst. (Fig. 5.2)

In this period Boltzmann exchanged letters with a great number of physicists: August Toepler, Leo Koenigsberger, Lord Rayleigh, Hermann von Helmholtz, Maurice Levy, Hendrik Antoon Lorentz and Wilhelm Ostwald. He became very popular in scientific circles; in a biography of Maxwell he was mentioned as one of the founders of the kinetic theory of gases. The others were Maxwell and Rudolf Clausius:

“But we are indebted for all the modern developments of the molecular theory of gases, as well as for its establishment on a sound dynamical basis, mainly to the researches of three men – Professor Rudolf Clausius, Dr. Ludwig Boltzmann of Vienna and James Clerk Maxwell.”¹

In addition to his professional success, he lived a happy life apart from physics. On July 17th, 1876 he married Henriette von Aigentler, a cultured young lady who also was interested in mathematical and physical studies. (Fig. 5.3)

Apart from certain frictions between Henriette and her mother-in-law, the marriage was very happy. Between the years 1878 and 1884 four children were born in Graz. The youngest daughter of Ludwig and Henriette Boltzmann was born in Munich in 1891. (Fig. 5.4)

In order to provide their children with a healthy environment, the Boltzmann family bought a house on the

countryside in Oberkroisbach bei Graz, which his students and colleagues referred to as “Boltzmanneum”. (Fig. 5.5) Boltzmann even bought a cow to supply his family with fresh milk every day.

In October 1876 Ludwig Boltzmann was granted the right to use the title of a “Direktor”.

In 1878 Boltzmann was elected the dean of the faculty of philosophy and in 1887 he became head of the University of Graz. On the 15th of November 1887 he held a commemorative address in honour of Gustav Robert Kirchhoff (Fig. 5.6) who had died earlier that year. Boltzmann knew Kirchhoff from his time in Heidelberg (1871). He was quite taken with Kirchhoff’s works and had studied them with great diligence.

After Kirchhoff’s death, Ludwig Boltzmann was offered his position in Berlin. It was such a generous offer that it seemed unlikely that the Austrian administration would be able to keep Boltzmann for a position within the Austrian Universities. Another benefit of Berlin was the prospect of academic cooperation with Helmholtz. At this time, Helmholtz was the only German physicist who addressed the issue of Boltzmann’s statistical ideas. Boltzmann accepted to move to Berlin in 1888, but he withdrew shortly afterwards even though the German emperor Wilhelm had already signed the required documents. He did this probably due to private reasons; it was the first time that his nervous disease, neurasthenia, (Fig. 5.7) became acute and had to be treated. But a raise and the title “Regierungsrat” may also have influenced his decision to stay in Graz.

Boltzmann’s international reputation grew and he obtained several scientific honours and awards. At the age of only 37 years he obtained the title “Regierungsrat” and the Baumgartner award of the Imperial Academy of Sciences. He also became a member of numerous academies of science throughout the world.

But Boltzmann also had to suffer several strokes of fate during his second period in Graz which finally caused his nervous disease to break out. In 1885 his mother died; in 1889 his eleven year old son died due to appendicitis, which was recognized too late; and 1890 marks the death of his sister Hedwig.

Because of his appointment to Munich, Boltzmann had to leave Graz. The farewell was very hearty. He was honoured with an academic celebration during which

senschaften und wurde Mitglied zahlreicher Akademien der Wissenschaften.

Die zweite Grazer Periode Boltzmanns war aber auch gekennzeichnet von schweren Schicksalsschlägen, die seine Nervenkrankheit endgültig ausbrechen ließen. 1885 starb seine Mutter, 1889 sein ältester Sohn Ludwig 11-jährig an einer zu spät erkannten Blinddarmentzündung, und 1890 schließlich auch noch seine Schwester Hedwig.

Der Abschied von Graz war, nach der Berufung an die Universität München, sehr herzlich. In einer akademischen Feier wurde Boltzmann der Dank für sein Wirken sowie ausgesprochen und man gab der Hoffnung Ausdruck, dass er eines Tages doch wieder in Österreich wirken würde.

Werk

Obwohl viele Physiker am Ende des 19. Jahrhunderts die Atomhypothese und die auf ihr basierende kinetische Theorie zurückwiesen, beharrte Boltzmann darauf, dass sie eine vereinheitlichte Sicht der Welt liefern könnte. Heute ist die statistische Mechanik aber hauptsächlich durch die Arbeit des US-Physikers Josiah Willard Gibbs bekannt, der die Bezeichnung „statistische Mechanik“ prägte. Das von Gibbs eingeführte mikrokanonische bzw. kanonische Ensemble können aber schon in den Arbeiten, die Boltzmann fast 18 Jahre vorher veröffentlicht hatte, unter den Namen „Ergode“ und „Holode“ gefunden werden.

In seiner berühmten Abhandlung von 1877 „Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärme-gleichgewicht“ (Abb. 5.8, 5.9) entwickelte Boltzmann die statistische Deutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Er schrieb die Arbeit als Antwort auf den Umkehrerwand von Josef Loschmidt und stellte darin eine seiner wichtigsten und kühnsten Hypothesen auf: die wahrscheinlichkeitstheoretische Begründung der Wärmelehre. Das „Boltzmannsche Prinzip“ – ein etwa um 1910 von Albert Einstein geprägter Ausdruck – bildet heute die Grundlage der statistischen Mechanik.

In Boltzmanns eigenen Worten lautet es: „Der Entropiezunahme entspricht die Tendenz vom unwahrscheinlicheren zum wahrscheinlicheren Zustand, von weniger zu mehr Unordnung.“ Seinen mathematischen Ausdruck

findet es im sogenannten H-Theorem, das heute in einer auf Max Planck zurückgehenden Fassung so geschrieben wird: $S = k \log W$. Boltzmann hielt damals die Berechnung der heute seinen Namen tragenden Konstante k noch nicht für möglich, erst später wurde der Wert $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ für sie ermittelt.

Die Boltzmann-Konstante k – nicht zu verwechseln mit der Stefan-Boltzmann-Konstante – stellt die Wärmeenergie eines Körpers in Beziehung zu seiner Temperatur. Sie ist eine universelle Naturkonstante und hat den Wert $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Joule pro Grad Kelvin}$. Mit diesem Umrechnungsfaktor ist es möglich, aus der Temperatur eines Körpers direkt auf seinen Energiegehalt zu schließen.

Aus der statistischen Physik ist die Boltzmann-Konstante nicht wegzudenken – sie taucht in praktisch jeder Formel auf, die sich auf Systeme bezieht, welche aus einer großen Anzahl von Teilchen bestehen.

Anwendungsbereiche:

- Plancksches Strahlungsgesetz
- Maxwell-Boltzmann-Verteilung
- Nernst-Gleichung
- Gibbs-Thomson-Effekt
- Johnson-Rauschen
- Rauschzahl
- Desorption
- Rauschtemperatur
- Heißeleiter
- Fugazität
- Dopplertemperatur
- Curie-Konstante
- Debye-Temperatur
- Debye-Länge
- Jeans-Kriterium
- Hawking-Strahlung
- Durchbruchspannung

Durch Boltzmann wurde – was damals völlig neu war – eine experimentell zugängliche Größe, nämlich die Entropie, mit einer statistischen Größe verknüpft.

the speaker expressed his hope that one day Boltzmann would return to Austria.

Works

Even though many physicists in the late 19th century rejected this idea, Boltzmann insisted on the theory of atomism and the kinetic theory because he expected that it might yield a unified view of the world. Today, statistical mechanics is mainly known through the works of the US physicist Josiah Willard Gibbs who originally coined the term “statistical mechanics”. Still, the microcanonical and the canonical ensembles of Gibbs can already be found in some papers of Boltzmann which had been published 18 years earlier. Here, they are referred to as “ergode” and “holode”.

In his famous paper from 1877, Boltzmann developed a statistical interpretation of the second law of thermodynamics which represents the climax of his creative work. “About the relation between the second law of mechanical thermodynamics and the probability calculation respectively the laws of thermal equilibrium” (Fig. 5.8, 5.9) was his response to Josef Loschmidt’s objection from 1872. In this extraordinary work Boltzmann created one of the most important but also daring theses: a new mathematical concept of thermodynamics based on the theory of probability. This “Boltzmann principle” (as Einstein referred to it around 1910) still builds the foundation of statistical mechanics.

Boltzmann: “The increase of entropy corresponds to the tendency from the less likely to the more likely state, from less to more disorder.” This statement is expressed by the H-theorem, which is today written in the version of Max Planck: $S = k \log W$. At the time, Boltzmann did not expect that it would be possible to calculate the constant k which today is named after him. Later on its value was determined to be $1,38 \times 10^{-23}$ J/K.

Boltzmann did something that was completely new at this time. He combined an experimental quantity – namely entropy – with a statistical quantity.

The Boltzmann constant k – not to be mixed up with the Stefan-Boltzmann constant – correlates the thermal energy of a body with its temperature. It is a universal natural constant; its value is $k = 1,38 \times 10^{-23}$ joules per degree Kelvin. With this conversion factor it is possible to calculate the energy of a body by measuring its temperature.

Statistical physics is not conceivable without the Boltzmann constant – it turns up in practically every formula referring to systems that consist of a large number of particles.

Fields of application:

- Planck’s law of radiation
- Maxwell-Boltzmann distribution
- Nernst equation
- Gibbs-Thomson effect
- Johnson noise
- Noise figure
- Desorption
- Noise temperature
- Thermal resistors
- Fugacity
- Doppler temperature
- Curie constant
- Debye temperature
- Debye length
- Jeans mass
- Hawking radiation
- Breakdown voltage

With this work about the relation between the second law of thermodynamics and probability in the year 1877 Ludwig Boltzmann reached the summit of his creative powers. Basically, all his later work in the field of thermodynamics and on the kinetic theory of gases was aimed at the clarification and extension as well as the defense of his results against the opponents of atomism. Arnold Sommerfeld wrote in an obituary in 1944: “For the atomistic structured intellect of Boltzmann, quantum mechanics would have been the ideal topic. Unfortunately and to the disadvantage of both, it remained outside his view.”²

Mit dieser Arbeit über das Verhältnis zwischen zweitem Hauptsatz und Wahrscheinlichkeit hat Ludwig Boltzmann auch den Höhepunkt seines schöpferischen Schaffens erreicht. Im Grunde genommen standen alle seine weiteren Arbeiten zu Thermodynamik und kinetischer Gastheorie im Zeichen der Verdeutlichung, Erweiterung und Untermauerung der bis 1877 gewonnenen Erkenntnisse gegenüber den Gegnern der Atomistik. Arnold Sommerfeld schrieb 1944 in einem Nachruf über Boltzmann: „Für den atomistisch strukturierten Boltzmannschen Intellekt wäre die Quantentheorie das wahre Betätigungsfeld gewesen. Leider blieb sie zu ihrem und seinem Schaden außerhalb seines Gesichtskreises.“²

Das Weltall stirbt den Wärmetod

Ludwig Boltzmanns Vorgänger erkannten die Gültigkeit des Entropiegesetzes nur für den Bereich der Wärmelehre, Boltzmann aber leitete daraus ein allgemeines Naturgesetz ab: Alle Dinge, von den einfachsten Atomen bis zu den größten Galaxien, stehen in ständigem Austausch mit ihrer Umgebung und geben Energie ab oder nehmen sie auf. Am Ende steht der totale Ausgleich aller Energiedifferenzen und damit das Erlöschen aller chemischen und physikalischen Vorgänge. Die Energie bleibt in ihrer Summe erhalten, kann aber nicht mehr zur Verrichtung von Arbeit genutzt werden.

Clausius führte diese Entwertung der Energie auf den Gedanken des „Wärmetodes“ – eine Vorstellung, der unter den Zeitgenossen einigen Widerspruch erweckte. Auch Boltzmann selbst hat zur Frage des Wärmetodes Überlegungen angestellt. Walter Nernst schreibt im Vorwort seines Buches *Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung* (Berlin, Julius Springer Verlag, 1921): „Als ich 1886 in Graz studierte, sagte Boltzmann in seiner Antrittsrede in der Wr. Akademie der Wissenschaften, dass alle Versuche, das Universum von dem Wärmetode zu erretten, erfolglos blieben, und dass er auch keinen derartigen Versuch machen wolle.“ Weiters führte Boltzmann aus: „Der allgemeine Kampf der Lebewesen ist nicht ein Kampf um

die Grundstoffe, die sind im Wasser, in der Luft und im Erdboden im Überfluss vorhanden; auch nicht um Energie, welche in Form von Wärme, leider unverwandelbar, in jedem Körper reichlich vorhanden ist; sondern ein Kampf um die Entropie.“³

Boltzmanns Ergebnisse wurden von seinen Fachkollegen keineswegs kritiklos hingenommen. Da er auf der Basis des Atombegriffs argumentierte, zogen einige von ihnen die Existenz von Atomen schlechthin in Zweifel. Erst 1905 gelang es Albert Einstein durch seine Arbeit zur Brownschen Bewegung, die letzten Zweifel der Kritiker – unter ihnen vor allem Ernst Mach und Wilhelm Ostwald – zu zerstreuen.

Vor allem zwei Einwände gegen Boltzmanns Theorie waren es, die ausführlich diskutiert wurden. Der erste, bekannt geworden unter dem Namen „Umkehrerwand“, wurde 1872 von Josef Loschmidt formuliert und ging auf das Paradoxon ein, dass Boltzmann aus den zeitlich umkehrbaren Gesetzen der Mechanik eine unumkehrbare Gasdynamik hergeleitet hatte. Loschmidt konnte zeigen, dass jedem Gas, in dem die Entropie mit der Zeit zunimmt, eines entsprechen muss, in dem sie abnimmt: Dazu genügt es ganz einfach, die Bewegungsrichtungen sämtlicher Moleküle zu einem bestimmten Zeitpunkt umzudrehen. Gasvolumina mit zunehmender Entropie müssten also gleich wahrscheinlich sein wie solche mit abnehmender – ein offensichtlicher Widerspruch zu Boltzmanns Ergebnis.

Boltzmann selbst begrüßte diesen Einwand, denn erst die daraus resultierende Diskussion führte zu einem besseren Verständnis der Bedeutung, die dem von ihm ursprünglich eher auf intuitiver Basis eingeführten molekularen Chaos zukommt.

Von Ernst Zermelo stammt der Wiederkehrerwand⁴, der sich auf eine Erkenntnis des französischen Mathematikers Henri Poincaré stützt. Dieser hatte bewiesen, dass ein physikalisches System, in welchem die Gesetze der Mechanik

The universe dies the Heat Death

The predecessors of Ludwig Boltzmann only recognized the validity of the entropy law for the field of thermodynamics. Boltzmann, on the other hand, deduced a general law of nature from this: Everything, from the tiniest atom to the biggest galaxy, is constantly exchanging energy with its environment. Finally, all energy differences will be evened out, therefore all physical or chemical processes will come to an end. The total amount of energy will always be preserved, but it cannot be used to perform work of any kind.

Starting from this, Clausius developed the idea of the Heat Death of the universe. This created some disagreement among his contemporaries. Boltzmann himself also considered this Wärmemetod. Walter Nernst wrote in the foreword of his book *Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung*: “When I studied in Graz in the year 1886, Boltzmann said in his inaugural address that all attempts to rescue the Universe from the Wärmemetod are useless and that he is not going to make this kind of experiment.” In addition to this Boltzmann stated: “The struggle of all living creatures is not a struggle over resources, which exist in water, air and in the ground in abundance. It is not a struggle for energy, which is contained in every body in the form of heat – unfortunately inconvertible. It is a struggle over entropy.”³

Boltzmann’s colleagues did not accept the results of his research without review. Since his argumentation was based on atomism, some of them simply denied the existence of atoms. Only when Albert Einstein published his paper on Brownian motion in 1905 the last critics could be convinced. Among them were the physicists Ernst Mach and Wilhelm Ostwald.

Especially two objections against Boltzmann’s theory were heavily discussed. The first, named *Umkehrwand*, was brought up by Josef Loschmidt and concentrated on the

seemingly paradoxical fact that Boltzmann had deduced the irreversible dynamics of gases from the time-reversible laws of mechanics. Loschmidt was able to show that for every gas with increasing entropy there must be a corresponding gas with decreasing entropy: To obtain such a system, it is just necessary to reverse the velocities and directions of all gas molecules at a certain time. Therefore, gases with increasing entropy should occur as likely as gases with decreasing entropy. This was an obvious contradiction to the results of Boltzmann. Boltzmann welcomed this objection since the subsequent discussions helped to clarify the matter.

Ernst Zermolo came up with the *Wiederkehrwand*⁴, which is based on an insight of the French mathematician Henri Poincaré. Poincaré had proved that given enough time, a physical system in which only the laws of mechanics apply must return to any of its possible states. A permanent change in any specific direction is therefore excluded. In other words: If you wait long enough, the entropy of every system has to decrease again. Marian Smoluchowski said: “If we performed our observations for an infinite time, we would find that all processes are reversible.”⁵ But calculations show that these recurrence times can be huge. In comparison to them, the lifespan of the universe is so short that it can be disregarded. Therefore certain states will in practice never be reached. The *Wiederkehrwand* is mathematically correct, but from today’s point of view it is not physically relevant.

A numerical example: Let’s observe a game of pool billiards (without friction loss). Each ball shall collide with another one every second. The probability that such a collision will push a ball from the left half to the right half of the table – or the other way – is assumed to be 1 to 50. Let’s begin with the system in a state so that all balls are in one half.

gelten, nach endlicher Zeit jedem Zustand, den es überhaupt einnehmen kann, beliebig nahe kommen muss, und zwar immer wieder. Eine dauernde Veränderung in eine bestimmte Richtung ist ausgeschlossen. Das bedeutet: Wenn man nur lange genug wartet, muss die Entropie in jedem System wieder abnehmen. Marian Smoluchowski formulierte diesen Sachverhalt so: „Würden wir unsere Beobachtung unendlich lange fortsetzen, so würden alle Prozesse reversibel erscheinen.“⁵ Rechnungen zeigen aber, dass diese Wiederkehrzeiten enorm groß sind und die Lebensdauer des Universums im Vergleich dazu vernachlässigbar ist, sodass die Wiederkehr in der Praxis nicht eintreten wird. Der Wiederkehrerwand ist somit mathematisch richtig, hat aber aus heutiger Sicht keine physikalische Relevanz.

Dazu ein Zahlenbeispiel: Betrachten wir ein Billardspiel mit rollenden Kugeln (ohne Reibung, sonst kommt jede Bewegung sehr schnell zum Stillstand). Jede Kugel soll einmal pro Sekunde mit einer anderen zusammenstoßen, die Wahrscheinlichkeit, dass ein solcher Stoß die Kugel von der rechten in die linke Tischhälfte – oder umgekehrt – katapultiert, soll 1 zu 50 betragen. Gehen wir von einem Zustand aus, bei dem alle Kugeln in einer Tischhälfte versammelt sind. Wenn das Spiel aus 10 Kugeln besteht, dauert es 55 Sekunden, bis Gleichverteilung herrscht, und 70 Sekunden, bis wieder der Ausgangszustand (d. h. alle Kugeln auf einer Seite) eintritt. Besteht das Spiel hingegen aus 100 Kugeln, tritt die Gleichverteilung nach 70 Sekunden ein, während es bis zur Wiederkehr des Ausgangszustandes 15 Trilliarden Jahre dauert!

Bei seinen wissenschaftlichen Arbeiten war Boltzmann sehr vielseitig. Seine Hauptarbeitsgebiete waren zwar der Elektromagnetismus und die Wärmelehre, aber er griff auch andere Themen auf, die gerade aktuell waren. „Eine wahre Perle der theoretischen Physik“ ist nach Hendrik Antoon Lorentz die Veröffentlichung:

„Ableitung des Stefanschen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der elektromagnetischen Lichttheorie“. (Abb. 5.10) In dieser Arbeit konnte Boltzmann 1884 den Zusammenhang der Strahlungsintensität eines schwarzen Körpers mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur, den Josef Stefan 1879 auf experimentellem Weg gefunden hatt, mathematisch ableiten.

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz ist ein physikalisches Gesetz, das die von einem schwarzen Körper thermisch abgestrahlte Leistung in Abhängigkeit von seiner Temperatur angibt.

Jeder Körper sendet Wärmestrahlung aus. Ein schwarzer Körper ist ein Gegenstand, der jede auf ihn treffende Strahlung vollständig absorbieren kann (Absorptionsgrad = 1). Nach dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz erreicht damit auch sein Emissionsgrad den maximal möglichen Wert, was bedeutet, dass er die bei der betreffenden Temperatur höchstmögliche thermische Leistung aussendet. Das Stefan-Boltzmann-Gesetz gibt an, welche Strahlungsleistung P ein schwarzer Körper der Fläche A und der absoluten Temperatur T emittiert. Es ist $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$ mit der Stefan-Boltzmann-Konstanten σ . Die Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers ist also proportional zur vierten Potenz seiner absoluten Temperatur: Eine Verdopplung der Temperatur bewirkt, dass die abgestrahlte Leistung um den Faktor 16 ansteigt.

Die Stefan-Boltzmann-Konstante ist eine Naturkonstante, und ihr Zahlenwert beträgt (gemäß CODATA 2000)

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} = (5,6704 \pm 0,00004) \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

Dabei sind k die (nicht mit σ zu verwechselnde) Boltzmann-Konstante, h das Plancksche Wirkungsquantum und c die Lichtgeschwindigkeit.

about 55 seconds until an equal distribution of the balls over the whole table is reached. After 70 seconds, the initial state (all balls in one half) will be reached again. If the game consisted of 100 balls, an equal distribution would be reached after 70 seconds, but the recurrence of the initial state would take 15 sextillion years!

Boltzmann was very versatile in his scientific endeavours. Even though his main areas of work were electromagnetism and thermodynamics, he also worked on other topics that were up-to-date at this time. Hendrik Antoon Lorentz once called one of Boltzmann's articles a "masterpiece of theoretical physics". It was the derivation of Stefan's law regarding the correspondence between thermal radiation and temperature from the electromagnetic theory of light. (Fig. 5.10) In this work from 1884 Boltzmann mathematically derived the connection between the intensity of radiation of a black body and the 4th power of the absolute temperature. Experiments conducted by Stefan had shown this before.

The Stefan-Boltzmann Law is a formula that gives the thermally radiated energy of a black body as a function of its temperature.

Every physical object emits thermal radiation. A black body is an object that absorbs all radiation that falls onto it (absorption coefficient = 1). According to Kirchhoff's radiation law, the emission ratio is also maxi-

mal in this case, which means that a black body emits the maximal thermal power that is possible at the corresponding temperature. The Stefan-Boltzmann Law gives the thermally emitted power P of a black body of the area A and the absolute temperature T . It is $P = \sigma \cdot A \cdot T^4$ with the Stefan-Boltzmann constant σ . The thermally emitted power of a black body is therefore proportional to the fourth power of the absolute temperature: A doubling of the temperature produces sixteen times the thermal radiation.

The Stefan-Boltzmann constant is a natural constant and its value is

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} = (5,6704 \pm 0,00004) \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

where k (not to be mixed up with σ) is the Boltzmann constant, h Planck's constant and c the speed of light.

In Boltzmann's work from 1887 "About the mechanical analogies of the second law of thermodynamics" he phrased the ergodic hypothesis, which was viewed as the foundation of statistical mechanics for a long time.

In the years 1889 and 1890 Boltzmann put great effort into the reproduction of the experiments of Hertz. In 1890 he conducted these experiments in Vienna for a charitable reason: "After weeks of studying the mechanics of Hertz, I wanted to send a letter to my wife and by accident I started with 'Liebes Hertz' instead of 'Liebes Herz' (i. e., 'my dear heart')." ⁶ (Fig. 5.11)

1 Campbell, Lewis und Garnett, William: The Life of James Clerk Maxwell, Macmillan, London 1882, S. 560f

2 Sommerfeld, Arnold: Ludwig Boltzmann – Zur 100. Wiederkehr seines Geburtstages, Wiener Chemiker-Zeitung 47 (1944)

3 Nernst, Walter: Das Weltgebäude im Lichte der neueren Forschung, Berlin: Springer, 1921

4 Zermelo, Ernst: Wiedemanns Annalen, Neue Folge 57 (1896), S. 485f

5 Smoluchowski, Marian: Vorträge über die kinetische Theorie der Materie und Elektrizität, 1914, zitiert von Hermann Weyl in Philosophy of Mathematics and Natural Science, Princeton 1949, S. 204

6 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 313

In der Arbeit „Über die mechanischen Analogien des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik“ wurde 1887 die Ergodenhypothese formuliert, die lange Zeit als Grundlage der statistischen Mechanik angesehen wurde.

In den Jahren 1889/90 investierte Boltzmann großen Aufwand in die Nachvollziehung der Experimente von Heinrich Hertz und führte diese Versuche 1890 in

Wien zu Gunsten eines wohltätigen Zweckes vor: „Als ich mich wochenlang ausschließlich mit Hertz' Mechanik befasst hatte, wollte ich einmal mit den Worten ‚Liebes Herz‘ einen Brief an meine Frau beginnen, und ehe ich mich versah, hatte ich ‚Herz‘ mit tz geschrieben.“⁶ (Abb. 5.11)



Abb. 5.3: Henriette und Ludwig Boltzmann, 1876



Abb. 5.2: Boltzmann mit seinen Mitarbeitern 1887 in Graz; sitzend von links: Ernst Aulinger, Albert von Ettingshausen, Boltzmann, Ignaz Klemencic, Victor Hausmaninger; stehend von links: Walter Nernst, Franz Streintz, Svante Arrhenius, Richard Hieckel/Boltzmann with his colleagues in Graz in the year 1887, sitting from the left: Ernst Aulinger, Albert von Ettingshausen, Boltzmann, Ignaz Klemencic, Victor Hausmaninger; standing from the left: Walter Nernst, Franz Streintz, Svante Arrhenius, Richard Hiecke



Abb. 5.4: Boltzmann mit Familie, 1886; Kinder von links:
Henriette, Ida, Ludwig, Arthur/Boltzmann with his family, 1886;
Children from the left: Henriette, Ida, Ludwig, Arthur



Abb. 5.5: Haus auf der „Platte“ / House on the “Platte”

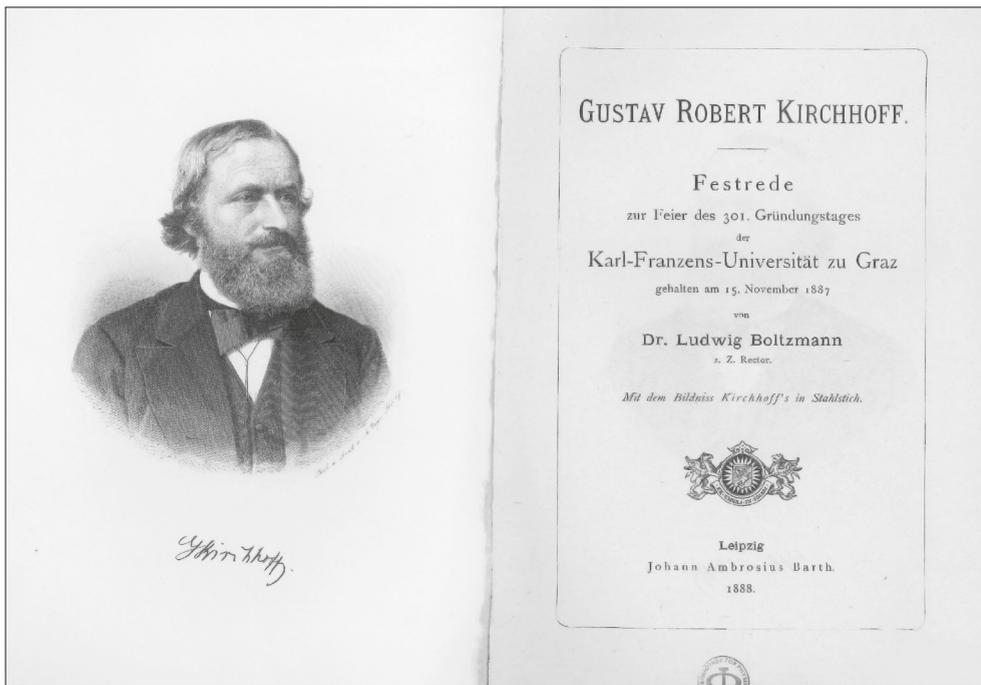


Abb. 5.6: Gustav Robert Kirchhoff

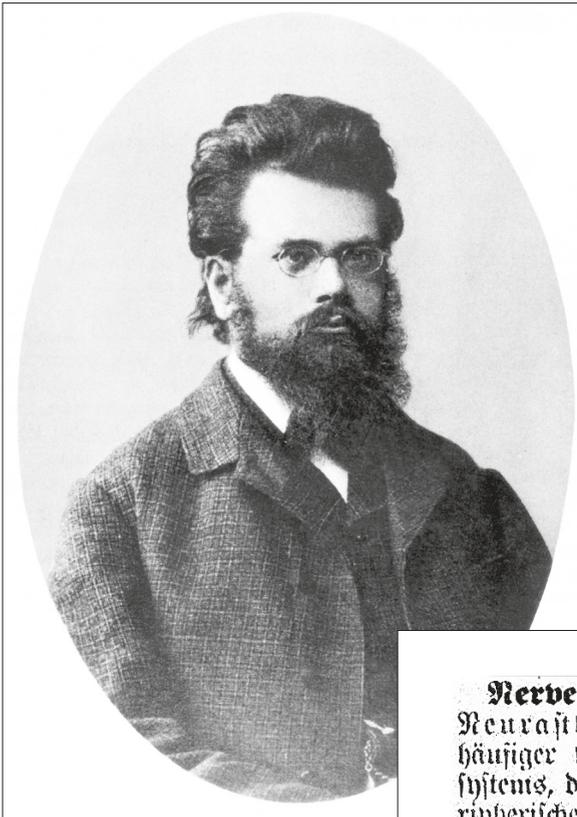


Abb. 5.1: Boltzmann, 1884

Nervenschwäche (lat. Nervosität, griech. Neurasthenie), eine in unserm Jahrhundert immer häufiger werdende Störung des gesamten Nervensystems, d. h. des Gehirns, des Rückenmarks, des peripherischen und sympathischen Nervensystems. In diesem weitesten Sinne gefasst, sind es die »Nerven«, welche bei den erhöhten Ansprüchen an die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit der vornehmen Gesellschaftsklassen angegriffen werden und namentlich zartere Frauen nötigen, nach den Strapazen einer gefellig bewegten Winterfaison für ihre Reizbarkeit, Schwindelanfälle, Kopfschmerzen, reißenden Schmerzen in Armen oder Gesicht, Herzklopfen, Abgeschlagenheit und Unfähigkeit zu körperlichen Anstrengungen einen Arzt zu befragen oder auf eigne Verordnung an einem ruhigen Ort im Walde oder an der See Erholung zu suchen. Ähnlich ergeht es auch den jungen Lebemännern, welche zu viel geschwelgt und zu wenig geschlafen haben; ähnlich aber auch zahllosen Männern, denen eine schwere Berufspflicht, eine angespannte Geistesarbeit, ein rastloser Kampf ums Dasein mehr zugemutet hat, als Körper und Geist auf die Dauer ohne Schaden ertragen können. Ganz irrig ist aber die vielverbreitete Annahme, daß die N. nur ein Leiden der begüterten und gebildeten Klassen sei, denn Not und Sorgen, Entbehrung der notwendigen Nahrung

Abb. 5.7: Neurasthenie, Meyer's Konversationslexikon 1896/
Neurasthenia, Meyer's encyclopedia, 1896

Aus dem LXXVI. Bande der Sitzb. der k. Akad. der Wissensch. II. Abth. Oct.-Heft. Jahrg. 1877.

Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht.

Von Dr. Ludwig Boltzmann in Graz,

correspondirendem Mitgliede der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften.

(Vorgelegt in der Sitzung am 11. October 1877.)

Eine Beziehung des zweiten Hauptsatzes zur Wahrscheinlichkeitsrechnung zeigte sich zuerst, als ich nachwies, dass ein analytischer Beweis desselben auf keiner anderen Grundlage möglich ist, als auf einer solchen, welche der Wahrscheinlichkeitsrechnung entnommen ist. (Vergl. meine Abhandlung „Analytischer Beweis des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie aus den Sätzen über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft“, diese Sitzungsber. Bd. 58, Seite 8 des Separatabdruckes; ferner meine Bemerkungen über einige Probleme der mechanischen Wärmetheorie, III. Abschnitt.) Diese Beziehung erhielt eine weitere Bestätigung durch den Nachweis, dass ein exacter Beweis der Sätze über Wärmegleichgewicht am leichtesten dadurch gelingt, dass man nachweist, dass eine gewisse Grösse, welche ich wiederum mit E bezeichnen will, in Folge des Austausches der lebendigen Kraft unter den Gasmolekülen nur abnehmen kann, und daher für den Zustand des Wärmegleichgewichtes ihren Minimumwerth hat. (Vergleiche meine weiteren Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen.) Noch klarer tritt der Zusammenhang zwischen dem zweiten Hauptsatze und den Sätzen über Wärmegleichgewicht hervor

durch die Entwicklu
über einige Problem
habe ich auch zuers
Berechnungsweise d
mit folgenden Wort
förmige Zustandsv

42

Boltzmann.

Sache so betrachten können, als ob die Variable p_1 nur im Stande wäre, die Werthe $0, \alpha, 2\alpha, 3\alpha$ u. s. w., p_2 nur die Werthe $0, \beta, 2\beta, 3\beta$ u. s. w. anzunehmen. Sei n die Gesamtzahl der Moleküle der ersten Gasart, und bezeichnen wir wieder die auf die übrigen Gasarten Bezug habenden Grössen mit entsprechenden Accenten, so ist

$$\mathfrak{P} = \frac{n!n'!n''!\dots n^{(\nu)}!}{\prod w_{abc\dots k}! \prod w'_{a'b'\dots k'}! \prod w''_{a''b''\dots k''}!\dots \prod w_{a^{(\nu)}b^{(\nu)}\dots k^{(\nu)}}!} \quad (49)$$

die mögliche Anzahl von Permutationen der Elemente dieser Complexion, also die Grösse, welche wir deren Permutabilität genannt haben. Die Producte sind so zu verstehen, dass die Zahl

Abb. 5.9

Abb. 5.8

72
 XV. *Ableitung des Stefan'schen Gesetzes*¹⁾,
betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung
von der Temperatur aus der electromagnetischen
Lichttheorie;

von Ludwig Boltzmann in Graz.

(Wied. Ann. 22. S. 291 - 294. 1884.)

Maxwell hat aus seiner electromagnetischen Lichttheorie das Resultat abgeleitet, dass ein Strahl von Licht oder strahlender Wärme auf die Flächeneinheit bei senkrechter Incidenz einen Druck ausüben muss, welcher gleich ist der in der Volumeneinheit Aether infolge der Lichtbewegung enthaltenen Energie. Sei ein absolut leerer Raum rings von für Wärmestrahlung undurchlässigen Wänden von der absoluten Temperatur t umgeben; bezeichnen wir die in der Volumeneinheit Aether infolge der Wärmestrahlung enthaltene Energie mit $\psi(t)$, so müssen wir bedenken, dass nicht alle Wärmestrahlen senkrecht auf die gedrückte Wand auffallen. Am einfachsten ist es, da analog einer Betrachtungsweise, welche Krönig³⁾ auf die Gastheorie anwandte, den Raum als Würfel zu denken, dessen Seiten parallel drei rechtwinkligen Coordinatenachsen sind. Ein dem Mittelzustand am besten entsprechendes Resultat erhält man, wenn man annimmt, dass je ein Drittel der Wärmestrahlung parallel je einer der drei Coordinatenachsen sich fortpflanzt. Es wird dann auf jede Seitenfläche nur ein Drittel der gesammten Strahlen drückend wirken, und der Druck auf die Flächeneinheit der Wand wird nach Maxwell's Gesetz sein:

$$f(t) = \frac{1}{3} \psi(t);$$

man kann diese Formel auch durch folgende Ueberlegung finden. Maxwell's Resultat gilt, wenn der Strahl senkrecht auf die gedrückte Fläche auffällt und von derselben absor-

1) Stefan, Wien. Ber. 79. p. 391. 1879.

2) Maxwell A. Treatise on Electricity and Magnetism. Oxford, Clarendon Press vol. II Artikel 792. p. 391. 1873.

3) Krönig, Grundzüge der Theorie der Gase. Berlin bei A. W. Hain. Pogg. Ann. 99. p. 315. 1856. *[Verh. Phys. N. 88.]*

S. II siehe Druck.



Abb. 5.10

XIII. *Ueber die Hertz'schen Versuche;*
von L. Boltzmann.

Die bei den Hertz'schen Versuchen über Strahlen electrischer Kraft zwischen einer Kugel und einer Spitze auftretenden Fünkchen habe ich mit Erfolg dadurch einem grossen Auditorium demonstrirt, dass ich die Kugel mit einem empfindlichen Electroskop, die Spitze mit dem Pole einer passenden galvanischen Batterie, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet war, verband: solange keine Fünkchen waren, blieb das Electroskop ungeladen; die Fünkchen aber bildeten bei ihrem Erscheinen sofort eine leitende Brücke zwischen Kugel und Spitze und brachten das Electroskop zum Ausschlag. Auf diese Art konnten auf 36,8 m Distanz der primären und secundären Inductoren (die grösste Entfernung, die mir zur Verfügung stand) noch mit Sicherheit die durch einen einzigen Primärfunken erzeugten secundären Fünkchen nachgewiesen werden.

Auf 8,7 m Distanz wurden sämtliche Hertz'sche Versuche einem Auditorium von etwa 200 Personen, für jeden sichtbar, in bequemster Weise demonstrirt, wobei zu jedem Versuche nur drei bis vier Primärfunken erforderlich waren, wodurch die Electroden blank erhalten werden konnten. Mehr noch als die Oxydschicht scheint mir Staub, Risse im Metall oder eine unreine, fettige Beschaffenheit der Oberfläche schädlich; Putzen mit verdünnter Schwefelsäure, destillirtem Wasser und dann trockenes Abreiben erwies sich hiergegen am besten; eine stärkere Oxydschicht wird durch Poliren mit Wienerkalk (mit etwas Spiritus angefeuchtet) entfernt, wonach trockenes Abreiben genügt. Den Nutzen eines Luftstromes, wie ihn Dr. Classen empfiehlt, konnte ich nicht wahrnehmen.

Bei der grossen Distanz von 36,8 m schätzte ich die Länge des secundären Funkens auf $\frac{1}{5000}$ mm im Maximum. Da die zur Ladung des Electroskops dienende trockene Säule etwa 200 Volt Spannung hatte, so waren somit Kugel

Abb. 5.11

Boltzmanns (Abb. 6.1) Berufung nach München (Abb. 6.2) wurde von Eugen Lommel, dem Vorstand des Münchner Physikalischen Instituts, protegiert. Boltzmann erwartete sich in München weniger administrative Aufgaben, eine eingeschränkte Lehrverpflichtung sowie weniger Prüfungstätigkeit – vergleichbar der Position, wie sie etwa Jacobus Henricus van't Hoff in Berlin oder Svante Arrhenius in Stockholm hatten.

In seinem Gesuch um „Enthebung mit Ende August 1890“ betonte Boltzmann, dass ihn „rein wissenschaftliche Rücksichten“ zu seinem Schritt bewegten; er sprach die Überzeugung aus, dass die neue Stelle seiner „individuellen Forschungsrichtung mehr entsprechen“ würde.

Der befürwortende Minister wies den Kaiser darauf hin, dass Boltzmann den Ruf schon angenommen habe und die Ernennung bereits erfolgt sei. Am 13. August 1890 unterzeichnete der Kaiser, der sich – wie immer um diese Jahreszeit – in Ischl befand, die „allerhöchste Genehmigung“, wonach Professor Ludwig Boltzmann mit Ende August „aus seiner bisherigen lehramtlichen Stelle trete“.

So übersiedelte die Familie Boltzmann nach München, der Haupt- und Residenzstadt des Königreichs Bayern. Die neue Anschrift lautete: München, Maximilianstraße 1/III. Ein Brief Boltzmanns an den befreundeten Komponisten Wilhelm Kienzl (Abb. 6.3, 6.4) vom 26. August 1892 enthält eine detaillierte Skizze der Wohnung, so dass man eine gute Vorstellung bekommt, unter welchen äußeren Umständen sich das Leben abspielte. Die Wohnlage war bezüglich Universität und Institut und auch mit Rücksicht auf eine Teilnahme am sonstigen kulturellen Leben äußerst günstig. Eine Kuh, wie auf der Platte bei Graz, konnte allerdings kaum gehalten werden.

Der zitierte Brief gibt auch über die Gestaltung der Ferienmonate – jedenfalls für den Sommer 1892 – Auskunft: Ein Familienaufenthalt am Staffelsee in der Nähe des malerischen Marktes Murnau (beim Oberweissbauern in Seehausen), unterbrochen durch eine Reise nach Bayreuth.

Das gesellige Leben in München sagte Boltzmann sehr zu. Einmal in der Woche traf er sich mit einer Reihe von Kollegen im Hofbräuhaus zu einem gemütlichen Beisammensein. Zu diesem Kreis zählten die Mathematiker Walther Dyck (Abb. 6.5) und Alfred Pringsheim (Abb.

6.6), der Physiker Eugen Lommel, der Chemiker und spätere Nobelpreisträger Adolf von Baeyer (Abb. 6.7), der Astronom Hugo von Seeliger und der Kältetechniker Carl von Linde (Abb. 6.8). In engem Kontakt stand Boltzmann in seiner Münchener Zeit auch mit Wilhelm Ostwald, mit dem sich bereits eine Auseinandersetzung zwischen Energetik und Atomistik anbahnte.

In die Münchener Zeit fielen die Naturforscherversammlungen von Halle (1891) und Nürnberg (1893), an denen Ludwig Boltzmann aktiv teilnahm. 1891 war er in den wissenschaftlichen Ausschuss der naturwissenschaftlichen Hauptgruppe der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte gewählt worden.

Während Boltzmanns Tätigkeit in München starb in Wien am 7. Januar 1893 sein Lehrer Josef Stefan.

Mit Josef Loschmidt stand Boltzmann in Briefkontakt. Der Brief aus dem Jahr 1894 macht deutlich, mit welcher Zuneigung und welchem Respekt Boltzmann seinem Freund Loschmidt begegnete. (Abb. 6.9, 6.10, 6.11)

Dass Ludwig Boltzmann gern in München lebte und mit seiner Stellung zufrieden war, wird allgemein angenommen. Da aber der Vertrag an der Universität keine Pensionsregelung für Boltzmann vorsah, strebte er wieder zurück nach Wien.

Werk

Während seiner Münchener Jahre bearbeitete Boltzmann bevorzugt Probleme der elektromagnetischen Theorie. Viel Energie konzentrierte er auf die Abfassung seiner „Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes“, deren erster Teil 1891 erschien. 1893 folgte der zweite Teil. Bei der Gestaltung dieses Werkes ließ sich Boltzmann nach eigenen Aussagen vom einem dreifachen Ziel leiten: „Klarheit, Anschaulichkeit und Kürze“. (Abb. 6.12, 6.13, 6.14)

Maxwell schrieb 1873 in einem Brief an Peter Guthrie Tait über Boltzmann: „Beim Studium von Boltzmann gelang es mir nicht, ihn zu verstehen. Er konnte mich wegen meiner Kürze nicht verstehen, und seine Länge war und ist ein gleicher Stein des Anstoßes für mich.“¹

Wenn schon Maxwell Boltzmanns Arbeiten schwierig fand, überrascht es kaum, wenn viele andere Physiker sie gar nicht verstanden. Carlo Cercignani z. B. denkt, dass dies ein Grund ist, warum Boltzmann sogar heute noch nicht so anerkannt ist, wie er es verdienen würde.

Boltzmann's (Fig. 6.1) appointment to Munich (Fig. 6.2) was supported by Eugen Lommel, the head of the institute of physics. In Munich Boltzmann expected to have fewer administrative tasks, a limited duty to teach and less examination work. It was similar to the positions that Jacobus Henricus van't Hoff had in Berlin and Svante Arrhenius in Stockholm.

In his notice of cancellation at the end of August 1890 Boltzmann emphasizes that the reason for his decision is based on "scientific considerations" only. He expressed his conviction that the new position would comply better with his "individual fields of research".

The approving minister pointed out to the emperor that Boltzmann had already accepted the appointment and that it had been officially announced. On the 13th of August 1890 the emperor, who always was in Ischl at this time of the year, signed the permission to terminate the contract with Boltzmann.

Thus, the Boltzmann family moved to Munich, which was the capital and residence of the kingdom of Bavaria at this time. The new address was: "Munich, Maximilianstrasse 1/III". The family lived in an elegant apartment in the center of the city. One of Boltzmann's letters to Wilhelm Kienzl (Fig. 6.3, 6.4) contained a detailed sketch of the apartment, which gives a good understanding of the outer circumstances of Boltzmann's life. The apartment was located near the university and also close to several places of cultural interest. One thing that Boltzmann could not have in this new place was the cow that he used to have in Graz.

The abovementioned letter also gives information about recreational activities during the holidays, at least for the summer of 1892: The family stayed at the Oberweissbauer farm in Seehausen at Lake Staffelsee, close to the picturesque village of Murnau. During this time they also traveled to Bayreuth.

Boltzmann enjoyed living in Munich. Once a week he had a fixed appointment with several colleagues in the Hofbräuhaus. Among these were the mathematicians Walter Dyck (Fig. 6.5) and Alfred Pringsheim (Fig. 6.6), the physicist Eugen Lommel, the chemist and later winner of the Nobel Prize Adolf von Baeyer (Fig. 6.7), the astronomer Hugo Seliger and Carl von Linde (Fig. 6.8), a refrigeration engineer. At this time Boltzmann kept a correspondence with Wilhelm Ostwald.

The dispute about energetics and atomism between the two scientists started to take shape.

Boltzmann also participated actively in the conferences of the Society of German Naturalists and Medics in Halle (1891) and Nürnberg (1893). In 1891 he was elected into the advisory board of the scientific section of this society.

While Boltzmann stayed in Munich, his former teacher Josef Stefan died on the 7th of January 1893 in Vienna.

Boltzmann kept in contact with Josef Loschmidt by writing letters. A letter from 1894 shows how much affection and respect they had for each other. (Fig. 6.9, 6.10, 6.11)

It is quite evident that Boltzmann was very happy in Munich. But his contract did not include regulations for a retirement pension and therefore he strived to return to Vienna.

