

**VORLESUNGEN ÜBER GASTHEORIE,  
I. THEIL: THEORIE DER GASE MIT  
EINATOMIGEN MOLEKULEN, DEREN  
DIMENSIONEN GEGEN DIE MITTLERE  
WEGDLANGE VERSCHWINDEN**

Published @ 2017 Trieste Publishing Pty Ltd

ISBN 9780649005260

Vorlesungen über Gasttheorie, I. Theil: theorie der gase mit einatomigen molekulen, deren dimensionen gegen die mittlere weglange verschwinden by Ludwig Boltzmann

Except for use in any review, the reproduction or utilisation of this work in whole or in part in any form by any electronic, mechanical or other means, now known or hereafter invented, including xerography, photocopying and recording, or in any information storage or retrieval system, is forbidden without the permission of the publisher, Trieste Publishing Pty Ltd, PO Box 1576 Collingwood, Victoria 3066 Australia.

All rights reserved.

Edited by Trieste Publishing Pty Ltd.  
Cover @ 2017

This book is sold subject to the condition that it shall not, by way of trade or otherwise, be lent, re-sold, hired out, or otherwise circulated without the publisher's prior consent in any form or binding or cover other than that in which it is published and without a similar condition including this condition being imposed on the subsequent purchaser.

[www.triestepublishing.com](http://www.triestepublishing.com)

**LUDWIG BOLTZMANN**

**VORLESUNGEN ÜBER GASTHEORIE,  
I. THEIL: THEORIE DER GASE MIT  
EINATOMIGEN MOLEKULEN, DEREN  
DIMENSIONEN GEGEN DIE MITTLERE  
WEGDLANGE VERSCHWINDEN**



Dr. PHIL. ALFRED BERGER  
BRÜNN.

OC  
177  
-B. 6-  
1896  
T. 1

VORLESUNGEN  
ÜBER  
**GASTHEORIE**

VON

Dr. LUDWIG BOLTZMANN

PROFESSOR DER THEORETISCHEN PHYSIK AN DER UNIVERSITÄT WIEN.

I. THEIL:

THEORIE DER GASE MIT EINATOMIGEN MOLEKÜLEN,  
DEREN DIMENSIONEN GEGEN DIE MITTLERE WEGLÄNGE  
VERSCHWINDEN.



LEIPZIG,

VERLAG VON JOHANN AMBROSIIUS BARTH  
(ARTHUR MEINER)

1896.

~~555.1~~  
B 39  
vt

Uebersetzungsrecht vorbehalten.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

## Vorwort.

*„Alles Vergängliche  
Ist nur ein Gleichniß.“*

Schon oft wurde mir nahe gelegt, ein Lehrbuch über Gastheorie zu schreiben. Speciell erinnere ich mich der energischen Aufforderung Prof. Wroblewski's hierzu bei der Wiener Weltausstellung 1873. Als ich diesem gegenüber wenig Lust zeigte, ein Lehrbuch zu schreiben, da ich ohnedies nicht wisse, wie bald mir die Augen den Dienst versagen würden, antwortete er trocken: „Ein Grund mehr, sich zu beeilen!“ Jetzt, da ich diese Rücksicht nicht mehr nehme, scheint der Zeitpunkt für ein solches Lehrbuch weniger geeignet, als damals. Denn erstens ist in Deutschland die Gastheorie, ich möchte sagen, aus der Mode gekommen; zweitens erschien soeben O. E. Meyer's bekanntes Lehrbuch in zweiter Auflage und widmet Kirchhoff in seinen Vorlesungen über Wärmetheorie einen längeren Abschnitt der Gastheorie. Jedoch verfolgt das Meyer'sche Buch, so anerkannt vortreflich es für Chemiker und Studierende der physikalischen Chemie ist, völlig andere Zwecke. Das Kirchhoff'sche Werk aber verräth zwar in Auswahl und Darstellung den Meister, doch ist es nur ein posthum gedrucktes Vorlesungsheft über Wärmetheorie, das die Gastheorie als Anhang behandelt, kein einigermaassen umfassenderes Lehrbuch. Ja ich gestehe offen, dass gerade einerseits das Interesse, welches Kirchhoff der Gastheorie entgegenbringt, andererseits die vielen Lücken, die er bei der Kürze seiner Darstellung lässt, mich zur Publication des vorliegenden Werkchens, das ebenfalls aus Vorlesungen an der Münchener und Wiener Universität entstanden ist, ermunterten.

