

**NATURWISSENSCHAFTLICHE
MONOGRAPHIEN UND LEHRBÜCHER: DIE
RELATIVITÄTSTHEORIE EINSTEINS UND
IHRE PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN,
ELEMENTAR DARGESTELLT**

Published @ 2017 Trieste Publishing Pty Ltd

ISBN 9780649078462

Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher: Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen, elementar dargestellt by Max Born

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

MAX BORN

**NATURWISSENSCHAFTLICHE
MONOGRAPHIEN UND LEHRBÜCHER: DIE
RELATIVITÄTSTHEORIE EINSTEINS UND
IHRE PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN,
ELEMENTAR DARGESTELLT**

NATURWISSENSCHAFTLICHE
MONOGRAPHIEN UND LEHRBÜCHER

HERAUSGEGEBEN VON
DER SCHRIFTFÜHRUNG DER „NATURWISSENSCHAFTEN“

DRITTER BAND
DIE RELATIVITÄTSTHEORIE EINSTEINS
VON
MAX BORN



BERLIN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER

1922

III

DIE RELATIVITÄTSTHEORIE EINSTEINS

UND IHRE PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN

ELEMENTAR DARGESTELLT

VON

MAX BORN

DRITTE, VERBESSERTE AUFLAGE

MIT 135 TEXTABBILDUNGEN



282180
2. 2. 33

BERLIN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER

1922

5
↓

MEINER LIEBEN FRAU

GEWIDMET

Vorwort zur ersten Auflage.

Dieses Buch ist eine Bearbeitung einiger Vorträge, die ich im letzten Winter vor einem größeren Publikum gehalten habe. Die Schwierigkeiten, die das Verständnis der Relativitätstheorie dem mathematisch und physikalisch nicht geschulten Hörer oder Leser bereitet, scheinen mir hauptsächlich dadurch zu entstehen, daß ihm die Grundbegriffe und Tatsachen der Physik, besonders der Mechanik, nicht geläufig sind. Daher habe ich bei den Vorträgen ganz einfache, qualitative Experimente gezeigt, die zur Einführung der Begriffe wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Masse, Kraft, Feldstärke usw. dienen. Bei dem Versuche, ein ähnliches Mittel für das gedruckte Buch ausfindig zu machen, kam ich auf die hier gewählte, halb historische Darstellung, die, wie ich hoffe, den trockenen Stil der elementaren Lehrbücher der Physik vermeidet. Aber ich muß betonen, daß die historische Anordnung nur das Gewand ist, das die Hauptsache, den logischen Zusammenhang, um so klarer hervorheben soll. Das einmal angefangene Verfahren zwang zur Vollständigkeit, und dadurch schwoll mir das Unternehmen unter den Händen zu dem Umfange an, in dem es jetzt vorliegt.

An mathematischen Kenntnissen setze ich möglichst wenig voraus. Ich habe nicht nur die höhere Mathematik zu vermeiden gesucht, sondern auch von dem Gebrauche elementarer Funktionen, wie des Logarithmus, der trigonometrischen Funktionen usw. abgesehen; allerdings, ohne Proportionen, lineare Gleichungen und gelegentliche Quadrate und Quadratwurzeln ging es nicht ab. Ich rate dem Leser, der an den Formeln hängen bleibt, zunächst über sie hinwegzulesen und aus dem Texte selber zum Verständnis der mathematischen Zeichen zu kommen, Von Figuren und graphischen Darstellungen habe ich ausgiebigen Gebrauch gemacht; auch der in der Handhabung der Koordinaten Ungeübte wird die Kurven leicht lesen lernen.

Die philosophischen Fragen, zu denen die Relativitätstheorie Anlaß gibt, werden in diesem Buche nur gestreift; doch ist durchweg ein ganz bestimmter erkenntnistheoretischer Standpunkt gewahrt. Ich glaube sicher zu sein, daß dieser mit EINSTEINS eigenen Ansichten in der Hauptsache übereinstimmt. Ähnliche Auffassungen vertritt MORITZ SCHLICK in seinem schönen Buche »Allgemeine Erkenntnislehre« (1. Band der vorliegenden Sammlung, Berlin 1918, Julius Springer).