Works

During his time in Munich Boltzmann mainly worked on problems of the theory of electromagnetism. He put great effort and a lot of energy into his "Lectures about Maxwell's theory of electricity and light". The first part was published in 1891, the second part 1893. According to his own words Boltzmann pursued the following goals in his work: serenity, clearness and precision. (Fig. 6.12, 6.13, 6.14)

Maxwell wrote about Boltzmann in a letter to Peter Guthrie Tait: "I tried to study Boltzmann's works, but I barely could understand him. He in turn could barely understand me because of my briefness whereas I criticized his length." ¹

If it was difficult to understand the works of Boltzmann even for Maxwell, then it does not come as a surprise that many other physicists did not understand them at all. Carlo Cercignani, for instance, thinks that this is a reason why Boltzmann is not as well known as he would deserve to be – not even today.

Boltzmann, however, admired Maxwell and raised a monument for him by his "Lectures about Maxwell's theory of electricity and light" (2 volumes, 1896 and 1898). About Maxwell's equations of electrodynamics Boltzmann once said: "Was it a god who wrote those characters?"

Boltzmann jedenfalls verehrte Maxwell sehr und hat ihm mit seinen „Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes“ (2 Bände, 1896 und 1898) ein bleibendes Denkmal gesetzt. Einmal äußerte sich Boltzmann über die Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik: „War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb?“

Ganz allgemein war Boltzmann bestrebt, in der klassischen theoretischen Physik die Anschaulichkeit zu kultivieren. Hierbei wusste er stets seine mathematischen Fähigkeiten mit der Vorstellungskraft und Geschicklichkeit des Experimentators zu verbinden. Das schöpferische Resultat waren Demonstrationsapparate

wie z. B. das Modell „Bicycle“, das zur Veranschaulichung des Verhaltens zweier elektrischer Ströme diente. (Abb. 6.15, 6.16)

Der Briefwechsel mit Wilhelm Ostwald und Ernst Mach betraf grundlegende Fragen der Physik und der später noch heftige ausgefochtene Streit zwischen Atomistik und Energetik führte alle Beteiligten auch zur Philosophie. So schrieb Boltzmann am 11. Juni 1892 in einem Brief an Ostwald: „Dem Dogma, dass die Natur nur mechanisch (aus Atombewegungen) erklärt werden könne, möchte ich nicht das andere, dass sie nicht daraus erklärt werden könne und dürfe, entgegenstellen.“



Abb. 6.2: Universität München



Abb. 6.1: Boltzmann, 1890



Abb. 6.5: Walter von Dyck



Abb. 6.6: Alfred Pringsheim

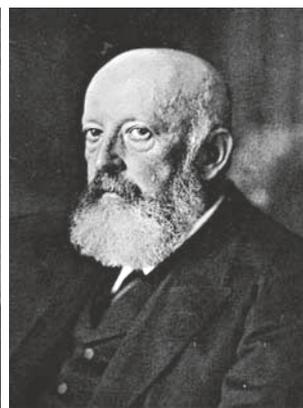


Abb. 6.7: Adolf von Baeyer

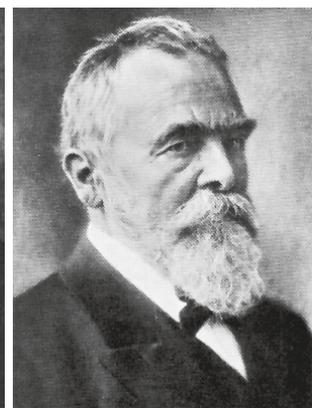


Abb. 6.8: Carl von Linde

Boltzmann always was anxious to cultivate clearness in theoretical physics. He knew exactly how to connect his mathematical abilities with imagination and skilful experimentation. This resulted in appliances

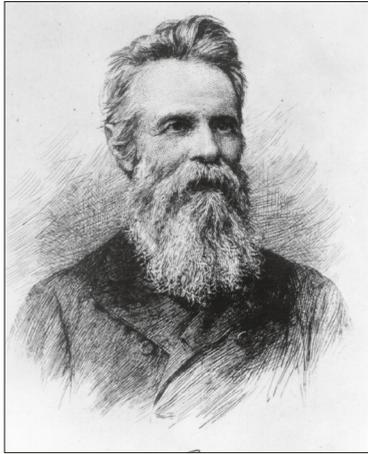


Abb. 6.9: Josef Loschmidt

for demonstration purposes such as the model "bicycle", which aims to demonstrate the behavior of two electric currents. In reference to this appliance Karl

Przibram made a drawing of Boltzmann riding a bicycle. (Fig. 6.15, 6.16)

Boltzmann's correspondence with Wilhelm Ostwald and Ernst Mach concerned fundamental questions of physics. The debate between atomism and energetics that was to become quite acrimonious in later years lead all parties towards philosophy. On the 11th of June 1892 Boltzmann wrote in a letter to Ostwald: "To the dogma that nature can only be described in a mechanical way - i. e., through the movement of atoms - I do not want to give the exact opposite as an answer, namely that it is impossible to describe it in that way."

1 Maxwell, James Clerk: Brief an Peter Guthrie Tait, 1873, in: Stiller, Wolfgang: Ludwig Boltzmann, Frankfurt am Main: Deutsch, 1989, S. 52.

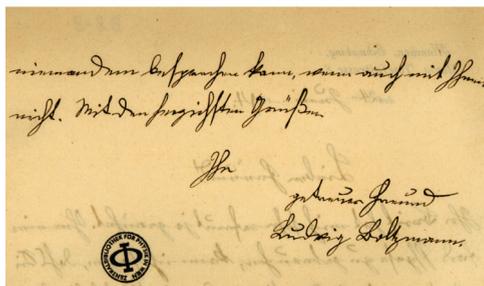
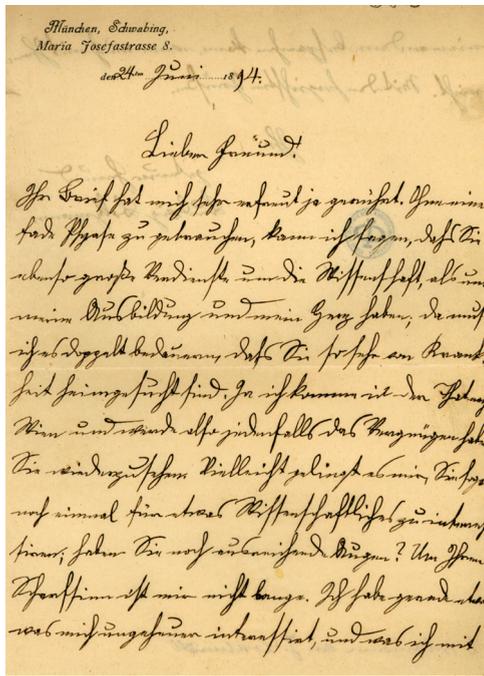


Abb. 6.10: Brief Boltzmanns an Loschmidt/
Letter from Boltzmann to Loschmidt

Schwabing, 24.6.1894
Lieber Freund!
Ihr Brief hat mich sehr erfreut, ja gerührt. Ohne die fade Phrase zu gebrauchen, kann ich schon sagen, dass Sie ebenso große Verdienste um die Wissenschaft, als um meine Ausbildung und mein Herz haben; ich muss es doppelt bedauern, dass Sie so sehr von Krankheit heimgesucht sind. Ja, ich komme in der Tat nach Wien und werde also jedenfalls das Vergnügen haben, Sie wiederzusehen. Vielleicht gelingt es mir, Sie sogar noch einmal für etwas Wissenschaftliches zu interessieren; haben Sie noch ausreichende Augen? Um Ihren Scharfsinn ist mir nicht bange. Ich habe gerade etwas, was mich ungeheuer interessiert und was ich mit niemanden besprechen kann, wenn auch mit Ihnen nicht.
Mit den herzlichsten Grüßen
Ihr getreuer Freund
Ludwig Boltzmann

Schwabing, June 24, 1894
Dear friend!
I was very happy about your letter. Without using this boring phrase, I can say that you have made great achievements for science, for my education and also my heart; I am double sorry to hear about your disease. Yes, I am definitely coming to Vienna and therefore will have the pleasure to meet you again. Maybe this time I will succeed in arousing your interest for something scientific. Are your eyes still good enough? I am not worried about your brilliancy. Currently I am working on something that I cannot talk about with anybody, if not with you.
Best regards from your faithful friend,
Ludwig Boltzmann

Abb. 6.11: Brief Boltzmanns an Loschmidt, Abschrift/
Letter from Boltzmann to Loschmidt, copy

B o l t z m a n n a n [Kienzl] Murnau, 26. August 1892

Lieber Freund!

Die Wohnungsschlüssel sind versiegelt in einem Couvert bei der Hausmeisterin.

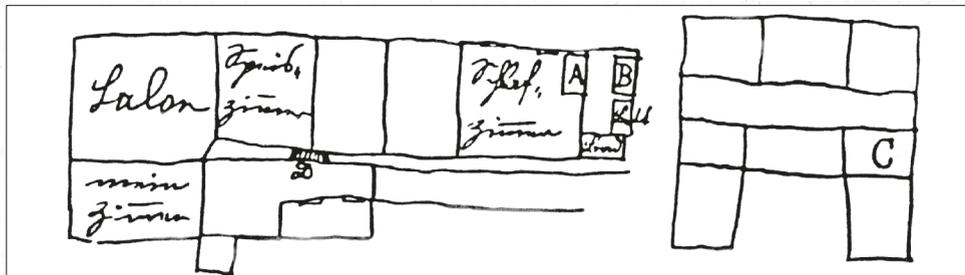


Abb. 6.4: eigenhändige Skizze Boltzmanns/sketch by Boltzmann

Ganz oben auf dem Kasten A liegt ein Schlüssel, welcher die Lade C des Schreibtisches B öffnet. In der Lade C sind sehr viele Schlüssel. Einer davon (klein, wahrscheinlich mit mehrfach gezacktem Bart, angeblich mit Spagat mit anderen Schlüsseln verbunden, jedenfalls ohne Papieretikett) sperrt das Vorhängschloß des Bodenanteils, der uns gehört, wo Deine Koffer sind. Den Boden selbst kann die Hausmeisterin öffnen. Meine Frau vermuthet, daß Dein Cylinder im Wandschrank D ist. (Schlüssel davon auch am selben Spagatbund in C.) Bitte nachher überall status quo ante!

Ich komme 8. oder 9. September vielleicht auch früher nach München. Es war von mir saudumm, daß ich nicht dachte, daß Du Deine Sachen brauchen wirst und jedenfalls von Dir nicht viel gescheiter, daß Du nicht schon früher schriebst; denn vor wenig Tagen war ich, als ich von Bayreuth zurückkam in München, wo ich alles leicht hätte ändern können.

Mit besten Grüßen

Dein Ludwig Boltzmann

An die Frau Hausmeisterin Maximilianstraße 1.
Bitte übergeben Sie Vorzeiger dieses Herrn Dr. Wilhelm Kienzl die Wohnungsschlüssel und öffnen Sie ihm den Boden.

Professor Ludwig Boltzmann

Abb. 6.3: Brief Boltzmanns an Wilhelm Kienzl, Abschrift

Boltzmann to Kienzl

Murnau, August 26, 1892

Dear Friend!

The keys to the apartment are sealed in an envelope with the caretaker.

On top of cupboard A you can find a key, which opens drawer C of desktop B. In drawer C you can find a number of keys connected with a string. One of them (small, most likely with jagged teeth and without a paper tag) opens the lock of the door to our part of the attic. This is where your luggage is. The caretaker can open the entrance to the attic for you. My wife thinks that your top hat is in closet D (The key to this is also on the same bunch of keys in drawer C). Please lock everything again when you are done!

On the 8th or 9th of September or maybe even earlier I will come to Munich. It was stupid of me that I did not think that you might need your belongings, but it was not smart of you either that you did not write earlier. A few days ago I was in Munich where I easily could have alleviated things.

Best regards,

Ludwig Boltzmann

To the caretaker of Maximilianstraße 1:

Please hand over the keys of my apartment to the bearer of this letter Dr. Wilhelm Kienzl and please open the attic door for him.

Professor Ludwig Boltzmann

Abb. 6.3: Letter from Boltzmann to Wilhelm Kienzl, copy

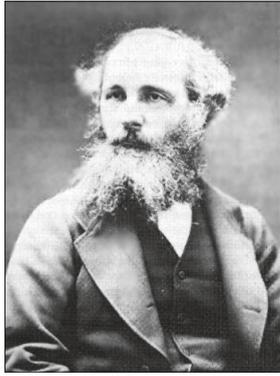


Abb. 6.12: James Clerk Maxwell

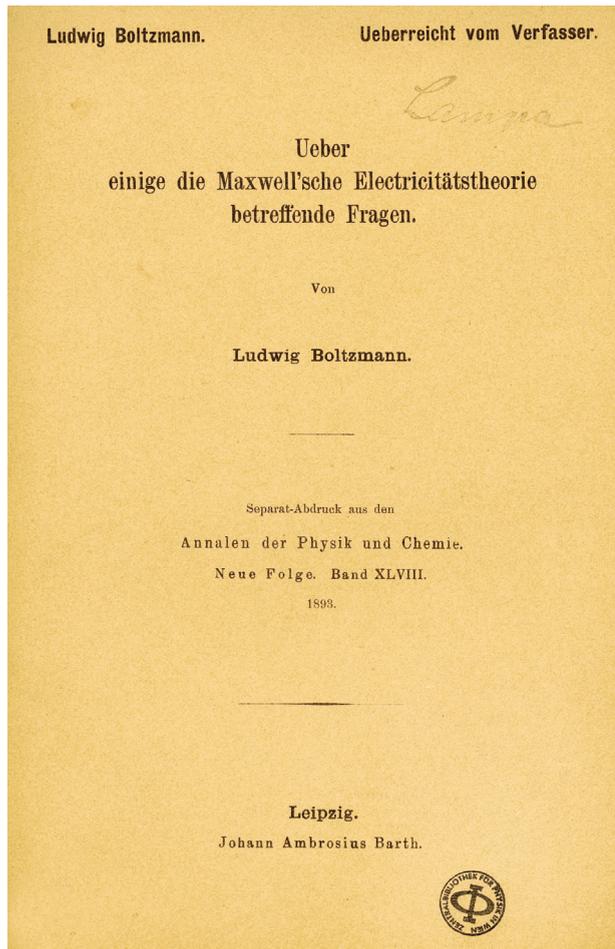


Abb. 6.13

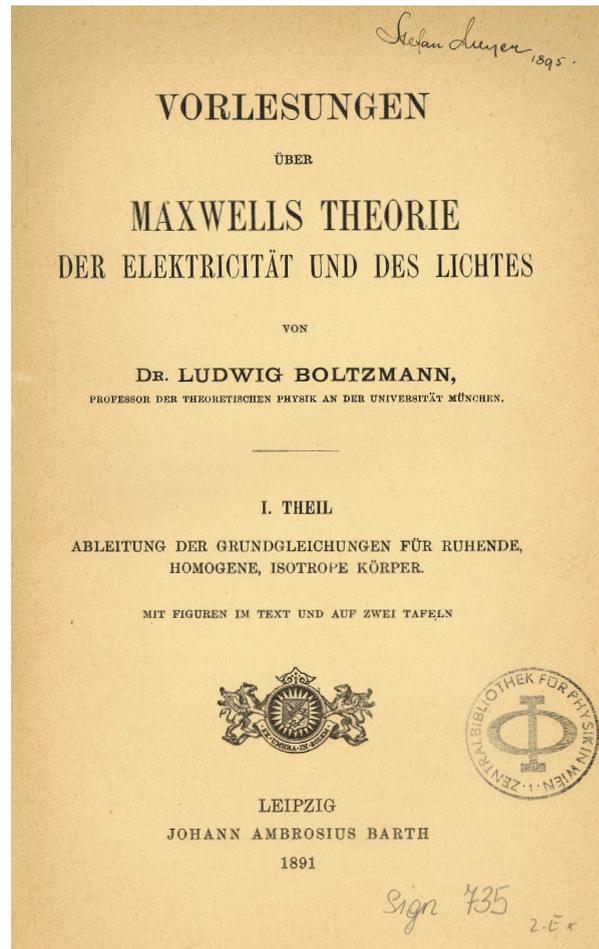


Abb. 6.14

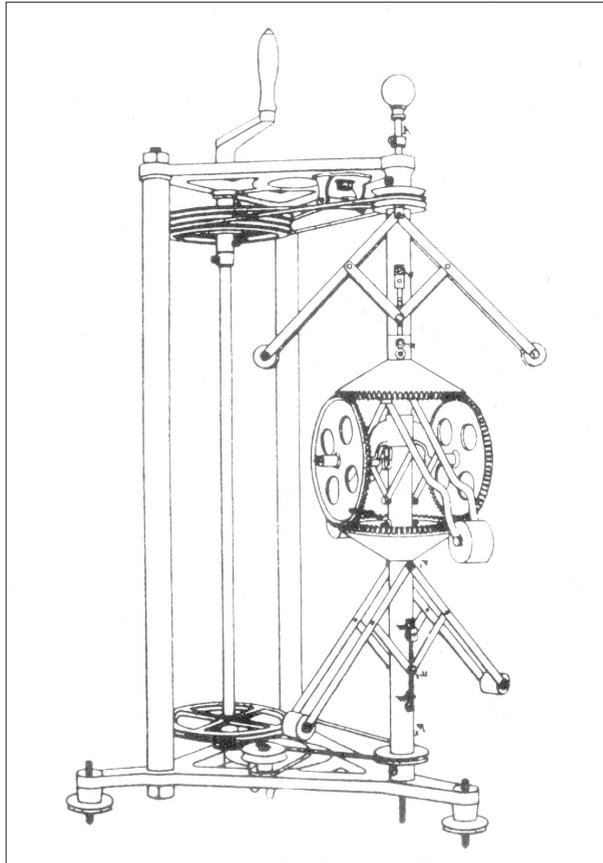


Abb. 6.15: Demonstrationsapparat von Boltzmann, das Modell „Bicycle“/
Apparatus for demonstration purposes developed by Boltzmann, model "bicycle"



Abb. 6.16: Boltzmann als Radfahrer, Karikatur von Karl Przibram/
Karl Przibram/Karl Przibram drew a picture of Boltzmann riding a bicycle

Boltzmann wurde als Nachfolger Stefans zum Ordinarius für theoretische Physik am Wiener Physikalischen Institut bestellt. (Abb. 7.1) Das Institut befand sich seit 1875 nicht mehr in Erdberg – wie in Boltzmanns jungen Jahren –, sondern war in einem Wohnhaus im 9. Bezirk, Türkenstraße 3, untergebracht. (Abb. 7.2) Es war so schäbig, dass der Institutsvorstand zur Zeit der Naturforscherversammlung nicht in Wien weilte, um es nicht herzeigen zu müssen. In diesem Haus bezog Boltzmann zunächst wieder eine „Naturalwohnung“. Es war wahrscheinlich nicht die günstigste Wohnadresse für die Familie Boltzmann, jedenfalls nicht vergleichbar mit dem Haus auf der Platte oder dem zuletzt bewohnten Domizil in München.

Besetzung der Wiener Lehrkanzeln für Physik am Ende des 19. Jahrhunderts

Experimentalphysik:

Ordinariat I: Viktor von Lang

Ordinariat II: Franz Serafin Exner

Ende September 1891 war Josef Loschmidt in den Ruhestand getreten, Franz Serafin Exner, seit 1879 Extraordinarius, bekam das Ordinariat II am 1. Oktober 1891 zugesprochen. Er hielt es bis 1920.

Theoretische Physik:

Ordinariat: Ludwig Boltzmann ab WS 1894/95.

In den Jahren zwischen 1900 und 1902, die Ludwig Boltzmann in Leipzig verbrachte, blieb die Lehrkanzel unbesetzt.

Ein Extraordinariat existierte erst seit 11. August 1893 und war mit Gottlieb Adler besetzt, der aber schon am 15. Dezember 1893 starb. Nach jahrelanger Vakanz wurde diese Stelle mit Gustav Jäger besetzt.

Das Jahr 1895 war für den nach Wien heimgekehrten Ludwig Boltzmann und die physikalische Welt äußerst ereignisreich. Nach seinem Lehrer Josef Stefan verstarb am 8. Juli 1895 auch Joseph Loschmidt, Boltzmanns Freund, Lehrer und wohl auch großes Vorbild: „Kam ich denn vor Jahresfrist nach Wien als Totengräber aller derer, die mir einst dort teuer waren?“ sagte Boltzmann anlässlich einer Gedenkrede im Arkadenhof der Wiener Universität, wo er am 8. Dezember 1895 das Denkmal für Josef Stefan enthüllte. (Abb. 7.3, 7.4) Boltzmann war aber auch von Stefans zahlreichen und

bedeutenden Experimentaluntersuchungen angetan. Boltzmann sah hier als hervorragendste Leistung die Behandlung der Wärmeleitung in Gasen an und würdigte besonders Stefans Diathermometer – „einen Apparat von fabelhafter Einfachheit“. „Dass Stefan beide Hilfsmittel der Naturerkenntnis, die experimentelle Forschung und die Rechnung gleichmäßig beherrschte, gab ihm einen besonders klaren Einblick in den Zusammenhang der Naturerscheinungen“, meinte Boltzmann. Im Hinblick auf Stefan als Hochschullehrer rühmt er dessen „Pflichttreue und Arbeitsamkeit, welche nicht nachließ, auch wenn sie eine Bezwingung körperlichen Unwohlseins durch eiserne Willenskraft erforderte.“

Interessant ist auch ein Vergleich, den Boltzmann zwischen Josef Stefan und Josef Loschmidt anstellt: „Beide waren in vielen Dingen ungleich. Stefan war universell und behandelte alle Kapitel der Physik mit gleicher Liebe; Loschmidt war einseitig, wenn er über einen Gegenstand Tag und Nacht grübelte, verlor er fast den Sinn für alles andere.“

Stefan war praktisch, er behandelte gern und mit Geschick die Anwendung seiner Wissenschaft zu technischen und gewerblichen Zwecken, Loschmidt war, obwohl einst selbst in Fabriken tätig, doch der Prototyp des unpraktischen Gelehrten. Stefan errang sich auch allgemeine Anerkennung. Er wurde zum Dekan und Rektor der Wiener Universität gewählt, war Sekretär und später Vizepräsident der Akademie der Wissenschaften; Loschmidt dagegen blieb fast gänzlich unbekannt.

In einem dagegen waren sich die beiden vollkommen gleich, in der unendlichen Bedürfnislosigkeit, Einfachheit und Schlichtheit ihres Wesens. Weder Stefan noch Loschmidt machten meines Wissens eine Reise außerhalb des österreichischen Vaterlandes. Jedenfalls besuchten sie nie eine Naturforschertagung, traten nie mit fremden Gelehrten in innigere persönliche Beziehungen.

Ich kann dies nicht billigen. Ich glaube, dass sie bei geringerer Abgeschlossenheit noch mehr hätten leisten können. Wenigstens hätten sie ihre Leistungen rascher bekannt und daher fruchtbringender gemacht.“¹

Boltzmann hingegen war immer darauf bedacht, mit Kollegen im Inland und im Ausland in Kontakt zu treten und unternahm viele, zum Teil sehr beschwerliche Rei-

As successor of Josef Stefan, Boltzmann was appointed full professor for theoretical physics at the institute of physics in Vienna in 1894. (Fig. 7.1) Since 1875, the institute's location was no longer in Erdberg, but at the address Türkenstraße 3. (Fig. 7.2) It was in such bad condition that the head of the institute left Vienna for the time of a conference in order not to have to show it to anyone. The Boltzmann family lived there as a payment in kind. This was probably not the best address to live at and it was incomparable to their former homes in Graz and Munich.

Occupation of the chairs for physics in Vienna at the end of the 19th century

Experimental physics:

Chair I: Viktor von Lang

Chair II: Franz Serafin Exner

At the end of September 1891 Joseph Loschmidt retired and Franz Serafin Exner took over his position (Chair II) on the 1st of October 1891. He stayed there until 1920.

Theoretical Physics:

Chair: Ludwig Boltzmann starting from winter term 1894/95.

In the years between 1900 and 1902 Ludwig Boltzmann was in Leipzig. During this time this chair was not occupied.

An associate chair was established on the 11th of August 1893 and assigned to Gottlieb Adler, who already died on the 15th of December in the same year. After several years of vacancy the chair was assigned to Gustav Jäger.

In 1895 Boltzmann returned from Munich to Vienna. This was a very eventful year for Boltzmann and the world of physics. Shortly after Josef Stefan's death, on the 8th of July, 1895 Boltzmann's close friend and teacher Joseph Loschmidt died too. "Did I come back to Vienna to bury all those who once were dear to me?" This sentiment was expressed by Boltzmann on the occasion of a commemorative address at the University of Vienna, where he unveiled the memorial of Josef Stefan. (Fig. 7.3, 7.4)

Boltzmann was much taken with the numerous and important experimental works of Stefan. From his point of view, the most important work was Stefan's treatment of the thermal conductivity in gases. He especially appreciated the diathermometer – "an apparatus of fabulous simplicity". Boltzmann said: "The fact that Stefan was a master of experimental research and mathematics at the same time gave him particularly clear insight into the fundamental coherence of natural phenomena." In regard to Stefan as a university teacher, he praised his "dutifulness and diligence, which never seemed to fail – even when it was necessary to defeat physical illness with strong willpower."

Boltzmann once made an interesting comparison between Josef Stefan and Josef Loschmidt: "Both were quite different in many things. Stefan was universal and dealt equally well with all areas of physics; Loschmidt, on the other hand, was one-sided. When he was busy with a specific problem he did not care about any other topic of physics.

Stefan was a practically-minded person. He had a talent to apply his scientific results to technical and industrial purposes. Even though Loschmidt once had worked in a factory, he was the personified stereotype of the non-practical scientist. Stefan also received general recognition. He was elected dean and principal of the University of Vienna. Additionally, he was secretary and later even vice president of the Academy of Sciences, whereas Loschmidt remained widely unknown.

But in one thing they did not differ. It was their boundless frugality, the simplicity and plainness of their personalities. To my knowledge neither Stefan nor Loschmidt have traveled outside the country. They have not attended scientific conferences and have not had close contact to foreign scientists.

I cannot endorse this because I believe otherwise they could have achieved even more. At least their accomplishments would have become familiar more quickly and therefore would have been more fruitful." ¹

Boltzmann always was anxious to keep in contact with scientists from within and outside the country. He undertook many journeys even though they sometimes were cumbersome. Boltzmann changed the place of his teaching activity seven times. Additionally, he visited

sen. Nicht nur, dass Boltzmann siebenmal den Ort seiner Lehrtätigkeit wechselte, er hat unter anderem auch Konstantinopel, Athen, Smyrna und Algier gesehen, lange Seereisen unternommen und Paris besucht; weitere Reisen führten ihn, von Deutschland und Italien ganz abgesehen, nach England, Holland und sogar dreimal nach Amerika. 1899 hielt er bei der Zentenarfeier der Clark-University in Worcester Vorlesungen „Über die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik“. 1904 wurde Boltzmann zu einem wissenschaftlichen Kongress bei der Weltausstellung in St. Louis eingeladen; Thema seines Vortrags war die statistische Mechanik.

Dokumentiert sind seine Reisen zu vielen Versammlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, einer altherwürdigen Wissenschaftsvereinigung im deutschen Sprachraum.

Im Sommer 1905 reiste Boltzmann zum dritten und letzten Mal über den Atlantik, um an der Universität Berkeley in Kalifornien einen sechswöchigen Vorlesungskurs abzuhalten. Mit seiner köstlichen Beschreibung der „Reise eines deutschen Professors ins Eldorado“² gibt Boltzmann eine kleine Kostprobe seiner literarischen Fähigkeiten. (Abb. 7.5)

Die Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte

Mit Ausnahme der Jahre 1870 und 1892 hat während Boltzmanns akademischer Tätigkeit alljährlich in einer anderen Stadt des deutschen Sprachraums eine große Veranstaltung der 1822 gegründeten Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte stattgefunden, kurz als „Naturforscherversammlung“ bezeichnet. Das Organ dieser Gesellschaft trägt die Bezeichnung „Verhandlungen deutscher Naturforscher und Ärzte“. Vorträge, die noch nicht publiziert waren, sind dort wörtlich wiedergegeben (O), über andere wurde nur referiert (R); wenn das Manuskript nicht rechtzeitig einging, konnte der Vortrag lediglich als stattgefunden vermerkt werden (V). Nur an zwei Versammlungen nahm Boltzmann teil ohne vorzutragen. Sein Name scheint dann aber nicht nur in der Teilnehmerliste auf, sondern auch

unter den Diskussionsteilnehmern (D) und Sektionsvorsitzenden. Es mag noch erwähnt sein, dass Boltzmann sowohl in den wissenschaftlichen Ausschuss der naturwissenschaftlichen Hauptgruppe als auch zum Vorstandsmitglied der Gesellschaft gewählt worden war.

Boltzmanns Aktivitäten an den Naturforscherversammlungen:

- 1875 Graz: Spiegelbeobachtungen mit sehr kleinen Spiegeln
- 1889 Heidelberg: Über das Verhältnis der Grösse der Moleküle zu dem von den Valenzen eingenommenen Raume
- 1891 Halle an der Saale: Über einige die Maxwellsche Electrizitätstheorie betreffende Fragen
- 1893 Nürnberg: Über die neueren Theorien der Electrizität und des Magnetismus
- 1894 Wien: Über Luftschiffahrt
- 1895 Lübeck: kein Vortrag
- 1897 Braunschweig: Über einige meiner weniger bekannten Abhandlungen über Gastheorie und deren Verhältnis zu derselben
- 1898 Düsseldorf:
 - 1.a) Zur Energetik
 - 1.b) Anfrage, die Hertzsche Mechanik betreffend
 - 1.c) Vorschlag zur Festlegung gewisser physikalischer Ausdrücke
 - 2.) Über die kinetische Ableitung von Formeln für den Druck des gesättigten Gases, für den Dissoziationsgrad von Gasen und für die Entropie eines das van der Waals'sche Gesetz befolgenden Gases
- 1899 München: Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit
- 1900 Aachen: Kein Vortrag
- 1903 Kassel: Über die Form der Lagrange'schen Gleichungen für nicht-holonome Koordinaten

for example Constantinople, Athens, Smyrna, Algiers and Paris. Furthermore he undertook journeys to Germany, Italy, England, Holland and even America. In 1899 he held lectures at centenary of the Clark University in Worcester: “About the basic principles and equations of mathematics.” In 1904 Boltzmann was invited to a scientific conference at the world fair in St. Louis. His topic was statistical mechanics.

Boltzmann’s journeys of to many conferences of the Society of German Naturalists and Medics – a most renowned scientific body in the German speaking countries – are well documented.

In the summer of 1905 Boltzmann travelled for the third and last time across the Atlantic Ocean. His goal was the Berkeley University in California, where he held a six weeks long course. With his delicious description of the journey in “Travel of a German professor into the Eldorado”² he gave a sample of his literary talent. (Fig. 7.5)

The Society of German Naturalists and Medics

With the exception of the years 1870 and 1892, every year during the time of Boltzmann’s academic career a big conference of the society of German Naturalists and Medics (founded 1822) took place. The location of the conference changed yearly and was always in a city within a German-speaking country. The journal of this society was called “Verhandlungen deutscher Naturforscher und Ärzte”. Lectures that had not been published until then were printed in their entirety (O); others were just referred to in an abstract (R). If the manuscript was not ready by the time of printing, the lecture was noted as having taken place (V). There were only two conferences where Boltzmann did not participate as a speaker. Though, his name appears in the list of attendants, in the list of panelists (D) and also in the list of section leaders. It must be mentioned that Boltzmann was elected into the scientific committee of the main group and also into the board of the society.

The activities of Boltzmann during the conference of the society of German Naturalists and Medics

1875 Graz: Observations with tiny mirrors

1889 Heidelberg: About the relation of the sizes of molecules to the space occupied by valences

1891 Halle an der Saale: About some questions regarding Maxwell’s theories of electricity

1893 Nuremberg: About the new theories of electricity and magnetism

1894 Vienna: About aviation

1895 Lübeck: No speech

1897 Braunschweig: About some of my less well-known works about the theory of gases

1898 Düsseldorf:

1.a) On energetics

1.b) Questions regarding the mechanics of Hertz

1.c) Proposal to define certain physical terms

2.) About the kinetic derivation of formulas for the pressure of saturated gases, for the degree of dissociation of gases and for the entropy of gases following the law of Van der Waals

1899 Munich: About the development of methods of today’s theoretical physics

1900 Aachen: No speech

1903 Kassel: About the form of Lagrange equations for non-holonomic coordinates

Boltzmanns Reisen

Amerikareisen:

- 1899 Vortrag bei der Zentenarfeier der Clark University Worcester
- 1904 Vortrag bei einem wissenschaftlichem Kongress bei der Weltausstellung in St. Louis
- 1905 Sechswöchiger Vorlesungskurs an der Universität Berkeley in Kalifornien

Weitere Reisen (Auswahl):

- 1870 Heidelberg, Berlin: Studienaufenthalte
- 1871 Berlin: Studienaufenthalt
- 1876 Schweiz: Hochzeitsreise
- 1888 Berlin
- 1892 Dublin
- 1894 Oxford
- 1895 Paris
- 1898 London, Niederlande
- 1901 Mittelmeerreise

Im Sommer 1894 wurde Boltzmann von der „British Association for the Advancement of Science“ zu einer Tagung nach Oxford eingeladen, um seine Vorstellung von der atomistischen Struktur der Materie zu verteidigen. Bei dieser Gelegenheit wurde ihm auch das Ehrendoktorat der Universität Oxford verliehen. (Abb. 7.6)

Im September desselben Jahres nahm Ludwig Boltzmann an der 66. Naturforscherversammlung in Wien teil. Dabei setzte er sich begeistert für den Flugpionier Wilhelm Kress ein. (Abb. 7.7, 7.8) Überhaupt konnte sich Boltzmann für technische Neuerungen sehr begeistern. Seiner Frau konstruierte er eine elektrische Nähmaschine, lange bevor solche industriell gefertigt wurden.

Lise Meitner und Karl Przibram hörten zu dieser Zeit mit großer Begeisterung Vorlesungen bei Boltzmann. Przibram nannte sie „Vorlesungen von wunderbarer Klarheit“; Meitner lobte sie als die „schönsten und anregendsten, die ich je gehört habe.“

Przibram führt weiter aus: „Als es Boltzmann in einer Vorlesung über Maxwells Theorie gelungen war, etwas zu seiner eigenen Zufriedenheit recht klar herauszuarbeiten, meinte er: ‘So! Das muss doch jetzt jedes elektromagnetische Wickelkind verstehen!’“ (Abb. 7.9, 7.10, 7.11)

Boltzmanns Leitspruch war:

*Bring’ vor, was wahr ist;
Schreib’ so, dass es klar ist
Und verficht’s, bis es mit dir gar ist!*

Werk

Wissenschaftlich war die zweite Wiener Zeit Boltzmanns durch den Beginn seiner Auseinandersetzung mit Fachkollegen wie Wilhelm Ostwald und Ernst Mach mitgeprägt.

Vom 16. bis 20. September 1895 fand in Lübeck die 67. Versammlung der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte statt. Im Vordergrund des Interesses stand auf dieser Tagung ein Referat von Georg Helm mit dem Titel „Über den derzeitigen Zustand der Energetik“. Eine Kommission bestehend aus Boltzmann, Viktor von Lang, Georg Quincke und Gustav Wiedemann hatte bereits ein Jahr zuvor eine Behandlung des Themas „Energetik“ angeregt und Helm beauftragt, einen Vortrag für die Naturforscherversammlung vorzubereiten.

Der Begriff Energetik geht auf William Rankine zurück. Rankine nannte die neue Wissenschaft, welche die Naturvorgänge mit Hilfe der Energiebegriffe – insbesondere die Grundlagen der Mechanik – zu erkennen strebt, Energetik. Das Energiegesetz wird zur Weltanschauung ausgebildet.

Im Juni 1895 erschien eine diesbezügliche Arbeit Helms in Wiedemanns Annalen. Helm erbat sich Berichtigungen und Ergänzungen, um die Diskussion zu erleichtern – ein Wunsch, der für ihn nicht in Erfüllung ging, denn Ludwig Boltzmann griff wiederholt in die Debatte ein. Arnold Sommerfeld (Abb. 7.12) beschreibt in seiner Rede „Das Werk Boltzmanns“ anlässlich der 100. Wiederkehr von dessen Geburtstag die Auseinandersetzung mit den folgenden Worten:

„Das Referat für die Energetik hatte Helm – Dresden; hinter ihm stand Wilhelm Ostwald, hinter beiden die Naturphilosophie des nicht anwesenden Ernst Mach. Der Opponent war Boltzmann, sekundiert von Felix Klein. Der Kampf zwischen Boltzmann und Ostwald glich, äußerlich und innerlich, dem Kampf des Stiers mit dem geschmeidigen Fechter. Aber der Stier besiegte diesmal den Torero trotz all seiner Fechtkunst. Die Argumente Boltzmanns schlugen durch. Wir damals jüngeren Mathematiker standen alle auf der Seite Boltzmanns; es war uns ohne weiteres einleuchtend, dass aus der einen

Boltzmann's Travels*Travels to America:*

1899 *Speech at a ceremony at the Clark University Worcester*

1904 *Speech at a scientific congress at the world fair in St. Louis*

1905 *Six weeks long course at the Berkeley University in California*

Further Travels (selection):

1870 *Heidelberg, Berlin: Study visits*

1871 *Berlin: Study visit*

1876 *Switzerland: Honeymoon*

1888 *Berlin*

1892 *Dublin*

1894 *Oxford*

1895 *Paris*

1898 *London, Netherlands*

1901 *Voyage over the Mediterranean Sea*

In the summer of 1894 the “British Association for the Advancement of Science” invited Boltzmann to a conference at Oxford to defend his belief in the atomistic structure of matter. At this conference he was awarded an honorary doctorate from the University of Oxford. (Fig. 7.6)

In September 1894 Ludwig Boltzmann participated at the 66th “Naturforscherversammlung” in Vienna. There he stood up for the aviation pioneer Wilhelm Kress. (Fig. 7.7, 7.8) Boltzmann was much interested in new technologies. For his wife he constructed an electrical sewing-machine long before they had been manufactured industrially.

At this time Lise Meitner and Karl Przibram attended Boltzmann's lectures with great enthusiasm. Przibram called them “lectures of incredible clarity”; Meitner praised them as “the finest and inspiring lectures I have ever heard.”

Przibram further said that during a lecture Boltzmann elaborated some aspects of Maxwell's theory very clearly and then said: “Allright! Even an electromagnetic infant should understand this now!” (Fig. 7.9, 7.10, 7.11)

Boltzmann's motto was as follows:

Bring' vor, was wahr ist;
Schreib' so, dass es klar ist
Und verficht's, bis es mit dir gar ist!

Basically, this means:

Tell that which is true
Write it down understandably
And think about it until your doubts disappear.

Works

From the point of view of science, the second period of Boltzmann in Vienna was stamped by the beginning of disputes with colleagues like Wilhelm Ostwald and Ernst Mach.

In 1895 the 67th convention of the Society of German Naturalists and Medics was held in Lübeck. One of the highlights was the speech of Georg Helm with the title “About the current state of energetics.” This topic had been suggested in year before by a commission consisting of Boltzmann, Viktor von Lang, Georg Quincke and Gustav Wiedemann; Helm was asked to prepare something.

The term “energetics” originates from William Rankine. Rankine applied it to the new science which tried to explain processes of nature – especially the laws of mechanics – in terms of energy. Thus, the law of energy was used as the foundation of a new worldview.

In June 1895 Helm's work about this topic was published in “Wiedemanns Annalen”. Helm asked for corrections and amendments in order to ease the discussions – a wish that was not fulfilled because Boltzmann repeatedly intervened in the debate. On the occasion of the 100th anniversary of Boltzmann's birthday, Arnold Sommerfeld (Fig. 7.12) held a speech on “The works of Boltzmann”. In this speech he described the dispute with the following words:

“The main advocate of energetics was Helm – Dresden; followed by Wilhelm Ostwald and the not present Ernst Mach. Boltzmann was the opponent, attended by his fugleman Felix Klein. The dispute between Boltzmann and Ostwald seemed like the fight of a bull against a flexible fencer. But this time the bull won against the torero, his art of fencing notwithstanding. Boltzmann had the winning arguments. At this time, the young mathematicians – I was among them – were on the side

Energiegleichung unmöglich die Bewegungsgleichungen auch nur eines Massenpunktes, geschweige denn eines Systems von beliebigen Freiheitsgraden gefolgert werden könnten. Mit der Energetik Hand in Hand ging bei Mach und Ostwald die Ablehnung des Atomismus. Dass Boltzmann auch in diesem Punkte widersprechen musste, ist selbstverständlich.“³

Ostwald hat nach dieser hart geführten Lübecker Diskussion einen Zusammenbruch erlitten und musste sich für ein halbes Jahr beurlauben lassen.

Im Vorwort zum zweiten Band seiner Gastheorie (Abb. 7.13) schrieb Boltzmann: „Ich habe nun die Überzeugung, (...) dass die Rolle der Gastheorie in der Wissenschaft noch lange nicht ausgespielt ist. (...) Aus der Theorie des Verhältnisses der spezifischen Wärmen erschloss Ramsay das Atomgewicht des Argons, und damit dessen Stelle im Systeme der chemischen Elemente, von welcher er nachher durch die Entdeckung des Neons nachwies, dass sie in der That die richtige war. Ebenso folgerte Smoluchowski aus der kinetischen Theorie der Wärmeleitung die Existenz und Größe des Temperatursprungs bei der Wärmeleitung in sehr verdünnten Gasen.“

Es wäre daher meines Erachtens ein Schaden für die Wissenschaft, wenn die Gastheorie durch die augenblicklich herrschende ihr feindselige Stimmung zeitweilig in Vergessenheit gerieth, wie z. B. einst die Undulationstheorie durch die Autorität Newton's.“⁴

Es ist traurig, dass Boltzmann den endgültigen Durchbruch des atomistischen Weltbilds im Zuge der theoretische Aufklärung der Brownschen Bewegung, die kurz vor seinem Tod erfolgte und die auch Ostwald vom Atomismus überzeugt hat, nicht mehr verarbeiten konnte. (Abb. 7.14)

Atomistik

Ludwig Boltzmann hatte unbegrenztes Vertrauen in die Atomistik. Wo er nur konnte, bemühte er sich, physikalische Erscheinungen auf Grundlage der Atomlehre zu deuten. „Doch glaube ich auch von den Molekülen beruhigt sagen zu können: Und dennoch bewegen sie sich!“⁵

Die Stellung der Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts zur Atomistik erscheint heute als

sehr widerspruchsvoll. In der Chemie hatte sich der Atombegriff schon völlig durchgesetzt und durch das Periodensystem der Elemente von Mendelejew einen entscheidenden Triumph gefeiert. In der Physik hingegen sollte die Atomlehre noch lange auf ihren Durchbruch warten müssen. Während Boltzmann ein konsequenter Anhänger dieser Lehre war, wurde sie unter anderen von Mach, Ostwald und anfänglich auch von Planck in Frage gestellt und ihre Befürworter bekämpft.

Mach schätzte Boltzmann als einen „kaum zu übertreffenden Experimentator“, seine Atomistik lehnte er jedoch schroff ab. Mikroskopischen Denkvorstellungen á la Boltzmann konnte er keinen Sinn abgewinnen, vielmehr glaubte er an eine durchweg kontinuierliche Struktur der Materie. Wie die weitere Entwicklung zeigte, irrte er hierin.

Als Planck im Jahre 1900 nach einer physikalischen Begründung seiner auf empirischem Wege gefundenen Strahlungsformel für einen schwarzen Körper suchte, stieß er auch auf Boltzmanns diskrete Energieelemente von 1877. Bis dahin stand er der statistischen Auffassung Boltzmanns eher ablehnend gegenüber und hielt zudem das atomistische Konzept, auf dem diese beruhte, für verfehlt. Da sich jedoch eine Begründung der Strahlungsformel nur über die „Methode Boltzmann“ finden ließ, entwickelte sich Planck von einem Anhänger Ernst Machs und von einem Anti-Atomisten zu einem, wie er selbst sagte, „Sekundanten Boltzmanns“.

„Dass Boltzmann in dem Kampf gegen Ostwald und die Energetiker sich schließlich durchsetzte, war für mich nach dem Gesagten eine Selbstverständlichkeit. Die grundsätzliche Verschiedenheit der Wärmeleitung von einem rein mechanischen Vorgang wurde allgemein anerkannt. Dabei hatte ich Gelegenheit, eine, wie ich glaube, bemerkenswerte Tatsache festzustellen. Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen,

of Boltzmann. To us it seemed plausible that it would not be possible to derive equations such as the equation of motion from this one equation of energy. The theory of energetics was accompanied by the refusal of atomism. It was obvious that Boltzmann had to object here as well.”³

After this tough discussion Ostwald had a breakdown and he had to take vacation for half a year.

In the foreword to his second volume about the theory of gases (Fig. 7.13) Boltzmann wrote: “I am now convinced that the role of the theory of gases has not displayed its importance yet. (...) Starting from the theory of specific heat, Ramsay deduced the atomic weight of argon and thereby determined its position in the periodic table of elements. The later discovery of neon proved this to be correct. With respect to thermal conductivity, Smoluchowski deduced the existence and quantity of the temperature jump for depleted gases from the kinetic theory. In my opinion it would be a damage for science if the theory of gases would be neglected just because of the current hostile spirit.”⁴

It is a pity that Boltzmann had no real chance to appreciate the final breakthrough of the theory of atomism by way of the explanation of Brownian motion. It happened only a very short time before his death and finally even Ostwald was convinced. (Fig. 7.14)

Atomism

Ludwig Boltzmann’s trust in atomism was unlimited. Wherever possible he tried to interpret physical phenomena based on atomism.

“About molecules I can say the following: And yet, they move!”⁵

The attitude of the scientists in the 19th century towards atomism seemed to be contradictory. In the field of chemistry the term “atom” was fully acknowledged, especially after Mendeleev’s discovery of the periodic system

of elements. In the area of physics, on the other hand, the concept of atomism had to wait a long time until it became accepted as a fact. Whilst Boltzmann was one of the advocates of atomism, others like Mach, Ostwald and at the beginning also Planck questioned this idea and fought against its proponents.

Mach esteemed Boltzmann and called him “an almost unsurpassable experimenter”, but he strictly rejected Boltzmann’s theory of atomism. He could not see any sense in this microscopic concept in Boltzmann’s thinking. He rather believed in a continuous structure of matter. But as the further developments showed, he was mistaken.