Ich habe darin vor Allem die bahnbrechenden Arbeiten von Clausius und Maxwell übersichtlich wiederzugeben ge-

sucht. Man wird mir wohl nicht übelnehmen, dass ich auch meinen eigenen Arbeiten einigen Platz gegönnt habe. Diese werden in Kirchhoff's Vorlesungen über Wärmetheorie und Poincaré's Thermodynamique am Schlusse achtungsvoll citirt, aber selbst, wo es sehr nahe gelegen wäre, nicht verwerthet. Ich schloss daraus, dass eine kurz gefasste, möglichst leichtverständliche Darstellung einiger Hauptresultate derselben nicht überflüssig sei. Von grossem Einflusse auf Inhalt und Darstellung war das, was ich auf der unvergesslichen Versammlung der British Association in Oxford und aus den darauf folgenden theils privaten, theils in der „Nature“ publicirten Briefen von zahlreichen englischen Forschern gelernt habe.

Ich beabsichtige, dem I. Theile einen II. folgen zu lassen, wo ich die van der Waals'sche Theorie, die Gase mit mehratomigen Molekülen und die Dissociation zu behandeln gedenke. Dasselbst wird auch der ausführliche Beweis der Gleichung 119a, der in § 16, um Wiederholungen zu vermeiden, nur angedeutet ist, nachgetragen werden.

Etwas weitschweilige Formeln waren zum Ausdrucke complicirter Gedankenreihen leider manches Mal nicht zu vermeiden und ich kann mir lebhaft vorstellen, dass Manchem, der das Ganze nicht überschaut, die Resultate vielleicht wieder der aufgewandten Mühe nicht zu entsprechen scheinen werden. Abgesehen von vielen Resultaten der reinen Mathematik, die, wenn auch anfangs unfruchtbar scheinend, später doch der praktischen Wissenschaft immer nützlich werden, sobald sie den Kreis unserer Denkformen und inneren Anschauung wesentlich erweitern, wurden sogar die complicirten Formeln der Maxwell'schen Elektromagnetik vor den Hertz'schen Versuchen vielfach für unfruchtbar gehalten. Möge auch bezüglich der Gastheorie diese Ansicht nicht die allgemeine sein!

Wien, im September 1895.

Ludwig Boltzmann.



# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung . . . . .	1
*/ 1. Mechanische Analogie für das Verhalten der Gase . . . . .	1
*/ 2. Berechnung des Druckes eines Gases . . . . .	9

## I. Abschnitt.

<i>Die Moleküle sind elastische Kugeln. Aeusserer Kräfte und sichtbare Massenbewegungen fehlen . . . . .</i>	15
*/ 3. Maxwell's Beweis des Geschwindigkeitsverteilungsgesetzes; Häufigkeit der Zusammenstösse . . . . .	15
*/ 4. Fortsetzung; Werthe der Variablen nach dem Stosse; Stösse entgegengesetzter Art . . . . .	24
*/ 5. Beweis, dass die Maxwell'sche Geschwindigkeitsvertheilung die einzig mögliche ist . . . . .	32
*/ 6. Mathematische Bedeutung der Grösse $H$ . . . . .	38
*/ 7. Das Boyle-Charles-Avogadro'sche Gesetz. Ausdruck für die zugeführte Wärme . . . . .	47
*/ 8. Specifiche Wärme. Physikalische Bedeutung der Grösse $H$	54
*/ 9. Zahl der Zusammenstösse . . . . .	61
*/ 10. Mittlere Weglänge . . . . .	69
*/ 11. Grundgleichung für den Transport irgend einer Grösse durch die Molekularbewegung . . . . .	74
*/ 12. Elektricitätsleitung und innere Reibung der Gase . . . . .	79
*/ 13. Wärmeleitung und Diffusion in sich selbst . . . . .	86
*/ 14. Zwei Arten von Vernachlässigungen; Diffusion zweier verschiedener Gase . . . . .	93