Von anderen Büchern, die ich benutzt habe, nenne ich vor allem ERNST MACHS klassische »Mechanik« (Leipzig, F. A. Brockhaus, 1883), sodann die klargestriebene Geschichte der Äthertheorien von E. T. WHITTAKER »A History of the Theories of Aether and Electricity« (London, Long-

mans, Green and Co., 1910) und die großtätige Darstellung der Relativitätstheorie von H. WEYL »Raum, Zeit, Materie« (Berlin, Julius Springer, 1918). Dieses Werk muß jeder zur Hand nehmen, der tiefer in die Lehren EINSTEINS eindringen will. Die zahlreichen Bücher und Abhandlungen aufzuzählen, aus denen ich mehr oder minder unmittelbar geschöpft habe, ist nicht möglich. Auf Literaturangaben habe ich, dem Charakter des Werkes entsprechend, vollständig verzichtet.

Bei der Anfertigung der Abbildungen haben mir Fräulein Dr. ELISABETH BORMANN und Herr Dr. OTTO PAULI, bei der Herstellung des Registers Herr Dr. W. DEHLINGER in liebenswürdiger Weise geholfen. Um die Richtigkeit der historischen Angaben sicher zu stellen, habe ich Herrn Prof. CONRAD MÜLLER in Hannover gebeten, die Korrekturen zu lesen; dieser ausgezeichnete Kenner der Geschichte der Mathematik und Physik hat sich mit Hingabe der großen Mühe unterzogen und mir viele wertvolle Ratschläge gegeben. Allen diesen Helfern schulde ich großen Dank, ebenso dem Verleger und den Herausgebern, durch deren Mühe und Eifer das rasche Erscheinen des Buches in der vorliegenden soliden Ausstattung ermöglicht wurde.

Frankfurt a. M., im Juni 1920.

Max Born.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die ersten fünf Kapitel, welche die Entwicklung der Physik bis zur Einsteinschen Relativitätstheorie darstellen, sind im wesentlichen unverändert geblieben. An einigen Stellen, wo in der ersten Auflage nur das Resultat einer mathematischen Überlegung angegeben wurde, habe ich diese selbst eingefügt, weil ich mich nicht auf den Glauben, sondern auf die Überzeugung des Lesers stützen möchte. Die Ausführungen über eine astronomische Methode zur Feststellung der Bewegung des Sonnensystems durch den Äther mit Hilfe der Verfinsterungen der Jupitermonde waren in der ersten Auflage nicht korrekt, da ich den Grad der Genauigkeit der astronomischen Messungen überschätzt hatte; dieser Abschnitt ist umgearbeitet worden.

Die letzten Kapitel, die von der Einsteinschen Theorie selbst handeln, sind stark erweitert worden; ihr Umfang war im Verhältnis zu der ausführlichen Vorbereitung zweifellos zu knapp und ihr Inhalt zu spärlich. Die Ergänzungen betreffen vor allem die Einsteinsche Dynamik; ich habe den Versuch gemacht, ihre Gesetze abzuleiten, ohne aus dem mathematischen Rahmen dieses Buches herauszutreten, der nur die elementaren Rechen-

operationen umfaßt. Sodann habe ich die gegen die Relativitätstheorie vorgebrachten Einwände ausführlicher besprochen; die Autoren dieser sogenannten »Paradoxien« aber habe ich nicht genannt, weil ich die Fortsetzung des unfruchtbaren Streites für zwecklos halte.

Um den Anschein zu vermeiden, daß persönliche Teilnahme sich in meine wissenschaftliche Überzeugung eindränge, habe ich das Bild und den Lebenslauf Einsteins in der neuen Auflage fortgelassen.

Beim Lesen der Korrekturen haben mir die Herren Prof. R. LADENBURG, Dr. E. BRODY, Dr. E. HAUSER und Dr. H. WEIGT in liebenswürdiger Weise geholfen, wofür ich ihnen großen Dank schulde.

Göttingen, 12. Mai 1921.

Max Born.