During Planck’s search for a physical substantiation of his experimentally found formula for the radiation of a black body, he encountered Boltzmann’s discrete energy elements from 1877. Until then, his attitude was directed against Boltzmann’s statistical method and also against the theory of atomism on which it was based. But since he could find an explanation of the radiation formula only through the use of Boltzmann’s methods, he developed from an advocate of Mach to an – as he termed it – “fugleman of Boltzmann”.

“After this it was obvious for me that Boltzmann would win the argument against Ostwald and the other supporters of energetics. The fundamental difference between thermal conductance and a merely mechanical process had to be acknowledged. At the same time I had the opportunity to find an, as I see it, noteworthy fact: A new scientific truth does not become accepted by convincing its opponents, but rather by waiting until they all have passed away and a new generation is growing up from the very beginning with this new idea.”⁶

1 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 92

2 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 403f

3 Sommerfeld, Arnold: Ludwig Boltzmann - Zur 100. Wiederkehr seines Geburtstages, Wiener Chemiker-Zeitung 47 (1944)

4 Boltzmann, Ludwig: Vorlesungen über Gastheorie, 2. Teil, Leipzig: Barth, 1898

dass ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, dass die Gegner allmählich aussterben und dass die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist.“⁶

Und auch Henri Poincaré, der der Atomistik anfangs sehr ablehnend gegenüberstand, erweist sich in seinen „Letzten Gedanken“ (dt. 1913) als inzwischen überzeugter Atomist: „Die alten mechanistischen und atomistischen Hypothesen haben in letzter Zeit sich so befestigt, dass sie aufhörten, uns noch als Hypothesen zu erscheinen. Die Atome sind nicht mehr bloß eine bequeme Vorstellung.“

Im Jahr 1896 publizierte der bedeutende Mathematiker Ernst Zermelo, der Assistent bei Max Planck in Berlin war, seinen Wiederkehrerwand gegen Boltzmanns H-Theorem.⁷

Die Auseinandersetzung Zermelos (Abb. 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19) mit Boltzmann über die Anwendung eines Satzes von Poincaré, der anfänglich auch ein überzeugter Gegner der Atomisten war, legt in aller Deutlichkeit ein fundamentales Problem der theoretischen Physik offen: Ein beliebiges System, in welchem die Gesetze der Mechanik gelten, muss nach endlicher Zeit jedem Zustand, den es überhaupt einnehmen kann, beliebig nahe kommen, und zwar immer wieder. Eine dauernde Veränderung in eine bestimmte Richtung ist ausgeschlossen. Marian Smoluchowski formulierte diesen Sachverhalt so: „Würden wir unsere Beobachtung unendlich lange fortsetzen, so würden alle Prozesse reversibel erscheinen.“⁸ Rechnungen zeigen aber, dass diese Wiederkehrzeiten enorm groß sind und die Lebensdauer des Universums im Vergleich dazu vernachlässigbar ist, sodass

die Wiederkehr in der Praxis nicht eintreten wird. Der Wiederkehrerwand ist somit mathematisch richtig, hat aber aus heutiger Sicht keine physikalische Relevanz.

Boltzmann schildert in seinen „Populären Schriften“ eine lustige Episode mit Bezug auf Zermelo. „Als mir Klein einen Enzyklopädieartikel auftrag, weigerte ich mich lange. Endlich schrieb er mir: ‚Wenn Sie ihn nicht machen, übergebe ich ihn dem Zermelo.‘ Dieser vertritt gerade die der meinen diametral entgegengesetzte Ansicht. Die sollte doch nicht in der Enzyklopädie die tonangebende werden, daher antwortete ich umgehend: ‚Ehe der Pestalutz es macht, mache ichs.‘ (Sämtliche Zitate, meist aus Schiller zur Nachfeier des Schillerjahres, sind mit Anführungszeichen versehen; man weise sie nach!) (Anm: Sie stammen aus dem ‚Wallenstein‘.)

Jetzt aber ist die Zeit, wo mein Artikel fällig wird. Ich hätte gern mich im September von den Reises Strapazen auf dem Lande erholt, aber ich habe mein Wort gegeben, muss also im September in der Literatur wühlen und mit einer kleinen Kohorte Wiener Physiker zusammen den Artikel fertig stellen. ‚Ewigkeit geschworenen Eiden.‘

Ähnlich scheint es auch Professor Wirtinger ergangen zu sein; denn als Emblem der Enzyklopädie zeichnete er eine Mausefalle; der Speck lockt und der Professor ist gefangen.“⁹

In diese Zeit fällt auch Boltzmanns Kontroverse mit Max Planck (Abb. 7.20) über irreversible Strahlungsvorgänge. Planck glaubte nämlich, aus der Tatsache, dass man stets von einer Strahlungsquelle auslaufende Kugelwellen beobachtet, nie aber solche, die konzentrisch auf einen Punkt zusammenlaufen, schließen zu können, dass hier eine Zeitrichtung ausgezeichnet sei. Boltzmann entgegnete darauf: „Alle Einseitigkeiten welche Herr Planck in der Wirkung der Resonatoren findet, rühren also daher, dass er einseitige Anfangsbedingungen wählt.“¹⁰

Also Henri Poincaré, who at the beginning was against atomism, turned into a convinced supporter in his “last thoughts” (published in the German language in 1913): “The old mechanistic and atomistic hypotheses have become very much settled and cannot be regarded as mere hypotheses anymore. Atoms are more than just a convenient way to imagine the inner structure of matter.”

In the year 1896 Ernst Zermelo, at this time assistant of Max Planck, published his *Wiederkehrwand* against Boltzmann’s H-theorem.⁷

Zermelo’s (Fig. 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19) dispute with Boltzmann about the application of a proposition by Henri Poincaré displayed a fundamental problem of theoretical physics: A physical system which is only ruled by the laws of mechanics must – given enough time – come arbitrarily close to any of its possible states. Any change in a certain direction will therefore be reversed sooner or later and cannot remain permanent. Marian Smoluchowski phrased this as follows: “If we could keep up our observations for an infinite time, all processes would turn out to be reversible.”⁸ But calculations show that in most cases these recurrence times are huge. In comparison to them, the lifespan of the universe is so short that it can be disregarded. Therefore, certain states will in practice never be reached. The *Wiederkehrwand* is mathematically correct, but from today’s point of view it has no physical relevance.

Boltzmann described in his “*Populäre Schriften*” (Popular works) a funny episode about Zermelo. “When Mr. Klein tried to assign an article for an encyclopedia to me and I refused it for quite a while he said: ‘If you are not going to do it, I will hand it over to Mr. Zermelo.’ Zermelo held a view that was diametrically opposed to mine. But this should not be predominant in the encyclopedia and therefore I responded: ‘Before Pestalutz does it, I will do it myself.’ (All quotes, mostly from Schiller, are provided with quotation marks; verify them!) (Remark: They are from ‘Wallenstein’.)

But now it is time to finish my article. I would rather recover from the stress and strains of my last journey, but I have given my word. Therefore I will have to dig into the literature and collaborate with a cohort of Viennese physicists to finish the article. ‘Eternity to sworn oaths.’

A similar fate seems to have overtaken Professor Wirtinger. As an emblem of the encyclopedia he drew a mousetrap; bacon lures and a professor is caught.”⁹

In this time also the controversy between Boltzmann and Max Planck (Fig. 7.20) about irreversible radiation processes was settled. Planck thought that from the fact that sources of radiation emit only spherical waves, but none that converge concentrically into a point, a specifically distinguished direction of time could be deduced. Boltzmann reacted in a sarcastic way: “The one-sidedness that Mr. Planck finds in the effect of resonators is caused by the one-sidedness of the initial conditions that he chooses.”¹⁰

5 Boltzmann, Ludwig: *Wissenschaftliche Abhandlungen, Über einige meiner weniger bekannten Abhandlungen über Gastheorie und deren Verhältnis zu derselben*, Leipzig: Barth, 1897, S. 608

6 Planck, Max: *Wissenschaftliche Selbstbiographie*, Leipzig: Barth, 1948

7 Zermelo, Ernst: *Wiedemanns Annalen*, Neue Folge 57 [1896], S. 485f

8 Smoluchowski, Marian: *Vorträge über die kinetische Theorie der Materie und Elektrizität*, 1914, zitiert von Hermann Weyl in *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton 1949, S. 204

9 Boltzmann, Ludwig: *Populäre Schriften*, Leipzig: Barth, 1905, S. 406

10 Boltzmann, Ludwig: *Wissenschaftliche Abhandlungen, Über irreversible Strahlungsvorgänge I.*, Leipzig: Barth, 1898, S. 616

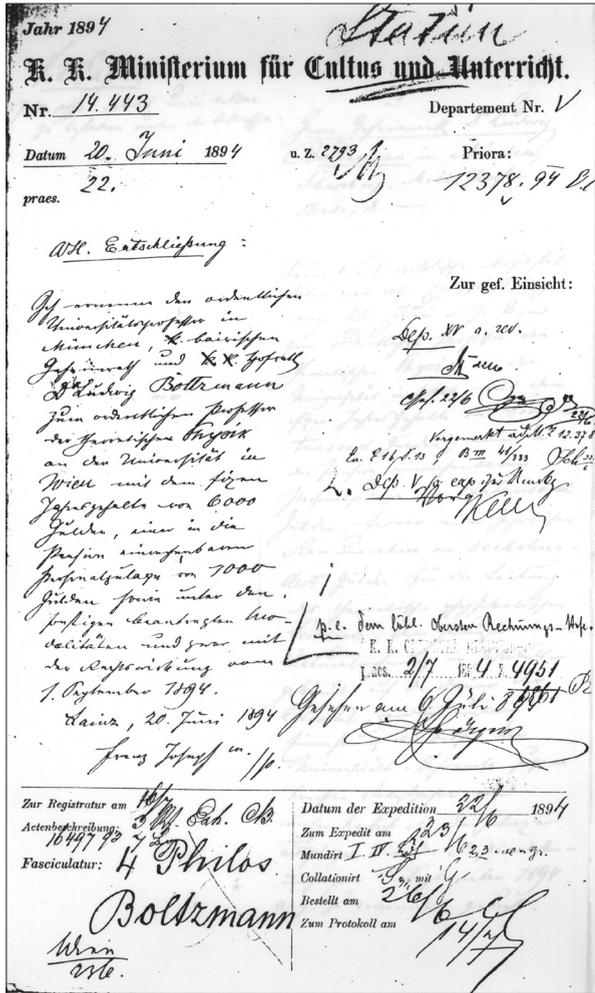


Abb. 7.1: Ernennungsurkunde/ Certificate of appointment, 1894



Abb. 7.2: Physikalisches Institut, Wien IX, Türkenstraße 3/Institute of Physics, 9th district of Vienna, Türkenstraße 3



Abb. 7.3: Denkmal von Josef Stefan im Arkadenhof der Universität Wien/Memorial of Josef Stefan in the Arkadenhof at the University of Vienna

nur als Gast im Stefan'schen Institute arbeitete. So ist das damals in Erdberg untergebrachte physikal. Institut ein Beweis, dass in schlechten Räumen Bedeutendes geleistet werden kann, ja, Erdberg blieb mir mein ganzes Leben hindurch das Symbol ernster, durchgeistigter experimenteller Thätigkeit. Als es mir in Graz gelungen war, in das dortige physikal. Institut einiges Leben zu bringen, nannte ich dasselbe scherzweise Klein-Erdberg. Nicht räumlich klein, meinte ich, es war vielleicht doppelt so gross, als Stefan's Institut; aber den Erdberger-Geist hatte ich noch lange nicht hineingebannt.

Noch in München, als die jungen Doctoranden zu mir kamen und gerne gearbeitet hätten, nur wussten sie nicht, was dachte ich: da waren wir in Erdberg doch andere Leute. Heute stehen die schönsten Apparate herum und man denkt nach, was man damit anfangen könne. Wir hatten immer genug Ideen; unsere Sorge war nur, woher die Apparate nehmen. Wenn es damals gelang, mit kleinen Mittel viel zu leisten, bitte ich aber daraus nicht den Schluss zu ziehen, dass man emsigen Forschern immer recht unzureichende Mittel zur Verfügung stellen solle. Eins blieb in der That in Wien zurück, nämlich der praktische Unterricht der Lehramtsandidaten im Experimentiren. Da sind eben solche Mittel wie sie heute nicht nur die physikal. Institute in Wien, Strassburg, sondern sogar in Erlangen

**Abb. 7.4: Auszug aus Boltzmanns Gedenkrede/
A part of the speech of Boltzmann**



**Abb. 7.5: Karl Przibram karikiert Boltzmann auf seiner Amerikareise/
Karl Przibram caricatured Boltzmann on his trip to America**

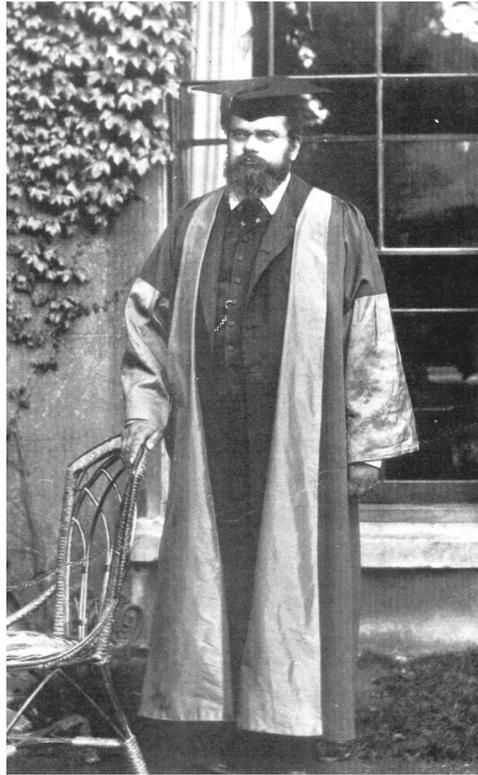
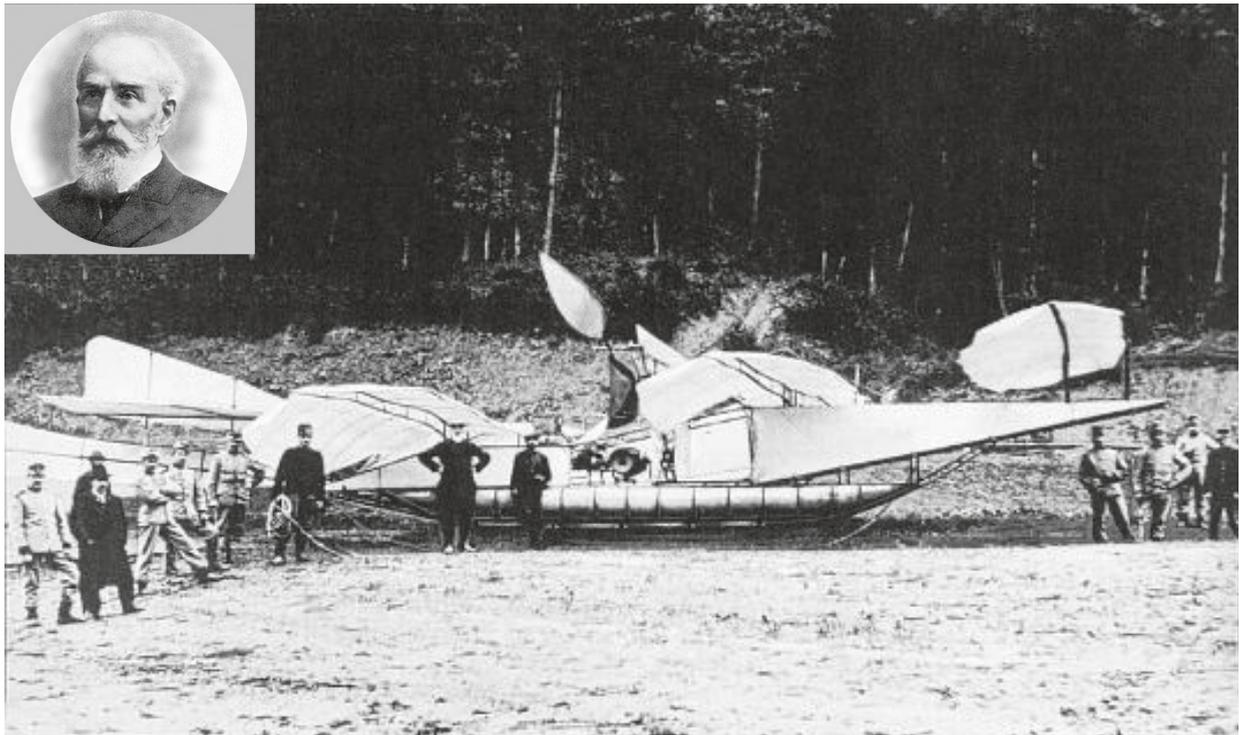


Abb. 7.6: Ehrendoktorat der Universität Oxford/Honorary doctorate from the University of Oxford, 1894

Abb. 7.8: Wilhelm Kress



*Abb. 7.7: Flugversuch von Kress/
Attempted flight by Kress in 1901*

Vorwort.

*Bring' vor, was wahr ist;
Schreib' so, dass es klar ist
Und verficht's, bis es mit dir gar ist!*

der statt des zweiten Theiles der Gas-
Mechanik publicire, so will ich das
auf berühmte Muster für die Reihen-

Abb. 7.11: Vorwort
aus „Principe der
Mechanik“/Foreword
from “Principles of
Mechanics”, 1897

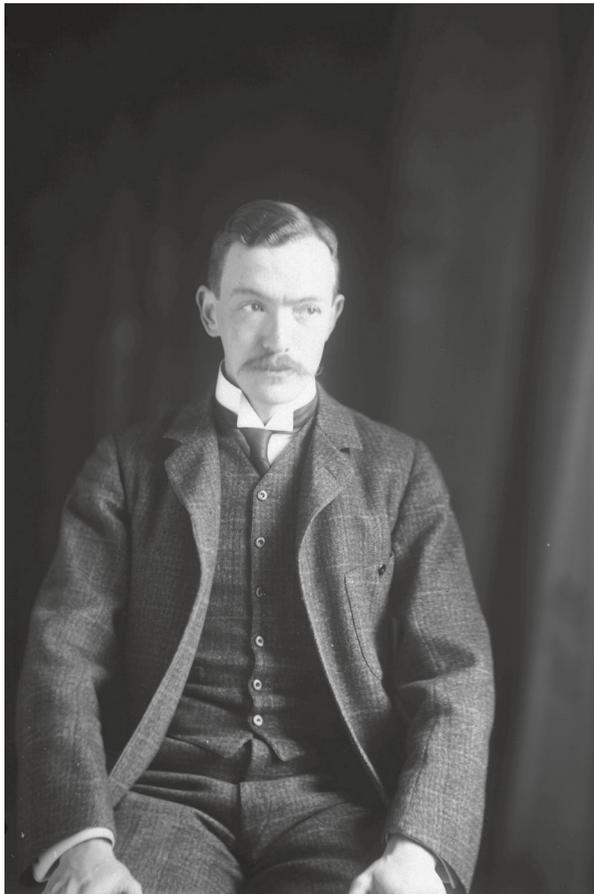


Abb. 7.9: Boltzmann-Karikaturist
Karl Przibram/Portrait of Przibram,
the caricaturist of Boltzmann

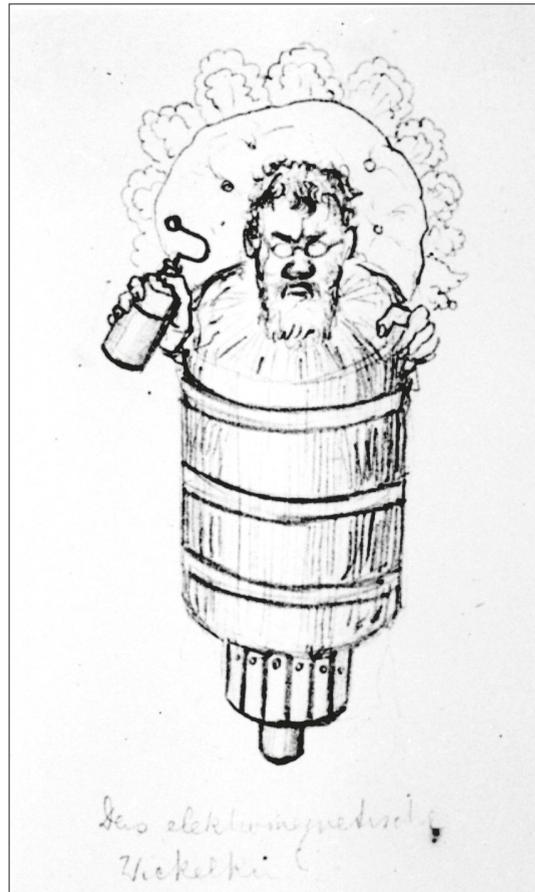


Abb. 7.10: Boltzmann als elektromagnetisches
Wickelkind, Karikatur von Karl Przibram/
Boltzmann drawn as electromagnetic infant,
caricature by Karl Przibram

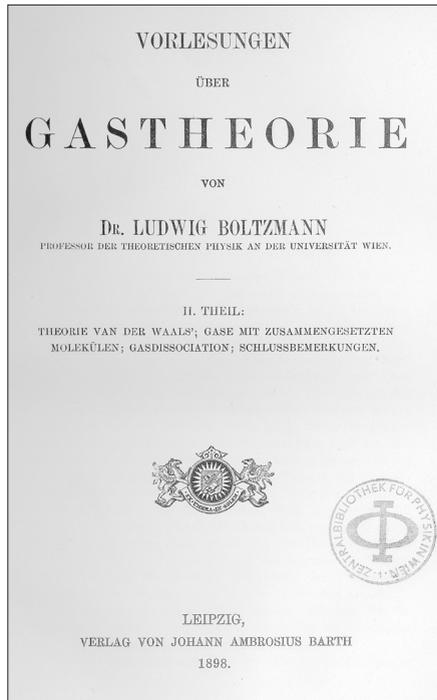


Abb. 7.13



Abb. 7.12: Arnold Sommerfeld



Abb. 7.14: Przibram-Karikatur:
Boltzmann über die Unentbehrlichkeit
der Atomistik/Caricature by Przibram:
Boltzmann about the indispensability
of atomism

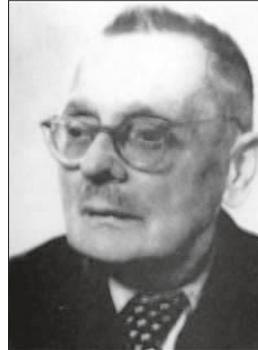


Abb. 7.15: Ernst Zermelo

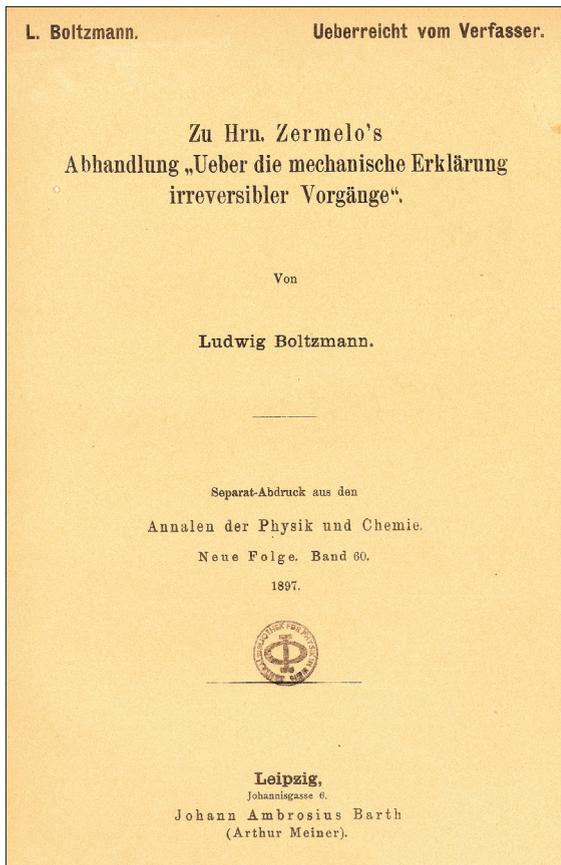


Abb. 7.16

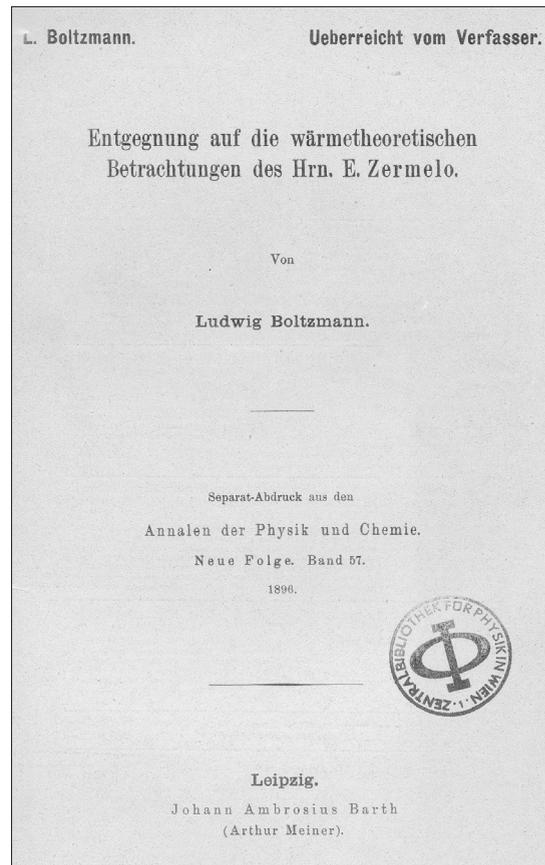


Abb. 7.17



Abb. 7.19: Henri Poincaré

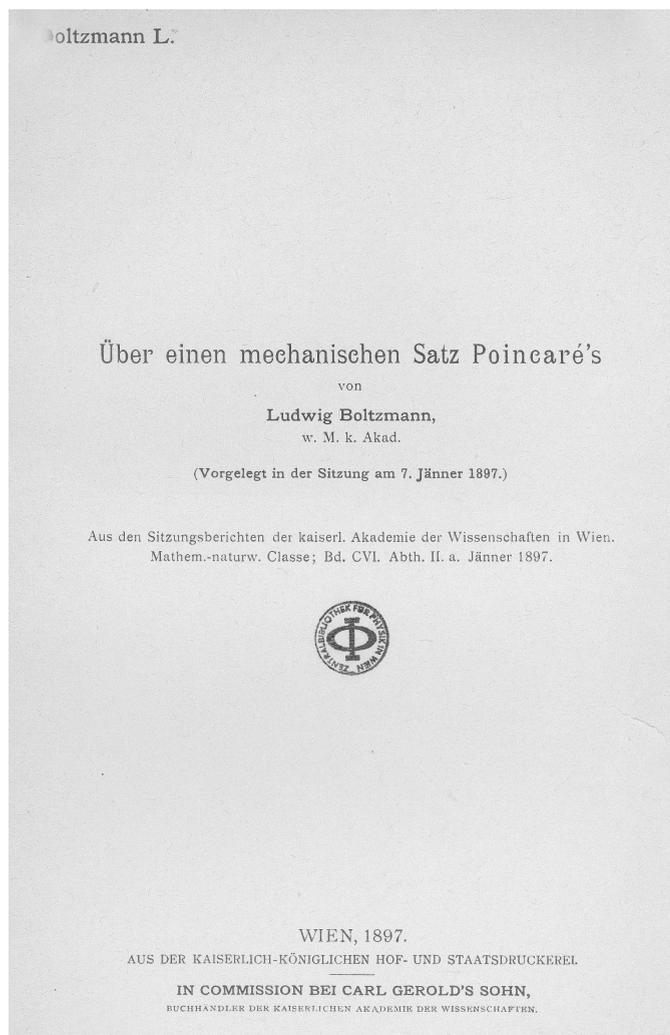


Abb. 7.18



Abb. 7.20: Max Planck (in der Mitte) mit Walter Nernst, Albert Einstein, Damian Milliken, Max von Laue (von links)/
 Max Planck (in the middle) with Walter Nernst, Albert Einstein, Damian Milliken, Max von Laue (from the left)

Als Boltzmann sich in Wien nicht mehr wohl fühlte und seine innere Unruhe immer größer wurde, bemühten er und seine Frau sich sehr um eine erneute Übersiedlung nach Deutschland. (Abb. 8.1) Ein privates Schreiben Wilhelm Ostwalds (Abb. 8.2) vom 9. Dezember 1898 enthält die erste Erwähnung einer möglichen Berufung Boltzmanns durch die sächsische Regierung, die bereit war, eine ordentliche Professur für mathematische Physik an der Leipziger Universität (Abb. 8.3) zu gründen.

Henriette Boltzmann bittet Ostwald in einem Brief, (Abb. 8.4) ihrem Gatten dabei zu helfen, an die Universität in Leipzig berufen zu werden. Dieses Schreiben ist historisch interessant, da die von ihr angeführten Gründe für den neuerlichen Wunsch ihres Mannes, von Wien und Österreich wegzukommen, in biographischen Veröffentlichungen nicht aufscheinen.

Allerdings heißt es in einem Brief Boltzmanns vom 13. Dezember 1898 an Ostwald: „Nur wären meine Ansprüche keine geringen, da ich in Wien ziemlich gut gestellt bin.“

Trotz ihrer wissenschaftlichen Kontroversen schätzten Ostwald und Boltzmann einander sehr. Ostwald trat dafür ein, dass Boltzmann das Ordinariat in Leipzig erhält. Am 10. April 1900 schrieb er in einem Brief an Boltzmann:

„Für mich persönlich wäre es ein harter Schlag, wenn Sie nicht kämen. Ich habe alle Einwendungen gegen Ihre Berufung, die dahin gerichtet waren, dass Sie nicht kommen würden, mit der Erklärung widerlegt, dass Sie jedenfalls bei genügendem Angebot kommen würden, und ein Misserfolg in dieser Sache würde mich um mein ganzes Ansehen in der Facultät und beim Ministerium bringen. Also – wenn Sie Ihre Wege schwanken, kommen Sie meinetwegen. Sie werden es nicht bereuen.“

Die Antrittsvorlesung hielt Boltzmann im November 1900.¹ (Abb. 8.5)

Die Lehrkanzeln an der Universität in Leipzig um 1900

Das Ordinariat für Physik war seit 1887 mit Gustav Wiedemann besetzt, dem Herausgeber der „Annalen für Physik und Chemie“ (auch: „Wiedemanns Annalen der Physik“ oder kurz „Wied. Ann.“). Als dessen Emeritierung bevorstand, wandte sich Ostwald, der seit 1887 den Lehrstuhl für physikalische Chemie innehatte, zunächst an Ernst Mach in Wien. Dieser lehnte in seinem

Antwortschreiben vom 18. November 1897 eine eventuelle Berufung ab. Tatsächlich wurde dann Otto Wiener aus Giessen geholt; ab 1899 versah er die Stelle Wiedemanns. Die mathematische Physik war seit 1894 durch den Extraordinarius Paul Drude vertreten. Dieser folgte nach kurzer Zeit enttäuscht einem Ruf als Ordinarius nach Giessen, von wo er später nach Berlin gehen konnte. Nun wandelte man nach einigem Zögern den Lehrstuhl in ein Ordinariat für theoretische Physik um und besetzte es mit Ludwig Boltzmann.

Arthur von Oettingen, Ostwalds früherer Lehrer, war wie dieser Baltendeutscher. Nach seiner Emeritierung in Dorpat wirkte er an der Universität Leipzig als Honorarprofessor und spielte eine große Rolle bei der Verwirklichung von Ostwalds Idee, die Originalarbeiten der bedeutendsten Vertreter der exakten Wissenschaften einem weiten Kreis zugänglich zu machen. Bei einer stattlichen Anzahl von Bändchen der Reihe „Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften“ scheint von Oettingen als Übersetzer und Herausgeber auf – genannt seien Galilei, Galvani oder Faraday.

Für zwei solcher Schriften konnte übrigens Boltzmann als Herausgeber gewonnen werden. Er besorgte die nötigen Übersetzungen selbst; zahlreiche, zum Teil sehr umfangreiche Anmerkungen fördern das Verständnis für die Maxwell'schen Abhandlungen.

Mathematik wurde von vier Ordinarien, einem Extraordinarius und zwei Privatdozenten gelehrt. Kurz vor der Ankunft Boltzmanns traten einige Veränderungen ein. Als Nachfolger von Sophus Lie wurde 1899 Otto Hölder aus Königsberg berufen. Gleichzeitig erlangte Friedrich Engel nach zehnjähriger Tätigkeit als außerordentlicher Professor ein Ordinariat. Carl Neumann, dessen gutes Einvernehmen mit Boltzmann aus Briefen hervorgeht, blieb von 1868 bis 1911 an der Universität Leipzig.

Privatdozenten für Mathematik an der Universität Leipzig waren Felix Hausdorff und Gerhard Kowalewski. Letzterer betonte Boltzmanns Umgänglichkeit und Wohlwollen im persönlichen Verkehr, insbesondere mit jungen Dozenten: (Abb. 8.6, 8.7)

„Im Professorenzimmer des Augusteums, wo die Professoren sich während der Pausen aufhielten, war Boltzmann immer sehr gesprächig. Er machte keinen Unterschied zwischen Ordinarien, Extraordinarien und Privatdozenten. Gerade mit uns Jüngeren plauderte er besonders gern. Ein Grundzug seines Wesens war gren-

After Boltzmann started to feel below par in Vienna, he and his wife strived to move to Germany. (Fig. 8.1) A private letter from Wilhelm Ostwald (Fig. 8.2) from the 9th of December 1898 contains the first mentioning of a possible appointment of Boltzmann to Leipzig. The government was willing to establish a professorship for mathematical physics at the University of Leipzig. (Fig. 8.3)

In a letter (Fig. 8.4) from Henriette Boltzmann to Ostwald she asked him to help her husband to get the position in Leipzig. This letter is interesting from a historical point of view because it gives reasons for Boltzmann's leave that are not mentioned in his biographies.

However, a letter from Boltzmann, dated December 13th, 1898 contains the following sentence: "... but my claims would not be small since I am in a good position in Vienna."

In spite of their scientific controversies Wilhelm Ostwald and Boltzmann respected each other very much. On the 10th of April, 1900 Ostwald wrote in a letter to Boltzmann that he supported him in his endeavours to obtain a chair in Leipzig:

"Personally, I would feel bad if you did not come. I have rebutted all objections against you by explaining that you would surely be willing to accept if the offer is financially satisfying. A failure in this matter could destroy my reputation at the faculty and also at the ministry. So, if you are unsure, please do it for me. You will not regret it!

Boltzmann held his inaugural lecture in November 1900.¹ (Fig. 8.5)

The chairs at the University of Leipzig around 1900

From 1887 on Gustav Wiedemann, the publisher of the „Annalen für Physik und Chemie“ (or simply „Wiedemanns Annalen“) had occupied the chair for physics in Leipzig. Shortly before Wiedemann's retirement, Ostwald, who occupied the chair for physical chemistry, contacted Ernst Mach in Vienna to ask whether he might be interested in Wiedemann's position. Mach declined in his letter from the 18th of November 1897. So Otto Wiener from Giessen was engaged in 1899. The extraordinary chair for mathematical physics had been occupied since 1894 by Paul Drude. Disappointment

made him move on to Berlin, but soon afterwards he followed a call to Giessen. After some hesitation the extraordinary chair was transformed into a full professorship and staffed with Ludwig Boltzmann.

Ostwald and his former teacher Arthur von Oettingen were both members of the German-speaking minority group in the Baltic provinces. After leaving Dorpat, Oettingen came to the University of Leipzig as an honorary professor. He played an important role in the realization of Ostwald's project to make the works of important scientists available to a wider public. In many volumes of "Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften" Oettingen acted as translator and editor – among them works by Galilei, Galvani and Faraday. Boltzmann could be won as the editor for two books of this series. He provided translations and added comprehensive notes for a better understanding of Maxwell's disquisitions.

Four full professors, one extraordinary professor and two private lecturers taught mathematics. But there were some changes shortly before Boltzmann's arrival: In 1899, Otto Hölder was appointed as the successor of Sophus Lie. At the same time Friedrich Engel became a full professor chair after ten years as an extraordinary professor. Carl Neumann, whose good relationship to Boltzmann is evident from letters, stayed at the University of Leipzig between 1868 and 1911.

The private lecturers for mathematics were Felix Hausdorff and Gerhard Kowalewski. The latter one emphasized Boltzmann's affability and friendliness especially with respect to the younger lecturers: (Fig. 8.6, 8.7)

"In the room at the Augusteum where the professors stayed during their breaks, Boltzmann was very communicative. He did not make any difference between ordinary or extraordinary professors and private lecturers. He liked to chat, especially with the younger ones among us. A basic characteristic trait was his philanthropy. He always wanted to know what I was going to teach and he was so anxious that he sometimes searched for a pencil and paper for me to explain it to him in even more detail. The best experience for him was to understand something. I will never forget these conversations with Boltzmann."²

But soon after Boltzmann came to Leipzig he started to regret it. He did not like the Saxon way of life and

zenlose Menschenfreundlichkeit. Er ließ sich jedes Mal von mir erzählen, was ich vortragen würde, und war dabei so eifrig, dass er manchmal Bleistift und Papier heraussuchte, um sich die Sache noch besser erklären zu lassen. Etwas zu verstehen, war für ihn das schönste Erlebnis. Diese Unterhaltungen mit Boltzmann bleiben mir unvergesslich.“²

Aber bald schon bereute Boltzmann den Wechsel nach Leipzig. Ihm sagte die sächsische Lebensart und die sächsische Küche nicht zu, und sein Gemütszustand verschlechterte sich zusehends. Es kam hier auch zu den ersten Selbstmordversuchen von Ludwig Boltzmann.

Grete, eine Tochter Ostwalds, schildert die Abende, die Boltzmann im Kreise ihrer Familie musizierend verbrachte. Mit Vorliebe spielte man Haydn, Mozart, Schubert oder Beethoven und versuchte so, Boltzmanns depressiver Verfassung entgegenzuwirken. Die Kurzsichtigkeit des Pianisten Boltzmann sei schon so weit fortgeschritten gewesen, dass er zum Notenlesen stets eine zweite, mitunter sogar eine dritte Brille brauchte.³ Grete Ostwald rühmt auch die Gastfreundschaft, die ihr und ihrem Vater im Jahre 1904 zuteil wurde, als sie anlässlich des vielzitierten Vortrags von Ostwald über die Theorie des Glücks vor der Philosophischen Gesellschaft in Wien im Hause Boltzmanns wohnten.

Warum strebte nun Ludwig Boltzmann schon nach so kurzer Zeit nach Wien zurück? Die schwere Erkrankung Ernst Machs im Winter 1901/02 kann da entscheidend mitgewirkt haben. Aber auch Ostwalds Hinweis auf die sich in Leipzig manifestierende Kollegangst, die „unbesiegbare Sorge, dass ihm Geist und Gedächtnis plötzlich mitten in der Vorlesung versagen könnten“, ist beachtenswert. Aus dieser Zeit stammt der folgende Brief Boltzmanns an den Dekan der philosophischen Fakultät der Universität Wien: (Abb. 8.8)

„Eure Spectabilität!

Zunächst spreche ich meine große Freude darüber aus, dass meine Wiener Collegen daran denken mich wieder nach Wien zurückzuberufen und danke Ihnen, hochverehrter Herr Decan, bestens für Ihre geehrte Zuschrift. Ich habe es in der That, obwohl ich auch in Leipzig nur Liebes und die zuvorkommendste Behandlung erfuhr, doch schon sehr bereut, Wien verlassen zu haben. Mei-

ne Anhänglichkeit an Österreich ist zu groß und ich kann mich nur sehr schwer an die norddeutschen Verhältnisse gewöhnen. Ich würde daher einer Rückberufung an die Universität Wien als Professor der theoretischen Physik sehr gerne Folge leisten. Was meine Thätigkeit am physikalischen Institute anbelangt, so habe ich ja dieselbe nie in dem Umfange wie einst Hr. Hofrat Stefan ausgeübt; ich hätte daher gegen eine Veränderung in dieser Hinsicht principiell nichts einzuwenden. Die näheren Details hierüber, sowie bezüglich meiner übrigen Verpflichtungen und Bezüge müssten natürlich den Specialverhandlungen vorbehalten bleiben. Mit ausgezeichnete Hochachtung

Ihr Ergebenst, Ludwig Boltzmann.“

In Leipzig erreichte Boltzmann die Einladung zur 200-Jahr-Feier der Yale University, die zu diesem Anlass die Verleihung einer Anzahl von Ehrendoktoraten plante. Zu diesem Zweck wurde eine Liste erstellt, die eine Auswahl bedeutender Namen europäischer Gelehrter enthielt. Die Physiker wurden von Josiah Willard Gibbs ausgewählt und sah vier Ehrendoktoren vor: Lord Rayleigh, Henri Poincaré, Lord Kelvin und Ludwig Boltzmann. Daraus kann man die Wertschätzung ablesen, die Boltzmann in dieser Zeit entgegengebracht wurde.

Werk

Wegen seines angeschlagenen Gesundheitszustandes und den damit verbundenen Sanatoriumsaufenthalten konnte Ludwig Boltzmann in Leipzig wissenschaftlich nur sehr wenig leisten. Ostwald gewann ihn für die Mitarbeit an seinen „Klassiker der exakten Wissenschaften“, für die Boltzmann zwei Bände mit Abhandlungen von J. C. Maxwell herausgab. (Abb. 8.9, 8.10)

Boltzmann war ein guter Lehrer und wurde von seinen Schülern sehr verehrt. Als Boltzmanns Schüler können alle jene bezeichnet werden, die bei Boltzmann Vorlesungen gehört und später in seinem Geiste gewirkt haben, ebenso Dissertanten, deren Arbeiten von Boltzmann begutachtet wurden und bei denen Boltzmann Prüfer war.

he did not enjoy the local cooking. His mental state decreased noticeably and he made his first attempt at suicide.

In her memoirs, Ostwald's daughter Grete described the evenings with the family that were spent together making music. They liked to play music by Haydn, Mozart, Schubert and Beethoven and tried to counteract Boltzmann's depressive mood. His shortsightedness was so acute that he needed two or even three pairs of glasses in order to read the notes.³ Grete Ostwald also praised the hospitality of the Boltzmann family when in 1904, she and her father stayed in Vienna on the occasion of Ostwald's lecture on the energetic theory of happiness in front of the philosophic society in Vienna.

The question arises why Boltzmann wanted to return to Vienna so early. Most likely the serious disease of Ernst Mach in Winter 1901/02 played a major role. According to Ostwald another reason was that Boltzmann suffered from the fear that he might suddenly lose his mind and memory during a lecture. The following letter from Boltzmann to the dean of the faculty of philosophy at the University of Vienna is from this period: (Fig. 8.8)

"Honourable Dean,

First, let me express my happiness that my Viennese colleagues are thinking about a new appointment for me. I am very thankful for your letter. Indeed, I was treated very well in Leipzig, but still I sometimes regret that I left Vienna. My bond with Austria is too strong and I cannot get used to Northern German habits. I would like to accept the appointment to the University of Vienna as a professor for theoretical physics. Concerning my function at the institute, I have not carried it out as extensive as Hofrat Mr. Stefan; therefore I would not mind a change in this respect. We can talk about further details as well as additional responsibilities and remunerations in person.

Sincerely yours,

Ludwig Boltzmann"

During his time in Leipzig Ludwig Boltzmann received an invitation to the 200-year celebration of Yale University. On this occasion the university planned to award a number of honorary doctorates. For this reason a list was created which contained a selection of the most important European academics. The physicists on this list were selected by Josiah Willard Gibbs who singled out four names: Lord Rayleigh, Henri Poincaré, Lord Kelvin and Ludwig Boltzmann. This fact indicates the appreciation of Boltzmann and his work at this time.

Works

Due to his poor health and the related stays in sanatoriums Boltzmann could not achieve much in Leipzig. Most likely he spent a lot of effort to organize his return to Vienna. He worked on Ostwald's "Classics of Exact Science" for which he edited two volumes by J. C. Maxwell (Fig. 8.9, 8.10)

Boltzmann was a gifted teacher and his students adored him. Among Boltzmann's pupils can be counted those who attended one of his lectures, doctoral students whose dissertations were appraised by him or students who were examined by him.

Schüler Boltzmanns

Bei Ludwig Boltzmann angefertigte
Dissertationen:

Wien

Hocevar Franz (1853 Möttling, Krain – 1919
Graz): Über einige bestimmte Integrale.
Handschriftlich.

Graz

Klemencic Ignaz (1853 Treffen, Krain – 1901
Treffen): Beobachtungen über die elastische
Nachwirkung am Glase.

Wrzal Friedrich (1853 Mährisch Ostrau
– ?): Wärmekapazität der Wasserdämpfe bei
konstanter Sättigung.

Hoffmann Josef (1854 Pettau – ?): Die
Geometrie in ihrer Abhängigkeit von den
Massverhältnissen des Raumes.

Hausmaninger Victor (1855 Kirchdorf, OÖ
– 1907): Zur Theorie des longitudinalen
Stosses zylindrischer Körper.

Czermak Paul (1857 Brünn, Mähren – 1912
Innsbruck): Der Wert der Integrale A_1 und
 A_2 der Maxwellschen Gastheorie unter
Zugrundelegung eines Kraftgesetzes.

Aulinger Eduard (1854 Wien – 1922
Wien): Über das Verhältnis der Weberschen
Theorie der Elektrodynamik zu dem von
Hertz aufgestellten Prinzip der Einheit der
elektrischen Kräfte. 1886

Lampel Anton (1854 Graz – 1890 Graz):
Über Drehschwingungen einer Kugel mit
Luftwiderstand; 1888

Hiecke Richard (1864 Wien – 1948
Wien): Über die Deformation elektrischer
Oszillationen durch die Nähe geschlossener
Leiter. 1888

Romich Thomas (1854? Maria Dobje, Stmk.
– ?): Experimentaluntersuchung dielektrischer
Körper in Bezug auf ihre dielektrische
Nachwirkung.

Experimentaluntersuchung über die
Fernwirkung dielektrischer Körper. 1889

Streintz Franz (1855 Graz – 1922): hat seine

Arbeit noch unter Toepler angefertigt; die
Prüfung konnte er erst nach der Berufung
Boltzmanns bei diesem ablegen.