## II. Abschnitt.

<i>Die Moleküle sind Kraftcentra. Betrachtung äusserer Kräfte und sichtbarer Bewegungen des Gases . . . . .</i>	98
*/ 15. Entwicklung der partiellen Differentialgleichung für $f$ und $F$	98

	Seite
16. Fortsetzung. Discussion des Einflusses der Zusammenstöße	104
17. Differentialquotienten nach der Zeit von über alle Moleküle eines Bezirkes erstreckten Summen . . . . .	115
18. Allgemeinerer Beweis des Entropiesatzes. Behandlung der Gleichungen, welche dem stationären Zustande entsprechen	124
19. Aerostatik. Entropie eines schweren, ohne Verletzung der Gleichungen 147 bewegten Gases . . . . .	134
20. Allgemeine Form der hydrodynamischen Gleichungen . .	141

### III. Abschnitt.

<i>Die Moleküle stossen sich mit einer der fünften Potens der Ent- fernung verkehrt proportionalen Kraft ab . . . . .</i>	153
21. Ausführung der Integration in den von den Zusammenstößen herrührenden Gliedern . . . . .	153
22. Relaxationszeit. Die auf innere Reibung corrigirten hydro- dynamischen Gleichungen. Berechnung von $D_0$ durch Kugelfunctionen . . . . .	164
23. Wärmeleitung. Zweite Methode der Annäherungsrechnung	176
24. Entropie, wenn die Gleichungen 147 nicht erfüllt sind. Diffusion . . . . .	190

## Einleitung.

### § 1. Mechanische Analogie für das Verhalten der Gase.

Schon Clausius unterschied strenge zwischen der allgemeinen mechanischen Wärmelehre, welche im Wesentlichen auf den beiden, nach seinem Vorgange als die Hauptsätze der Wärmelehre bezeichneten Theoremen basirt, und der speciellen Wärmelehre, welche erstens die bestimmte Annahme macht, dass die Wärme eine molekulare Bewegung sei, und zweitens sich sogar von der Art dieser Bewegung eine genauere Vorstellung zu bilden sucht.

Auch die allgemeine Wärmetheorie bedarf gewisser, über die nackten Thatsachen der Natur hinansgehender Hypothesen. Trotzdem ist sie offenbar von willkürlichen Voraussetzungen viel unabhängiger als die specielle und es hiesse nur die bekannten Principien, welche schon Clausius klar darlegte und worauf er die Eintheilung seines Buches in zwei Theile basirte unnütz wiederholen, wollte man nochmals ausführen, wie wünschenswerth und notwendig die Trennung ihrer Lehrsätze von denen der speciellen Wärmelehre und der Nachweis der Unabhängigkeit der ersteren von den subjectiven Annahmen der letzteren ist.

In neuerer Zeit hat nun das gegenseitige Verhältniss dieser beiden Zweige der Wärmelehre in gewisser Hinsicht eine Verschiebung erfahren. Durch die Verfolgung der äusserst interessanten Analogien und Verschiedenheiten, welche das Verhalten der Energie in den verschiedenen Erscheinungsgebieten der Physik zeigt, wurde die sogenannte Energetik geschaffen, welche der Vorstellung abhold ist, dass die Wärme eine Molekular-