Vorwort zur dritten Auflage.

Diese Auflage unterscheidet sich von der vorigen abgesehen von einer Reihe geringfügiger Änderungen durch die Umarbeitung des Abschnitts über die Einsteinsche Dynamik. In dieser war bei der Bildung der Beschleunigung nicht scharf zwischen Zeit und Eigenzeit unterschieden und statt der gewöhnlichen Kraft war der Minkowskische kovariante Kraftvektor benützt worden; hierdurch mußte das Verständnis dieses an sich schon schwierigen Kapitels noch mehr erschwert werden. Durch Herrn Dr. W. PAULI jun. wurde ich auf eine von LEWIS und TOLMAN stammende Ableitung der relativistischen Massenformel aufmerksam gemacht, die sich in ausgezeichneter Weise dem Rahmen dieses Buches einfügt, da sie ebenso wie die hier gewählte Darstellung der Mechanik an den Begriff des Impulses anknüpft. Das Kapitel über die Einsteinsche Dynamik wurde auf Grund dieser Betrachtungsweise umgearbeitet; dadurch werden auch einige Änderungen in der Darstellung der gewöhnlichen Mechanik notwendig. Ich hoffe, daß diese Neuerung das Verständnis erleichtern wird.

Ich möchte nicht unterlassen, Herrn Dr. W. PAULI für seinen Rat meinen Dank auszusprechen. Sein großes Werk über Relativitätstheorie, das als Artikel 19 des V. Bandes der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften vor kurzem erschienen ist, ist mir von großem Nutzen gewesen. Ich möchte es allen denen, die tiefer in die Relativitätstheorie eindringen wollen, in erster Linie zum Studium empfehlen.

Beim Lesen der Korrekturen haben mir die Herren Dr. E. HÜCKEL und Dr. R. MINKOWSKI in freundlichster Weise geholfen.

Göttingen, 6. März 1922.

Max Born.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

	Seite
I. Geometrie und Kosmologie.	
1. Ursprung der Raum- und Zeitmeßkunst	6
2. Einheiten für Länge und Zeit	6
3. Nullpunkt und Koordinatensystem	7
4. Die geometrischen Axiome	8
5. Das PTOLEMÄISCHE Weltsystem	9
6. Das KOPERNIKANISCHE Weltsystem	9
7. Der Ausbau der KOPERNIKANISCHEN Lehre	11
II. Die Grundgesetze der klassischen Mechanik.	
1. Gleichgewicht und Kraftbegriff	13
2. Bewegungslehre. Geradlinige Bewegung	14
3. Bewegung in der Ebene	20
4. Kreisbewegung	21
5. Bewegung im Raume	23
6. Dynamik. Das Trägheitsgesetz	23
7. Der Stoß oder Impuls	25
8. Der Impulssatz	26
9. Die Masse	26
10. Kraft und Beschleunigung	28
11. Beispiel. Elastische Schwingungen	30
12. Gewicht und Masse	32
13. Die analytische Mechanik	35
14. Der Energiesatz	36
15. Dynamische Einheiten von Kraft und Masse	40
III. Das Newtonsche Weltsystem.	
1. Der absolute Raum und die absolute Zeit	43
2. NEWTONS Anziehungsgesetz	46
3. Die allgemeine Gravitation	48
4. Die Mechanik des Himmels	51
5. Das Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik	53
6. Der »eingeschränkte« absolute Raum	55
7. GALILEI-Transformationen	56
8. Trägheitskräfte	61
9. Die Fliehkräfte und der absolute Raum	62
IV. Die Grundgesetze der Optik.	
1. Der Äther	68
2. Emissions- und Undulationstheorie	69
3. Die Lichtgeschwindigkeit	72
4. Grundbegriffe der Wellenlehre. Interferenz	75
5. Polarisation und Transversalität der Lichtwellen	81
6. Der Äther als elastischer Festkörper	84
7. Die Optik bewegter Körper	92
8. Der DOPPLERSCHE Effekt	94
9. Die Mitführung des Lichtes durch die Materie	99
10. Die Aberration	108
11. Rückblick und Ausblick	110