München

Curry Charles Emerson (1868 Boston – 1935
Riederau/Landsberg): Die Fortpflanzung von
Verdichtungsstößen in einem Gase. 1893/94
Preston Samuel Tolver (1844 Yarmouth
– 1917 Hamburg): Über das gegenseitige
Verhältnis einiger zur dynamischen Erklärung
der Gravitation aufgestellter Hypothesen.
1894

Camerer Rudolf (1869 Karlsruhe – 1921
München): Über die Totalreflexion des
Lichtes an dichten (derben) kristallinen
Substanzen. 1894

Heinke Curt (1864 Breslau – 1942
München): Beiträge zur Messung von
Induktionskoeffizienten und Kapazitäten.
1894

Werther Julius (1870 Breslau – ?): Beiträge
zur Theorie von Apparaten zur Anfertigung von
Mikrometerschrauben. 1893

Wien

Stanzel Karl (1879 Wien – ?): Über die
Diffusion in sich selbst.

Ehrenfest Paul (1880 Wien – 1933 Amster-
dam): Die Bewegung starrer Körper in
Flüssigkeiten und die Mechanik von Hertz.
1904

Frank Otto (1883 Vienna – 1958 Hainburg/D.):
Über die Potentialdifferenz an der
Berührungsstelle zweier verschiedener
Elektrolyte für den Fall, dass die Kationen
untereinander und ebenso die Anionen die
gleiche Wertigkeit besitzen. 1906

Radakovits Johann (1877 Cilli, Stmk.
– ?): Ionisierung der Gase durch galvanisch
glühende Drähte. 1906

Leipzig

In Leipzig sind keine Dissertanten Boltzmanns
nachweisbar.

Students of Boltzmann

Ludwig Boltzmann was in charge of the following dissertations:

Vienna

Hocevar Franz (1853 Möttling, Krain – 1919 Graz): About some definite integrals. Handwritten.

Graz

Klemencic Ignaz (1853 Treffen, Krain – 1901 Treffen): Observations of elastic aftereffects in glass.

Wrzal Friedrich (1853 Mährisch Ostrau – ?): Heat capacity of steam at a constant level of saturation.

Hoffmann Josef (1854 Pettau – ?): Geometry in dependency of the ratio of space.

Hausmaninger Victor (1855 Kirchdorf, OÖ – 1907): About the theory of longitudinal impacts on cylindrical bodies.

Czermak Paul (1857 Brünn, Mähren – 1912 Innsbruck): The value of the integral A_1 and A_2 of the Maxwell theory of gases based on a law of force.

Aulinger Eduard (1854 Vienna – 1922 Vienna): About the relationship of Weber's theory of electrodynamics and Hertz's principle of the unity of electric forces. 1886

Lampel Anton (1854 Graz – 1890 Graz): About rotary oscillation of a sphere with air resistance. 1888

Hiecke Richard (1864 Vienna – 1948 Vienna): About deformation of electric oscillation through the proximity of closed conductors. 1888

Romich Thomas (1854? Maria Dobje, Styria. – ?): Experimental investigation of dielectric bodies in relationship to the dielectric aftereffects. 1889

Streintz Franz (1855 Graz – 1922): wrote his dissertation under Toepler, but took his exam with Boltzmann.

Munich

Curry Charles Emerson (1868 Boston – 1935 Riederau/Landsberg): The propagation of compaction impacts in gas. 1893/94

Preston Samuel Tolver (1844 Yarmouth – 1917 Hamburg): About the mutual relationship of some hypotheses regarding the dynamic explanation of gravitation. 1894

Camerer Rudolf (1869 Karlsruhe – 1921 Munich): About the total reflectance of light on dense crystalline substances. 1894

Heinke Curt (1864 Breslau – 1942 Munich): Contributions to the measurement of induction coefficients and capacities. 1894

Werther Julius (1870 Breslau – ?): Contributions to the theory of apparatuses for the making of micrometer screws. 1893

Vienna

Stanzel Karl (1879 Vienna – ?): About intrinsic diffusion.

Ehrenfest Paul (1880 Vienna – 1933 Amsterdam): The movement of solid bodies in liquids and the mechanics of Hertz. 1904

Frank Otto (1883 Vienna – 1958 Hainburg/D.): About the difference of potential on the place of contact of two electrolytes in the case of equivalence of cations and anions. 1906

Radakovits Johann (1877 Cilli, Styria – ?): Ionizations of gases through the use of galvanic glowing wires. 1906

Leipzig

No dissertations of Boltzmann are evident.

Die folgenden Physikstudenten und Studentinnen haben zwar ihre Dissertationen nicht bei Ludwig Boltzmann geschrieben, wurden aber von diesem geprüft (zweiter Referent):

Erben Friedrich	1896
Meyer Stefan	1896
Hauke Alfred	1897
Hasenöhrli Fritz	1897
Haschek Eduard	1897
Ludwig Rudolf	1897
Singer Oskar	1898
Szarvassy Arthur	1898
Kann Leopold	1898
Mache Heinrich	1898
Hock Julius	1899
Lehofer August	Dissertation von Exner und Boltzmann begutachtet und approbiert am 3. und 10. Oktober 1902 (letzte Eintragung im Prüfungsprotokoll)
Steindler Olga	1903
Ehrenhaft Felix	1903
Topolansky Moriz	1903
Knific Johann	1904
Blaha P. Vinzenz	1904
Zölss Josef (P. Bonifaz)	1904
Lohr Erwin	1904
Rozman Josef	1905
Schmidt Wilhelm	1905
Fasching Friedrich	1905
Meitner Elise	1906
Freud Selma	1906
Dobner Richard	1906, Dissertation von Exner und Boltzmann begutachtet; die Prüfung am 23. April 1906 wurde aber von Exner und Lang abgenommen.

In einigen Fällen war Ludwig Boltzmann dritter Prüfer, in erster Linie bei Mathematikern, aber auch bei Meteorologen und Chemikern. Von den Mathematikern seien Fanta, L. Schrutka, Blumencron genannt. Hans Hahn hatte das Pech, wegen Boltzmanns Übersiedlung nach Leipzig das Nebenrigorosum bei einem der Experimentalphysiker ablegen zu müssen. Von den fünf Prädikaten der strengen Prüfungen lauteten vier „ausgezeichnet“, lediglich in Physik reichte es nur auf „genügend“.

The following students did not write their dissertation under Boltzmann, but Boltzmann was second examiner:

<i>Erben Friedrich</i>	1896
<i>Meyer Stefan</i>	1896
<i>Hauke Alfred</i>	1897
<i>Hasenöhrl Fritz</i>	1897
<i>Haschek Eduard</i>	1897
<i>Ludwig Rudolf</i>	1897
<i>Singer Oskar</i>	1898
<i>Szarvassy Arthur</i>	1898
<i>Kann Leopold</i>	1898
<i>Mache Heinrich</i>	1898
<i>Hock Julius</i>	1899
<i>Lehofer August</i>	<i>Dissertation approved by Exner and Boltzmann on the 3rd and 10th of October 1902 (last entry in the protocol)</i>
<i>Steindler Olga</i>	1903
<i>Ehrenhaft Felix</i>	1903
<i>Topolansky Moriz</i>	1903
<i>Knific Johann</i>	1904
<i>Blaha P. Vinzenz</i>	1904
<i>Zölss Josef (P. Bonifaz)</i>	1904
<i>Lohr Erwin</i>	1904
<i>Rozman Josef</i>	1905
<i>Schmidt Wilhelm</i>	1905
<i>Fasching Friedrich</i>	1905
<i>Meitner Elise</i>	1906
<i>Freud Selma</i>	1906
<i>Dobner Richard</i>	<i>1906, Dissertation approved by Exner and Boltzmann; the exam was taken on the 23rd of April 1906 (examiners: Exner and Lang)</i>

In some cases Boltzmann was the third examiner, mainly in mathematics, but also in meteorology and chemistry. Among the mathematicians were Fanta, L. Schrutka and Blumencron. Hans Hahn was unfortunate: Due to the relocation of Boltzmann he had to take some exams with a professor of experimental physics. Four of the five exams were rated “excellent”. The one in physics was just rated “sufficient”.

1 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 309f

2 Kowalewski, Gerhard: Bestand und Wandel, München: Oldenbourg, 1950, S. 128

3 Ostwald, Grete: Wilhelm Ostwald, mein Vater, Berlin: Berliner Union, 1953

Leipzig, 9. Dezember 1898

Sehr geehrter Herr College!

Die sächsische Regierung ist im Prinzip bereit, eine ordentliche Professur für mathematische Physik an der hiesigen Universität zu gründen. Im Interesse unserer Universität habe ich an die Möglichkeit gedacht, Sie zu gewinnen; und möchte Sie um kurze Auskunft bitten, ob Sie auf entsprechende Bedingungen kommen würden. Die Personenfrage ist noch nicht erörtert worden, und meine Anfrage ist rein privater Natur; ich glaube aber nicht erst Ihnen darlegen zu müssen, dass uns die Möglichkeit, dass Sie der unsere werden könnten, außerordentlich erfreuen würde. Unser Ministerium wird einem Manne Ihres Ranges gegenüber es in keiner Weise an Entgegenkommen fehlen lassen, wie sich eben bei der leider erfolglos gebliebenen Berufung Röntgens gezeigt hat.

Sie sehen, dass ich unsere wissenschaftlichen Meinungsverschiedenheiten nicht so hoch anschlage, um die Hoffnung auf ein gedeihliches und förderliches Zusammenwirken zu verlieren. Ich hoffe im Gegentheil auf einen großen Gewinn für mich und einigen für die Wissenschaft.

Mit der Bitte um baldige, womöglich günstige Antwort bin ich

Ihr ganz ergebener

W. Ostwald

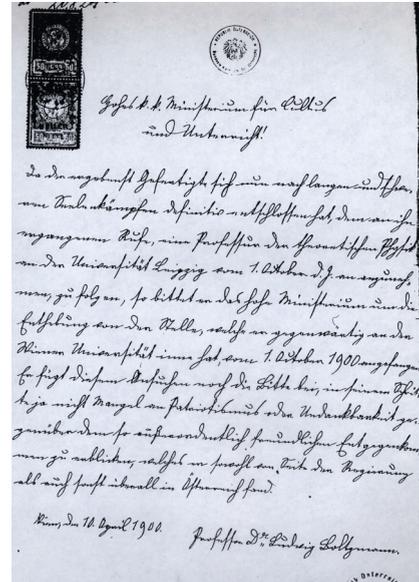


Abb. 8.1: Boltzmanns Wiener Entlassungsgesuch/Petition for release, 1900

Leipzig, Dezember 13th, 1898

Dear colleague,

The government of Sachsen is willing to create a professorship for mathematical physics at the local university. In the interest of the university I thought about the possibility to arouse your interest for this position. Therefore I would like to ask you for a response regarding the following conditions. Please note that this is just a private letter. We did not discuss staffing yet. But I think it is not necessary to explain to you how delighted we would be if you decided to join us. Our ministry is willing to meet your demands, as the unfortunately unsuccessful appointment of Mr. Röntgen showed.

You see that I do not overvalue our scientific dispute and I have hope for a productive and cooperative relationship. On the contrary I am hoping for a big gain for myself and for science.

Please send me your hopefully positive answer as soon as possible.

Yours truly,

W. Ostwald

**Abb. 8.2: Brief Ostwalds an Boltzmann/
Letter from Ostwald to Boltzmann, 1900**

Wien am 29. April 1899

Hochgeehrter Herr !

Ihre mir bekannte freundschaftliche und liebenswürdige Gesinnung gibt mir den Mut Ihnen zu sagen, daß ich so glücklich wäre, wenn die Berufung meines Mannes nach Leipzig zu Stande käme. Mein Mann bereut es stets tief von Deutschland fortgegangen zu sein und möchte so gerne wieder zurück. In München war er sehr zufrieden und hier fühlt er sich so maßlos unglücklich. Er hat hier auch keinen wissenschaftlichen Verkehr, keine Anregung und die hiesige schulmeisterhafte pro forma Thätigkeit ist ihm zuwider. Diese gedrückte Stimmung hat aber die nachtheiligste Wirkung auf ihn und auch meine heranwachsenden Mädchen leiden darunter. Da es aber *mein Einfluß* war, der meinen Mann dazu brachte der wiederholten Berufung nach Wien zu folgen, so liegt dieser Vorwurf schwer auf mir und Sie werden begreifen wie sehnlichst ich der Verwirklichung der von Ihnen meinem Manne eröffneten Aussicht nach Leipzig zu kommen entgegen sehe.

Antwort erwarte ich natürlich keine, ich schreibe auch ganz *im Geheimen*, hoffe aber auf milde Beurteilung dieser Zeilen.

Hochachtungsvollst

Ihre Ihnen vertrauende
Henriette Boltzmann

Abb. 8.4

Vienna, April 29th, 1899

Dear Sir!

Because of your known amicable and kind disposition I have found the courage to tell you how happy I would be, if the appointment of my husband to Leipzig was successful. My husband regrets having left Germany and he would love to go back again. He was so happy in Munich and here he feels distraught. He does not have any scientific communication or incitation and he does not enjoy his didactic pro forma function here. This depressing ambience has had a bad influence on him and also affects my daughters. Since it was my influence, which convinced my husband to accept the appointment to Vienna, I feel deeply troubled and you will understand how much I am longing for the realization of the prospect that you offered.

Of course, I do not expect a reply to this letter. I am writing in secret and I hope that you will judge these lines mildly.

Yours respectfully,

Henriette Boltzmann

Abb. 8.3: Universität Leipzig/
The University of Leipzig

1. Antritts-Vorlesung.

Gehalten in Leipzig im November 1900.

Hochansehnliche Versammlung!

Wenn wir neue Gäste in das von uns lange bewohnte Heim einzuführen gedenken, so pflegen wir die Eingangsthür festlich zu schmücken. Ich bin an diese altherwürdige Universität berufen worden, um Sie einzuführen in den weitläufigen und imposanten Bau der theoretischen Physik. Die Eingangspforte, durch welche wir diesen Bau betreten wollen, ist die analytische Mechanik. Kein Wunder daher, dass ich Ihnen dieselbe in ihrem schönsten Schmucke zeigen möchte, mit dem sie zwar nicht von mir, aber im Verlaufe der Jahrhunderte von den erlesensten Geistern geziert worden ist.

Als echter Theoretiker will ich vor allem äusseren Beiwerke den inneren Kern ins Auge fassen. Die Definition der analytischen Mechanik ist eine sehr einfache. Sie ist die Lehre von den Gesetzen, nach denen die Bewegung der Körper erfolgt. Die Kenntnis dieser Gesetze ist für die Behandlung zahlreicher Maschinen und ähnlicher Vorrichtungen erforderlich, deren einfachste Formen schon im grauen Altertume, so bei den Ägyptern und Babyloniern, bekannt waren. Wir dürfen uns daher nicht wundern, dass die ersten Anfänge der

Abb. 8.5

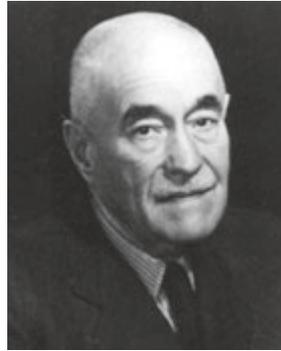


Abb. 8.6: Gerhard Kowalewski

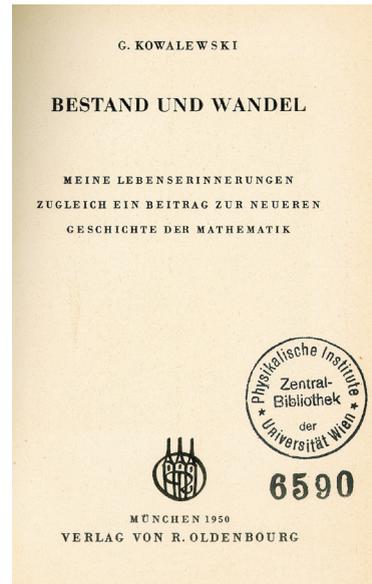


Abb. 8.7

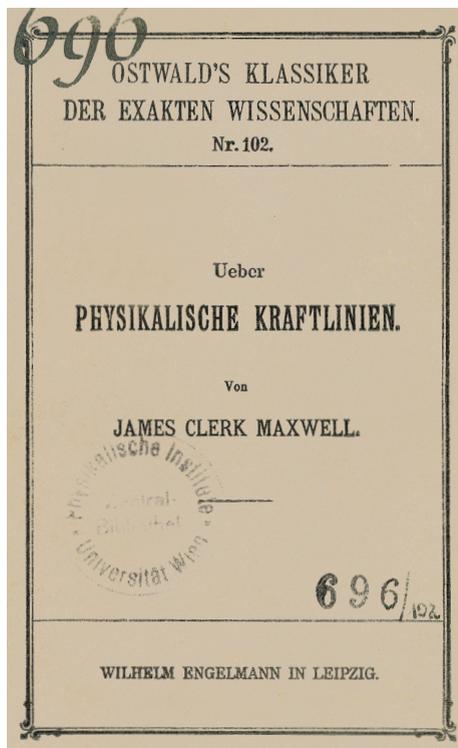


Abb. 8.9

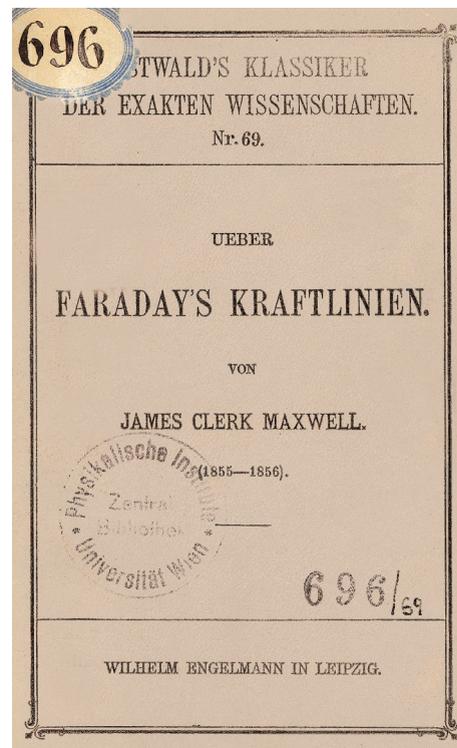


Abb. 8.10

Nr. 38269
 d. d. 17. 8. 37
 Ihre Spectabilität!
 Zunächst spreche ich meine große Freude
 darüber mit, dass meine Wiener Col-
 legen durch Ihre Dankung mich wieder nach
 Wien zurückberufen und danke Ihnen,
 hochverehrter Herr Decan, bestens für
 Ihre geehrte Zuschrift. Ich habe es in
 der That, obwohl ich auch in Leipzig nur
 Liebes und die zuvorkommendste Behandlung
 erfuhr, doch schon sehr bereut, Wien
 verlassen zu haben. Meine Anhänglichkeit
 an Oesterreich ist zu groß und ich kann
 mich nur sehr schwer an die norddeutschen
 Verhältnisse gewöhnen. Ich würde daher
 einer Rückberufung an die Universität
 Wien als Professor der theoretischen
 Physik sehr gerne Folge leisten. Was meine
 Thätigkeit am physikalischen Institute
 anbelangt, so habe ich ja dieselbe nie
 in dem Umfange wie einst Hr. Hofrat
 Stefan ausgeübt; ich hätte daher gegen
 eine Veränderung in dieser Hinsicht
 principiell nichts einzuwenden. Die
 näheren Details hierüber, sowie bezüglich
 meiner übrigen Verpflichtungen und Bezüge
 müssten natürlich den Specialverhandlungen
 vorbehalten bleiben.
 Mit ausgezeichnete Hochachtung
 Ihr Ergebenst, Ludwig Boltzmann.

in Leipzig mir Liebes und die zuvorkom-
 mendste Behandlung erfuhr, doch schon
 sehr bereut, Wien verlassen zu haben.
 Meine Anhänglichkeit an Oesterreich
 ist zu groß und ich kann mich nur
 sehr schwer an die norddeutschen
 Verhältnisse gewöhnen.
 Ich würde daher einer Rückberufung
 an die Universität Wien als Professor
 der theoretischen Physik sehr gerne
 Folge leisten. Was meine Thätigkeit
 am physikalischen Institute anbelangt,
 so habe ich ja dieselbe nie in dem
 Umfange wie einst Hr. Hofrat Stefan
 ausgeübt; ich hätte daher gegen eine
 Veränderung in dieser Hinsicht
 principiell nichts einzuwenden. Die
 näheren Details hierüber, sowie
 bezüglich meiner übrigen Verpflichtungen
 und Bezüge müssten natürlich den
 Specialverhandlungen vorbehalten
 bleiben. Mit ausgezeichnete Hochachtung
 Ihr Ergebenst
 Ludwig Boltzmann.

Thätigkeit am physikalischen Institute
 anbelangt, so habe ich ja dieselbe nie
 in dem Umfange wie einst Hr. Hof-
 rat Stefan ausgeübt; ich hätte daher
 gegen eine Veränderung in dieser
 Hinsicht principiell nichts einzuwen-
 den, sondern die näheren Details hierüber
 müssten natürlich den Specialverhandlungen
 vorbehalten bleiben. Mit ausgezeichnete
 Hochachtung
 Ihr Ergebenst
 Ludwig Boltzmann.

Eure Spectabilität!
 Zunächst spreche ich meine große
 Freude darüber aus, dass meine Wiener
 Collegen daran denken mich wieder nach
 Wien zurückzuberufen und danke Ihnen,
 hochverehrter Herr Decan, bestens für
 Ihre geehrte Zuschrift. Ich habe es in
 der That, obwohl ich auch in Leipzig nur
 Liebes und die zuvorkommendste Behandlung
 erfuhr, doch schon sehr bereut, Wien
 verlassen zu haben. Meine Anhänglichkeit
 an Oesterreich ist zu groß und ich kann
 mich nur sehr schwer an die norddeutschen
 Verhältnisse gewöhnen. Ich würde daher
 einer Rückberufung an die Universität
 Wien als Professor der theoretischen
 Physik sehr gerne Folge leisten. Was meine
 Thätigkeit am physikalischen Institute
 anbelangt, so habe ich ja dieselbe nie
 in dem Umfange wie einst Hr. Hofrat
 Stefan ausgeübt; ich hätte daher gegen
 eine Veränderung in dieser Hinsicht
 principiell nichts einzuwenden. Die
 näheren Details hierüber, sowie bezüglich
 meiner übrigen Verpflichtungen und Bezüge
 müssten natürlich den Specialverhandlungen
 vorbehalten bleiben.
 Mit ausgezeichnete Hochachtung
 Ihr Ergebenst, Ludwig Boltzmann.

Dear Honorable Dean,
 First, let me express my happiness that
 my Viennese colleagues are thinking
 about a new appointment. I am very
 thankful for your letter. Indeed,
 I was treated very well in Leipzig,
 but I still regret that I left Vienna
 sometimes. My bond with Austria is too
 strong and I cannot get used to Northern
 German habits. I would like to accept
 the appointment to the University of
 Vienna as a professor of theoretical
 physics. Concerning my function at the
 institute, I have not carried it out
 as extensively as Hofrat Mr. Stefan;
 therefore I would not mind a change
 in this respect. We can talk about
 further details as well as additional
 responsibilities and remunerations
 in person.
 Sincerely yours,
 Ludwig Boltzmann.

Abb. 8.8: Brief an den Dekan der philosophischen Fakultät der Universität Wien/
 Letter to the dean of the faculty of philosophy at the University of Vienna, 1902

Nach München, Wien und Leipzig kehrte Ludwig Boltzmann zum Wintersemester 1902/1903 endgültig wieder nach Wien zurück. (Abb. 9.1) Der Vertragstext zu seiner Ernennungsurkunde (Abb. 9.2) enthält eine Klausel (Abb. 9.3), dass er von nun an keinen Ruf an eine Universität außerhalb Wiens mehr annehmen dürfe. Er wurde von Kaiser Franz Josef persönlich moralisch dazu verpflichtet, seine akademische Laufbahn in Wien zu beenden.

Seine Antrittsvorlesung vom Oktober 1902 begann Boltzmann (Abb. 9.4) mit den Worten:

„Meine Herren und Damen!

Man pflegt die Antrittsvorlesung stets mit einem Lobeshymnus auf seinen Vorgänger zu eröffnen. Diese hie und da beschwerliche Aufgabe kann ich mir heute ersparen, denn gelang es auch Napoleon dem Ersten nicht, sein eigener Urgroßvater zu sein, so bin doch ich gegenwärtig mein eigener Vorgänger. Ich kann also sofort auf die Behandlung meines eigentlichen Themas eingehen. Nun in der Abhaltung von Antrittsvorlesungen über die Prinzipien der Mechanik habe ich mir nachgerade eine gewisse Routine erworben. Schon die Vorlesung, mit der ich vor 33 Jahren in Graz meine Tätigkeit als ordentlicher Universitätsprofessor begann, behandelte dieses Thema. Seitdem eröffne ich in Wien am heutigen Tage zum dritten Male meine Vorlesungen mit der Betrachtung dieser Materie, dazu kommt einmal eine Antrittsvorlesung in München und einmal in Leipzig über denselben Gegenstand.“

Und am Ende der Antrittsvorlesung sagte Boltzmann:

„Meine Damen und Herren!

Vieles ist es, was ich Ihnen in diesen Vorlesungen darbieten soll, komplizierte Lehrsätze, verwickelte Schlussfolgerungen, schwer zu erfassende Beweise. Verzeihen Sie, wenn ich von alledem Ihnen heute noch nichts bot. Ich wollte Ihnen heute nur wenig geben, freilich alles, was ich habe, meine ganze Denk- und Sinnesweise, mein innerstes Gemüt, mit einem Worte, mich selbst.

Ich werde auch im Verlaufe der Vorlesungen viel von Ihnen fordern müssen: angestrengten Fleiß, gespannte Aufmerksamkeit, unermüdliche Arbeit. Aber heute will ich Sie um etwas ganz anderes bitten: um Ihr Vertrauen, Ihre Zuneigung, Ihre Liebe, mit einem Worte, um das Beste, was Sie haben, Sie selbst.“¹

1905, vor seiner dritten Amerikareise, erschienen Boltzmanns „Populäre Schriften“. Dieses Buch, eine wahre Fundgrube des Boltzmannschen Geistes, widmete er seinem Lieblingsdichter Friedrich Schiller. Das „Forwort“ verfasste er aus Empörung über die damalige Rechtschreibreform in der „neuen Orthografi“; ein gelungenes Beispiel seines Humors, der ihm wohl geholfen hat, manche schwierige Phase seines Lebens zu überwinden. (Abb. 9.5, 9.6)

Das „Forwort“ zu den Populären Schriften; Rechtschreibreform 1902

Im Jänner 1903 trat eine Rechtschreibreform in Kraft. Sie brachte viele Änderungen der Rechtschreibregeln, an die Ludwig Boltzmann sich offenbar nicht leicht gewöhnen konnte – oder wollte. (z. B. schrieb er in einem Brief an Ostwald vom 17. November 1904 noch immer „College“.) Sein Aufbegehren gegen die Neueinführungen und seine – wahrscheinlich nicht ganz ernst gemeinten – radikalen Vorschläge können gerade in der jetzigen Zeit gut nachempfunden werden.

Einige Beispiele für die damaligen Änderungen:

Nachsilbe -nis (statt -niss)

h nach t in deutschen Stammsilben entfiel (Teil statt Theil)

Endung der Zeitwörter auf -ieren (statt -iren)

z statt c in Fremdwörtern (multiplizieren statt multipliciren)

k statt c in Fremdwörtern (Kurve statt Curve, Kollege statt College)

Vielen seiner Arbeiten stellte Boltzmann Zitate voran, die auf ernste oder humorvolle Weise davon zeugen, dass es für Boltzmann keine Trennung zwischen Leben und Wissenschaft gab. Dabei finden sich sowohl Zitate aus eigener Feder als auch solche von seinen Lieblingsdichtern. (Abb. 9.7, 9.8)

In dem Buch „Mechanik“ von Emil Budde schreibt der Verfasser: „Unter den deformierbaren Körpern ist einer, der seine Deformation mit Bewusstsein erzeugen kann. Das ist der Mensch.“ Boltzmann fügte dem von ihm benutzten Bibliotheksexemplar die Randbemerkung hinzu: „Seinen Körper mit Bewusstsein deformieren kann auch das Schwein, aber solchen Stiefel schreiben kann allerdings nur der Mensch.“ (Abb. 9.9)

After Munich, Vienna and Leipzig, Boltzmann ultimately returned to Vienna in the winter term 1902/1903. (Fig. 9.1) The certificate of his appointment (Fig. 9.2) contained a clause (Fig. 9.3) to ensure that he must not move to a university in another country anymore. He had to make a promise to the emperor Franz Josef I to complete his academic career in Vienna.

Boltzmann (Fig. 9.4) started his inaugural lecture with these words:

“Ladies and Gentlemen,
At an occasion like this, it is customary to appraise the achievements of one’s predecessor. Today, I can spare myself this sometimes burdensome task because in contrast to Napoleon the First, who did not manage to be his own great-grandfather, I am standing here as my own predecessor. Therefore I can start with my preferred topics right away. I have to confess that I do have a certain routine in holding inaugural lectures about the principles of mechanics, which I have held for the first time 33 years ago in Graz. I am starting this lecture for the third time here in Vienna. Additionally, I have held inaugural lectures about this subject in Munich and Leipzig.”

At the end of the lecture he said:

“Ladies and Gentlemen,
It is a lot that I have to present to you in the forthcoming lectures: complex theorems, sophisticated conclusions and difficult proofs. Please forgive me that I have not covered any of this today. I only wanted to give you a little today. Though, it is all I have. It is my way of thinking, my innermost mind – with one word: myself.

I will have to demand much from you: intense diligence, intense attentiveness and indefatigable work. But today I am going to ask you for something else: your trust, your sympathy, your love, all the best that you have – in one word: yourself.”¹

In the year 1905 a collection of Boltzmann’s articles was published under the title “Populäre Schriften” (Popular works). Boltzmann dedicated this book to his favorite author Friedrich Schiller. The “forwort” (foreword) was written in “the new Ortografi” to express his rebellion against a reformation of the orthography. This is an example of Boltzmann’s humor, which

helped him to cope with difficult phases in his life. (Fig. 9.5, 9.6)

The foreword to “Populäre Schriften”; Reformation of orthography 1902

In January of 1903 a reformation of German orthography took place. It brought many changes of the way words were spelled. Obviously, Boltzmann could not get used to this – or he did not want to.

He rebelled against the introduction of the new spelling by making up his own, even more radical (though not ultimately serious) propositions.

Some examples for the changes at that time:

Suffix -nis instead of -niss

After a t, the h was removed for root syllables (Teil instead of Theil)

Ending of verbs changed from -iren to -ieren
z instead of c in foreign words (multiplizieren instead of multipliciren)

k instead of c in foreign words (Kurve instead of Curve, Kollege instead of College)

Many of Boltzmann’s works are preceded by a quotation that shows in a serious and at the same time humorous manner how Boltzmann did not separate science and life. In his opinion all things were inseparably connected. Among those quotations there were some of his own, but also from his favorite authors. (Fig. 9.7, 9.8)

Emil Budde wrote in his book about “Mechanics”: “Among the ductile bodies there is one that can cause its own deformation consciously. It is the human being.” Boltzmann added to his copy of the book: “Even a pig can consciously deform its body, but writing such nonsense only can be done by a human being.” (Fig. 9.9)

In February 1904 a big celebration of Boltzmann’s 60th birthday took place. In honour of him a Festschrift was written. 125 scientists from different countries participated in the creation of this 1000 page long document. Academics from America, Australia, Belgium, Germany, England, France, Holland, Italy, Japan, Norway, Russia, Sweden and Austria participated and showed their appreciation of Boltzmann.² (Fig. 9.10, 9.11)

Im Februar 1904 wurde der 60. Geburtstag des großen Wissenschaftlers feierlich begangen und der Jubilar mit einer ihm gewidmeten Festschrift geehrt. Hundertfünfundzwanzig Gelehrte aus Amerika, Australien, Belgien, Deutschland, England, Frankreich, Holland, Italien, Japan, Norwegen, Russland, Schweden und aus Österreich hatten sich mit einem Beitrag an dem fast tausend Seiten umfassenden Werk beteiligt und dadurch ein dauerndes Zeichen ihrer Wertschätzung für Ludwig Boltzmann geschaffen. ² (Abb. 9.10, 9.11)

Eine lange Liste von Mitgliedschaften bei den verschiedensten Gesellschaften, Sozietäten und Akademien sowie Preise und Auszeichnungen zeigen, dass Boltzmanns Genie schon zu seinen Lebzeiten erkannt und gewürdigt wurde. An Ehren hat es ihm nicht gefehlt. Eine Ehrung ist ihm allerdings versagt geblieben: der Nobelpreis, der seit 1901 verliehen wurde und für den er mehrere Male vorgeschlagen wurde. Boltzmann wurde ein Opfer der Vergabe-Regel, dass theoretische Arbeiten erst dann mit dem Nobelpreis ausgezeichnet werden, wenn sie auch experimentell bewiesen worden sind. (Abb. 9.12)

Mitgliedschaften Ludwig Boltzmanns

- 1882 Korrespondierendes Mitglied der Göttinger Gesellschaft der Wissenschaften
- 1883 Ehrenmitglied der physikalischen Gesellschaft in London
- 1884 Korrespondierendes Mitglied des Lombardischen Institutes für Kunst und Wissenschaften in Mailand
- 1885 Wirkliches Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien
- 1887 Auswärtiges Mitglied der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen
- 1898 Mitglied der Preußischen Akademie in Berlin
- 1888 Auswärtiges Mitglied der Königlich Schwedischen Akademie
- 1889 Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Bologna

- 1891 Ordentliches Mitglied der Bayrischen Akademie der Wissenschaften
- 1892 Auswärtiges Mitglied der Gesellschaft der Wissenschaften zu Harlem
- 1892 Ehrenmitglied der Literary and Philosophical Society of Manchester
- 1892 Ehrenmitglied des Naturwissenschaftlichen Vereines in der Steiermark
- 1895 Mitglied der Königlichen Wissenschaftlichen Gesellschaft Hauniensis
- 1894 Ehrendoktor von Oxford
- 1895 Ehrenmitglied der Royal Society of Edinburgh
- 1895 Wirkliches Mitglied der Königlich Akademie der Wissenschaften Uppsala
- 1896 Korrespondierendes Mitglied der Königlich Wissenschaftlichen Akademie Turin
- 1896 Auswärtiges Mitglied der Accademia dei Lincei in Rom
- 1897 Ehrenmitglied der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft in Erlangen
- 1897 Auswärtiges Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Amsterdam
- 1897 Auswärtiges Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Rom
- 1897 Auswärtiges Mitglied der Akademie für Kunst und Wissenschaften in Boston
- 1897 Ehrenmitglied der Philosophischen Gesellschaft in Cambridge
- 1898 Ehrenmitglied des Physikalischen Vereines in Frankfurt am Main
- 1899 Korrespondierendes Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften und Künste in St. Petersburg
- 1899 Korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften in New York
- 1899 Member of the Royal Society of London
- 1899 Mitglied der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft London
- 1899 Ehrendoktor der Clark University in Worcester

A long list of memberships for societies and academies as well as prizes and awards show that Boltzmann's genius was already honored during his lifetime. Though, there is one particular prize that he never received: the Nobel Prize, which was established 1901. Even though he was nominated a couple of times, he became a "victim" of the rule that theoretical works can only be awarded once they can be proven by experiment. (Fig. 9.12)

Memberships of Ludwig Boltzmann

- 1882 Corresponding member of the Society of Science of Göttingen
- 1883 Honorary member of the Society of Physics of London
- 1884 Corresponding member of the Lombardic Institute for Art and Science in Milan
- 1885 Member of the Imperial Academy of Sciences of Vienna
- 1887 Non-resident member of the Society of Science of Göttingen
- 1898 Member of the Prussian Academy in Berlin
- 1888 Non-resident member of the Royal Swedish Academy
- 1889 Corresponding member of the Academy of Sciences in Bologna
- 1891 Member of the Bavarian Academy of Sciences
- 1892 Non-resident member of the Society of Sciences of Harlem
- 1892 Honorary member of the Society of Literature and Philosophy of Manchester
- 1892 Honorary member of the Association of Natural Scientists of Styria
- 1895 Member of the Royal Society of Science Hauniensis
- 1894 Honorary doctorate of Oxford
- 1895 Honorary member of the Royal Society of Edinburgh
- 1895 Member of the Royal Academy of Sciences of Uppsala
- 1896 Corresponding Member of the Royal Academy of Sciences of Torino

- 1896 Non-resident member of Accademia dei Lincei of Rome
- 1897 Honorary member of the Society of Physics and Medicine of Erlangen
- 1897 Non-resident member of the Academy of Sciences of Amsterdam
- 1897 Non-resident member of the Academy of Sciences of Rome
- 1897 Non-resident member of the Academy of Sciences of Boston
- 1897 Honorary member of the Society of Philosophy of Cambridge
- 1898 Honorary member of the Society of Physics of Frankfurt am Main
- 1899 Corresponding member of the Imperial Academy of Sciences and Arts of St. Petersburg
- 1899 Corresponding member of the Society of Sciences of New York
- 1899 Member of the Royal Society of London
- 1899 Member of the Society of Natural Science of London
- 1899 Honorary doctorate of the Clark University in Worcester
- 1900 Corresponding member of the French Academy of Sciences
- 1900 Non-resident member of the Hungarian Academy of Sciences
- 1900 Member of the Saxon Society of Sciences of Leipzig
- 1902 Member of the Society of Science in Christiania (Oslo)
- 1903 Honorary member of the Imperial Society of Science of Moscow
- 1904 Non-resident member of the University Kasan
- 1904 Non-resident member of the National Academy of Science of the United States in Washington
- 1904 Honorary member of the Academy of Sciences of St. Louis
- 1904 Honorary member of the Royal Irish Academy of Dublin
- 1904 Member of the Scientific Congress of the World Fair in St. Louis

- 1900 Korrespondierendes Mitglied der Französischen Akademie der Wissenschaften
- 1900 Auswärtiges Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften
- 1900 Ordentliches Mitglied der Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften in Leipzig
- 1902 Mitglied der Mitglied der Wissenschaftsgesellschaft in Christiania (Oslo)
- 1903 Ehrenmitglied der Moskauer Kaiserlichen Wissenschaftlichen Gesellschaft
- 1904 Auswärtiges Mitglied der Universität Kasan
- 1904 Auswärtiges Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften der Vereinigten Staaten Washington
- 1904 Ehrenmitglied der Akademie der Wissenschaften in St. Louis
- 1904 Ehrenmitglied der Königlichen Irischen Akademie in Dublin
- 1904 Mitglied des Wissenschaftlichen Kongresses der Weltausstellung St. Louis

Auszeichnungen und Preise

- 1875 Andreas Freiherr v. Baumgartner Preis der Wiener Akademie der Wissenschaften.
- 1899 Mitglied des Königlich Bayerischen Maximilian Ordens
- 1900 Ehrenzeichen für Kunst und Wissenschaft verliehen vom Kaiser von Österreich
- 1902 Otto-Vahlbruch-Preis der Göttinger Universität
- 1906 Goldene Medaille und Preis der Peter-Wilhelm-Müller-Stiftung

Ein von Boltzmann selbst ausgefülltes Formular enthält außer persönlichen und beruflichen Angaben auch eine Zusammenstellung der ihm erwiesenen Ehrungen und Auszeichnungen. (Abb. 9.13, 9.14)

Werk

Boltzmann war zunächst wieder voller Energie und hatte eine volle Lehrverpflichtung in theoretischer Physik. Gleichzeitig arbeitete er auch am zweiten Band seiner „Vorlesungen über die Prinzipie der Mechanik“. (Abb. 9.15)

In seinen 1905 erschienenen „Populären Schriften“ verfasste Boltzmann ein Loblied auf Josiah Willard Gibbs, (Abb. 9.16, 9.17) der 1903 gestorben war:

„Das Verdienst, diese Wissenschaft in ein System gebracht zu haben, in einem größeren Buche dargestellt zu haben, gebührt einem der größten amerikanischen Gelehrten, was reines abstraktes Denken, rein theoretische Forschung anbelangt, vielleicht dem größten, Willard Gibbs, dem kürzlich verstorbenen Professor von Yale College. Er nannte diese Wissenschaft die statistische Mechanik.

Sie zerfällt in zwei Teile. Der erste untersucht die Bedingungen, unter welchen sich die äußerlich bemerkbaren Eigenschaften eines Komplexes sehr vieler mechanischer Individuen gar nicht ändern, trotz lebhafter Bewegung der Individuen, diesen ersten Teil möchte ich die statistische Statik nennen. Der zweite Teil berechnet die allmählichen Änderungen dieser äußerlich sichtbaren Eigenschaften, wenn jene Bedingung nicht erfüllt ist. Er mag die statistische Dynamik heißen. Auf die weite Perspektive, welche sich uns eröffnet, wenn wir an eine Anwendung dieser Wissenschaft auf die Statistik der belebten Wesen, der menschlichen Gesellschaft, der Soziologie usw., und nicht bloß auf mechanische Körperchen denken, mag hier nur mit einem Worte hingewiesen werden“.³

Gibbs entwickelte konsequent Boltzmanns Ideen über „eine merkwürdige Analogie zwischen den Sätzen Über das Wärmegleichgewicht mehratomiger Gasmoleküle mit dem Jacobischen Principe vom letzten Multiplikator“ zu besonderer mathematischer Klarheit.

Awards and prizes

1875 Andreas Freiherr v. Baumgartner Prize of the Viennese Academy of Sciences

1899 Member of the Royal Bavarian Fraternity of Maximilian

1900 Medal for art and science awarded by the emperor of Austria

1902 Otto-Vahlbruch-Prize of the University of Göttingen

1906 Gold medal and prize of the Peter-Wilhelm-Müller-Foundation

A form filled out by Boltzmann himself contains a summary of all his awards and prizes. (Fig. 9.13, 9.14)

Works

Back in Vienna Boltzmann was full of energy. He had a full teaching position in theoretical physics. At the same time he worked on the second volume of his “Lectures on the principles of mechanics.” (Fig. 9.15)

In the book “Populäre Schriften” from 1905 he composed a paean of praise to Josiah Willard Gibbs (Fig. 9.16, 9.17) who had died in the year 1903:

“The credit of having made a system out of this science belongs to one of the greatest American scientists – when it comes to abstract thinking and theoretical research probably the greatest: Willard Gibbs, who was a professor at Yale College and who has died recently. He called his science “statistical mechanics”.

It consists of two parts. The first part deals with the conditions under which the observable properties of a system containing a large number of individual particles do not change, even though these particles are in motion. I would like to call this “statistical statistics”. The second part calculates the gradual change in these properties in the case that the conditions are not fulfilled. It will be called “statistical dynamics”. This opens a broad perspective if we do not only think of mechanical objects. Let’s consider to apply this method to the statistics of living beings, society, sociology and so forth.”³

Gibbs enhanced the ideas of Boltzmann about “The curious analogy between the law of thermal equilibrium of multi-atomic gas molecules and Jacob’s principle of the last multiplier” with particular mathematical distinctiveness.

1 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 330f

2 Festschrift Ludwig Boltzmann: gewidmet zum sechzigsten Geburtstage 20. Feber 1904, Redaktion Stefan Meyer, Leipzig: Barth, 1904

3 Boltzmann, Ludwig: Populäre Schriften, Leipzig: Barth, 1905, S. 360f

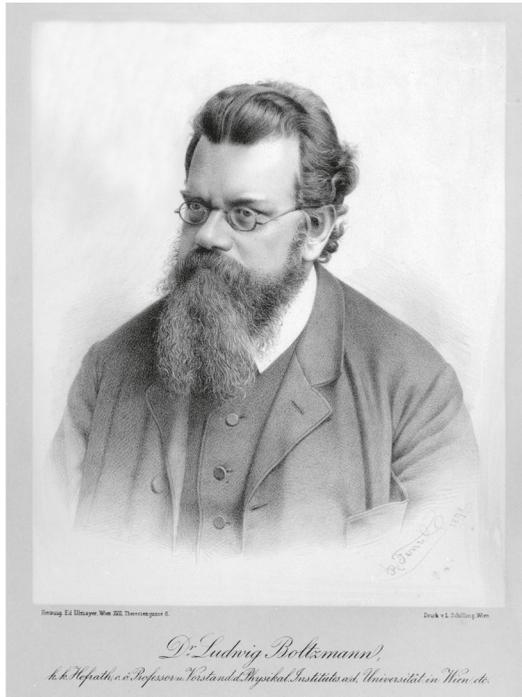


Abb. 9.4: Ludwig Boltzmann, 1902

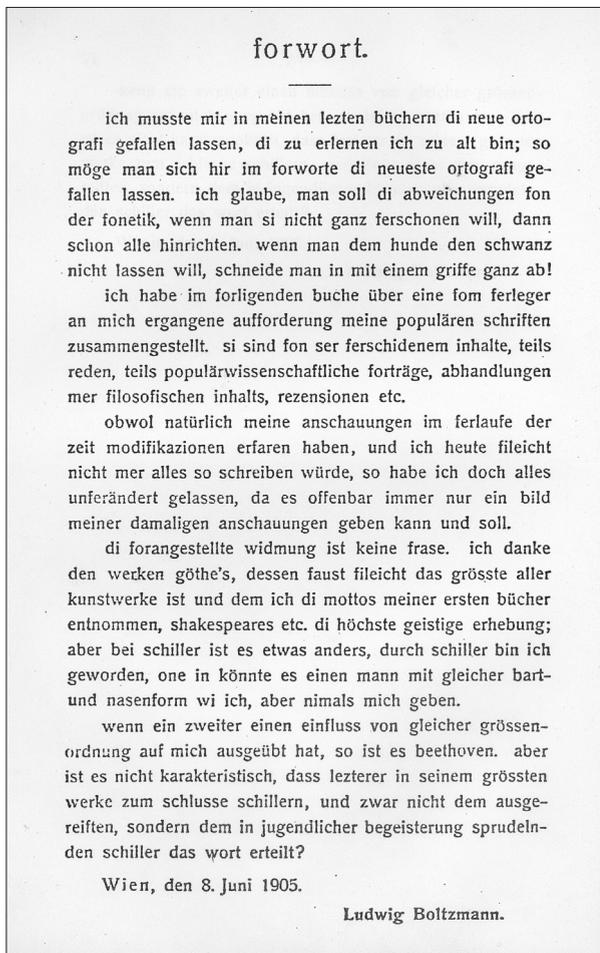


Abb. 9.5

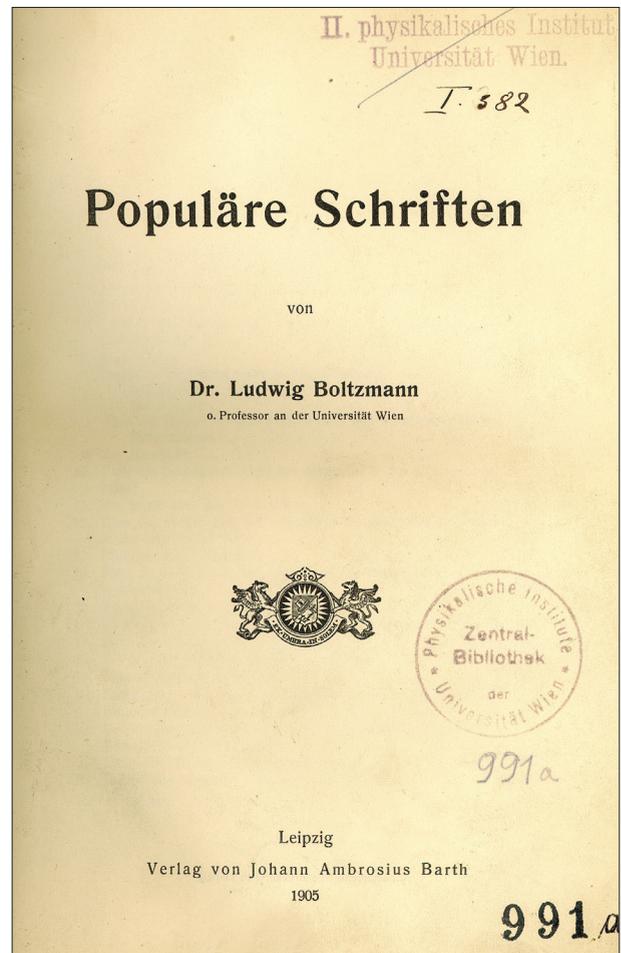


Abb. 9.6

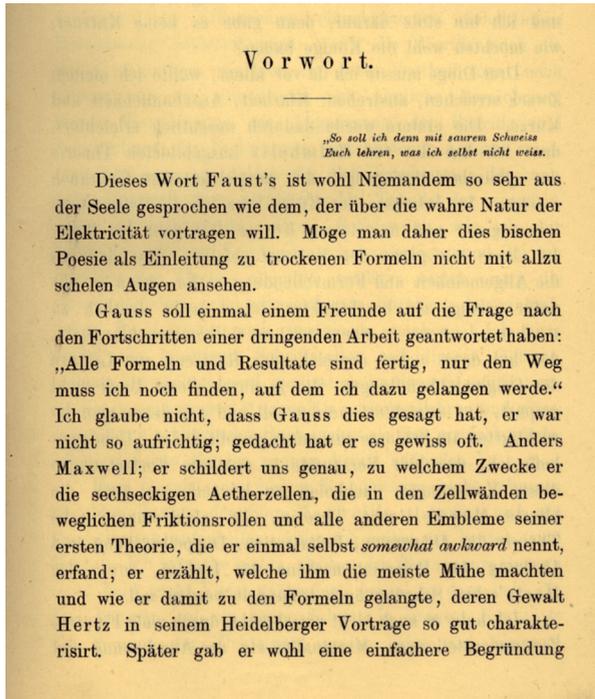


Abb. 9.7: Zitat aus Goethes „Faust“, Vorwort zu Maxwells Theorie I/Quotation from “Faust” (by Goethe), foreword to Maxwell’s Theory I

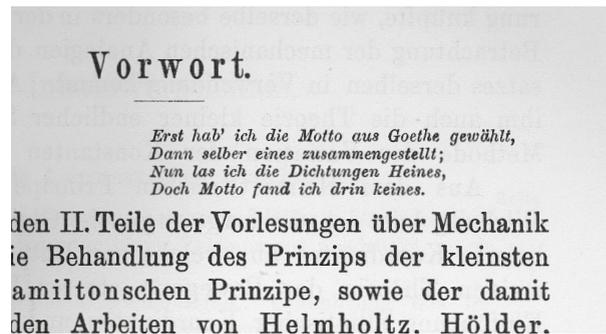


Abb. 9.8: Vorwort von Boltzmann in Vorlesungen über die Principe der Mechanik II/Foreword of Boltzmann for “Lectures on the principles of mechanics” II

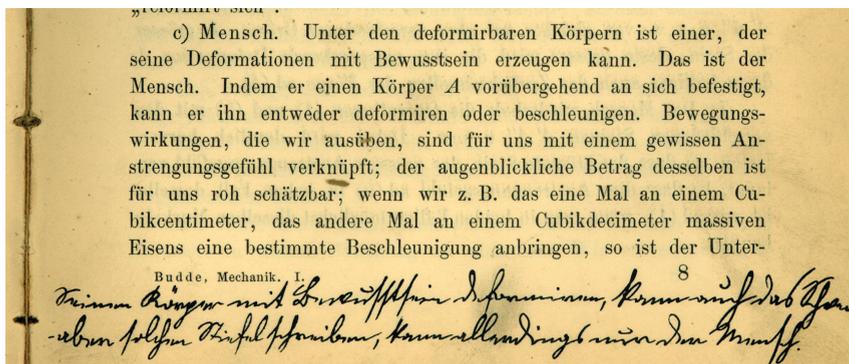


Abb. 9.9: Glosse von Boltzmann in „Mechanik“ von Emil Budde/ Ironical comment by Boltzmann in „Mechanics“ by Emil Budde

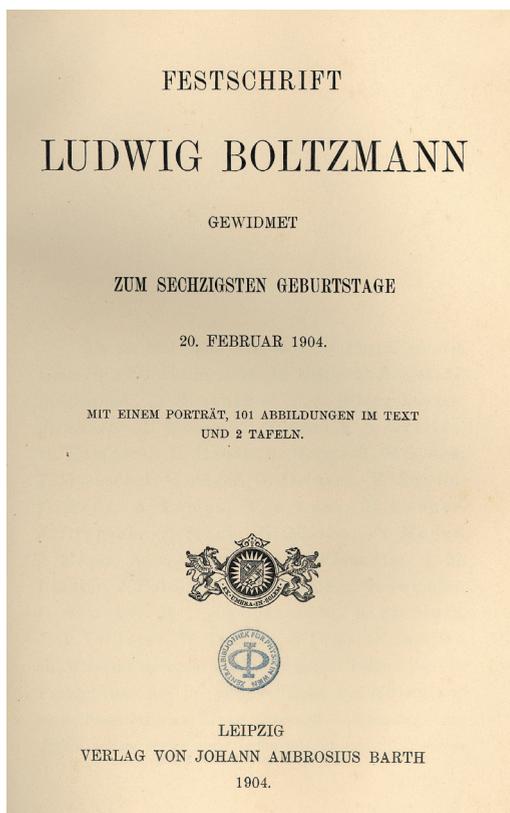


Abb. 9.10

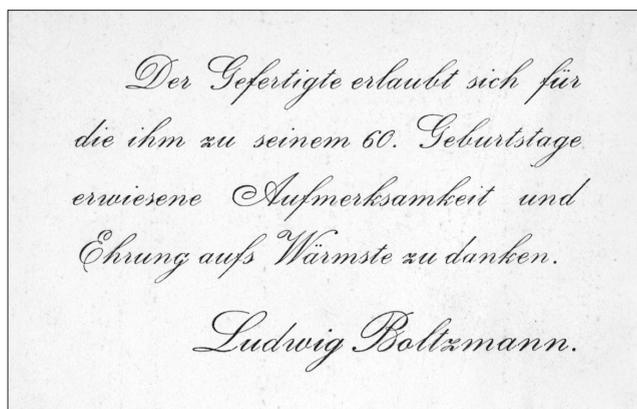


Abb. 9.11:

1906: CENSUS OF PHYSICS NOMINEES

Winner(s): Thomson, JJ

Nominee	Nat'y	Nominator
Boltzmann, L	AUT	Czerny, V
Boltzmann, L	AUT	Lenard, P
Boltzmann, L	AUT	Planck, M
Braun, F	GER	Quincke, G
Braun, F	GER	Winkelmann, A
Hann, J von	AUT	Bezold, W von
Kohlrausch, F	GER	Warburg, E
Lippmann, G	FRA	Becquerel, H
Lippmann, G	FRA	Darboux, G
Lippmann, G	FRA	Guye, CE
Poincaré, H	FRA	Becquerel, H
Poincaré, H	FRA	Darboux, G
Poincaré, H	FRA	Guye, CE
Righi, A	ITA	Becquerel, H
Thomson, JJ	GBR	Baeyer, A von
Thomson, JJ	GBR	Christiansen, C
Thomson, JJ	GBR	Lodge, O
Thomson, JJ	GBR	Lubbock, J
Thomson, JJ	GBR	Ramsay, W
Thomson, JJ	GBR	Strutt, JW
Thomson, JJ	GBR	Thompson, SP
Thomson, JJ	GBR	Warburg, E
Thomson, W	GBR	Zeeman, P

Abb. 9.12: Nobelpreis-Vorschläge/
Nominees for the Nobel Prize, 1906

Allerhöchste Auszeichnungen: hat Titel und Charakter eines k. k. Hofrates, besitzt das Ehrenbürgerrecht für Kunst und Wissenschaft und die Würde für Verdienste zum Verdienste am des 50jährigen Kaiserjubiläum.

Fremdländische Auszeichnungen: ist kgl. bairischer Hofrath, besitzt das kgl. bairische Maximiliankreuz, ist Ehrenbürger von Wien, Professore Hofrat, Kärnten, von New-Haven, Genéve.

Wissenschaftliche Korporationen: wesen. Mitglied d. kais. Acad. d. Wiss. zu Wien, Ehrenmitgl. d. Acad. d. Wiss. d. kgl. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen, d. Academia dei Lincei und d. Societa delle Scienze zu Rom, d. Royal Society of Great Britain, d. physical soc. of London, d. philos. soc. zu Cambridge, der brit. association for advanc. of science d. kgl. Akademien zu München, Edinburgh, Frankfurt, Prag, Bologna, Amsterdam, u. a. Mitglied d. kgl. bairischen Acad. d. Wiss., d. Acad. d. Wiss. zu Turin, Uppsala, New-York, der Akademie der Kunst- und Wiss. zu Boston Mass., der schweizerischen Gesellschaft der Wiss., der Gesellsch. d. Wiss. zu Genua, und der Kaiserl. Acad. d. Wiss. ist ferner Mitglied d. Kaiserl. Akademie d. Wiss. d. Naturwiss. in Wien im Kaiserl. Hofrat am Hof, von 1878/9 d. Kaiserl. Hofrat, 1887/8 Prof. an der Universität Graz.

Hofrat Professor Dr. Ludwig Boltzmann.

Abb. 9.13: Ein von Boltzmann ausgefülltes Formular/Form filled out by Boltzmann

Allerhöchste Auszeichnungen: *hat Titel und Charakter eines k.k. Hofrates, besitzt das Ehrenzeichen für Kunst und Wissenschaft und die Medaille für Staatsdiener zum Andenken an das 50jährige Kaiserjubiläum.*

Fremdländische Auszeichnungen: *ist kgl. bairischer Geheimrat, besitzt den kgl. bairischen Maximiliansorden, ist Ehrendoctor der Universitäten Oxford, Worcester, New Haven, Christiania.*

Wissenschaftliche Korporationen: *Mitglied d. kais. Acad. d. Wissch. zu Wien, Ehrenmitglied d. Berl. Acad. d. Wissch., d. kgl. Gesellsch. d. Wissch. zu Göttingen, d. Academia dei Lincei und d. societa delle scienze zu Rom, d. royal Society of Great Britain, d. physical. soc. of London, d. philos. soc. zu Cambridge, der brit. association for advanc. of science, d. kgl. Akademien zu Manchester, Edinburgh, Stockholm, Kopenhagen, Bologna, Amsterdam, auswärt. Mitglied d. kgl. bairischen Acad. d. Wissch., d. Acad. d. Wissch. zu Turin, Upsala, New York, den Akademien der Künste und Wissensch. zu Boston, Mass., der sächsischen Gesellschaft der Wissensch., der Gesellsch. d. Wissch. zu Haarlem, und der Pariser Acad. d. Wissch.*

Sonstige bemerkenswerte Daten:

ist Ehrenmitglied des mathem. Vereins d. Univ. Graz, des naturwiss. Vereins in Steiermark und Frankfurt am Main, war 1878/9 Decan der philos. Facultät, 1887/8 Rector der Universität Graz.

Hofrat Professor Dr. Ludwig Boltzmann

Abb. 9.14: Ein von Boltzmann ausgefülltes Formular, Abschrift/Form filled out by Boltzmann, copy

VORLESUNGEN
ÜBER DIE
PRINZIPE DER MECHANIK.

VON

LUDWIG BOLTZMANN,

PROFESSOR DER THEORETISCHEN PHYSIK A. D. UNIVERSITÄT WIEN.

II. TEIL

enthaltend: Die Wirkungsprinzipie, die Lagrangeschen Gleichungen
und deren Anwendungen.

MIT ZEHN FIGUREN.



LEIPZIG,
VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.
1904.

Abb. 9.15

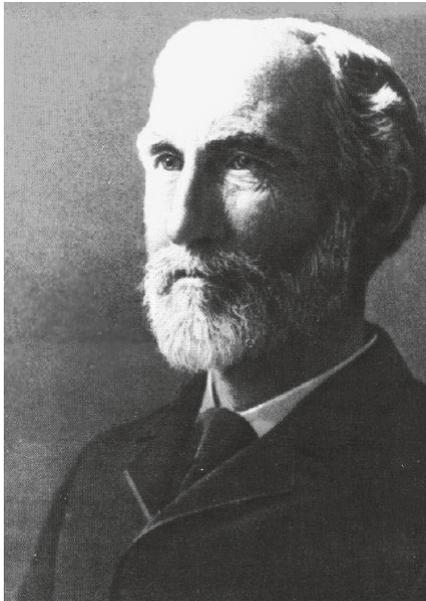


Abb. 9.16: Josiah Willard Gibbs

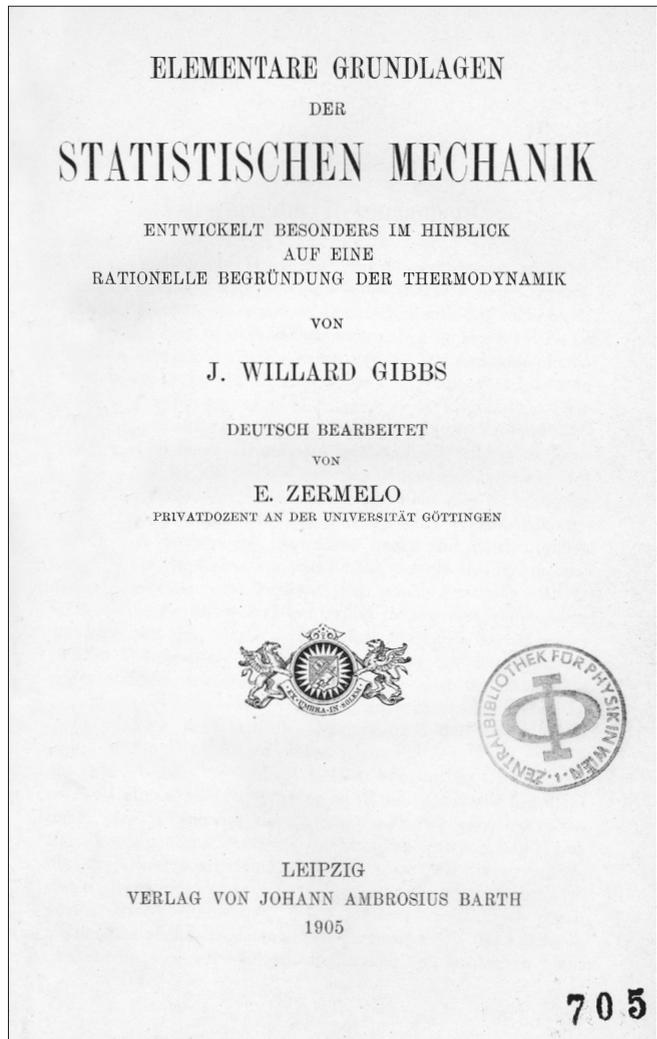


Abb. 9.17

Im Wintersemester 1903/1904 übernahm Boltzmann (Abb. 10.1) den zweistündigen Lehrauftrag über die „Philosophie der Natur und Methodologie der Naturwissenschaften“ von seinem Vorgänger Ernst Mach nach dessen frühzeitiger Emeritierung.

Über die Antrittsvorlesung schrieb die „Neue Freie Presse“: „Bei Öffnung der Saaltüren entstand ein lebensgefährliches Gedränge (...) Der Vortragende, der mit rauschendem Applaus begrüßt wurde, gedachte eingangs seiner Vorlesung Ernst Machs.“ (Abb. 10.2)

Boltzmanns Vorlesungen über „Naturphilosophie“ sollen, vor allem am Anfang, so gut besucht gewesen sein, dass sie im großen Hörsaal der Anatomie gehalten werden mussten. Böse Zungen meinen sogar, dass sein Auditorium die Vorlesungen von der humoristischen Seite aufgefasst habe. Boltzmann ging jedoch auch auf diesem Gebiet neue Wege, denn „es könnte doch sein, dass ein Hecht im Karpfenteich größeren Nutzen hat als noch ein Karpfen mehr.“

Boltzmann hat die naturphilosophische Vorlesung nicht sehr oft gehalten. Bereits zu Jahresende 1903 waren ihm die Vorlesungen aus gesundheitlichen Gründen und wegen des Ausbleibens der Hörer sehr schwer gefallen. Mit dem 26. Jänner 1904 bricht die ausgearbeitete Fassung der Naturphilosophie ab. (Abb. 10.3, 10.4) Ab April musste er die Vorlesung wegen „einer starken nervösen Depression“ offiziell absagen. Von Herbst 1904 bis Ende Jänner 1905 hat Boltzmann die Vorlesung in veränderter Form wieder gehalten.

Karl Przibram erinnerte sich noch rund siebzig Jahre später an ein Distichon in einer Zeitung, zu dem vermutlich einer der sehr zahlreichen Hörer von Boltzmanns Vorlesungen inspiriert worden ist:

Tritt der gewöhnliche Mensch auf den Wurm,
so wird er sich krümmen;
Ludwig Boltzmann tritt auf:
siehe, es krümmt sich der Raum!

Werk

Ludwig Boltzmann kam als Physiker zur Philosophie. Für ihn mussten sich die Lehren der Philosophie praktisch bewähren. Boltzmann hatte sich schon im Zuge der Auseinandersetzungen mit der Energetik in der Mitte der 1890er Jahre eingehender mit Philosophie beschäftigt.

In seinen Vorlesungen behandelte er allgemeine Probleme der Naturphilosophie.

Er vertrat einen sogenannten hypothetischen Realismus, in dem er annahm, dass man die Existenz der Atome und Moleküle als Arbeitshypothese annehmen soll und sie als real betrachten darf, bis man irgendwelche experimentelle Daten findet, die im Widerspruch zu solchen Annahmen stehen. Ernst Machs Anschauung hingegen war, dass die Sinne des Menschen das einzig Reale sind und alles weitere nur eine Konstruktion des menschlichen Geistes ist. Daher lehnte Mach auch Boltzmanns Atomvorstellungen strikt ab, da man ja Atome zur damaligen Zeit weder sehen noch messen konnte. Zu der Existenz von Atomen befragt, hat er angeblich einmal geantwortet: „Atome? Ham S' welche g'sehn?“

Mach beschäftigte sich zunächst u.a. mit der Strömungslehre – die Bezeichnung „Machsche Zahl“ ist heute noch in aller Munde – und war später ein aggressiver Gegner des Atomismus. Einstein beschäftigte sich in jungen Jahren mit den Machschen Gedankengängen; das von ihm formulierte „Machsche Prinzip“ ist wesentlicher Bestandteil der Allgemeinen Relativitätstheorie. Ernst Mach selbst soll sich dagegen verwehrt haben.

Ludwig Boltzmann und Ernst Mach waren Gegner bezüglich ihrer verschiedenen Auffassungen auf so manchem Gebiet der Physik, insbesondere auf dem der Atomistik. Dem Erkenntnistheoretiker Mach mussten viele Fragen in anderem Lichte erscheinen als dem theoretischen Physiker und Mathematiker Boltzmann.

In seinen „Leitgedanken“ schreibt Ernst Mach: (Abb. 10.5, 10.6) „Je weiter, eingehender man die wissenschaftlichen Methoden, den systematischen, ordnenden, vereinfachenden, logisch-mathematischen Aufbau analysiert, desto mehr erkennt man das wissenschaftliche Tun als ein ökonomisches. (...) Nur meiner Abneigung gegen die hypothetisch-fiktive Physik kann ich nicht entsagen. Darum habe ich auch meine besondere Meinung über die Wahrscheinlichkeits-Untersuchungen Boltzmanns auf Grundlage der kinetischen Gastheorie, betreffend den zweiten Hauptsatz. Wenn Boltzmann gefunden hat, dass Vorgänge entsprechend dem zweiten Hauptsatz sehr wahrscheinlich, entgegen demselben nur sehr unwahrscheinlich sind, so kann ich nicht annehmen, dass das Verhalten gemäß diesem

In the winter term 1903/04 Boltzmann (Fig. 10.1) took over the lecture on “natural philosophy and methodology of science” from his predecessor Ernst Mach, who had resigned prematurely.

The newspaper “Neue Freie Presse” wrote about the first lecture: “After opening the doors of the hall, a perilous crowd developed (...). The lecturer who was welcomed with thunderous applause commemorated Ernst Mach at the beginning of the lecture.” (Fig. 10.2)

Boltzmann’s lectures on natural philosophy were very popular, especially at the beginning. They even had to take place in the large auditorium of the anatomical institute. According to rumors, many students saw those lectures from the humorous side. Boltzmann tried to go a new way because – as he said – “it might be more useful to put a pike into the carp pond than just another carp.”

Boltzmann did not often hold this lecture. Already at the end of 1903 he found it difficult to proceed due to his poor health and also the low number of participating students. The manuscript of the lectures ends on January 26th, 1904. (Fig. 10.3, 10.4) In April, he had to cancel his talks because of his “great nervous depression”. He took them up again in the autumn and continued until the end of January 1905.

Seventy years later, Karl Przibram still remembered the following verse out of a newspaper, which was most likely written by one of the numerous listeners of Boltzmann’s lectures:

*Tritt der gewöhnliche Mensch auf den Wurm,
so wird er sich krümmen;
Ludwig Boltzmann tritt auf:
siehe, es krümmt sich der Raum!*

Translated:

*If an ordinary human being steps on a worm,
The worm curves;
If Ludwig Boltzmann steps onto a stage,
Behold, space will curve!*

Works

Ludwig Boltzmann took up philosophy as a physicist. In his eyes the doctrines of philosophy had to stand the test of practice. The roots of his interest in philosophical matters date back to the 1890s when he fought

against the concept of energetics. In his lectures, he dealt with general problems of natural philosophy.

Boltzmann represented a hypothetical realism. He acted on the assumption of the existence of atoms and molecules until experimental data was found that contradicts this thesis. In the opinion of Mach the only real thing are human senses; everything else is a construct of the human mind. Therefore Mach did not agree with Boltzmann’s theory of atoms. Once he answered a question about the existence of atoms: “Atoms? Have you seen them?”

At first, Mach had worked on the topic of fluid mechanics – the term “Machsche Zahl (Mach’s number)” is still in use. Later on he was an aggressive opponent of the theory of atomism. In his early days Einstein dealt with the ideas of Mach; Mach’s principle is an essential part of the theory of relativity. Mach himself refused it.

In regard to the different opinions on certain areas of physics (especially atomism) Ludwig Boltzmann and Ernst Mach were opponents. Since Mach was an epistemologist, he saw things from a different angle than Boltzmann who came from the side of theoretical physics and mathematics.

Ernst Mach wrote in his “Leitgedanken” (guiding ideas): (Fig. 10.5, 10.6) “The further you analyze scientific methods with their systematical, regulatory, simplifying, logical and mathematical structure, the more you recognize that they offer a very economical approach. (...) I just cannot cease to dislike hypothetical and fictitious physics. Therefore I have my own special opinion about Boltzmann’s probabilistic observations concerning the second law of thermodynamics on the basis of the kinetic theory of gases. If Boltzmann has found that events corresponding to the second law are very likely and events not corresponding to it are very unlikely, then I cannot consider this behavior as proven. (...) As the reader may have already noticed, nowadays it is enough to have a biological-economical understanding of the cognitive process to have a compatible relationship to today’s physics. The actual difference that has been revealed is the belief in the existence of atoms (...). It looks like the physicists are

Satz nachgewiesen sei (...) Wie der Leser wohl bemerkt hat, genügt die biologisch-ökonomische Auffassung des Erkenntnisprozesses vollständig, um zu jener der heute gangbaren Physik in ein verträgliches, ja freundliches Verhältnis zu treten. Die eigentliche Differenz, die sich bisher offenbart hat, bildet der Glaube an die Realität der Atome. (...) Man sieht, die Physiker sind auf dem besten Wege, eine Kirche zu werden und eignen sich auch schon deren geläufige Mittel an. Hierauf antworte ich nun einfach: Wenn der Glaube an die Realität der Atome für Euch so wesentlich ist, so sage ich mich von der physikalischen Denkweise los, so will ich kein richtiger Physiker sein, so verzichte ich auf jede wissenschaftliche Wertschätzung, kurz, so danke ich schönstens für die Gemeinschaft der Gläubigen. Denn die Denkfreiheit ist mir lieber.“¹

Unversöhnliche persönliche Feindschaft dürfte zwischen den beiden Wissenschaftlern nicht bestanden haben, schenkt man den freundlich gehaltenen Briefen Boltzmanns an Mach Glauben. Umso schärfer waren die wissenschaftlichen Polemiken – zu dieser Zeit eine Usance.

Von Boltzmann verachtet hingegen war Arthur Schopenhauer. (Abb. 10.7) In der Philosophischen Gesellschaft fiel Boltzmann „mit wuchtigen Keulenhieben“ über ihn her und vergrämte mit seiner Einstellung weite philosophische Kreise. So griff Boltzmann Schopenhauer in seinem Antrittsvortrag in Wien im Jahre 1903 mit folgenden Worten an: „Um gleich aus den tiefsten Tiefen zu schöpfen, griff ich nach Hegel; aber welcher unklaren, gedankenlosen Wortschwall sollte ich da finden! Mein Unstern führte mich von Hegel zu Schopenhauer. In der Vorrede des ersten Werkes des letzteren, das mir in die Hände fiel, fand ich folgenden Passus, den ich hier wörtlich verlesen will: „Die deutsche Philosophie steht da mit Verachtung beladen, vom Ausland verspottet, von der redlichen Wissenschaft ausgestoßen gleich einer ...“ Den folgenden Passus unterdrücke ich im Hinblick auf die anwesenden Damen. „Die Köpfe der jetzigen Generation sind desorganisiert durch Hegelschen Unsinn. Zum Denken unfähig, roh und betäubt, werden sie die Beute des platten Materialismus, der aus des Basilisken Ei hervorgekrochen ist.“ Damit war ich nun freilich einverstanden, nur fand ich, dass Schopenhauer seine eigenen Keulenschläge ganz wohl auch selbst verdient hätte.“²

Sogar noch nach seinem Tode musste er sich die folgende Kritik von philosophischer Seite gefallen lassen: „Es fehlte ihm (Boltzmann) beim Philosophieren genau das, was er in der Physik in so hervorragendem Maße besaß: die Grundlagen durch das Studium, die Selbstzucht und Methode, der weite Blick für die Eigenart des Gebietes, das er durchforschte.“³

Dieser Vorwurf trifft Boltzmann nicht ganz zurecht, denn vorbereitet hat er sich wohl, wie z. B. dem ausgestellten Stenogramm zu entnehmen ist.

Stenogramm Ludwig Boltzmanns

Der Schreiber bediente sich der sogenannten Debattenschrift, d. h. der höchsten Stufe, der am stärksten gekürzten Form der Gabelsbergerschen Kurzschrift. Man kann annehmen, dass Boltzmann in jungem Alter stenographieren gelernt hat; viele Eigenheiten weisen darauf hin, dass ihm die radikalen Reformbestrebungen des Jahres 1867 noch nicht geläufig waren. Stenographische Bemerkungen von Boltzmanns Hand finden sich auch in vielen Büchern und Sonderdrucken aus seinem Besitz.

Boltzmann war ein glühender Verfechter der Darwinischen Evolutionslehre und nannte einmal sogar das ganze 19. Jahrhundert das „Jahrhundert Darwins“. (Abb. 10.8) In gewisser Hinsicht entwickelte er dessen Lehre weiter und dehnte sie auch auf die Photosynthese, das menschliche Gehirn und überhaupt auf alle Denkprozesse aus.

Die thermodynamische Betrachtung der Lebensprozesse, die Boltzmann in seiner Erörterung der Photosynthese so großartig anwendete, ist zu großer Blüte gelangt. Boltzmann kann also auch als einer der Begründer der Biophysik angesehen werden.

In einem Vortrag sagte Boltzmann: „Wenn sie mich nach meiner innersten Überzeugung fragen, ob man unser Jahrhundert einmal das eiserne Jahrhundert oder das Jahrhundert des Dampfes oder der Elektrizität nennen wird, so antworte ich ohne Bedenken, das Jahrhundert Darwins wird es heißen.“⁴

Die Meinung über Boltzmanns Philosophie ist sehr unterschiedlich. Während sein damaliger Schüler Alois Höfler sagte, dass „Boltzmanns Philosophie in den Annalen der Wissenschaft doch nicht ebenso unsterblich

on their way to become a church. This is my answer to it: If the belief in the existence of atoms is so essential to you, then I secede from the physical mindset, I do not want to be a physicist anymore and I renounce any scientific appreciation. Many thanks to the communion of saints, but I prefer freedom of thought.”¹

According to the tone of their letters, there was no personal hostility between the two. Their scientific discourse, however, was all the more acrimonious – but in no way incompatible with the conventions of their time.

In contrast, Boltzmann had an aversion to the philosophy of Schopenhauer. (Fig. 10.7) In the Philosophical Society he descended on Schopenhauer and disgruntled many philosophically minded intellectuals with his attitude. During his inaugural lecture in Vienna in 1903, Boltzmann attacked him with the following words: „To draw wisdom from the most profound depths, I started with Hegel; but what mindless babble did I find there! Then my unlucky star led me from Hegel to Schopenhauer. In the preface to one of his works I found a passage that I want to quote verbatim: „German philosophy is now despised and ridiculed in foreign countries. Honest science has expelled it like a ...“ Let me suppress a few words out of respect for the ladies present. „The heads of the present generation are desorganized by the Hegelian nonsense. Incapable of thought, barbarized and benumbed they must become the prey of the tritest materialism that creeps from the basilisk’s egg.“ With this I could fully agree, but in my opinion Schopenhauer himself deserves his own blows.“²

Even after his death Boltzmann was criticized by some philosophers: “When it came to philosophizing, Boltzmann lacked exactly those qualities that made him great at physics: A foundation on knowledge, self-discipline and a methodical approach, a broad view for the character of the subject that he was dealing with.”³

This allegation is not completely right. According to the exposed shorthand note he did indeed prepare himself.

Shorthand note of Ludwig Boltzmann

The author used the most abbreviated type of the Gabelsberger stenography. It is assumed that Boltzmann learned to write shorthand in his early days. Certain characteristics indicate that he was not influenced

by the reformations of 1867. Shorthand notes can be found in many of his books and printed papers.

Boltzmann was a dedicated advocate of Charles Darwin’s theory of evolution. He even called the whole 19th century the “century of Darwin.” (Fig. 10.8) To a certain respect he advanced Darwin’s theories and applied them also to photosynthesis, the human brain and all thought processes.

The thermodynamic view of vital processes that Boltzmann established in his treatment of photosynthesis is nowadays widely used. In this regard, Boltzmann can be called one of the forefathers of biophysics.

As Boltzmann once said in one of his scientific talks: „If you ask for my opinion whether later generations will call our the century the century of iron or the century of steam or electricity, then I tell you without compunction that I expect it to be called the century of Darwin.“⁴

The opinions on Boltzmann’s philosophy were diverse. Whilst his former student Alois Höfler said that Boltzmann’s philosophy would be forgotten in the future, important scientists like Max Planck, Albert Einstein, Max Born or Erwin Schrödinger mentioned the importance of Boltzmann’s role in repelling the subjective idealism from the field of science.⁵

The evolution of the physical method: Ludwig Boltzmann⁶

Boltzmann’s epistemology is closely related with some ideas of Ernst Mach. Both persons refer to the history of physics.

But there are also crucial differences between the two. Even though Boltzmann had accepted Mach’s biological epistemology, which is related to the evolution theory of Darwin, he came up with his own epistemology that included ideas which are currently referred to as hypothetical or internal realism in the philosophy of science.

So, the accordance between Boltzmann and Mach is outweighed by the differences that Boltzmann had to introduce in order to carry forward Mach’s ideas. Especially these diffe-

sein wird, wie seine Mathematik und Physik“, erwähnten bedeutende Naturforscher wie Max Planck, Albert Einstein, Max Born oder Erwin Schrödinger im nachhinein ausdrücklich das wesentliche Verdienst Boltzmanns im Zurückdrängen des subjektiven Idealismus in der Naturforschung um die Jahrhundertwende.⁵

Die Evolution der physikalischen Methode: Ludwig Boltzmann⁶

Boltzmanns Erkenntnistheorie steht nicht nur biographisch in engem Zusammenhang mit den Ideen, wie sie Ernst Mach entwickelt hat, sondern es gibt auch grundsätzliche Übereinstimmungen inhaltlicher Art. Denn beide beziehen sich auf die Geschichte der Physik.

Aber es gibt auch wesentliche Unterschiede. Boltzmann hat zwar Machs biologische, an der Evolutionstheorie Darwins orientierte Erkenntnistheorie grundsätzlich akzeptiert. Aber in deren Weiterentwicklung hat er den sensualistischen Positivismus von Mach überwunden und ist zu einer eigenen selbständigen Erkenntnistheorie gekommen, in der er bereits eine Reihe von Überlegungen vorwegnimmt, wie sie in der gegenwärtigen Wissenschaftstheorie als hypothetischer oder interner Realismus diskutiert werden.

Die Übereinstimmungen zwischen Boltzmann und Mach werden also übertroffen von den Unterschieden, die Boltzmann in der Fortsetzung von Machs Ideen machen musste. Es sind vor allem diese Unterschiede zu Mach, die Boltzmanns Erkenntnistheorie auch für die heutige Diskussion relevant erscheinen lassen. Und zwar sind es die folgenden Punkte:

Im Unterschied zu Ernst Mach geht Boltzmann nicht so sehr von der Sinnesphysiologie, sondern von der Hirnphysiologie aus.

1. Dementsprechend ist für Boltzmann die Entwicklung der menschlichen Erkenntnisfähigkeit nicht von der Weiterentwicklung der Sinnesorgane abhängig, sondern an die Evolution des Gehirns als des eigentlichen „Weltbildapparates“ gebunden.

2. Wissenschaftstheoretisch bedeutet das den Vorrang der Hypothese bzw. Theorie vor der Sinneserfahrung.

3. Die Geschichte der Physik zeigt, dass der eigentliche Fortschritt der Wissenschaft nicht in einer Kumulation der Fakten, sondern in einer Modifikation unserer Theorien als innere Anpassung der Gedanken untereinander besteht. Die Anpassung unserer Theorien an die Wirklichkeit erfolgt erst nachträglich durch experimentelle Überprüfung.

Während jedoch Ernst Mach im Sinne seines Ökonomieprinzips eine instrumentalistische Auffassung von Gesetzhypothesen und Theorien vertrat, war Boltzmann von allem Anfang an der Überzeugung, dass unsere Hypothesen und Theorien eine Entsprechung in der Realität an sich haben müssen. Sie sind Darstellungsmöglichkeiten der Realität und nicht nur Instrumente unseres Denkens.

Um diesen hypothetischen Realismus zu rechtfertigen, benötigt Boltzmann eine Theorie des „Weltbildapparates“, die weit über die Mach'sche Empfindungstheorie hinausgeht. Mach wie Boltzmann sind sich zwar darin einig, dass die Basis für jede Erkenntnistheorie in der Evolutionstheorie Darwins liegt. Aber während Mach ausdrücklich erklärt, Darwins Lehre auf die Theorie der Sinnesorgane anzuwenden, ist für Boltzmann der zentrale Verrechnungsapparat des menschlichen Gehirns der Träger des Mechanismus der menschlichen Erkenntnisfähigkeit. Er spricht daher ausdrücklich von einem „Mechanismus im Menschenkopf“, dessen Organ das menschliche Gehirn ist:

„Das Gehirn betrachten wir als den Apparat, das Organ zu Herstellung der Weltbilder, welches sich wegen der großen Nützlichkeit dieser Weltbilder für die Erhaltung der Art entsprechend der Darwinschen Theorie beim Menschen geradeso zur besonderen Vollkommenheit herausbildete, wie bei der Giraffe der Hals, beim Storch der Schnabel zu ungewöhnlicher Länge.“⁷

rences are relevant for today's discussions. In more detail, it is the following points:

In contrast to Ernst Mach, Boltzmann does not act so much on the base of sensory physiology but on the base of cerebral physiology.

1. Correspondingly, in Boltzmann's point of view the development of the cognitive ability of human beings is not dependent on the advancement of the sensory apparatus, but rather on the evolution of the brain as the actual "world view apparatus".

2. For philosophy of science this means the precedence of hypothesis and theory over sensorial experience.

3. History of physics shows that the actual advancement of science is not an accumulation of facts but a modification of our theories as an inner adaptation of our thoughts to each other. The adaptation of our theories to reality happens subsequently by experimental review.

While Ernst Mach represented an instrumental understanding of hypotheses and theories in terms of his principle of economy, Boltzmann was convinced from the very beginning that our hypotheses and theories need to have an inherent analogy in reality. They are means of describing the reality and not just instruments of our thinking.

To justify this hypothetic realism, Boltzmann needed a theory of the "world view apparatus" which goes far beyond Mach's perception theory. Mach and Boltzmann generally agreed

that the basis of every epistemology is the evolution theory of Darwin. But they differ in the interpretation of it. Mach explained the theory from the point of view of the sensory apparatus while Boltzmann saw the brain in the centre of the theory:

"We see the brain as the apparatus, the organ to construct the world view, which has advanced because of the usefulness of such world views for the conservation of our species. According to the theory of Darwin the human brain is a special tool just like, for example, the neck of a giraffe or the long beak of a stork."⁷

With this organ, which is phylogenetically as well as ontogenetically developed to an extreme, the "human thinking being" is able to constantly increase its cognitive abilities. This belief can explicitly be found in one of Boltzmann's manuscripts from his lectures on natural philosophy which he held in the winter term 1903/04 (cf. Dieter Flamm, Ludwig Boltzmann and his influence of science. University of Vienna. Appendix: Manuscript of a lecture held by L. Boltzmann in 1903 [inaugural lecture], p 16). Also compared to Mach, this was a new idea. Boltzmann accentuated the historically proven fact that inborn structures, which were primarily developed for the survival of the species, can be modified. This broke up the genetic determinism which has negatively influenced the debate about Darwinism from the beginning.

Erhard Oeser, Institut für Wissenschaftstheorie

1 Mach, Ernst: Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen, *Physikalische Zeitschrift* 11 (1910) S. 599f

2 Fasol-Boltzmann, Ilse M.: Ludwig Boltzmann – Principien der Naturphilosophie, Berlin: Springer, 1990, S. 153f.

3 Müller, Aloys: Ludwig Boltzmann als Philosoph, *Philosophisches Jahrbuch der Görres-Gesellschaft* 20, 1907, S. 85f.

4 Boltzmann, Ludwig: *Populäre Schriften*, Leipzig: Barth, 1905, S. 28

5 Koch, Martin: *Naturdialektik und Atomistik*, Ludwig Boltzmanns Werk in naturwissenschaftlicher und philosophischer Sicht, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle an der Saale 1987, S. 56f

6 Oeser, Erhard: *Die Evolution der physikalischen Methode: Ludwig Boltzmann*, Institut für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung der Universität Wien: http://gerda.univie.ac.at/science-archives/wiss-th_l/historische_einl.php?number=12

7 Boltzmann, Ludwig: *Populäre Schriften*, Leipzig: Barth, 1905, S. 179

Mit diesem, sowohl phylogenetisch wie ontogenetisch zum Extremorgan entwickelten Gehirn gelingt es nach Boltzmann dem Menschen „als denkendes Wesen“, die „Erkenntnisschwelle immer günstiger zu gestalten“. Diese Vorstellung findet man ausdrücklich in einem Manuskript zu seiner Vorlesung über Naturphilosophie, die er im WS 1903/04 gehalten hat. (Vgl. Dieter Flamm, Ludwig Boltzmann and his influence of science. Univ. of Vienna. Appendix: Manuscript of a lecture held by L. Boltzmann in 1903 [Antrittsvorlesung], S 16).

Auch gegenüber Mach ist diese Idee neu. Was Boltzmann hier betont, ist die historisch, an der Geschichte der Physik selbst nachweisbare Tatsache, dass sich diese angeborenen Strukturen, die primär für das Überleben der biologischen Art entwickelt worden sind, modifizieren lassen. Damit wird jedoch der genetische Determinismus durchbrochen, der die Debatte um den Darwinismus seit jeher negativ beeinflusst hat.

Erhard Oeser, Institut für Wissenschaftstheorie

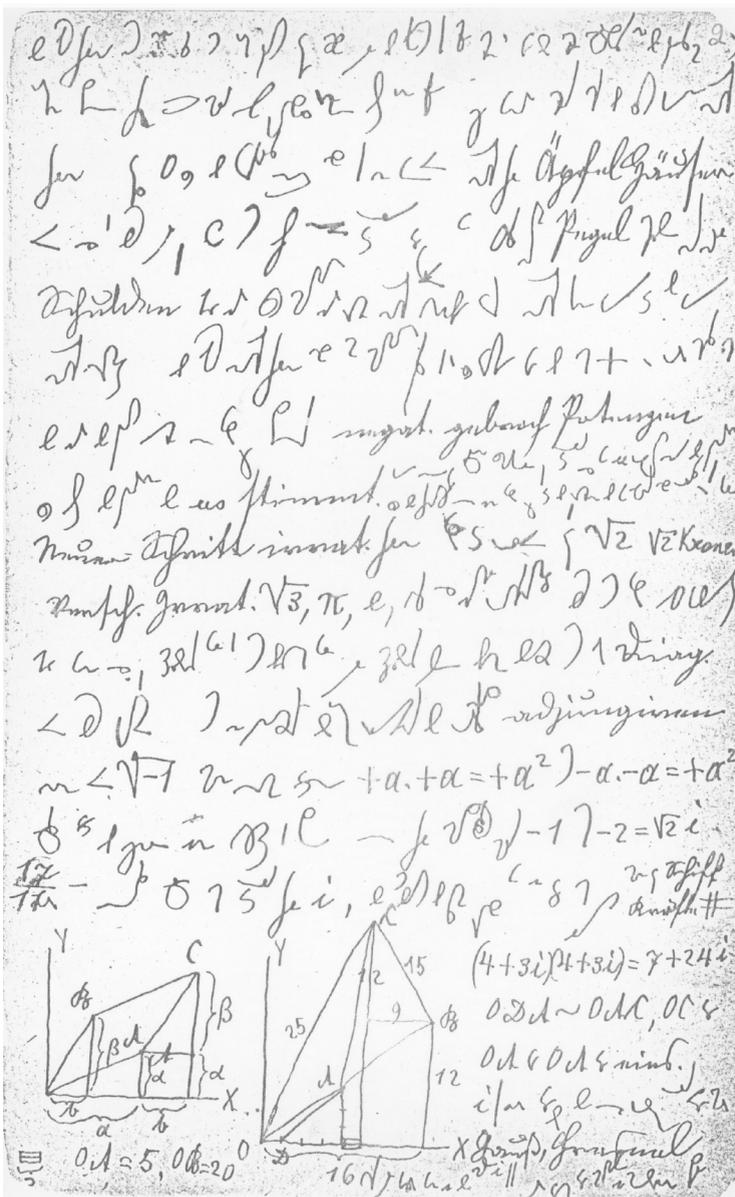


Abb. 10.3: Stenografische Notizen Boltzmanns für seine Philosophie-Vorlesung/ Stenographic notes from Boltzmann for his philosophy lectures

L. BOLTZMANN

BALD ZU BENUTZENDE NOTIZEN

Kant und Plato zwei a priori Regeln: Gesetz der Homogeneity, immer vereinigt bis zum letzten Begriff, entia prae[ter] necess[itatem] non multiplicanda [esse].

Gesetz der Specification, entium var[ietatis] non temere [esse] min[ue]ndas. Schopenhauer wendet das letztere Gesetz auf den [Satz] vom zureichenden Grunde an, indem er [****]

Kant empfiehlt Specification, nicht ein Gemisch [zu] machen wie Chemiker, dadurch wird das Verstaendnis erleichtert Seite 3, Paragraph 4 Wichtigkeit des Satzes: "Warum" [ist die] Mutter aller Wissenschaften. Paragraph 5 Satz selbst: nihil es[se]

sine ratione, cur pot[ius] sit quam non sit. Zweites Kapitel. Uebersicht des [Hauptsaechlichsten], so bisher ueber den Satz vom zureichenden Grunde gelehrt worden Par.6 Arist[oteles] und andere Schol[astiker] haben causae material[es], for[males]

effic[ientes], finales. Aristoteles verwechselt Erkenntnisgrund und Ursache | Wer behauptet, es gibt keine Ursache, hat entweder keine Ursache dieses oder eine, Seite 9 | Cart[esius] Ursache Gottes ist Erkenntnis

ontologischer Beweis | Spinoza betrachtet das Verhaeltnis Gottes zu allen seinen Attributen Ehrfurcht [****] Nuechternheit Spinoza: ratio seu cau[sa]

ipsa nat[urae] dei immens[itas] est causa seu ratio, deus = subst[antia] involv[it] existentiam

Muenchhausen; unser Wille verursacht manches. Wir meinen, ein Wille muss alles verursachen | Leibniz, Wolf sondern beide Bedeutungen 1. [cau]sa

fiendi warum ein Stein heiss wird, 2. causa essendi, der Moeglichkeit 3. cognoscendi, Lambert!

Abb. 10.4: Notizen Boltzmanns für seine Philosophie-Vorlesung/
Notes from Boltzmann for his philosophy lectures



Abb. 10.2: Ernst Mach

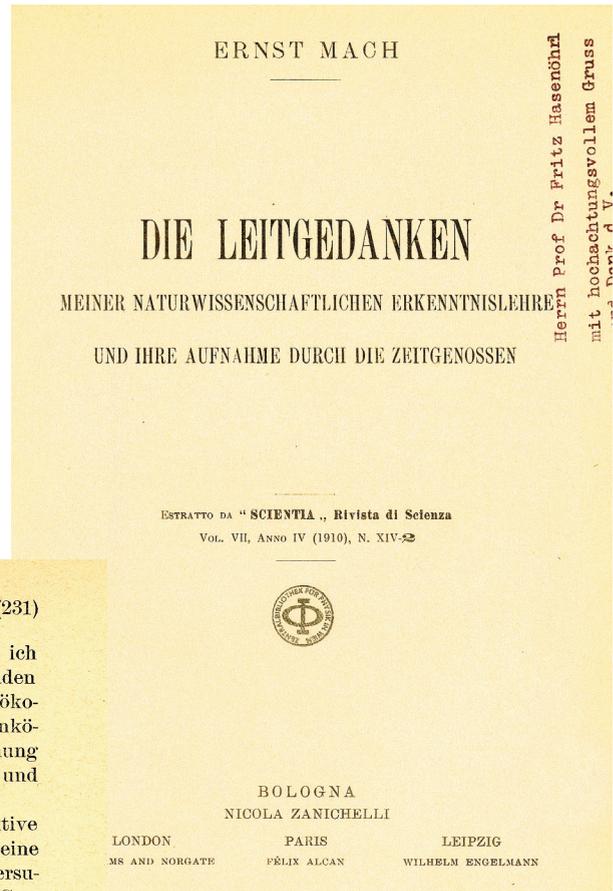


Abb. 10.5

MEINE NATURWISSENSCHAFTL. ERKENNTNISLEHRE 9-(231)

terscheidung reversibler und irreversibler Vorgänge, kann ich im wesentlichen zustimmen. Denn wenn auch die betreffenden Sätze gerade bei Gelegenheit und auf Anlass praktisch-ökonomischer Fragen gefunden worden sind, so ist die Denkökonomie in ihren Zielen durchaus nicht auf die Untersuchung menschlich praktisch-ökonomischer Bedürfnisse beschränkt und gebunden.

Nur meiner Abneigung gegen die hypothetisch-fiktive Physik kann ich nicht entsagen. Darum habe ich auch meine besondere Meinung über die Wahrscheinlichkeits-Untersuchungen BOLTZMANN'S auf Grundlage der kinetischen Gastheorie betreffend den zweiten Hauptsatz. Wenn BOLTZMANN gefunden hat, dass Vorgänge entsprechend dem zweiten Hauptsatz sehr wahrscheinlich, entgegen demselben nur sehr unwahrscheinlich sind, so kann ich nicht annehmen, dass das Verhalten gemäss diesem Satz nachgewiesen sei. Auch kann ich es nicht richtig finden, wenn P den ersten Teil annimmt, ohne dem zweiten Teil folgen zu wollen (S 24), denn beide Hälften der Folgerung sind nicht von einander trennbar. Wie könnte auch ein absolut konservatives System elastischer Atome durch die geschicktesten mathematischen Betrachtungen, die ihm doch nichts anhaben können, dazu gebracht werden, sich wie ein nach einem Endzustand strebendes System zu verhalten? Vgl. « W. », 2. Aufl. S. 364, ferner SEELIGER, « Ueber die Anwendung der Naturgesetze auf das Universum », S 20, Münchener Akad., 1. Mai 1909.

S. 29 konstatiert P., dass die Sinnesempfindungen als die Quelle unserer Erfahrung nicht ignoriert werden dürfen, dass aber das farblose kinetische Weltbild wegen seiner Einheitlichkeit doch vorzuziehen sei. Dieses Weltbild sei (S. 31) nicht nur unabhängig vom Individuum, sondern auch für alle Zeiten und Völker, ja auch für die anders organisirten Marsbewohner gültig. Wer dies nicht anerkennt, sage sich von der physikalischen Denkweise los. S. 34 finden wir die Behauptung, die Atome seien nicht weniger real als die Himmelskörper, und dass ein Atom Wasserstoff $1,6 \cdot 10^{-24}$ g. wiegt sei ebenso gewiss, wie dass der Mond $7 \cdot 10^{25}$ g. wiegt. Eine ähnliche Aeusserung finden wir übrigens bei dem berühmten Begründer der modernen Elektronentheorie H. A. LORENTZ.

Auch ich betrachte die Sinnesempfindungen als die Quelle aller Erfahrung, glaube aber nicht, dass sie bestimmt sind

Abb. 10.6: Mach über Boltzmann/
Mach about Boltzmann

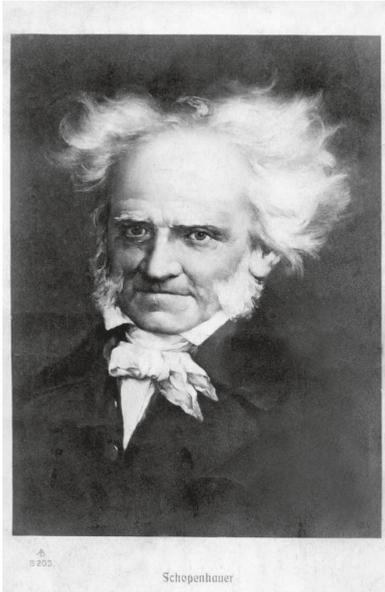


Abb. 10.7: Arthur Schopenhauer

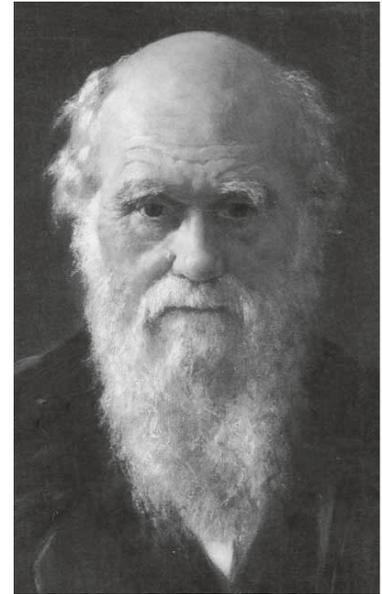


Abb. 10.8: Charles Darwin



Abb. 10.1: Boltzmann, der Philosoph; Karikatur von Karl Przibram/Boltzmann the philosopher; by Karl Przibram

Aus allen Briefen, die Boltzmann 1906 schrieb (überliefert sind Briefe an Svante Arrhenius, Franz Brentano, Stefan Meyer und Hugo Buchholz), wird deutlich, wie schlecht Boltzmann sich zu dieser Zeit körperlich und psychisch fühlte.

Brief an Stefan Meyer vom Februar 1906:

(Abb. 11.1)

Lieber Herr Doktor!

Leider ist mein Asthma wieder stärker geworden, so dass ich heute morgen nicht lesen kann. Ich überschiere hier alle Belegscheine, die ich habe. Vielleicht genügt es, alle der Quästur zu schicken. Sonst müsste ich Sie bitten, die gerade notwendigen herauszusuchen.

Mit besten Grüßen,

Boltzmann

Ein Brief Ludwig Boltzmanns vom März 1906 an Hugo Buchholz, der das Buch „Das mechanische Potential nach Vorlesungen von Ludwig Boltzmann“ bearbeitete, welches 1908 in Leipzig bei Barth erschien:

Hochgeehrter Herr! Entschuldigen Sie, dass ich Ihre beiden Briefe so spät beantworte. Ich war längere Zeit von Wien weg und bin jetzt so unwohl, dass ich die Vorlesungen gar nicht halten kann. Daher erhielt ich auch Ihre Briefe ganz verspätet. Ich habe durchaus nichts dagegen, dass Sie in Ihrem Buche von meinen Vorlesungen über Potentialtheorie beliebigen Gebrauch machen, wenn Sie es kurz im Buche erwähnen. Im Gegenteil, ich freue mich, dass der damals ausgestreute Same noch Frucht trägt.

Ich fühle mich leider recht unwohl und unglücklich.

Hochachtungsvollst

Ihr ergebenster Ludwig Boltzmann

Im September 1906 sollte ein Kuraufenthalt in Duino (Abb. 11.2, 11.3) Boltzmann, der von Asthma, Angina Pectoris, Blasenleiden, Depressionen und extremer Kurzsichtigkeit schwer gezeichnet war, Linderung bringen. Boltzmann hatte sich Zeit seines Lebens nie geschont und wohl zu wenig auf seine Gesundheit geachtet. Die ständigen wissenschaftlichen Auseinandersetzungen hatten zusätzlich an seinen Kräften gezehrt. Am 5. September erhängte er sich in seinem Hotelzimmer und wurde von seiner 15-jährigen Tochter Elsa gefunden. Die Zeitungen berichteten sehr ausführlich darüber.

(Abb. 11.5, 11.6) Die Beerdigung erfolgte in kleinem Rahmen auf dem Döblinger Friedhof. (Abb. 11.7) Eine Fülle von Nachrufen weist nicht zum letzten Mal auf Ludwig Boltzmanns überragende Bedeutung hin.

Im Frühjahr 1910 bilden elf Mitglieder der Chemisch-Physikalischen Gesellschaft (Felix Ehrenhaft, Franz Serafin Exner, Fritz Hasenöhr, Gustav Jäger, Viktor von Lang, Ernst Lecher, Heinrich Mache, Stefan Meyer, Josef Nabl, Albert von Obermayer und Rudolf Wegscheider) ein Komitee für die Errichtung eines Boltzmann-denkmals im Arkadenhof der Universität Wien (Abb. 11.8). Ein Aufruf zur Beteiligung wurde zu Beginn des Jahres 1911 an einen größeren Kreis von Wissenschaftlern im In- und Ausland verschickt. Von den 138 Namen sind heute nur ganz wenige vergessen. Die weitaus größte Zahl der Subskribenten hatte Lehrstühle im damaligen Deutschen Reich inne, zu dem auch Straßburg, Königsberg und Breslau gehörten. Zahlreich sind auch die Namen aus dem seinerzeitigen Österreich-Ungarn; außer den noch im heutigen Österreich befindlichen Hochschulstädten gehörten Brünn, Budapest, Czernowitz und Prag dazu. Zu beachten ist, dass in der Liste fünfzehn Nobelpreisträger verzeichnet sind.

Der akademische Bildhauer Leo Brandeisky wurde mit der Ausführung des Denkmals beauftragt. Im November 1912 konnte es im Arkadenhof der Wiener Universität aufgestellt werden. In einer akademischen Feier – die Festrede hielt Fritz Hasenöhr – wurde Ludwig Boltzmanns gedacht. (Abb. 11.9)

Über 20 Jahre nach seinem Tod wurde Boltzmanns Grab auf dem Döblinger Friedhof versehentlich neu belegt; die Familie Boltzmanns erfuhr erst im Nachhinein davon. Boltzmanns Leichnam wurde exhumiert und in einem Ehrenggrab auf dem Wiener Zentralfriedhof neuerlich bestattet. Nach Begutachtung der zur Wahl stehenden Entwürfe der Bildhauer Gustinus Ambrosi, Wilhelm Frass, Carl Philipp und Fritz Wotruba wurde Ambrosi mit der Schaffung eines Grabdenkmals beauftragt, das am 4. Juli 1933 feierlich enthüllt wurde. (Abb. 11.10, 11.11, 11.12)

All the letters of Boltzmann from the year 1906 – for example to Svante Arrhenius, Franz Brentano, Stefan Meyer and Hugo Buchholz – show his poor health, physical as well as psychological.

*Letter to Stefan Meyer, dated February 1906:
(Fig. 11.1)*

*Dear doctor,
Unfortunately my asthma has gotten worse, so that I cannot read today. I am sending you all the receipts that I have. Maybe it is enough to send all of them to the legal affairs office. Otherwise, I would have to ask you to seek out the right ones.
With best regards,
Boltzmann*

A letter of Ludwig Boltzmann from March 1906 to Hugo Buchholz; the latter worked on the book “The mechanical potential, based on lectures of Ludwig Boltzmann”, which was published in 1908 in Leipzig:

*Dear Sir!
Please excuse my late response. I was not in Vienna for a while and now I do not feel well. I cannot even hold my own lectures. That is why I could not answer earlier. I do not have any objection that you use parts of my lectures in your book if you mention it. Actually, I am happy that the seeds from then still bear fruit.
Unfortunately, I am feeling very sick and unhappy.
Yours truly,
Ludwig Boltzmann*

In September 1906 Boltzmann went on a cure to Duino (Fig. 11.2, 11.3) for some alleviation of his diseases: asthma, angina pectoris, bladder trouble, depression and an extreme form of short-sightedness. Throughout his life, he had worked too hard and probably did not take much care of his health. The incessant academic disputes consumed a great deal of his energy.

On September 5th, 1906 he committed suicide by hanging himself in his hotel room and was found by his 15-year-old daughter Elsa. The event was covered in detail by the newsletters. (Fig. 11.5, 11.6) Boltzmann’s burial took place in the cemetery of Döbling (Vienna) with only a small number of attendees. (Fig. 11.7)

Numerous obituaries point out the outstanding importance of Ludwig Boltzmann.

In the spring of 1910, eleven members of the Society for Chemistry and Physics (Felix Ehrenhaft, Franz Serafin Exner, Fritz Hasenöhr, Gustav Jäger, Viktor von Lang, Ernst Lecher, Heinrich Mache, Stefan Meyer, Josef Nabl, Albert von Obermayer and Rudolf Wegscheider) established a committee for the construction of a memorial in the Arkadenhof at the University of Vienna to honour Boltzmann. (Fig. 11.8) An appeal to take part in this venture was sent out in the beginning of the year 1911 to many scientists in Austria and abroad. From the 138 names on this list, only a very few have fallen into obscurity. By far the greatest number of subscribers occupied important position in the German empire, including Strasbourg, Königsberg and Breslau. Many were from the former Austrian-Hungarian monarchy; apart from the cities in today’s Austria there were Brünn, Budapest, Czernowitz and Prague. It also ought to be mentioned that there were fifteen Nobel Prize winners on the list.

The sculptor Leo Brandeisky created the memorial which was put up in November 1912. Fritz Hasenöhr commemorated Ludwig Boltzmann in his speech. (Fig. 11.9)

By accident, 20 years after Boltzmann’s death his grave was allocated again; his family was only informed afterwards. Boltzmann’s body was exhumed and buried in a tomb of honour at the central cemetery (Zentralfriedhof) of Vienna. After the comparison of drafts by the sculptors Gustinus Ambrosi, Wilhelm Frass, Carl Philipp and Fritz Wotruba, Ambrosi was assigned to create a new memorial for the tomb. On July 4th, 1933 the memorial was revealed in a solemn celebration. (Fig. 11.10, 11.11, 11.12)

PROF. DR. LUDWIG BOLTZMANN. WIEN, 1906
 XVIII 11. HAIZINGERGASSE 26.

Lieber Grossvater!

Leider ist meine Aufmerksamkeit für Sie,
 die geworden, so daß ich für Sie nicht
 ganz nicht lesen kann. Ich überlasse Sie
 alle Gedanken, die ich habe. Willst du,
 nicht alle die Gedanken zu schicken. Du
 wüßtest ich bin lieb, die gerade erst
 zusammengekommen. Mit besten Grüßen
 Boltzmann.

Abb. 11.1: Brief Boltzmanns an Stefan Meyer/
 Letter from Boltzmann to Stefan Meyer, February 1906



Abb. 11.2



Abb. 11.3: Duino

ZEIT

Abonnement für Wien: Monatlich in der Ha
K 3.20, in allen Filial-Expeditionen und Wien
stellen K 3.40. Mit täglich zweimaliger Zustell
Monatlich K 3.60; vierteljährig K 10.50; ganzj
Abonnement für Österreich-Ungarn: Mit
mälliger Postversendung: Monatlich K 4.—
K 12.—; halbjährig K 24.—; ganzjährig K 48.—
zweimaliger Postversendung: Monatlich K 4.70
K 14.—; halbjährig K 28.—; ganzjährig
K 56.—
Im Weltpostverein vierteljährig K 20

Für die an Agenten, Austräger oder Verschleis
Beträge leisten wir keine Garantie, wenn die
Quittung vorliegen.

Vierteljahrspreis bei den Postämtern:
DEUTSCHLAND M. 10.50 (Post-Zeitungsliste pro
SCHWEIZ Fr. 13.20; ITALIEN L. 13.48; BELGI
HOLLAND Fr. 8.55; NORWEGEN Kr. 10.03;
DÄNEMARK Kr. 10.12; RUMÄNIE
BULGARIEN Kr. 14.75; TÜRKEI (europ.) K 14
(asiat.) K 16.30; SERBIEN D. 13.10

Wien, Freitag, den 7. September 1906

5. 3

Graf Witte in Petersburg?

≠ Petersburg, 7. September. (Priv.-Tel.)
Gerüchten aus informierten Kreisen zufolge,
die auch die meisten Blätter verzeichnen, ist
Witte unter strengstem Inkognito nach
Petersburg zurückgekommen, um noch
rechtzeitig an der entscheidenden Konferenz der
Hofkreise teilnehmen zu können.

Die Zahl der Verbannten.

≠ Petersburg, 7. September. (Priv.-Tel.)
Das „Do“ bringt folgende interessante Daten
über die Zahl der Verbannten. Der
extraordinäre Konseil allein hat von November
1905 bis August 1906 die Deportation von
12694 Politischen bestimmt. Inter-
essant ist, daß trotz der steten Behauptung, daß
die Revolution ausschließlich von Turken ge-

Wiener Kleinigkeiten.

Selbstmord des Prof. Boltzmann.

Aus Triest kommt uns die Meldung: Hof-
rat Prof. Dr. Ludwig Boltzmann, der zum
Sommeraufenthalt mit seiner Tochter in
Duino weilte, wurde vorgestern als Leiche
in seinem Zimmer aufgefunden.
Er hatte sich mit einem kurzen Strick am
Fensterkreuz erhängt. Seine Tochter
war die erste, die den Selbstmord entdeckte. In
Duino gibt sich große Teilnahme kund. Der
Leichnam wird heute nachmittags von Duino
nach Rabresina gebracht und von dort
nach Wien überführt werden.

Diese Nachricht, die nicht verfehlen wird, die
ganze wissenschaftliche Welt zu aufzuklären

schaffliche Korporationen mit Auerken
Bewunderung, manchmal auch mit
in Gold überschütteten, hat die We
das Leben verhält. Nirgends konnte
heimisch werden.

Boltzmann, dessen Ruhm nachgerad
schen Umfang gewonnen hatte, hat
äußeren Erscheinung den Typus des w
lichen Arbeiters. Immer ging er in
besunken, heftig, seinem Ziele ohne
und Seitenblicke zustrebend; seine b
Kürzsichtigkeit mochte diesen Habitus
fördert haben. Auf einem stämmigen N
im letzten Jahrzehnt zur Krüppelung N
auf kurzem, dickem Hals war ein
Schnitt angepflanzt, dessen Haare, ger
stark angegraut, nach allen Richtun
einanderstrebten, auch in die Stirn
immer zurückzuführen werden mußte

Abb. 11.6: Die Zeit, 7. 9. 1906

Selbstmord des Hofrates Boltzmann.

Wien, 6. September.
In später Nachkunde erhalten wir aus Triest die er-
schütternde Nachricht, daß in dem benachbarten Duino
der Wiener Universitätsprofessor Hofrat Dr. Ludwig
Boltzmann einen Selbstmord verübt hat. Der Ge-
lehrte, der an einem Nervenleiden erkrankt war und zu
seiner Erholung in Duino weilte, hat seinem Leben durch
Erhängen ein Ende gemacht.

Das Telegramm, welches den Selbstmord des Hof-
rates Boltzmann meldet, lautet:

Triest, 6. September.
Aus Duino wird gemeldet: Der Wiener Uni-
versitätsprofessor Hofrat Dr. Ludwig Boltzmann hat
sich heute hier das Leben genommen.

Professor Boltzmann war seit längerer Zeit an
Nervositäten leidend und war zu seinem
Sommeraufenthalte in Begleitung einer Tochter nach
Duino gekommen. Als die Tochter ihn gestern früh nicht
ans seinem Zimmer herauskommen sah, ging sie hinein
und fand den Vater, der sich an einer Eisenstange
des Fensters erhängt hatte, tot auf.

Die Leiche wurde in die Totenkapsel gebracht, auf-
gehängt und wird morgen nach Wien überführt werden.

Ludwig Boltzmann ist am 20. Februar 1844 in
Wien geboren worden. Er studierte in Wien, Heidelberg
und Berlin. Im Jahre 1867 erfolgte seine Habilitation
als Privatdozent für Physik an der Wiener Universität
und 1869 seine Berufung zum ordentlichen Professor der
mathematischen Physik an die Universität in Graz. Im
Jahre 1873 kehrte er nach dem Rücktritt Moths als Pro-
fessor der Mathematik nach Wien zurück, wo er unter
anderem über Zahlentheorie und Funktionentheorie las.
Im Jahre 1878 übernahm er eine Professur der Experi-
mentalphysik in Graz und leitete das Grazer physikalische
Institut. Das Jahr 1889 führt ihn ins Ausland, nach
München, wo er als Professor der theoretischen Physik
fungierte. Im Jahre 1894 ist er in gleicher Eigenschaft,
diesmal als Nachfolger Stefans, wieder in Wien,
1900 folgt er einem Ruf nach Leipzig, bis er im
Jahre 1902 endgültig sich in Wien niederläßt. Von seinen
Forschungen aus dem Gebiete der Experimentalphysik sind
besonders die über Dielektrizitätskonstanten bekannt. Die
„Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaften“
und die „Annalen der Physik und Chemie“ veröffentlichen
zahlreiche theoretische Arbeiten aus seiner Feder. Neben
Fragen der inneren Gaslehre und der Thermo-
dynamik, ferner solchen der Mechanik und der Faraday-
Maxwellschen Theorie des Elektromagnetismus behandelt er
in diesen Arbeiten auch die meisten erkenntnistheoretischen
Probleme. Im Buchhandel erschienen von ihm außer-
dem: „Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizi-
tät und des Lichts“, „Vorlesungen über die Kinematik der
Mechanik“, „Vorlesungen über Gaslehre“ u. a.

Abb. 11.5:
Neue Freie Presse,
7. 9. 1906

Professor Boltzmann auf dem Döllinger Friedhof
zu Ruhe beisetzt. Nur ein kleiner Kreis seiner intimen Freunde
und Schüler, von denen die meisten sich noch auf Urlaub
befanden, war davon unterrichtet, daß der Gelehrte heute
zu Graze gelangen werden sollte. In der Griefhofer Pfarr-
kirche, in der die Einsegnung der Leiche erfolgte, hatten sich
eingefunden: Vom Unterrichtsministerium Sektionschef
Graf Wickenburg und Hofrat Kelle, der Prä-
sident der Akademie der Wissenschaften Professor
Eduard Sueß, ferner der gewesene Unterrichts-
minister Ritter v. Hartzel, der Direktor der Stern-
warte Hofrat Professor Dr. Eduard Weich, der Dekan der
philosophischen Universität Hofrat Professor Boltzmann,
der, geleitet vom Oberpostamt, als Vertreter der Hochschule
gelommen war, ferner die Hofräte und Professoren Gröbald,
Fuchs, Ludwig, Professor Jäger, Dr. Kehl, von
der Akademie der Wissenschaften Dr. Stephan Mejer, der
Assistent Boltzmanns und andere. Die Leiche war direkt
vom Südbahnhof in die Kirche gebracht worden. Der Zug,
dem der Leichenwagen angehängt war, hatte des Freitags-
verkehrs wegen in Graz eine zweistündige Verweilung und
kam auch erst zwei Stunden später in Wien an. Vor dem
Trauerhause in der Hainburgergasse sah man nur den Kranz-
wagen und den Trauerwagen, der die Familie in die Kirche
brachte. Kränze hatten gewidmet: Das Professorenkollegium
der philosophischen Fakultät, die Dozenten der Physik
(Stephan Mejer), Professor Dr. Gustav Jäger, Dr. Stephan
Mejer, Hofrat Liebner, mehrere Schüler (Sylvius Weiser),
und der Gelehrtenrat der Akademie. Hinter dem Leichen trägt die
Witwe, geführt von dem Sohne Dr. Arthur Boltzmann, der
die Uniform des Einjährig-Freiwilligen trug, und die drei
Töchter des Verstorbenen. Die meisten Trauerkränze hatten
den Toten bis zum Grabe auf dem Döllinger Friedhof
das Geleite gegeben. Hier hielt im Namen der philosophischen
Fakultät Dekan Hofrat Professor Boltzmann dem Kollegen
eine tiefempfundene Grabrede, in der er darauf hinwies, daß
eine Reihe von Jahren es zur Folge hatte, daß sein Be-
gräbnis des geistlichen und gelehrten Verkehrs der Alma
mater sich nahezu keiner seiner Kollegen befindet.

„Wir von der philosophischen Fakultät“, sagt Dekaner, haben
mit dem Grabe, das uns durch die Verdienst Boltzmanns zu teil
wurde, gewidmet. Als die Fakultät in Not war wegen eines Ver-
treters des Faches, nach dem sie heißt, wendeten wir uns an Boltz-
mann, er, der große Mathematiker und Physiker, nahm mit zün-
gendem Eifer und Feuer die Vorstellungen über Philosophie
auf. Tausende Hörer haben begeistert seinen Worten gelauscht und
sind durch ihn für die philosophischen Studien gewonnen worden.
Es mag sein, daß nicht für seine universitäre Lehrentätigkeit die
Anlage, die er sich geistig zu groß machte; denn sie er geworden
ein Mitarbeiter der Forschung und ein Mitarbeiter der Lehre. Aber
dadurch sind unser Schmerz und unsere Dankbarkeit um so größer
geworden. Wenn ein Gelehrter stirbt, haben viele den Verlust. Man
kann sagen, daß die Weltverluste nicht an einem großen, merkwür-
digen Fortschritt durch den Gung Boltzmanns gekommen ist,
und das deutsche Volk in ihm einen großen verloren hat;
denn er war ein Denker und er hat die Wecht
und die Höhe des deutschen Geistes gelehrt. Viel
hat daher das deutsche Volk im Gedenken
mit Boltzmann verloren. Denn im Kampfe um
die Stellung, die wir zu bewahren suchen, ist
längst die Kraft des Geistes als höchste Wert
erkannt worden. Durch seine Klugheit nach Wien hat Boltz-
mann der Fakultät das ehrenvolle Zeugnis ausgesprochen, indem er
die übrigen Universitäten teils verurteilt, teils verweisen hat, nur
um nach Wien zurückzuführen, und er hat der Wiener Universität
zu neuem Glanze verholfen. Aber von uns ist durch seinen Tod
etwas verloren, denn ein Verlust von ihm hat auf uns, auf die

Abb. 11.7:
Neue Freie
Presse,
11. 9. 1906



Abb. 11.9: Boltzmann-Denkmal im Arkadenhof der Universität Wien/*Boltzmann memorial*

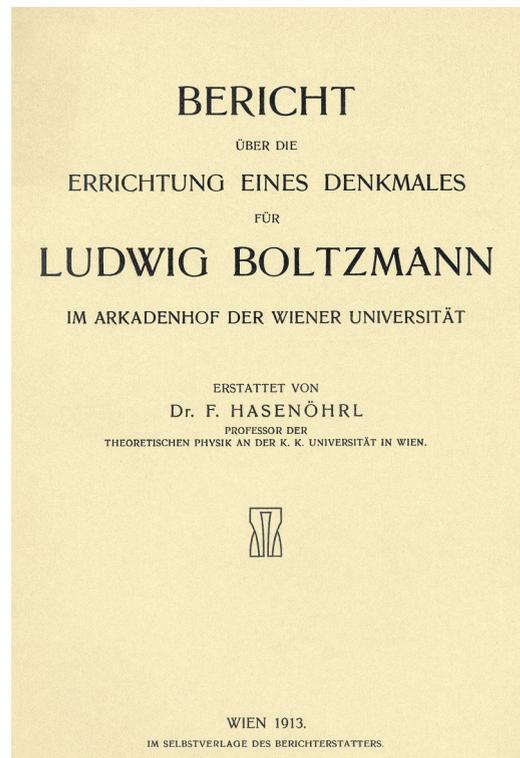


Abb. 11.8



Abb. 11.10: Ehrengrab am Zentralfriedhof/
Tomb of honor at Zentralfriedhof (central cemetery)

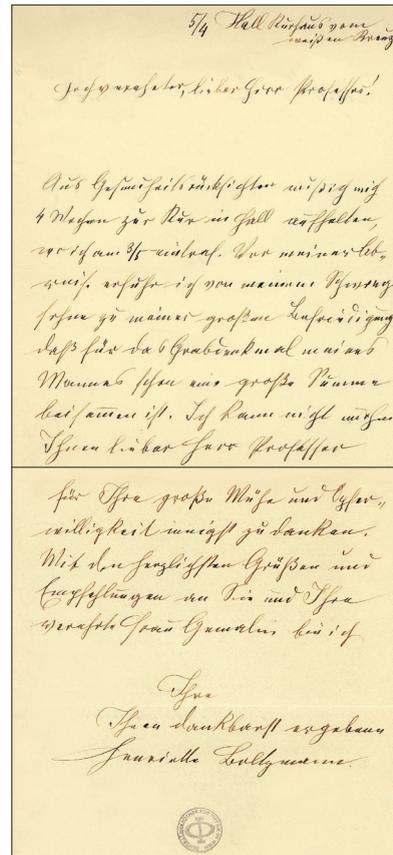


Abb. 11.11: Henriette Boltzmanns Brief
an Felix Ehrenhaft/Henriette Boltzmann's
letter to Felix Ehrenhaft

Hall, 4.5.(1931)

Hochverehrter, lieber Herr Professor!

Aus Gesundheitsrücksichten muss ich mich vier Wochen zur Kur in Hall aufhalten, wo ich am 3. 5. (1931) eintraf. Vor meiner Abreise erfuhr ich von meinem Schwiegersohn zu meiner großen Befriedigung, dass für das Grabdenkmal meines Mannes schon eine große Summe beisammen ist. Ich kann nicht umhin Ihnen lieber Herr Professor für ihre große Mühe und Opferwilligkeit innigst zu danken.

Mit den herzlichsten Grüßen und Empfehlungen an Sie und Ihre verehrte Frau Gemahlin bin ich Ihre

Ihnen dankbarst ergebene
Henriette Boltzmann

Abb. 11.12: Henriette Boltzmanns Brief an Felix Ehrenhaft, Abschrift/
Henriette Boltzmann's letter to Felix Ehrenhaft, copy

Hall, 4.5.(1931)

Dear professor,

I have to take my health into consideration and therefore I am attending a cure for four weeks in Hall. I arrived on the 3rd of May. Before I left my son told me that you have already collected a large sum for the tomb of my husband. I would like to send my innermost thanks for your endeavors.

I am sending sincere greetings to you and your dear wife.

Thankfully yours,
Henriette Boltzmann

Es war die Tragik von Boltzmanns Schicksal, dass er starb, bevor sich seine Ideen allgemein durchgesetzt hatten. Seine Arbeiten waren aber auf fruchtbaren Boden gefallen, auch wenn er das selbst nicht mehr voll miterleben konnte.

1909 wurden im Auftrage und mit Unterstützung der Akademien der Wissenschaften zu Berlin, Göttingen, Leipzig, München und Wien Ludwig Boltzmanns wissenschaftliche Abhandlungen von Fritz Hasenöhrl herausgegeben.

Ludwig Boltzmann: Wissenschaftliche Abhandlungen, Leipzig, Barth, 1908
Band 1 (1865-1874); Band 2 (1875-1881),
Band 3 (1882-1905) (Abb. 12.1)

Eine Reihe von Büchern wird seinem Werk gewidmet. (Abb. 12.2, 12.3, 12.4, 12.5)

Eine Boltzmann-Gesamtausgabe und Biografien über Boltzmann erscheinen. (Abb. 12.6, 12.7, 12.8, 12.9, 12.10)

Klassische vs. moderne Physik

Boltzmann hat zu den umwälzenden Erkenntnissen von Max Planck und Albert Einstein nie Stellung bezogen, obwohl sie ihm höchstwahrscheinlich bekannt waren. Dies ist schon deswegen merkwürdig, da seine eigene Wahrscheinlichkeitstheoretische Deutung der Entropie der Ausgangspunkt für die Arbeiten der beiden war. Planck berief sich in der Begründung seines Strahlungsgesetzes ausdrücklich auf Boltzmanns Ideen über den Zusammenhang zwischen Entropie und Wahrscheinlichkeit. Außerdem konnten die für die Quantentheorie so bedeutenden Quantenstatistiken nur auf der Grundlage der Maxwell-Boltzmann-Statistik entstehen. Auch für das Werk Albert Einsteins sind die Ergebnisse Boltzmanns von großer Bedeutung, z. B. im Zusammenhang mit der Theorie der Brownschen Bewegung. Ludwig Boltzmann ist damit – wahrscheinlich ohne sich dessen bewusst gewesen zu sein – zum Wegbereiter der nichtklassischen Physik geworden.

In seiner atomistisch-wahrscheinlichkeitstheoretischen Deutung des 2. Hauptsatzes diskutierte Boltzmann auch die Verteilung einer fixen Anzahl diskreter Energieelemente auf die Moleküle eines idealen Gases. Max Planck erkannte, dass diese von Boltzmann lediglich als Rechenhilfsmittel eingeführten Energiequanten als Lösungsansatz dienen konnten, wenn man sie auf die schwarze Strahlung anwendete. Damit wurde diese zum ersten physikalischen Phänomen, das nur unter Aufgabe einer wesentlichen Grundannahme der klassischen Physik erklärt werden konnte. Somit gilt die Plancksche Quantentheorie zu Recht als die Geburtsstunde der modernen nichtklassischen Physik; sie hätte allerdings ohne die Vorarbeiten Boltzmanns nicht entwickelt werden können.¹

Boltzmanns Atomistik hat sich durchgesetzt; sowohl Physik als auch Chemie haben Nutzen aus der Anerkennung der Atome gezogen. Die statistische Mechanik, die von Boltzmann und Gibbs auf der Grundlage von Maxwells Pionierarbeiten entwickelt wurde, hat bis heute ein weites Anwendungsgebiet gefunden. Auf ihrer Grundlage entstand letztlich auch die Informationstheorie.

Boltzmanns Transporttheorie aus dem Jahre 1872 hat das Tor zu unserer heutigen High-Tech-Welt der Mikrochips und Halbleiter, der Hochleistungsprozessoren und Computer weit aufgetan.

The tragedy of Boltzmann's life is that his ideas became widely accepted only after his death. But his work was planted in fertile soil even though he himself could not fully witness this anymore.

In the year 1909 Fritz Hasenöhr published Boltzmann's scientific disquisitions with the support of the Academies of Science of Berlin, Göttingen, Leipzig, Munich and Vienna at J. A. Barth.

Ludwig Boltzmann: *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Leipzig, Barth, 1908

Band 1 (1865 – 1874); Band 2 (1875 – 1881), Band 3 (1882 – 1905) (Fig. 12.1)

Many books are dedicated to his works. (Fig. 12.2, 12.3, 12.4, 12.5)

His collected works as well as Biographies are being published. (Fig. 12.6, 12.7, 12.8, 12.9, 12.10)

Classical vs. modern physics

Boltzmann never commented on the findings of Max Planck and Albert Einstein, though he most likely was acquainted with them. This is surprising because his probabilistic interpretation of entropy was the foundation for their works. In the substantiation for his radiation law, Planck referred to Boltzmann's ideas about the relationship between entropy and probability. Additionally, quantum statistics, which are crucial for quantum theory, originate from the Maxwell-Boltzmann statistics. The results of Boltzmann were also important for the works of Albert Einstein (e. g. in relationship to the theory of Brownian motion).

Thereby Ludwig Boltzmann became – most likely without being aware of it – a pathfinder of non-classical physics.

In his atomistic-probabilistic interpretation of the second law of thermodynamics Boltzmann discussed the distribution of a fixed number of discrete energy elements over the molecules of an ideal gas. Max Planck discovered that these energy elements, which were introduced by Boltzmann to simplify his calculations, could be used to resolve the problem of black body radiation. This became the first physical phenomenon which could only be explained by abandoning a fundamental assumption of classical physics. Thus, Planck's quantum theory is seen as the hour of birth of modern non-classical physics. However, it could have not been developed without the preliminary works of Boltzmann.¹

Boltzmann's atomism prevailed. Chemistry as well as physics benefited from the acceptance of atoms as real entities. In addition, statistical mechanics, which was developed by Boltzmann and Gibbs based on the pioneer work of Maxwell, has a wide range of application. Finally, information theory is built upon statistical mechanics.

Boltzmann's transport theory from the year 1872 has opened the door to today's high-tech world of microchips and semiconductors, high-performance processors and computers.

¹ Koch, Martin: *Naturdialektik und Atomistik*, Ludwig Boltzmanns Werk in naturwissenschaftlicher und philosophischer Sicht, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle an der Saale 1987, S. 56f

Heutige Anwendungen der

Boltzmann-Gleichung: (Abb. 12.11)

1. Gasdynamik (kinetische Isotopieeffekte)
2. Statistische Physik (Lösung kinetischer Gleichungen)
3. Plasmaphysik (Kernfusion, MHD-Generatoren)
4. Gasentladungsphysik, Plasmachemie (Gaslaser, Lichttechnik)
5. Festkörperphysik (Halbleiter, Mikroelektronik)
6. Kosmologie (Sterndynamik)
7. Chemie heißer Atome (chemische Laser, Neutronentransport im Kernreaktor)
8. Chemische Reaktionskinetik

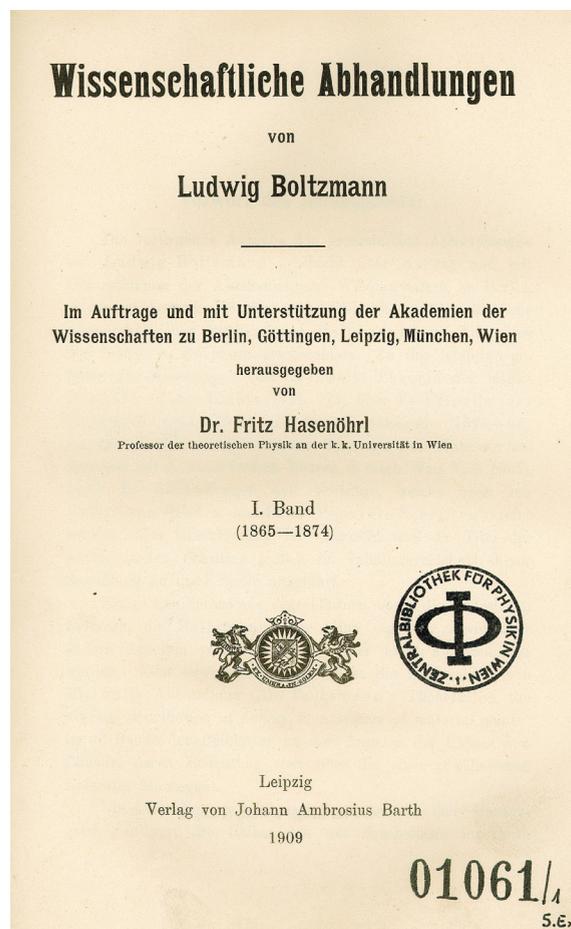


Abb. 12.1

Today's applications of the**Boltzmann equation:** (Fig. 12.11)

1. Gas dynamics (kinetic isotope effects)
2. Statistical physics (solution of kinetic equations)
3. Plasma physics (nuclear fusion, MHD generators)
4. Gas discharge physics, plasma chemistry (gas laser, light engineering)
5. Solid-state physics (semiconductors, microelectronics)
6. Cosmology (dynamics of stars)
7. Chemistry of hot atoms (chemical laser, transport of neutrons in the nuclear reactor)
8. Chemical reaction kinetics

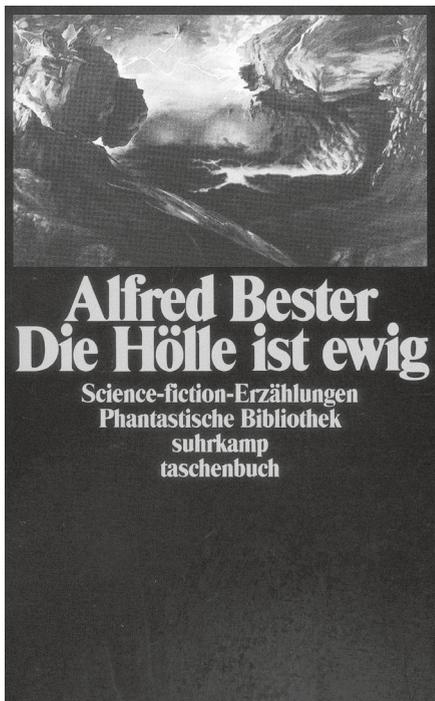


Abb. 12.2

Oder nehmen Sie Boltzmann. Er hielt einen Fortgeschrittenenkurs über ideale Gase ab und würzte seine Ausführungen mit komplizierten Infinitesimalrechnungen, die er nebenher schnell im Kopf durchführte. Er hatte diese Begabung. Seine Studenten hatten so große Schwierigkeiten, aus den nur gehörten mathematischen Berechnungen schlau zu werden, daß sie den Ausführungen nicht folgen konnten, und sie baten Boltzmann, seine Gleichungen auf der Tafel zu lösen.

Boltzmann entschuldigte sich und versprach, in Zukunft entgegenkommender zu sein. Bei der nächsten Vorlesung sagte er zu Beginn: »Meine Herren, wenn wir Boyles Gesetz mit dem von Charles kombinieren, kommen wir zu der Gleichung $pV = p_0V_0(1 + \alpha t)$. Nun, wenn $\int_a^b f(x)dx = \varnothing(a)$ ist, dann ist logischerweise $pV = RT$ und $\int_a^b f(x,y,z) dV = 0$. Das ist so einfach, wie zwei plus zwei gleich vier ist.« An diesem Punkt erinnerte sich Boltzmann an sein Versprechen. Er wandte sich zur Tafel, schrieb gewissenhaft $2 + 2 = 4$ hin und schnurrte dann weiter seine Vorlesung herunter, wobei er die komplizierten Infinitesimalrechnungen nebenher im Kopf durchführte.

Or take a look at Boltzmann. He held an advanced lecture on ideal gases and on the side he mentally performed a complex infinitesimal calculus. He had this gift. Often it was difficult for his students to understand what Boltzmann was saying and they would ask him to solve the equations on the blackboard rather than in his head.

Boltzmann apologized and promised to be more considerate in the future. At the beginning of his next lecture he said: "Sirs, if we combine Boyle's law with Charles's law then we get the equation $pV = p_0V_0(1 + \alpha t)$. When $\int_a^b f(x)dx = \varnothing(a)$, then, of course $pV = RT$ and $\int_a^b f(x,y,z) dV = 0$. That is as simple as two plus two is four." At this point he remembered his promise and he turned to the blackboard. He wrote " $2 + 2 = 4$ " and continued with his lecture and again performed complex infinitesimal calculus in his head.

Abb. 12.3:
Alfred Bester,
Textauszug/
Textpassage



Abb. 12.4

Vorbildern des göttlichen Epos zu tun. Es ist der hamletische Knappe des Odysseus, ein schöner, nachdenklicher Unteroffizier, der sich der Illusion hingibt, er könne mit der Mathematik zwei Probleme lösen, die auf ein einziges Problem zurückzuführen sind: die Liebe, mit der eine herrliche und geheimnisvolle Libanesin ihn überschüttet, und die existentielle Krise, die die Theorien Ludwig Boltzmanns in ihm nähren. Eines Abends fragte ich ihn, was er denn suche, und er antwortete mir ernst: «Die Formel des Lebens.» Dann zeichnete er eine Gleichung auf, die aus fünf Symbolen bestand, $S = K \ln W$, sagte, dies sei die Formel des Todes, genauer gesagt der Entropie, die immer gewinnt, und: «Es muß doch auch eine Möglichkeit geben, die Umkehrung zu beweisen, zu beweisen, daß das Leben immer gewinnt.» Aber

He is the squire of Odysseus, a beautiful, contemplative sergeant who cherishes the illusion that he can use mathematics to solve two problems, which originate from one problem: love (...), and the existential crisis that is nourished by the theories of Boltzmann. One day I asked him what he was looking for and he answered in a serious tone: "The formula of life". Then he drew a formula, which consisted of the five symbols $S = k \log W$ and said that this is the formula of death. In more detail, it is the formula of entropy, which always wins: "There has to be a possibility to prove the opposite; to prove that life always wins."

Abb. 12.5: Oriana Fallaci, Textauszug/Textpassage

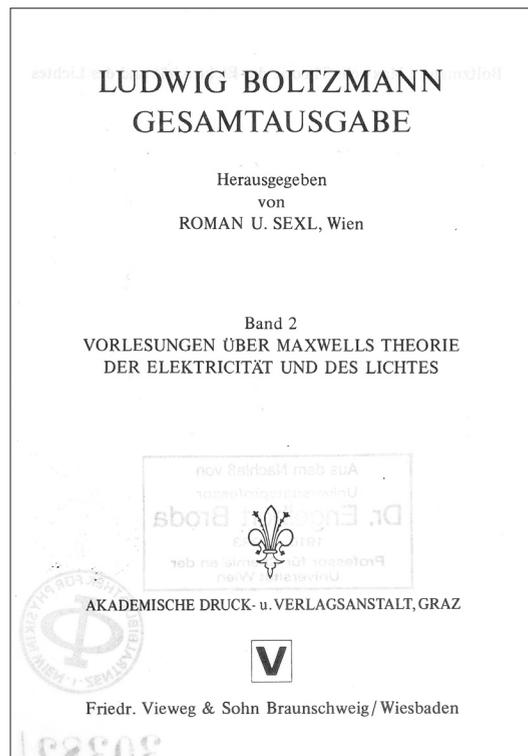


Abb. 12.6

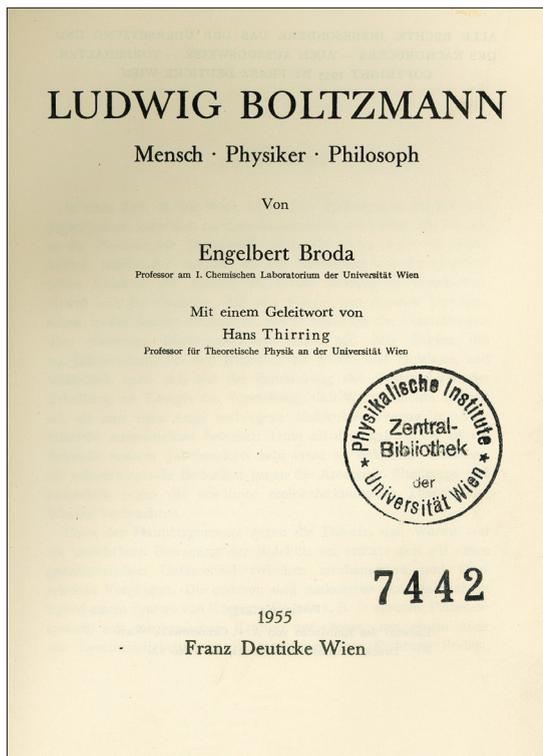


Abb. 12.7

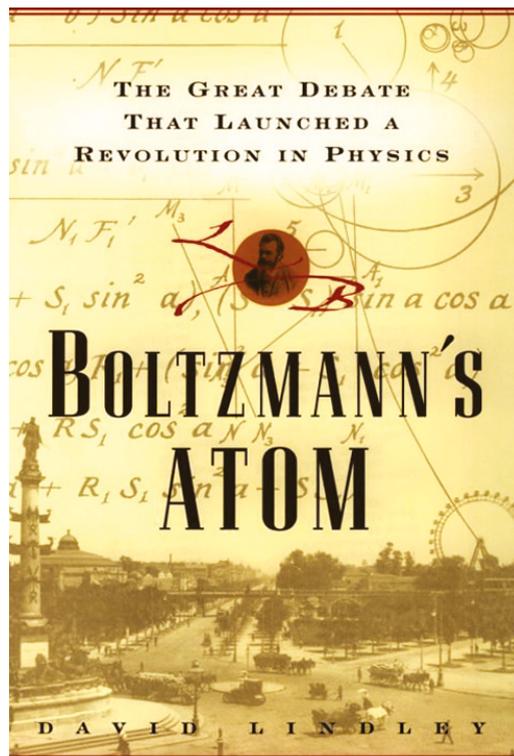


Abb. 12.8

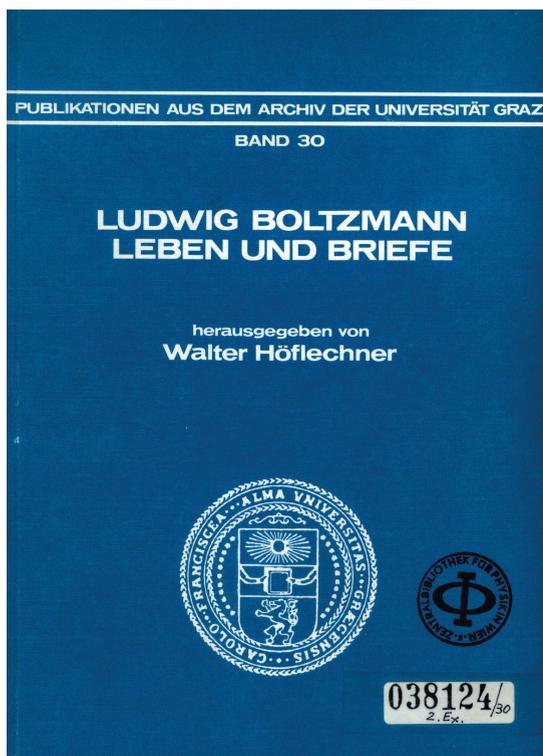


Abb. 12.9

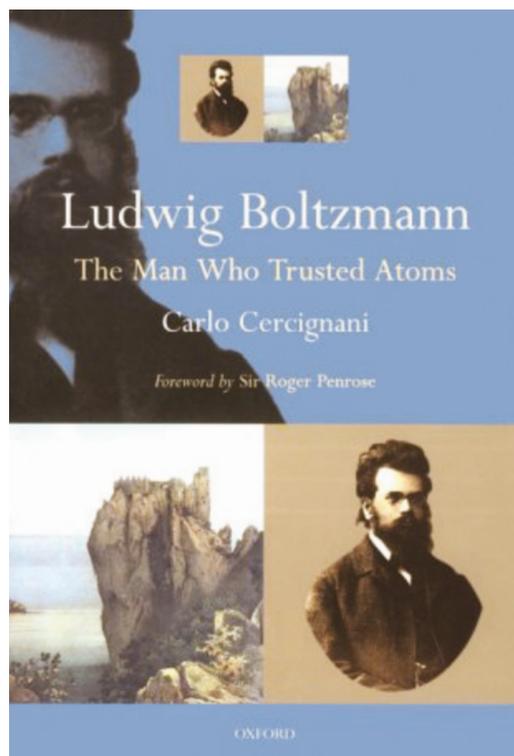


Abb. 12.10



**Abb. 12.11: Anwendungsbeispiel für die Boltzmann-Gleichung:
Turbulente Strömung an einem Flugzeug/Example for the use of
Boltzmann's kinetic equation: Turbulent flow at an airplane
(Science, August 2003)**



Hermann von Helmholtz (1821–1894)

Deutscher Mediziner, Physiologe und Physiker. 1871 verbrachte Ludwig Boltzmann einige Monate im Labor von Helmholtz und begann dort seine Untersuchungen zur Bestimmung von Dielektrizitätskonstanten.

German medic, psychologist and physicist; In 1871 Ludwig Boltzmann spent some months in the laboratory of Helmholtz where he started his research to determine dielectricity constants.

„Herr Ludwig Boltzmann geb. 1844 zu Wien, zur Zeit Professor der Physik an der Universität Graz, ist hauptsächlich als mathematischer Physiker hervorragend, wenn er auch vielfältig und in glücklicher Weise experimentelle Untersuchungen zur Lösung einzelner thatsächlicher Fragen, vor die ihn seine mathematischen Untersuchungen gestellt hatten, durchgeführt hat. Die Hauptarbeit seines Lebens ist der kinetischen Wärmetheorie, namentlich der der Gase zugewendet gewesen. Namentlich hat er darin den Nachweis geliefert, dass das Gesetz der Vertheilung der verschiedenen Werthe der Geschwindigkeiten zwischen den Atomen, welches Maxwell nur als eine richtig erratene Hypothese verificirt hatte die nothwendige Form des Endzustandes sein müsse, der durch die Collision der Molekeln herbeigeführt wird. Er hat in diesen Arbeiten einen hohen Grad von Abstraktionskraft und die Fähigkeit gezeigt höchst schwierige und verwickelte Probleme zu überwinden. Übrigens hat er auch während einer Reihe von Jahren als Professor der reinen Mathematik an der Universität Wien fungiert. Daneben gingen einher speziellere Arbeiten über das Gesetz der Dispersion bei Circularpolarisation, über Messungen der Dielektricitätsconstanten nach verschiedenen Methoden, namentlich auch für Gase, über elastische Nachwirkung, über Stoß elastischer Cylinder, Beziehungen der Wärmestrahlung zur Temperatur, Dissociation der Gase, Gesetz der elektrischen Kräfte. Auch diese kleineren Arbeiten zeigen überall das Bestreben in die letzten Ursachen der Erscheinungen einzudringen, und erscheinen für Jeden, der das betreffende Gebiet bearbeiten will, als höchst beachtenswerth, selbst wenn er geneigt sein sollte den Zusammenhang der Thatsachen anders zu deuten.

Herr Boltzmann wird wohl mit Recht als der bedeutendste unter den mathematischen Physikern deutscher Zunge angesehen, die unter Berücksichtigung ihres Lebensalters für eine Berufung an die Berliner Universität in Betracht kommen konnten.“¹

“Mr. Ludwig Boltzmann, born in 1844 in Vienna and currently working as professor for physics at the University of Graz, is excellent in the area of mathematical physics. But he has also successfully conducted various experiments to solve questions which arose through his mathematical research. The most important achievement of his life is the kinetic theory of gases. He proved the distribution law for the velocities of the molecules in an ideal gas that in Maxwell’s hypothesis had only been a guess. In these works he

¹ Helmholtz, Hermann von: Ausschnitt aus einer Begründung für Boltzmanns Wahl zum ordentlichen Mitglied in die Berliner Akademie, 1888, in: Stiller, Wolfgang: Ludwig Boltzmann, Frankfurt am Main: Deutsch, 1989, S. 58

applied a high degree of abstraction and showed his ability to solve highly complex problems. For many years he also worked as a professor for mathematics at the University of Vienna. Additionally he worked on topics like the dispersion law for circular polarization, methods for the measurement of dielectric constants namely in gases, elastic effects, the collision of elastic cylinders, the relationship between thermal radiation and temperature, dissociation of gases and the laws of electrical forces. Even the smaller works show his striving to reveal the fundamental causes for several physical phenomena. Everyone who works on one of these topics must acknowledge Boltzmann's findings, even though one might come to different conclusions.

Regarding his age, Mr. Boltzmann is without a doubt among the most important mathematical physicists of the German language who are to be considered for an appointment at the University of Berlin.”¹



Svante Arrhenius (1859–1927)

Schwedischer Physikochemiker. Nobelpreis für Chemie 1903, Arrhenius war 1887 Schüler bei Boltzmann in Graz.

Swedish physicist and chemist; Nobel Prize for chemistry in 1903. Arrhenius was a student of Boltzmann in the year 1887 in Graz.

„Da riet mir mein Freund Nernst, in das prächtige Institut von Boltzmann in Graz zu gehen. Das wissenschaftliche Leben am Boltzmann'schen Institut war überaus rege. Über allen dominierte natürlich der große Forscher und Denker, die größte Zierde der österreichischen exakten Wissenschaften. (...) Der Vortrag war sehr durchsichtig und fesselnd; die Schwierigkeiten, denen man nicht selten in seinen Abhandlungen begegnet, blieben beim gesprochenen Wort vollkommen aus. (...) Bisweilen versammelte er seine Schüler um sich; so z. B. besuchten wir ihn in seinem in prachtvoller Lage gelegenen Landhaus „Boltzmannum“. Bei solchen Gelegenheiten wurden alle Neuigkeiten auf physikalischem Gebiete besprochen und wir bewunderten die sachgemäße Kritik unseres Lehrers, die oft durch eine leichte Ironie gewürzt war. Wir verehrten unseren ausgezeichneten Lehrer. Dies wurde nicht vermindert durch die große Weltfremdheit, welche ihn im praktischen Leben in ganz unglaubliche Situationen versetzte. (...) Wir wussten ja alle, dass es ein unersetzlicher Verlust sein würde, wenn er einem der stets an ihn ergehenden Rufe, an anderen Universitäten seine Tatkraft zu entfalten, folgen würde. Das geschah schon im folgenden Jahr. So ging nachher Boltzmann von der einen Stelle zu der anderen. Überall war er gesucht. Nirgends fand er Ruhe. Dieser stete Wandertrieb ist sein Unglück geworden.“²

“My friend Nernst gave me the advice to go to the magnificent institute of Boltzmann in Graz. Academic life there was most active. Above all it was dominated by Boltzmann, the great researcher and thinker and the brightest star of the Austrian exact sciences. (...) The lectures were very clear and

² Arrhenius, Svante: Brief an Felix Ehrenhaft, in: Flamm, Dieter: Ludwig Boltzmann, Henriette von Aigentler – Briefwechsel, Wien-Köln-Weimar: Böhlau, 1995, S. 48f

captivating; the problems that usually appear when reading his works did not appear when listening to his lectures. (...) Occasionally he invited his students to undertake something together. For example, we visited him at his country house called Boltzmanneum. On such occasions we talked about the latest news in the area of physics and we admired the appropriate criticism of our teacher, which was supported by a light touch of irony. We adored our excellent teacher, even though sometimes his innocent behavior in worldly matters put him into incredible situations in practical life. (...) We all knew that it would be a great loss if he followed one of the many calls from other universities. It already happened in the following year. So, Boltzmann moved from one position to the next. He was much in demand everywhere but he could not find peace anywhere. This roving spirit became his fate.”²



Wilhelm Ostwald (1853–1932)

Deutscher Physikochemiker, Nobelpreis für Chemie 1909. Ostwald war Anhänger der Energetik und ein Gegner Boltzmanns bezüglich dessen Atomtheorie.

German physicist and chemist; Nobel Prize for chemistry in 1909. Ostwald was a supporter of energetics and an opponent of Boltzmann's theory of atomism.

„Das hohe wissenschaftliche Ansehen, zu dem Boltzmann bereits in frühem Alter gelangt war, verdankt er seiner ganz ungewöhnlichen mathematischen Begabung, die verbunden war mit einer ausgedehnten und tiefgehenden Anschauung erfahrungsmäßiger Tatsachen. (...) Der geniale englische Physiker Maxwell, zu dessen Arbeiten Boltzmann sich besonders hingezogen fühlte, hatte eine Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen veröffentlicht, die den meisten Zeitgenossen ein Buch mit sieben Siegeln war. Nur ein Ebenbürtiger konnte diese Siegel lösen, und wir wissen es aus der kurzen glanzvollen Laufbahn von Heinrich Hertz, welche Schätze diejenigen zu heben vermochten, welche des Zauberspruchs kundig waren. Früher noch als Hertz hat Boltzmann die außerordentliche Bedeutung der Maxwellschen elektromagnetischen Theorie erkannt und ein besonderes Interesse an den Beziehungen genommen, die sich aus ihr zu den Erscheinungen des Lichts ergaben. (...) Ein originaler Denker wie Boltzmann konnte natürlich sich nicht mit der bloßen Übernahme der Gedanken anderer begnügen, und so sehen wir ihn auch dieses Gebiet selbständig weiter durchforschen. Auch hier hat er durch die Veröffentlichung seiner Vorlesungen über die Maxwellsche Theorie nicht nur das reine Gedankengut aus dem noch ziemlich ungeordneten Material herausgearbeitet, wie es der frühverstorbene Forscher der Nachwelt überlassen hat, sondern reichlich eigenes hinzugefügt. Wenn ich noch Boltzmanns Arbeiten über Strahlung, über Anwendungen des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie erwähne, so weiß der Fachmann, dass es sich jedes mal um Marksteine auf dem Entwicklungswege der Wissenschaft handelt.“

„Er war ein Fremdling in dieser Welt. Ganz und gar seiner Wissenschaft hingegeben, von ihren Problemen unausgesetzt erfüllt, hat er nie Zeit und Neigung gefunden, sich mit jenen Tausend Kleinigkeiten vertraut zu machen, auf deren instinktiver Handhabung das Leben des modernen Menschen zum

größten Teile beruht. Derselbe Mann, dessen mathematischem Scharfsinn nicht die kleinste wissenschaftliche Unstimmigkeit entging, war im täglichen Leben von der Harmlosigkeit und Unerfahrenheit eines kleinen Kindes. (...) Trotz dankbarer Empfänglichkeit der neuen Schüler packte ihn in Leipzig die böseste Krankheit, die den Professor treffen kann: die Colleg-Angst. Der Mann, der uns allen an Scharfsinn und Klarheit überlegen war, litt furchtbar unter der unbesiegbaren Sorge, dass ihm Geist und Gedächtnis plötzlich mitten in der Vorlesung versagen könnten.“³

“Already in his early years Boltzmann obtained a very good scientific reputation because of his mathematical talent connected with a deep understanding of experimentally established facts. (...) The ingenious English physicist Maxwell published a theory on electric and magnetic phenomena which most of his colleagues could not understand. Only an equal would be able to comprehend it and we know from the short but steep career of Heinrich Hertz that anybody who understood Maxwell’s theory would be able to go far. Even before Hertz, Boltzmann recognized the relevance of Maxwell’s theory on electromagnetism and he became very fond of it. (...) Just taking over the ideas of someone else did not satisfy an original thinker like Boltzmann, but he had to do additional research on his own. By publishing his lectures on the theory of Maxwell he provided a lot of additional information on the still unorganized material that was left by Maxwell who died much too young. If I mention Boltzmann’s works on radiation or the application of the second law of thermodynamics the expert will know that those are milestones in the history of science.”

“He was a stranger to this world. He was completely devoted to his science. Fraught with its problems he neither had time nor interest to get used to the little things that are part of modern life. The same man whose mathematical acuteness did not miss the smallest scientific dissonance was as harmless and un-experienced in every-day’s life as a little kid. The man who bested us all with his superior mind suffered from the fear to suddenly lose his mind and memory during a lecture.”³



Ernst Mach (1838–1916)

Österreichischer Physiker und Philosoph. Mach war Boltzmanns hartnäckigster Gegner in der Anerkennung der Atomistik.

Austrian physicist and philosopher. Mach was the most insistent opponent against Boltzmann’s theory of atomism.

„Je weiter, eingehender man die wissenschaftlichen Methoden, den systematischen, ordnenden, vereinfachenden, logisch-mathematischen Aufbau analysiert, desto mehr erkennt man das wissenschaftliche Tun als ein ökonomisches. (...) Nur meiner Abneigung gegen die hypothetisch-fiktive Physik kann ich nicht entsagen. Darum habe ich auch meine besondere Meinung über die

³ Ostwald, Wilhelm: Große Männer, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1919

Wahrscheinlichkeits-Untersuchungen Boltzmanns auf Grundlage der kinetischen Gastheorie, betreffend den zweiten Hauptsatz. Wenn Boltzmann gefunden hat, dass Vorgänge entsprechend dem zweiten Hauptsatz sehr wahrscheinlich, entgegen demselben nur sehr unwahrscheinlich sind, so kann ich nicht annehmen, dass das Verhalten gemäß diesem Satz nachgewiesen sei. (...) Wie der Leser wohl bemerkt hat, genügt die biologisch-ökonomische Auffassung des Erkenntnisprozesses vollständig, um zu jener der heute gangbaren Physik in ein verträgliches, ja freundliches Verhältnis zu treten. Die eigentliche Differenz, die sich bisher offenbart hat, bildet der Glaube an die Realität der Atome. (...) Man sieht, die Physiker sind auf dem besten Wege, eine Kirche zu werden und eignen sich auch schon deren geläufige Mittel an. Hierauf antworte ich nun einfach: Wenn der Glaube an die Realität der Atome für Euch so wesentlich ist, so sage ich mich von der physikalischen Denkweise los, so will ich kein richtiger Physiker sein, so verzichte ich auf jede wissenschaftliche Wertschätzung, kurz, so danke ich schönstens für die Gemeinschaft der Gläubigen. Denn die Denkfreiheit ist mir lieber.“⁴

„Böswillig ist ja Boltzmann nicht, aber unglaublich naiv und burschikos. (...) Er ist einmal ein Mann, der kein Gefühl für das Maß des Zulässigen hat. Das fehlt ihm leider auch in anderen, für ihn wichtigen Dingen.“⁵

“The further you analyze scientific methods with their systematical, regulatory, simplifying, logical and mathematical structure, the more you recognize that they offer a very economical approach. (...) I just cannot cease to dislike hypothetical and fictitious physics. Therefore I have my own special opinion about Boltzmann’s probabilistic observations concerning the second law of thermodynamics on the basis of the kinetic theory of gases. If Boltzmann has found that events corresponding to the second law are very likely and events not corresponding to it are very unlikely, then I cannot consider this behavior as proven. (...) As the reader may have already noticed, nowadays it is enough to have a biological-economical understanding of the cognitive process to have a compatible relationship to today’s physics. The actual difference that has been revealed is the belief in the existence in atoms (...). It looks like the physicists are on their way to become a church. This is my answer to it: If the belief in the existence of atoms is so essential to you, then I secede from the physical mindset, I do not want to be a physicist anymore and I renounce any scientific appreciation. Many thanks to the communion of saints, but I prefer freedom of thought.”⁴

“Boltzmann is not a malicious man, he is just naïve. (...) He is a man who does not have a sense for the degree of feasibility. He is missing that also in other, for him very important things.”⁵

⁴ Mach, Ernst: Die Prinzipien der Wärmelehre, Leipzig: Barth, 1900

⁵ Mach, Ernst: Briefe an Heinrich Gomperz, 1905, in: Höflechner, Walter: Ludwig Boltzmann – Leben und Briefe, Graz: Akademische Druck- und Verlagsanstalt, 1994, S. I 274

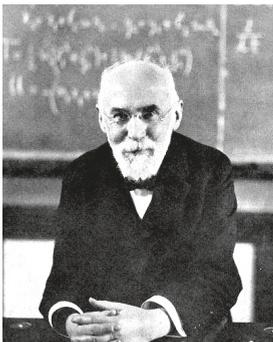


Otto Heinrich Wiener (1862–1927)

Deutscher Physiker. Wiener war ein Kollege Boltzmanns in Leipzig.
German physicist. He was a colleague of Boltzmann in Leipzig.

„Die Verdienste von Professor Boltzmann um die kinetische Gastheorie und mechanische Wärmetheorie, ebenso wie um die Maxwellsche Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen, seine geistreiche Ableitung des Maxwellschen Verteilungsgesetzes sind allgemein bekannt. Er ist ein ebenso eindringender und kraftvoller wie origineller und ideenreicher, höchst anregender Forscher und ragt als einer der letzten noch aus der jüngst verflossenen Zeit unserer großen theoretischen Physiker, wie Helmholtz, Kirchhoff und Clausius in unsere Physik hinein, ohne dass er zu alt wäre um nicht noch eine große Reihe von weiteren segensreichen Leistungen vor sich zu haben. Er ist am 20. Februar d. J. 56 Jahre alt geworden. Seine Berufung würde einen neuen Glanz auf unsere Universität werfen und ein neuer Anziehungspunkt für sie sein.“⁶

“The findings of Professor Boltzmann in the areas of the kinetic gas theory and thermodynamics, the theory of Maxwell and his witty deduction of Maxwell’s law of distribution are generally known. He is a powerful and immersive man, but on the other hand he is also an inventive, creative and inspiring scientist. He is on the same level as the great recent theoretical physicists like Helmholtz, Kirchhoff and Clausius. But he is young enough to come up with more interesting research. On the 20th of February of this year he turned 56. His appointment to our university would bring glory to it and would serve as a point of attraction.”⁶



Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928)

Niederländischer Physiker. Nobelpreis für Physik 1902.
Dutch physicist. He was awarded the Nobel Prize for physics in 1902.

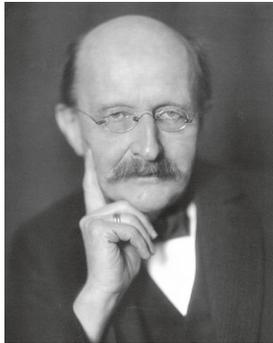
„Boltzmann war ein Führer unserer Wissenschaft, ein Bahnbrecher in manchen Richtungen, ein Forscher, der auf jedem Gebiete, das er betrat, unvergängliche Spuren hinterlassen hat. (...) Nur wenige Male war es mir vergönnt, in persönliche Beziehung zu ihm zu treten, und obgleich das Wohlwollen, das er mir zeigte, und die Anregung, die ich im Gespräch mit ihm fand, mir unvergesslich bleiben werden, so sind es doch in erster Linie seine Schriften, aus denen ich Boltzmann kennen gelernt habe. Freilich, in vielen von diesen redet er zu uns, wie wohl selten ein Physiker es getan hat, und offenbart er uns seine ganze Denk- und Empfindungsweise in Worten, die ihn auch unserem Herzen näher bringen. An seinen Antrittsreden, an dem schönen Vortrage über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik, an den in Amerika gehaltenen Vorlesungen werden sich, wie wir es jetzt tun, viele künftige Generationen von Physikern erquicken können. Hier macht er uns zu Teilgenossen seiner

⁶ Wiener, Otto Heinrich: Brief an den Dekan der philosophischen Fakultät der Universität Leipzig, 1900, in: Stiller, Wolfgang: Ludwig Boltzmann, Frankfurt am Main: Deutsch, 1989, S. 76

Zweifel und seiner Freuden, hier fesselt er uns durch tiefen, ernsten Sinn und leichten Scherz, hier reißt er uns hin, bald durch seine konsequent durchgeführte mechanistische Naturbetrachtung, bald durch seinen begeisterten Idealismus, der ihn dazu trieb, seine Werke mit so manchem Dichterwort zu schmücken und seine populären Schriften den Manen Schillers zu widmen.“⁷

“Boltzmann was a leader of our science, a pathfinder, a scientist who left his traces in all areas he worked in (...) I had only a few opportunities to meet him in person, but each time is unforgettable for me. It was very inspiring to talk to him and he treated me with respect and sympathy. Though, I learnt most from his works. In his papers he speaks to us in a way like very few physicists before. He reveals his way of thinking and his sentiments that bring him closer to our hearts.

Future generations of physicists will still enjoy his inaugural addresses and his lectures about the development of the methods of theoretical physics. He lets us participate in his doubts and joys. He ties us with deep and solemn but also playful thoughts. He carries us away with consequent mechanistic observations of nature, with enthusiastic idealism that drives him to decorate his works with literary quotations and dedicate his popular texts to Schiller.”⁷



Max Planck (1858–1947)

Deutscher Physiker, Nobelpreis für Physik 1918. Planck war zuerst skeptisch gegenüber Boltzmanns Atomtheorie eingestellt, wurde aber später ein Anhänger. *German physicist; Nobel Prize for physics 1918. Planck was first skeptical of the theory of atomism, but later became a follower.*

„Boltzmann war es gelungen, für ein gegebenes Gas in einem gegebenen Zustand eine Größe H zu bilden, welche die Eigenschaft besitzt, dass ihr Betrag mit der Zeit beständig abnimmt. Man braucht also nur den negativen Wert dieser Größe mit der Entropie zu identifizieren, um das Prinzip der Vermehrung der Entropie zu gewinnen. Damit war dann auch die Irreversibilität als charakteristisch für die Vorgänge in einem Gase nachgewiesen. (...) Es versteht sich, dass dieser Kampf, in dem sich namentlich Boltzmann und Ostwald gegenüberstanden, ziemlich lebhaft geführt wurde, und dass er auch zu manchen drastischen Effekten Anlass gab, da die beiden Gegner sich an Schlagfertigkeit und natürlichem Witz ebenbürtig waren. Ich selber konnte dabei nur die Rolle eines Sekundanten von Boltzmann spielen, dessen Dienste von diesem freilich gar nicht anerkannt, ja nicht einmal gern gesehen wurden. Denn Boltzmann wusste recht wohl, dass mein Standpunkt von dem seinigen wesentlich unterschiedlich war. Insbesondere verdross es ihn, dass ich der atomistischen Theorie, welche die Grundlage seiner ganzen Forschungstätigkeit bildete, nicht nur gleichgültig, sondern sogar etwas ablehnend gegenüberstand. Das hatte darin seinen Grund, dass ich damals dem Prinzip der Vermehrung der Entropie die nämliche

⁷ Lorentz, Hendrik Antoon: Gedächtnisrede bei der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Sonder-Abdruck aus den Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft IX. Jahrgang. Nr. 11, Braunschweig: Vieweg und Sohn, 1907

ausnahmslose Gültigkeit zuschrieb wie dem Prinzip der Erhaltung der Energie, während bei Boltzmann jenes Prinzip nur als ein Wahrscheinlichkeitsgesetz erscheint, welches als solches auch Ausnahmen zulässt. Die Größe H kann auch einmal zunehmen. Auf diesen Punkt war Boltzmann bei der Ableitung seines sogenannten H Theorems gar nicht eingegangen, und ein talentvoller Schüler von mir, Ernst Zermelo, wies mit Nachdruck auf diesen Mangel einer strengen Begründung des Theorems hin. In der Tat fehlte in der Rechnung von Boltzmann die Erwähnung der für die Gültigkeit seines Theorems unentbehrlichen Voraussetzung der molekularen Unordnung. Er setzte sie wohl als selbstverständlich voraus. Jedenfalls erwiderte er dem jungen Zermelo mit beißender Schärfe, von der auch ein Teil mich selbst traf, weil doch die Zermelosche Arbeit mit meiner Genehmigung erschienen war. Auf diese Weise kam es, dass Boltzmann zeitlebens, auch bei späteren Gelegenheiten, sowohl in seinen Publikationen als auch in unserer Privatkorrespondenz einen gereizten Ton gegen mich beibehielt, der erst in der letzten Zeit seines Lebens, als ich ihm von der atomistischen Begründung meines Strahlungsgesetzes berichtete, einer freundlichen Zustimmung wich.

Dass Boltzmann in dem Kampf gegen Ostwald und die Energetiker sich schließlich durchsetzte, war für mich nach dem Gesagten eine Selbstverständlichkeit. Die grundsätzliche Verschiedenheit der Wärmeleitung von einem rein mechanischen Vorgang wurde allgemein anerkannt. Dabei hatte ich Gelegenheit, eine, wie ich glaube, bemerkenswerte Tatsache festzustellen. Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen, dass ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, dass die Gegner allmählich aussterben und dass die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist.“⁸

“Boltzmann succeeded in constructing a variable H that for any gas, given any initial conditions, will constantly decrease. You only have to take the negative value of this variable to identify it with entropy and thereby make it concordant with the principle of the increase of entropy. With this, irreversibility can be proved to be a characteristic property of physical processes in gases. (...) The argument between Boltzmann and Ostwald was carried out quite briskly and sometimes caused drastic effects, because both opponents were equal in terms of quick-wittedness. I just could play the role of the fugleman for Boltzmann, even though he did not want my help. Boltzmann knew that his and my standpoint differed in crucial points. Especially my rejection of his theory of atomism, which was the foundation of his research work, bothered him. At this time I was convinced of the idea that entropy can only be increased. Boltzmann, on the other hand, combined it with probability, which allows exceptions. The measure of H can also increase sometimes. Boltzmann missed this point in his deduction of the theorem. A very talented student of mine, Ernst Zermelo, pointed this out with emphasis. Indeed, in Boltzmann’s calculation

⁸ Planck, Max: Wissenschaftliche Selbstbiographie, Leipzig: Barth, 1948

there is no mentioning of the importance of molecular chaos. He probably thought it was self-explanatory. Anyway, he responded to Zermelo with biting acuteness, which partially also affected me since I approved this work of Zermelo. Ever since then, he seemed to have a petulant attitude towards me. This became evident in his publications and in private conversations. Only after I told him about the atomistic foundation of my theory of radiation his attitude changed to a friendly one again.

After this it was obvious for me that Boltzmann would win the argument against Ostwald and the other supporters of energetics. The fundamental difference between thermal conductance and a merely mechanical process had to be acknowledged. At the same time I had the opportunity to find an, as I see it, noteworthy fact: A new scientific truth does not become accepted by convincing its opponents, but rather by waiting until they all have passed away and a new generation is growing up from the very beginning with this new idea.”⁸



Franz Serafin Exner (1849–1926)

Österreichischer Physiker und Kollege Boltzmanns in Wien
Austrian physicist and colleague of Boltzmann in Vienna

„Das Interesse, das Boltzmann an der Gastheorie hatte, war ein viel universelleres, als es nach seinen speziellen Arbeiten den Anschein hat.

Ihm war die Theorie der Repräsentant einer Weltanschauung, und in ihr fand er die beste Stütze gegen die in jüngster Zeit beliebten, aber unklaren energetischen Vorstellungen, wie sie namentlich von Ostwald und seinen Schülern propagiert werden. Gegen alle diese in Wirklichkeit einen Schritt nach rückwärts bedeutenden Theorien führte Boltzmann einen erbitterten, aber gerechten und höchst dankenswerten Kampf.“⁹

“Boltzmann’s interest in gas theory was more universal than it appeared to be in his particular works.

The theory represented a philosophy of life in which Boltzmann found support against the upcoming popular but unclear energetic ideas, which were propagated by Ostwald and his students. Boltzmann was fighting against all these theories, which actually would be a step backwards.”⁹

⁹ Exner, Franz Serafin: Nachruf auf Ludwig Boltzmann, in: „Neue Freie Presse“, Wien, 1906



Lise Meitner (1878–1968)

Österreichische Physikerin und Schülerin von Boltzmann in Wien

Austrian physicist and student of Boltzmann in Vienna

„Boltzmann war ein großer Idealist – Sie brauchen nur seine Antrittsvorlesung im Jahr 1901, die in den Populären Vorträgen abgedruckt ist, zu lesen, um die Tiefe seines Idealismus zu erfahren.

Und er war sehr sensibel und mag durch vieles verletzt worden sein, was robustere Menschen überhaupt nicht zur Kenntnis nehmen. Mein Eindruck von ihm war und ist, dass er ein so hinreißender Lehrer war, eben wegen seiner ungewöhnlichen Menschlichkeit. Er war im tiefsten Sinn des Wortes ein ‚reiner Tor‘. (...) Ich war von der ersten Vorlesung an, (die ich 1901 bis inklusive 1905 bei Boltzmann gehört habe) außerordentlich stark beeindruckt sowohl von seiner wissenschaftlichen als auch von seiner menschlichen Persönlichkeit, und meine Verehrung für ihn ist heute ebenso stark wie vor 50 Jahren. (...) Er war ein ungewöhnlich guter Vortragender, in meiner Erinnerung sind seine Vorlesungen die schönsten und anregendsten, die ich jemals gehört habe. Er las einen 4-jährigen Kurs, Mechanik, Hydromechanik und Elastizitätslehre, Elektrizität und Magnetismus, Kinetische Gastheorie. Wenn ich mich nicht sehr irre, hielt er seine Vorlesungen im alten Institut in der Türkenstraße. Er hatte eine sehr große Tafel in der Mitte, auf die er alle Hauptrechnungen schrieb und zwei an den Seiten angebrachte Tafeln, wohin die Nebenrechnungen kamen. Alles sehr übersichtlich und klar geschrieben, so dass ich damals oft dachte man könnte an Hand der Tafel die ganze Vorlesung rekonstruieren. Er war selbst von allem, was er uns lehrte, so begeistert, dass man aus jeder Vorlesung mit dem Gefühl wegging, es werde einem eine ganz neue und wunderbare Welt eröffnet. Er liebte es auch persönliche Bemerkungen in die Vorlesungen einzuflechten. Einmal erzählte er in der Kinetischen Gastheorie, dass er und junge Kollegen in dem noch viel älteren physikalischen Institut in der Erdbergstrasse im Keller sehr hohe Röhren mit einem Gasgemisch aufgestellt hatten, um nachzusehen, ob sich etwa nach langer Zeit irgend eine Entmischung nachweisen ließe. Bei einer anderen Gelegenheit erwähnte er seine Münchener Zeit und sagte: In Wien hatten wir viele gute Ideen, aber sehr wenig Apparate, in München gab es wunderbare Apparate, aber viel weniger gute Ideen, und er fügte hinzu: man soll einem österreichischem Ministerium nicht verraten, wie gute Arbeiten sich auch mit geringen Hilfsmitteln machen ließen.

Ob er Maxwell persönlich gekannt hat, weiß ich nicht. Aber er sprach immer mit sehr großer Verehrung und Bewunderung von ihm und hat mehrmals betont, dass er auf dem Kontinent der erste und lange einzige Physiker war, der die Maxwellsche Theorie gekannt und verstanden hat. Ich weiß auch nicht, mit welchen anderen zeitgenössischen Wissenschaftlern er befreundet war. Vermutlich nicht mit Planck, denn er hat die Quantentheorie niemals in seinen Vorlesungen erwähnt. Das könnte daran gelegen sein, dass Planck, wie er selbst in seinen Lebenserinnerungen erzählt, damals ein Gegner der Atomtheorie war und erst bei der theoretischen Begründung seiner Strahlungsformel sich von der Notwendigkeit der atomistischen Denkweise überzeugt hat. Boltzmann dagegen

war natürlich ein begeisterter Anhänger der Atomistik und begriff gar nicht, wie man das nicht sein könnte. Sein Verhältnis zu den Studenten war sehr menschlich betont. Er hat sich sicher jeden, der etwa beim Semesterschluss bei ihm colloquierte, nicht nur auf dessen physikalisches Können angesehen, sondern auch versucht hinter dessen allgemeine Charaktereigenschaften zu kommen. Äußere Formen haben ihm gar nichts bedeutet und er hat keine Scheu gehabt, gefühlsbetonte Worte zu gebrauchen. Die paar Studenten, die an dem fortgeschrittenem Seminar teilnahmen hat er von Zeit zu Zeit in sein Haus eingeladen. Dann hat er uns vorgespielt – er war ein sehr guter Klavierspieler – und allerlei persönliche Erlebnisse erzählt. Dass er ein sehr großer Verehrer von Schiller und Beethoven war, steht sogar in der Vorrede zu den Populären Vorlesungen. Ich glaube mich auch zu erinnern, dass er sehr viel für Homer übrig gehabt hat und ihn manchmal zitierte. Er war kein Mann der großen Gesellschaft, dazu war er viel zu naiv. Er war eine Art ‚reiner Tor‘, voll Herzensgüte, Glauben an Ideale und Ehrfurcht gegenüber den Wundern der Naturgesetzlichkeiten.

Dass er an schweren Depressionen gelitten hat, zeitweise, wie in seiner Leipziger Zeit an Collegfurcht und mehrere Male Selbstmordversuche gemacht hat, wissen Sie sicher. Er hat manchmal wochenlang in seinem Institutszimmer gelebt, trotz des ausgezeichneten Verhältnissen zu Frau und Kindern.“¹⁰

“Boltzmann was a big idealist – you just have to read his inaugural lecture from the year 1901 to find how far his idealism reached.

Boltzmann was a very sensitive man and may have been easily disturbed by things which more robust people may have not noticed at all. My impression of him is that he was a wonderful teacher, especially because of his exceptional humanity. He was a ‘pure fool’ in the word’s best sense. (...) I attended his lectures between 1901 and 1905. From the very first lecture I was impressed by this man, by his scientific as well as his human qualities. My admiration for him is today as strong as it was 50 years ago. (...) He was an exceptionally talented lecturer. I still remember his lectures as the best and most captivating I have ever heard. I attended a four year long course on mechanics, hydro-mechanics and electricity, magnetism and the kinetic theory of gases. If I am not completely wrong, the lectures were held in the old institute building in the Türkenstraße. There was a very big blackboard in the middle on which he wrote all the main calculations and two smaller blackboards on the sides for the additional computations. Everything was written down very clearly so that I often thought it would be possible to reconstruct the complete lecture from the blackboards. He was very enthusiastic on every topic he explained to us and he gave us the feeling that we were exploring a whole new world.

He loved to add personal comments to his lectures. For example, during a lecture on the kinetic theory of gases he told us that in the basement of the even older institute in the Erdbergstraße, he and his colleagues had used long tubes filled with a mixture of gases to find out if after a certain time the

¹⁰ Meitner, Lise: 2 Briefe an Engelbert Broda, 1954, Broda-Nachlass an der Österreichischen Zentralbibliothek für Physik

mixed gases would separate automatically. At another opportunity he mentioned his time in Munich and he said: 'In Vienna we had lots of good ideas but very little equipment. In Munich there were lots of apparatuses but very few good ideas. We should not tell the Austrian ministry how well we work with poor equipment.'

I do not know if he knew Maxwell in person, but he was full of admiration for him and he mentioned more than once that he was the only one on this continent who knew and understood Maxwell's theory. I do not even know if he had friends among other contemporary scientists. Probably he was not a friend of Planck because he never even mentioned quantum theory during his lectures. The reason for this could be that Planck did not acknowledge the theory of atomism at first. Boltzmann, on the other hand, was one of its greatest advocates and he could not understand how one could reject it. The relationship to his students was also governed by human aspects. He did not just look at their knowledge about physics but he also tried to find out about their character. Exterior form and shape were not important to him and he was not afraid to use sentimental expressions. From time to time, he invited the few students who participated in his advanced seminar to his home. There he played the piano for us - he was very talented and he told us about his personal experiences. He was an admirer of Schiller and Beethoven. I think that he also liked the works of Homer and he sometimes used quotations from them. He was naïve but full of kind-heartedness. He had faith in ideals and reverence for the wonders of nature.

You probably know that he suffered from depression and other severe diseases and that he tried to commit suicide a couple of times. Sometimes he spent weeks in a row in his room in the institute even though he had a good relationship to his wife and children.”¹⁰



Wilhelm Kienzl (1857–1941)

Österreichischer Komponist und Freund Boltzmanns. Boltzmanns Frau Henriette wohnte vor der Heirat in Graz bei den Kienzls. Der Vater des Komponisten war Bürgermeister von Graz und Trauzeuge von Henriette.

Austrian composer and friend of Boltzmann; before their marriage, Boltzmann's wife Henriette lived with the Kienzls in Graz. The father of the composer was mayor of Graz and witness to the marriage of Henriette.

„Eine höchst originelle Erscheinung war der große Physiker Ludwig Boltzmann, der schon als junger Mann in meinem Elternhause verkehrte, wo er auch seine spätere Gattin, die Studentin der Mathematik Henriette von Aigentler, kennen lernte. (...) Er war der Prototyp eines weltunläufigen Gelehrten, ganz im Reich seiner Wissenschaften und seiner bahnbrechenden Forschung lebend, nebenbei auch Musik mit Vorliebe pflegend. Ein großgewachsener starker Mann mit kräftigem Schädelbau, sehr kurzsichtig, daher bebrillt, mit kleingelocktem braunen Haupthaar, das von einem Vollbart umrahmte breite Gesicht stark gerötet, stets in etwas gebückter Körperhaltung.

Er verfügte über ein hohes Maß allgemeiner Bildung, was der auffallenden kindlichen Naivität seines Wesens keinerlei Eintrag tat, wie das bei konzentrierten, sich in hohen Sphären bewegenden Geistern oft vorkommt.

Seine wissenschaftlichen Probleme waren, wie man mir von authentischer Seite sagt, so hohe (kinetische Gastheorie, Thermodynamik, Elektromagnetismus), dass er naturgemäß ein Einsamer war. Ich erinnere mich noch eines anregenden Spazierganges mit ihm, bei dem der große Forscher, der sonst nie über sich sprach, mir gegenüber das erschütternde Bekenntnis ablegte, dass er sich in seinen letzten und höchsten Ideen von gar niemanden verstanden wisse. Er könne über gewisse Probleme überhaupt nur mit einem einzigen Manne sprechen, und das sei Helmholtz, der aber fern von ihm lebe.

Als aber Boltzmann, über dessen hohe wissenschaftliche Bedeutung man sich in der Gelehrtenwelt völlig klar war, nach Kirchhoffs Tod als dessen Nachfolger an die verwaiste Lehrkanzel in Berlin berufen wurde, befahl ihn – wie das bei großen Geistern oft der Fall ist – eine so arge Verzagttheit, eine Angst, den Posten nicht ausfüllen zu können, seiner nicht würdig zu sein, dass er ablehnte. (...) Und diesem sich selbst so gering Einschätzenden zogen aus aller Welt überall hin Schüler nach, wo er lehrte. Zu seinen Schülern zählten Kapazitäten wie Hermann Struwe, Svante Arrhenius und Walter Nernst. (...) Ich hatte den schlichten Menschen lieb, wenn ich auch an seine großen Probleme nicht entfernt heran konnte. An diesen ist ja schließlich sein Geisterschiff gekentert: das alte Menschenlied vom Turm zu Babel, der eher in sich selbst zusammenstürzt, als dass er mit seiner Spitze in Gottes Himmel hineinragt, das Lied vom ewigen faustischen Drang des Menschen.“¹¹

“Ludwig Boltzmann was a very original appearance. Already as a young man he visited my parent’s home where he later met the mathematics student Henriette von Agentler who would later become his wife. (...) He was the prototype of the ivory-tower academic who lived entirely in his realm of science and ground-braking research. Besides, he loved to make and listen to music. He was a tall and strong man with a strongly built head – always with a bent posture. Because of his shortsightedness, he wore glasses. His face was red and framed with curly brown hair and a full beard.

He possessed a high degree of general education, which did not cover his child-like naïvety that is often a characteristic of concentrated and highly intelligent minds.

Due to the high level of his academic problems (like the kinetic theory of gases, thermodynamics, electromagnetism) he was lonely by nature. I still remember taking an inspiring walk with Boltzmann at which he confessed that he did not feel understood in his latest and highest ideas. He further said that about certain problems he could only talk to Helmholtz who unfortunately lived far away.

11 Kienzl, Wilhelm: Meine Lebenswanderung – Erlebtes und Erschautes, Stuttgart: Engelhorn, 1926

After Kirchhoff's death Boltzmann was appointed to be his successor at the University of Berlin. By this time everyone was aware of Boltzmann's abilities. But at this point Boltzmann had a fear of not being able to fulfil the expectations and he rejected the appointment. (...) Boltzmann had little self-awareness, but his students from all over the world followed him to wherever he was lecturing. Among his students you can find famous names like Hermann Struwe, Svante Arrhenius and Walter Nernst. (...) I liked this easy-going person, though I was not able to comprehend his great scientific problems that in the end broke his spirits. It is the old story of the tower of Babylon that fell down before it ever reached up to God's heaven, the story of the thirst for knowledge as embodied in the figure of Faust.”¹¹



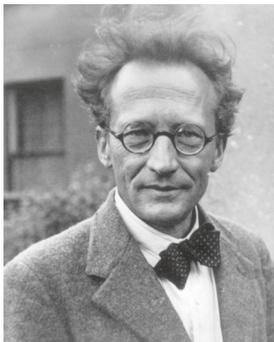
Anton Zeilinger (geb. 1945)

Österreichischer Physiker, o. Prof. am Institut für Experimentalphysik, Universität Wien

Austrian physicist; professor at the Institute of Experimental Physics at the University of Vienna

„Die heutige Physik wäre ohne Boltzmann undenkbar. Um nur zwei Beispiele zu nennen: Die Verbindung von Entropie mit Wahrscheinlichkeit ist eine unentbehrliche Grundlage der modernen Physik, ebenso wie die Erklärung der Thermodynamik durch die Bewegung von Atomen und Molekülen.“¹²

“Today's physics would be inconceivable without the work of Boltzmann. Just to mention two examples: The connection between entropy and probability is an essential foundation of modern physics as well as the explanation of thermodynamics by the motion of atoms and molecules.”¹²



Erwin Schrödinger (1887–1961)

Österreichischer Physiker, Nobelpreis für Physik 1933

Austrian Physicist, Nobel Prize for physics in 1933

„Boltzmanns Ideenkreis spielt für mich die Rolle der wissenschaftlichen Jugendgeliebten, kein anderer hat mich wieder so gepackt, keiner wird es wohl jemals tun. Der modernen Atomtheorie kam ich nur sehr langsam näher. Ihre inneren Widersprüche klangen wie kreischende Dissonanzen an der reinen, unerbittlich klaren Gedankenfolge Boltzmanns gemessen.“¹³

„Niemand hat vor Ludwig Boltzmann für nötig gehalten, zu **definieren**, was man unter **demselben** materiellen Punkt versteht. Dass diese logische Klarheit – damals unbeachtet und unbesehen, – ja vielleicht sogar als logische Tüftelsch... angesehen – vom überzeugtesten Vertreter der Atomistik ausgeht, ist besonders interessant. (...) Dieser Sachverhalt ist zwar allgemein bekannt, niemand

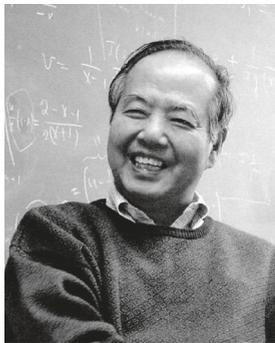
¹² Zeilinger, Anton: E-mail an die Österreichische Zentralbibliothek für Physik, Wien, 2005

¹³ Schrödinger, Erwin: Antrittsrede bei der Preußischen Akademie der Wissenschaften am 4. Juli 1929, in: Physiker über Physiker, Berlin: II. Akademie-Verlag, 1979

widerspricht ihm, aber die Wichtigkeit des Abgehen-Müssens von Boltzmanns Axiom Nr. 1 wird meines Erachtens nicht hinreichend gewürdigt, weil eben die meisten Physiker unserer Tage dem Boltzmann in logischem Denken nicht das Wasser reichen, ja es in der Sintflut des Formelkrams recht eigentlich zu verlernen beginnen.“¹⁴

“Boltzmann’s circle of ideas was something like early love for me. No one else has fascinated me like he did and probably no one will ever do again. I was able to approach the contemporary theory of atomism only very slowly. Its inner contradictions seemed like screeching dissonances compared to Boltzmann’s clear line of thought.”¹³

*“No scientist before Boltzmann found it necessary to **define** what is to be conceived as **the same point**. It is an interesting fact that this logical clarity, which was not respected by most scientists at this time, started out from the most convinced advocate of atomism (...) This circumstance is generally known, but in my opinion its importance is not appreciated enough because most physicists nowadays are not on the same level as Boltzmann in terms of logical thinking.”¹⁴*



Tzung Dao Lee (geb. 1926)

Chinesischer Physiker, Nobelpreis für Physik 1957

Chinese physicist; Nobel Prize for physics in 1957

„Boltzmanns Bedeutung liegt in dem fundamentalen Richtungswechsel, den er unserem Denken gab. Seine Methode der Wahrscheinlichkeit und des statistischen Mittelwertes war wichtiger, als jedem Atom oder Teilchen nachzugehen. Es war genial von ihm, dies vorherzusehen, ehe noch Atome oder Moleküle physikalisch bestätigt waren.

Aber er hinterließ uns auch die Methode, wie man zum Durchschnittsverhalten kommt. Und diese Methode ist heute noch gültig; in der Anwendung auf feste Zustände, auf relativistische schwere Ionenkollisionen; und auf die Teilchenphysik.

Wir müssen also bewundernd festhalten, dass Boltzmann, vor über 160 Jahren geboren, schon erstens das grundlegende Konzept, das wir immer noch benutzen, und zweitens, auch die grundlegende Methode geliefert hat. Er hatte eben die Gleichung. Und die Gleichung wird immer noch angewendet. Sie hat sich nur inhaltlich verändert. Immer aber noch sind viele seiner Überlegungen, seine Methodologie und die Gesamtheit seiner Gleichung sehr lebendig geblieben. Ich glaube, das Bemerkenswerte ist wirklich: Zivilisation und Technologie waren zu Boltzmanns Zeiten noch ganz anders als heute. Ohne ihn hätten wir unseren heutigen Stand nicht erreicht.“¹⁵

¹⁴ Schrödinger, Erwin: Brief an Engelbert Broda, Dublin, 1955, Schrödinger-Nachlass an der Österreichischen Zentralbibliothek für Physik

¹⁵ Lee, Tzung Dao: Zitat aus der Radiosendung von Martin Adel: Ein österreichisches Genie – Ludwig Boltzmann und sein Erbe, Wien: ORF Ö1, 1994

“Boltzmann is so important because he fundamentally changed the way we think. His methods of probability and statistical mean value were more important than the investigation of every single atom and particle. It was ingenious of him to foresee this even before the existence of atoms and molecules was proven (...) We have to notice in awe that Boltzmann, who was born 160 years ago, founded the fundamental concept and also the methods that we use nowadays. He found the equation that is still in use. It just changed in regard to content. But many of his ideas and methods as well as his equation as a whole are still in use. I think the most appreciable fact is that civilization and technology at the time of Boltzmann were very different. Without him we would not be at the same level as we are now.”¹⁵



Harald A. Posch (geb. 1942)

Österreichischer Physiker, Prof. am Institut für Experimentalphysik,
Universität Wien

*Austrian physicist; professor at the Institute of Experimental Physics at
the University of Vienna*

„Boltzmann ist der Vater aller atomistischen Simulationen. Wir beziehen uns direkt auf ihn. Seine kinetische Theorie (Boltzmann-Gleichung) ist nach wie vor topaktuell und wesentlich für Systeme fern vom Gleichgewicht. Irreversibilität und Zweiter Hauptsatz erfahren immer neue Interpretationen, wie. z. B. durch Fluktuationstheoreme von Giovanni Gallavotti und Denis J. Evans.“¹⁶

“Boltzmann is the father of all atomistic simulations. We refer directly to him. His kinetic theory as well as the Boltzmann equation is still up-to-date and essential for the description of non-equilibrium systems. New interpretations for irreversibility and the second law of thermodynamics are still found, for instance in the fluctuation theorems by Giovanni Gallavotti and Denis J. Evans.”¹⁶

¹⁶ Posch, Harald: E-mail an die Österreichische Zentralbibliothek für Physik, Wien, 2005



Markus Arndt (geb. 1965)

Österreichischer Physiker, Prof. am Institut für Experimentalphysik,
Universität Wien

*Austrian physicist; professor at the Institute of Experimental Physics at
the University of Vienna*

„Boltzmanns sämtliche großen Leistungen zur kinetischen Gastheorie,
Atomtheorie, Thermodynamik sind ja auf allen Suchmaschinen nachzulesen.
Und die statistische Theorie der Wärme ist heute sowohl Handwerkszeug als
auch Forschungsgebiet (im Falle ultrakalter Gase).

Mich persönlich berührt aber heute noch Boltzmanns tragisches Ende in
Duino, das mich beim täglichen Gang durch die Boltzmannngasse streift. Es
erinnert mich stets an zwei Dinge:

Zum einen, dass es wichtig ist, seine Überzeugungen zu vertreten und sie
nicht für Konvention aufzugeben. Physikalische Wahrheit ist keine Frage der
Übereinkunft, sondern der richtigen Einsicht.

Zum anderen aber auch, dass wir unser persönliches Glück nur durch
glückliche menschliche Beziehungen finden. Die in der physikalischen Arbeit
gewonnene Erkenntnis – auch wenn sie manchmal hart erarbeitet ist – ist
einfach ein zusätzliches erfrischendes Geschenk.“¹⁷

*“Boltzmann’s great achievements in kinetic gas theory, the theory of atomism
and thermodynamics can be read about in all search engines. And the statisti-
cal theory of heat is still used as a tool as well as a field of research (in the
case of ultracold gases).*

*I am still touched by the tragic end of his life in Duino, which I remember
when I walk through the Boltzmannngasse. It always reminds me of two things:*

*Firstly, it is important to defend your conviction even though it is against
convention. Physical truth is not a matter of agreement but comprehension.*

*Secondly, that we find personal happiness only in happy human relation-
ships. The findings of our research are just a delightful additional gift.”¹⁷*



Herbert Pietschmann (geb. 1936)

Österreichischer Physiker, emeritierter Professor am Institut für Theoretische
Physik in Wien

*Austrian physicist. Emeritus professor at the Institute of Theoretical
Physics in Vienna*

„Die herausragende Leistung Boltzmanns bestand darin, zwei Seinsbereiche, die
vorher stets getrennt betrachtet wurden und für unabhängig gehalten wurden,
miteinander zu verbinden. Vergleichbar zum Beispiel mit der Leistung Einsteins,
der ebenfalls zwei Bereiche, bzw. zwei Begriffe, Masse und Energie, die nicht
zusammenzupassen schienen, zusammengeführt hatte. Einstein gelang diese

¹⁷ Arndt, Markus: E-mail an die Österreichische Zentralbibliothek für Physik, Wien, 2005

Zusammenführung über die fundamentale Konstante der Lichtgeschwindigkeit. Boltzmann ist es ebenso gelungen, mit einer fundamentalen Konstanten, der sogenannten Boltzmannkonstanten k , Energie und Temperatur zusammenzuführen, denn diese Konstante hat die Dimension Energie/Temperatur, also Energie/Grad, das heißt, man kann nun Temperatur in Energieeinheiten und Energieeinheiten in Temperatur messen oder ausdrücken.“¹⁸

*“The outstanding achievement of Boltzmann is the connection of two areas which seemed to be independent before. This can be compared to the example of Einstein who also connected two areas: mass and energy. Einstein achieved this by using a fundamental constant, namely the speed of light. Boltzmann, on the other hand, succeeded to find a constant – the Boltzmann constant k – which links energy and temperature. This constant has the dimension of energy per temperature, or energy per degree Kelvin. That means temperature can now be calculated in units of energy and vice versa.”*¹⁸



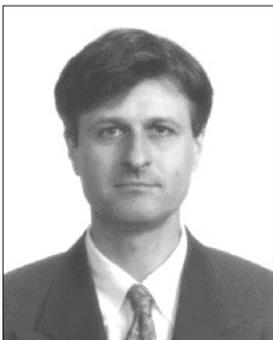
Walter Thirring (geb. 1927)

Österreichischer Physiker, emeritierter Professor am Institut für Theoretische Physik in Wien

Austrian physicist; emeritus professor at the Institute of Theoretical Physics in Vienna

„Entropie ist etwas total Immaterielles, Geistiges. Boltzmann hat erkannt, dass es etwas mit der Wahrscheinlichkeit zu tun hat, und er hat damit auch gezeigt, dass sozusagen etwas Immaterielles die Welt regiert; etwas, was sagt, was geht und was nicht geht.“¹⁹

*“Entropy is something completely immaterial. Boltzmann noticed that it had something to do with probability and he showed that the world is ruled by an immaterial entity; something that determines what is possible and what not.”*¹⁹



Gerhard Fasol

Urenkel von Boltzmann, österreichischer Physiker, Eurotechnology Japan K. K. President & CEO

Great-grandson of Boltzmann. Austrian physicist, president and CEO of Eurotechnology Japan K.K

„Der rote Faden in Boltzmanns Werk war immer, die Gastheorie und die makroskopischen Eigenschaften auf Atome, bzw. auf die atomaren Eigenschaften zurückzuführen. Er war einer der letzten großen Physiker der Klassischen Physik.“

¹⁸ Pietschmann, Herbert: Zitat aus der Radiosendung von Martin Adel: Ein österreichisches Genie – Ludwig Boltzmann und sein Erbe, Wien: ORF Ö1, 1994

¹⁹ Thirring, Walter: Zitat aus der Radiosendung von Martin Adel: Ein österreichisches Genie – Ludwig Boltzmann und sein Erbe, Wien: ORF Ö1, 1994

Nach ihm gab's die Revolution in der Physik mit Einsteins Relativitätstheorie und all den Leuten, welche die Quantenmechanik entwickelt haben.“²⁰

*“The central topic in the works of Boltzmann was always gas theory and the idea of explaining macroscopic properties of gases on the basis of atomic properties. Boltzmann was one of the last great physicists in the area of classical physics. The next revolutionary occurrence in physics was Einstein's theory of relativity.”*²⁰

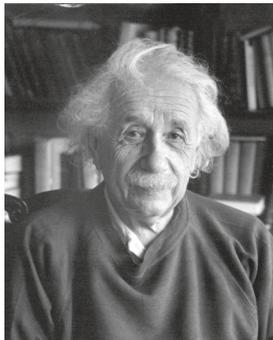


Theodor Des Coudres (1862–1926)

Deutscher Physiker, Nachfolger Ludwig Boltzmanns in Leipzig
German physicist, successor of Boltzmann in Leipzig

„Wie wir ohne unser eigenes Zutun in diese Welt kommen, so betrachten wir es als das Naturgemäße, dass der Mensch auch ohne sein persönliches Zutun aus ihr scheidet. Wo wir es anders erleben, da schließen wir auf vorausgegangenes Leid. Hat sich jemand gar infolge angeborener nervöser Konstitution vorher schon mehrfach durch solch schlimme Gemütsdepressionen durchkämpfen müssen und dankt die Welt ihm so viel, wie sie Boltzmanns Sein und Wirken dankt, dann bleiben wir lange nachdenklich, und Respekt macht uns schweigen.“²¹

*“We come to this world through no fault of our own, therefore we think that we also will leave through no fault of our own. Wherever we find other, we assume previous harm. If someone had to fight against depressions all of his life due to an inborn nervous disease and if this someone gave to the world as much as Boltzmann did, then we become contemplative and respect makes us remain silent.”*²¹



Albert Einstein (1879–1955)

Deutsch-amerikanischer Physiker, Nobelpreis für Physik 1921
German-American physicist, Nobel Prize for physics in 1921

„Durch die Erkenntnis vom Wesen der Brownschen Bewegung war plötzlich jeder Zweifel an der Richtigkeit der Boltzmannschen Auffassung der thermodynamischen Gesetze geschwunden. Es war klar, dass es ein thermodynamisches Gleichgewicht genau genommen überhaupt nicht gibt.“²²

*“Through the understanding of the nature of Brownian motion suddenly all doubts about the correctness of Boltzmann's interpretation of the laws of thermodynamics disappeared. It became obvious that something like thermodynamic equilibrium does not exist.”*²²

²⁰ Fasol, Gerhard: Zitat aus der Radiosendung von Martin Adel: Ein österreichisches Genie – Ludwig Boltzmann und sein Erbe, Wien: ORF Ö1, 1994

²¹ Des Coudres, Theodor: Ludwig Boltzmann – Nekrolog, gesprochen in der öffentlichen Gesamtsitzung beider Klassen am 14. November 1906, Leipzig: Bericht der mathematisch-physikalischen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften Band 58 (1906), S. 615–627

²² Einstein, Albert: Marian von Smoluchowski, Naturwiss. 5. Jahrgang (1917), Heft 50, S. 737f



Max von Laue (1879–1960)
 Deutscher Physiker, Nobelpreis für Physik 1914
German physicist, Nobel Prize for physics in 1914

„Die Wahrscheinlichkeitsannahmen, welche in der Statistik neben die Mechanik treten, bilden die Wurzel der Unumkehrbarkeit. Boltzmann und seine Zeitgenossen mussten diese Antwort erst erkämpfen. Dazu trug nichts so sehr bei wie Boltzmanns H-Theorem. (...) Dieses Theorem bildete den Ausgangspunkt für Boltzmanns größte, seinen Namen verewigende Leistung, die Aufdeckung des Zusammenhanges der Entropie und der thermodynamischen Wahrscheinlichkeit.“²³

*“The assumptions of probability, which take the place next to mechanics in the field of statistical physics, constitute the root of irreversibility. Boltzmann and his contemporaries had to struggle for this answer. Most important in this matter was Boltzmann’s H-Theorem. It constitutes the origin of Boltzmann’s most outstanding accomplishment, the revelation of the connection between entropy and thermodynamic probability.”*²³



Hans Thirring (1888–1976)
 Österreichischer Physiker
Austrian physicist

„Boltzmanns unsterbliches Verdienst war es, dass er alle Bedenken gegen die Molekulartheorie der Wärme durch scharfsinnige Betrachtungen zu zerstreuen vermochte und bei dieser Gelegenheit eine ganz fundamentale Erkenntnis über die Rolle der Wahrscheinlichkeit im Naturgeschehen gewann. Er hat damit die Bahn für die weitere Entwicklung der Atomphysik freigemacht.“²⁴

*“Boltzmann’s immortal achievement was to resolve all concerns against the molecular theory of heat through adroit thinking. At the same time, he found the fundamental insight about the role of probability in nature, which cleared the way for the further development of nuclear physics.”*²⁴

²³ Laue, Max von: Zu Ludwig Boltzmanns 100. Geburtstag. Forschungen und Fortschritte 20. Jg. Nr. 4,5,6 (1944)

²⁴ Thirring, Hans: Ludwig Boltzmann, Wien: „Physik und Chemie“, Heft 1, 1937

Die nachstehende Publikationsliste ist im wesentlichen den Wissenschaftlichen Abhandlungen von Ludwig Boltzmann (herausgegeben von Dr. Fritz Hasenöhr, Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1909) entnommen und umfasst die Beiträge aus den Wissenschaftlichen Abhandlungen (Kürzel: WA, arabische Zählung) und den Populären Schriften (Kürzel: PS, römische Zählung).

- I865** **Über die Bewegung der Elektrizität in krummen Flächen**
[WA-1, 1] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 52. S. 214–221. 1865.)
- I866** **Über die mechanische Bedeutung des 2. Hauptsatzes der Wärmetheorie**
[WA-1, 9] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 53. S. 195–220. 1866.)
- I867** **Über die Anzahl der Atome in den Gasmolekülen und die innere Arbeit in Gasen**
[WA-1, 34] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 56. S. 682–690. 1867.)
- I868** **Über die Integrale linearer Differentialgleichungen mit periodischen Koeffizienten**
[WA-1, 43] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 58. S. 54–59. 1868.)
- Studien über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft zwischen bewegten materiellen Punkten** [WA-1, 49] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 58. S. 517–560. 1868.)
- Lösung eines mechanischen Problems**
[WA-1, 97] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 58. S. 1035–1044. 1868.)
- I869** **Über die Festigkeit zweier mit Druck übereinander gesteckter zylindrischer Röhren**
[WA-1, 106] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 59. S. 679–688. 1869.)
- Über die elektrodynamische Wechselwirkung der Teile eines elektrischen Stromes von veränderlicher Gestalt** [WA-1, 116] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 60. S. 69–87. 1869, und Schlömilchs Z.S, 15. S. 16 ff. 1870).
- Bemerkung zur Abhandlung des Hrn. R. Most: „Ein neuer Beweis des zweiten Wärmegesetzes“** [WA-1, 137] (Annalen der Physik 137. S. 495. 1869.)
- I870** **Erwiderung an Herrn Most** [WA-1, 139] (Annalen der Physik 140. S. 635–644. 1870.)
- Über die von bewegten Gasmassen geleistete Arbeit** [WA-1, 148] (Annalen der Physik 140. S. 254–263. 1870.)
- Noch einiges über Kohlrauschs Versuch zur Bestimmung des Verhältnisses der Wärmekapazitäten von Gasen** [WA-1, 157] (Annalen der Physik 141. S. 473–476. 1870.)

Über die Ableitung der Grundgleichungen der Kapillarität aus dem Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten [WA-1, 160] (Annalen der Physik 141. S. 582–590. 1870.)

Über eine neue optische Methode, die Schwingungen tönender Luftsäulen zu analysieren, gemeinschaftlich mit August Toepler [WA-1, 168] (Annalen der Physik 141. S. 321–352. 1870.)

1871

Boiling-Points of Organic Bodies

[WA-1, 199] (To the Editors of the Philosophical Magazine and Journal Philosophical Magazine (4). 42. S. 393. 1871.)

Über die Druckkräfte, welche auf Ringe wirksam sind, die in bewegte Flüssigkeiten tauchen [WA-1, 200] (Crelle Journal 73. S. 111–134. 1871.)

Zur Priorität der Auffindung der Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und dem Prinzip der kleinsten Wirkung [WA-1, 228] (Annalen der Physik 143. S. 211–230. 1871.)

Über das Wärmegleichgewicht zwischen mehratomigen Gasmolekülen [WA-1, 237] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 63. S. 397–418. 1871.)

Einige allgemeine Sätze über Wärmegleichgewicht

[WA-1, 259] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 63. S. 670–711. 1871.)

Analytischer Beweis des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie aus den Sätzen über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft [WA-1, 288] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 63. S. 712–732. 1871.)

1872

Über das Wirkungsgesetz der Molekularkräfte

[WA-1, 309] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 66. S. 213–219. 1872.)

Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen

[WA-1, 316] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 66. S. 275–370. 1872.)

Resultate einer Experimentaluntersuchung über das Verhalten nicht leitender Körper unter dem Einflusse elektrischer Kräfte [WA-1, 403] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 66. S. 256–263. 1872.)

1873

Experimentelle Bestimmung der Dielektrizitätskonstante von Isolatoren

[WA-1, 411] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 67. S. 17–80. 1873; Annalen der Physik 151. S. 482 u. 531. 1874 und Carls Repertorium 10. S. 109. 1874.)

Experimentaluntersuchung über die elektrostatische Fernwirkung dielektrischer Körper [WA-1, 472] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 68. S. 81–155. 1873.)

Über Maxwells Elektrizitätstheorie [PS, 11] (Aus den Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins in Graz, August 1873.)

1874

Experimentelle Bestimmung der Dielektrizitätskonstante einiger Gase

[WA-1, 537] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 69. S. 795–813. 1874 und Annalen der Physik 155. S. 403. 1875.)

Über einige an meinen Versuchen über die elektrostatische Fernwirkung dielektrischer Körper anzubringende Korrekturen [WA-1, 556] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 70. S. 307–341. 1874.)

Über die Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstante des kristallisierten Schwefels nach verschiedenen Richtungen [WA-1, 587] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 70. S. 342–366. 1874.)

Experimentaluntersuchung über das Verhalten nicht leitender Körper unter dem Einflusse elektrischer Kräfte (Auszug) [WA-1, 607] (Auszug; die ausführlichen Abhandlungen befinden sich in den Bänden 66, 68 und 70 der Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften; Annalen der Physik 153. S. 525–534. 1874.)

Zur Theorie der elastischen Nachwirkung

[WA-1, 616] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 70. S. 275–306. 1874 und Annalen der Physik Ergänzungs-Band 7. S. 624. 1876.)

Über den Zusammenhang zwischen der Drehung der Polarisationssebene und der Wellenlänge der verschiedenen Farben [WA-1, 645] (Annalen der Physik Jubelband, S. 128–134. 1874.)

1875

Über das Wärmegleichgewicht von Gasen, auf welche äußere Kräfte wirken

[WA-2, 1] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 72. S. 427–457. 1875.)

Bemerkung über die Wärmeleitung der Gase

[WA-2, 31] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 72. S. 458–470. 1875. Annalen der Physik 157. S. 457–469. 1876.)

Zur Integration der partiellen Differentialgleichungen 1. Ordnung

[WA-2, 42] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 72. S. 471–483. 1875.)

1876

Zur Abhandlung des Hrn. Oscar Emil Meyer über innere Reibung

[WA-2, 54] (Crelle Journal 81. S. 96. 1876.)

Über die Aufstellung und Integration der Gleichungen, welche die Molekularbewegung in Gasen bestimmen [WA-2, 55] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 74. S. 503–552. 1876.)

Über die Natur der Gasmoleküle [WA-2, 103] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 74. S. 553–560. 1876.)

Zur Geschichte des Problems der Fortpflanzung ebener Luftwellen von endlicher Schwingungsweite [WA-2, 111] (Schlömilchs Zeitschrift 21. S. 452. 1876.)

1877

Bemerkungen über einige Probleme der mechanischen Wärmetheorie

[WA-2, 112] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 75. S. 62–100. 1877.)

Notiz über die Fouriersche Reihe

[WA-2, 149] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 14. S. 10. 1877.)

Über eine neue Bestimmung einer auf die Messung der Moleküle Bezug habenden Größe aus der Theorie der Kapillarität [WA-2, 151] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 75. S. 801–813. 1877.)

Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung resp. den Sätzen über das Wärmegleichgewicht [WA-2, 164] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 76. S. 373–435. 1877.)

Über einige Probleme der Theorie der elastischen Nachwirkung und über eine neue Methode, Schwingungen mittels Spiegelablesung zu beobachten, ohne den schwingenden Körper mit einem Spiegel von erheblicher Masse zu belasten [WA-2, 224] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 76. S. 815–842. 1877.)

1878

Weitere Bemerkungen über einige Probleme der mechanischen Wärmetheorie [WA-2, 250] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 78. S. 7–46. 1878.)

Über die Beziehung der Diffusionsphänomene zum zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie [WA-2, 289] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 78. S. 733–763. 1878.)

Zur Theorie der elastischen Nachwirkung [WA-2, 318] (Annalen der Physik 5. S. 430–432. 1878.)

Remarques au sujet d'une Communication de M. Maurice Lévy, sur une loi universelle relative à la dilatation des corps [WA-2, 321] (Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 87. S. 593. 1878.)

Nouvelles remarques au sujet des Communication de M. Maurice Lévy, sur une loi universelle relative à la dilatation des corps [WA-2, 323] (Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 87. S. 773. 1878.)

Notiz über eine Arbeit des Hrn. Oberbeck über induzierten Magnetismus [WA-2, 324] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 15. S. 203–205. 7. Nov. 1878.)

1879

Über das Mitschwingen eines Telephons mit einem anderen [WA-2, 327] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 16. S. 71–73. 13. März 1879.)

Über die auf Diamagnete wirksamen Kräfte [WA-2, 330] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 80. S. 687–714. 1879.)

Erwiderung auf die Bemerkung des Hrn. Oscar Emil Meyer [WA-2, 355] (Annalen der Physik 8. S. 653–655. 1879.)

1880

Erwiderung auf die Notiz des Hrn. Oscar Emil Meyer: "Über eine veränderte Form" usw. [WA-2, 358] (Annalen der Physik 11. S. 529–534. 1880.)

Über die Magnetisierung eines Ringes. Über die absolute Geschwindigkeit der Elektrizität im elektrischen Strome [WA-2, 363] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 17. S. 12–13. 15. Januar 1880 und Philosophical Magazine (5). 9. S. 308–309.)

Zur Theorie der sogenannten elektrischen Ausdehnung oder Elektrostriktion I [WA-2, 365] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 82. S. 826–839. 1880.)

Zur Theorie der sogenannten elektrischen Ausdehnung oder Elektrostriktion II [WA-2, 377] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 82. S. 1157–1168. 1880.)

Zur Theorie der Gasreibung I [WA-2, 388] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 81. S. 117–158. 1880.)

1881

Zur Theorie der Gasreibung II [WA-2, 431] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 84. S. 40–135. 1881.)

Zur Theorie der Gasreibung III [WA-2, 523] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 84. S. 1230–1263. 1881.)

Entwicklung einiger zur Bestimmung der Diamagnetisierungszahl nützlichen Formeln [WA-2, 557] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 83. S. 576–587. 1881.)

Einige Experimente über den Stoß von Zylindern [WA-2, 567] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 84. S. 1225–1229. 1881 und Annalen der Physik 17. S. 343–347. 1882.)

Über einige das Wärmegleichgewicht betreffende Sätze [WA-2, 572] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 84. S. 136–145. 1881.)

Referat über die Abhandlung von James Clerk Maxwell: „Über Boltzmanns Theorem betreffend die mittlere Verteilung der lebendigen Kraft in einem System materieller Punkte“ [WA-2, 582] (Annalen der Physik Beiblätter 5. S. 403–417. 1881 und Philosophical Magazine (5) 14. S. 299–413. 1882.)

Zu Karl Streckers Abhandlung: “Über die spezifische Wärme des Chlors” usw. [WA-2, 596] (Annalen der Physik 13. S. 544. 1881.)

1882

Vorläufige Mitteilung über Versuche, Schallschwingungen direkt zu photographieren [WA-3, 1] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 19. S. 242–243. 30. Nov. 1882 und Philosophical Magazine (5) 15. S. 151. 1883.)

Zur Theorie der Gasdiffusion I [WA-3, 3] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 86. S. 63–99. 1882.)

1883

Zur Theorie der Gasdiffusion II

[WA-3, 38] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 86. S. 835–860. 1883.)

Zu Karl Streckers Abhandlungen: “Die spezifische Wärme der gasförmigen zweiatomigen Verbindungen von Chlor, Brom, Jod” usw. [WA-3, 64] (Annalen der Physik 18. S. 309–310. 1883.)

Über das Arbeitsquantum, welches bei chemischen Verbindungen gewonnen werden kann [WA-3, 66] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 88. S. 861–896. 1883 und Annalen der Physik 22. S. 39–72. 1884.)

1884

Über die Möglichkeit der Begründung einer kinetischen Gastheorie auf anziehende Kräfte allein [WA-3, 101] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 89. S. 714–722. 1884; Annalen der Physik 24. S. 37–44. 1885; Exner Rep. 21. S. 1–7. 1885.)

Über eine von Hrn. Bartoli entdeckte Beziehung der Wärmestrahlung zum zweiten Hauptsatze [WA-3, 110] (Annalen der Physik 22. S. 31–39. 1884.)

Ableitung des Stefanschen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der elektromagnetischen Lichttheorie [WA-3, 118] (Annalen der Physik 22. S. 291–294. 1884.)

Über die Eigenschaften monozyklischer und anderer damit verwandter Systeme [WA-3, 122] (Crelles Journal 98. S. 68–94. 1884 u. 1885.)

1885

Über einige Fälle, wo die lebendige Kraft nicht integrierender Nenner des Differentials der zugeführten Energie ist [WA-3, 153] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 92. S. 853–875. 1885; Exners Rep. 22. S. 135–154. 1886.)

1886

Neuer Beweis eines von Helmholtz aufgestellten Theorems betreffend die Eigenschaften monozyklischer Systeme [WA-3, 176] (Göttinger Nachrichten 1886. S. 209–213.)

Notiz über das Hallsche Phänomen [WA-3, 182] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 23. S. 77–80. 8. April 1886 und Philosophical Magazine (5) 22. S. 226–228. 1886.)

Zur Theorie des von Hall entdeckten elektromagnetischen Phänomens [WA-3, 187] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 94. S. 644–669. 1886.)

Bemerkung zu dem Aufsatz des Hrn. Lorberg über einen Gegenstand der Elektrodynamik [WA-3, 212] (Annalen der Physik 29. S. 598–603. 1886.)

Über die von Pebal in seiner Untersuchung des Euchlorins verwendeten unbestimmten Gleichungen [WA-3, 218] (Justus Liebig’s Annalen der Chemie 232. S. 121–124. 1886.)

Zur Berechnung der Beobachtungen mit Bunsens Eiskalorimeter [WA-3, 221] (Justus Liebig’s Annalen der Chemie 232. S. 125–128. 1886.)

Über die zum theoretischen Beweise des Avogadroschen Gesetzes erforderlichen Voraussetzungen [WA-3, 225] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 94. S. 613–643. 1886; Philosophical Magazine (5) 23. S. 305–333. 1887.)

Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie
[PS, 25] (Vortrag, gehalten in der feierlichen Sitzung der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften am 29. Mai 1886.)

1887

Über die mechanischen Analogien des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik [WA-3, 258] (Crelles Journal 100. S. 201–212. 1887.)

Neuer Beweis zweier Sätze über das Wärmegleichgewicht unter mehratomigen Gasmolekülen [WA-3, 272] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 95. S. 153–164. 1887.)

Versuch einer theoretischen Beschreibung der von Prof. Albert v. Ettingshausen beobachteten Wirkung des Magnetismus auf die galvanische Wärme [WA-3, 283] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 24. S. 71–74. 17. März 1887.)

Über einen von Prof. Pebal vermuteten thermochemischen Satz, betreffend nicht umkehrbare elektrolytische Prozesse [WA-3, 286] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 95. S. 935–941. 1887.)

Über einige Fragen der kinetischen Gastheorie
[WA-3, 293] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 96. S. 891–918. 1887 und Philosophical Magazine (5) 25. S. 81–103. 1888.)

Zur Theorie der thermoelektrischen Erscheinungen
[WA-3, 321] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 96. S. 1258–1297. 1887.)

Einige kleine Nachträge und Berichtigungen
[WA-3, 360] (Annalen der Physik 31. S. 139–140. 1887.)

Über die Wirkung des Magnetismus auf elektrische Entladungen in verdünnten Gasen [WA-3, 363] (Annalen der Physik 31. S. 789–792. 1887.)
Gustav Robert Kirchhoff [PS, 51] (Festrede zur Feier des 301. Gründungstages der Karl-Franzens-Universität zu Graz, gehalten am 15. November 1887.)

1888

Über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft zwischen progressiver und Rotationsbewegung bei Gasmolekülen [WA-3, 366] (Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1888. S. 1395–1408.)

1889

Über das Verhältnis der Größe der Moleküle zu dem von den Valenzen eingenommenen Raume [WA-3, 383] (Vortrag, gehalten bei der 62. Versammlung Deutschen Naturforscher und Ärzte in Heidelberg 1889.)

1890

Über die Hertzchen Versuche
[WA-3, 384] (Annalen der Physik 40. S. 399–400 und Philosophical Magazine (5) 30. S. 126. 1890.)

Die Hypothese van't Hoff's über den osmotischen Druck vom Standpunkte der kinetischen Gastheorie [WA-3, 386] (Zeitschrift für Physikalische Chemie 6. S. 474–480. 1890.)

Über die Bedeutung von Theorien

[PS, 76] (Erwiderung auf die Abschiedsworte von August Tewes und Heinrich Streintz bei der Berufung nach München, am 16. Juli 1890 in Graz gesprochen.)

1891

Nachtrag zur Betrachtung der Hypothese van't Hoff's vom Standpunkte der kinetischen Gastheorie [WA-3, 395] (Zeitschrift für Physikalische Chemie 7. S. 88–90. 1891.)

Über einige die Maxwell'sche Elektrizitätstheorie betreffende Fragen

[WA-3, 398] (Verhandlungen der 64. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte. S. 29–34. Halle a.S. 1891; Annalen der Physik 48. S. 100–107. 1893.)

Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes – 1. Ruhende, homogene, isotrope Körper, Leipzig: Barth, 1891. 139 p.

1892

Über ein Medium, dessen mechanische Eigenschaften auf die von Maxwell für den Elektromagnetismus aufgestellten Gleichungen führen [WA-3, 406] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 22. S. 279–301. 1892; Annalen der Physik 48. S. 78–99. 1893.)

III. Teil der Studien über Gleichgewicht der lebendigen Kraft

[WA-3, 428] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 22. S. 329–358. 1892; Philosophical Magazine (5) 35. S. 153–173. 1893.)

Über ein mechanisches Modell zur Versinnlichung der Anwendung der Lagrangeschen Bewegungsgleichungen in der Wärme- und Elektrizitätslehre

[WA-3, 454] (Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 1. S. 53–55. 1892.)

Beschreibung einiger Demonstrationsapparate [WA-3, 457] (Deutsche Mathematiker-Vereinigung, Katalog mathematischer Modelle usw. 1892.)

Über das den Newtonschen Farbenringen analoge Phänomen beim Durchgang Hertz'scher elektrischer Planwellen durch planparallele Metallplatten [WA-3, 465] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 22. S. 53–70. 1892; Annalen der Physik 48. S. 63–77. 1893.)

Über die Methoden der theoretischen Physik

[PS, 1] (München, August 1892)

1893

Über die Beziehung der Äquipotentiallinien und der magnetischen Kraftlinien [WA-3, 480] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 23. S. 119–127. 1893; Annalen der Physik 51. S. 550–558. 1894.)

Über die Bestimmung der absoluten Temperatur

[WA-3, 490] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 23. S. 321–328. 1893; Annalen der Physik 53. S. 948–954. 1894.)

Der aus den Sätzen über Wärmegleichgewicht folgende Beweis des Prinzips des letzten Multiplikators in seiner einfachsten Form [WA-3, 497] (Mathematische Annalen 42. S. 374–376. 1893.)

Über die Notiz des Hrn. Hans Cornelius bezüglich des Verhältnisses der Energien der fortschreitenden und inneren Bewegung der Gasmoleküle [WA-3, 500] (Zeitschrift für Physikalische Chemie 11. S. 751–752. 1893.)

Über die neueren Theorien der Elektrizität und des Magnetismus [WA-3, 502] (Verhandlungen der 65. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte S. 34 u. 35. Nürnberg 1893.)

Vorlesungen über Maxwells Theorie der Elektrizität und des Lichtes – 2. Verhältnis zur Fernwirkungstheorie; spezielle Fälle der Elektrostatik, stationären Strömung und Induktion, Leipzig: Barth, 1893, 166 p.

1894

Zur Integration der Diffusionsgleichung bei variablen Diffusionskoeffizienten [WA-3, 504] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 24. S. 211–217. Annalen der Physik 53. S. 959–964. 1894.)

Über die mechanische Analogie des Wärmegleichgewichtes zweier sich berührender Körper (gemeinsam mit George Hartley Bryan) [WA-3, 510] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 103. S. 1125–1134. 1894; Proceedings of the Physical Society London. 13. S. 485–493. 1895.)

On the Application of the Determinantal Relation to the Kinetic Theory of Polyatomic Gases [WA-3, 520] (Appendix C, zum Artikel über Thermodynamik II. von George Hartley Bryan in den Reports of the British Association for the Advancement of science. Oxford. S. 102–106. 1894.)

On Maxwell's Method of deriving the Equations of Hydrodynamics from the Kinetic Theory of Gases [WA-3, 526] (Reports of the British Association for the Advancement of science, Oxford 1893. S. 579.)

Über den Beweis des Mawellschen Geschwindigkeitsverteilungsgesetzes unter Gasmolekülen [WA-3, 528] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 24. S. 207–210. Annalen der Physik 53. S. 955–958. 1894.)

Über Luftschiffahrt [PS, 81] (Vortrag, gehalten in der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien 1894.)

1895

Nochmals das Maxwellsche Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten [WA-3, 532] (Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München 25. S. 25–26; Annalen der Physik 55. S. 223–224. 1895.)

On certain Questions of the Theory of Gases [WA-3, 535] (Nature 51. S. 413–415. 1895.)

Erwiderung an Culverwell [WA-3, 545] (Nature 51. S. 581. 1895.)

On the Minimum Theorem in the Theory of Gases [WA-3, 546] (Nature 52. S. 221. 1895.)

Josef Stefan [PS, 92] (Rede, gehalten bei der Enthüllung des Stefan-Denkmal am 8. Dez. 1895.)

Zur Erinnerung an Josef Loschmidt

[PS, 228] (Gedenkrede, gehalten in der Sitzung der Chemisch-Physikalischen Gesellschaft in Wien am 29. Oktober 1895.)

1896

Über die Berechnung der Abweichungen der Gase vom Boyle-Charlesschen Gesetz und der Dissoziation derselben [WA-3, 547] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 105. S. 695–706. 1896.)**Ein Vortrag über die Energetik**

[WA-3, 558] (Berichte über die Sitzungen der Chemisch-physikalischen Gesellschaft in Wien, 11. Februar 1896. Vierteljahresberichte des Wiener Vereines zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts 2. S. 38.)

Sur la théorie des gaz

Lettre à Marcel Bertrand. I [WA-3, 564] (Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 122. S. 1173. 1896.)

Sur la théorie des gaz

Lettre à Marcel Bertrand. II [WA-3, 566] (Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 122. S. 1314. 1896.)

Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. Ernst Zermelo

[WA-3, 567] (Annalen der Physik 57. S. 773–784. 1896.)

Ein Wort der Mathematik an die Energetik

[PS, 104] (Annalen der Physik und Chemie, Band 57, S. 39, 1896.)

Zur Energetik

[PS, 137] (Annalen der Physik u. Chemie. N.F. Bd. 58. S. 595.)

Röntgens neue Strahlen

[PS, 188] (Elektro-Techniker, Organ für angewandte Elektrizität. XV. Jahrgang XIV. Band. S. 385. 15. Januar 1896.)

Vorlesungen über Gastheorie 1. Theorie der Gase mit einatomigen Molekülen,

Leipzig: Barth, 1896. 204 p.

1897

Zu Hrn. Zermelos Abhandlung "Über die mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge [WA-3, 579] (Annalen der Physik 60. S. 392–398. 1897.)**Über einen mechanischen Satz Poincarés**

[WA-3, 587] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 106. S. 12–20. 1897.)

Über Rotationen im konstanten elektrischen Felde

[WA-3, 596] (Annalen der Physik 60. S. 399–400. 1897.)

Über einige meiner weniger bekannten Abhandlungen über Gastheorie und deren Verhältnis zu derselben [WA-3, 598] (Verhandlungen der 69. Versammlung der Naturforscher und Ärzte, S. 19–26. Braunschweig 1897; Jahresberichte der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 6. I. S. 130–138. 1899.)**Kleinigkeiten aus dem Gebiete der Mechanik** [WA-3, 609] (Verhandlungen der 69. Versammlung der Naturforscher und Ärzte, S. 26–29. Braunschweig 1897; Jahresberichte der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 6. I. S. 138–142. 1899.)

Über irreversible Strahlungsvorgänge I

[WA-3, 615] (Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1897. S. 660–662.)

Über irreversible Strahlungsvorgänge II

[WA-3, 618] (Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1897. S. 1016–1018.)

Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft

[PS, 141] (Aus den Annalen der Physik und Chemie. N.F. Band 60. S. 231.)

Nochmals über die Atomistik

[PS, 158] (Aus den Annalen der Physik und Chemie. N.F. Band 61. S. 790.)

Über die Frage nach der objektiven Existenz der Vorgänge in der unbelebten Natur

[PS, 162] (Aus den Sitzungsberichten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Klasse; Bd. CVI. Abt. II. a. S. 83. Jänner 1897.)

Vorwort zu Curry, Theory of electricity and magnetism

(London: Macmillan, 1897)

Some Errata in Maxwells paper "On Faradays line of force"

(Nature 57. S. 77–79)

Vorlesungen über die Prinzipie der Mechanik 1,

Leipzig: Barth, 1897. 241 p.

1898

Über vermeintlich irreversible Strahlungsvorgänge

[WA-3, 622] (Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1898. S. 182–187.)

Über die sogenannte H-Kurve

[WA-3, 629] (Mathematische Annalen 50. S. 325–332. 1898.)

Vorträge, gehalten bei der 70. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte

in Düsseldorf [WA-3, 638] (Verhandlungen der 70. Versammlung der Naturforscher und Ärzte. S. 65–68, 74. Düsseldorf 1898.)

- Zur Energetik
- Anfrage, die Hertzsche Mechanik betreffend
- Vorschlag zur Festlegung gewisser physikalischer Ausdrücke
- Über die kinetische Ableitung der Formeln für den Druck des gesättigten Dampfes, für den Dissoziationsgrad von Gasen und für die Entropie eines das von der Waals'sche Gesetz befolgenden Gases

Sur le rapport des deux chaleurs spécifiques des gaz

[WA-3, 645] (Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 127. S. 1009–1014. 1898.)

Vorlesungen über Gastheorie 2. Theorie Van der Waals'; Gase mit zusammengesetzten Molekülen; Gasdissoziation; Schlussbemerkungen,

Leipzig: Barth, 1898 – 265 p.

1899

Über eine Modifikation der van der Waals'schen Zustandsgleichung;

gemeinschaftlich mit Heinrich Mache [WA-3, 651] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 36. S. 87–88. 16. März 1899. Annalen der Physik 68. S. 350–351. 1899.)

Über die Bedeutung der Konstante b des van der Waals'schen Gesetzes;
gemeinschaftlich mit Heinrich Mache [WA-3, 654] (Cambridge, Phil. Trans. 18.
S. 91–93. 1899.)

Über die Zustandsgleichung van der Waals
[WA-3, 658] (Amsterdamer Berichte 1898. S. 477–484.)

Über die Entwicklung der Methoden der theoretischen Physik in neuerer Zeit
[PS, 198] (Vortrag, gehalten auf der Münchener Naturforscherversammlung,
Freitag, den 22. September 1899.)

Über die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik
[PS, 253] (Vorlesungen, gehalten an der Clark-University im Jahre 1899.)

1900

Die Druckkräfte in der Hydrodynamik und die Hertz'sche Mechanik
[WA-3, 665] (Annalen der Physik (4) 1. S. 673–677. 1900.)

Zur Geschichte unserer Kenntnis der inneren Reibung und Wärmeleitung in verdünnten Gasen
[WA-3, 670] (Physikalische Zeitschrift 1. S. 213. 1900.)

Notiz über die Formel für den Druck der Gase
[WA-3, 671] (Livre Jubilaire dédié à Hendrik Antoon Lorentz. S. 76–77. 1900)

Eugen von Lommel
[WA-3, 673] (Jahresberichte der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 8. S. 47–53. 1900)

Über die Prinzipien der Mechanik
[PS, 308] (I., Antrittsvorlesung, gehalten in Leipzig im November 1900)

1902

Über die Form der Lagrangeschen Gleichungen für nichtholonome, generalisierte Koordinaten
[WA-3, 682] (Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 111
S. 1603–1614. 1902.)

Über die Prinzipien der Mechanik
[PS, 330] (II., Antrittsvorlesung, gehalten in Wien im Oktober 1902)

1903

Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie
[PS, 338] (Aus der „Zeit“ 11. Dez. 1903)

1904

Über das Exnersche Elektroskop;
gemeinsam mit Arthur Boltzmann [WA-3, 693] (Anzeiger der Kaiserlichen Akademie der
Wissenschaften 41. S. 325. 3. November 1904. Physikalische Zeitschrift 6. S. 2., 1905)

Über statistische Mechanik
[PS, 345] (Vortrag, gehalten beim wissenschaftlichen Kongress in St. Louis, 1904)

Entgegnung auf einen von Prof. Ostwald über das Glück gehaltenen Vortrag
[PS, 364] (In der Wiener Philosophischen Gesellschaft 1904)

Vorlesungen über die Prinzipien der Mechanik 2
Leipzig: Barth, 1904, 335 p.

1905

Besprechung des Lehrbuches der theoretischen Chemie von Wilhelm Vaubel
(Berlin 1903) [PS, 379] (Originalrezension wurde nicht gedruckt.)

Über eine These Schopenhauers
[PS, 385] (Vortrag, gehalten vor der Philosophischen Gesellschaft in Wien, 21. Januar 1905)

Reise eines deutschen Professors ins Eldorado [PS, 403]

Die Wahrscheinlichkeitsannahmen, welche in der Statistik neben die Mechanik treten, bilden die Wurzel der Unumkehrbarkeit. Boltzmann und seine Zeitgenossen mussten diese Antwort erst erkämpfen. Dazu trug nichts so sehr bei wie Boltzmanns H-Theorem. Dieses Theorem bildete den Ausgangspunkt für Boltzmanns größte, seinen Namen verewigende Leistung, die Aufdeckung des Zusammenhanges der Entropie und der thermodynamischen Wahrscheinlichkeit.

The assumptions of probability, which take the place next to mechanics in the field of statistical physics, constitute the root of irreversibility. Boltzmann and his contemporaries had to struggle for this answer. Most important in this matter was Boltzmann's H-Theorem. It constitutes the origin of Boltzmann's most outstanding accomplishment, the revelation of the connection between entropy and thermodynamic probability.

Max von Laue