

**DIE GRUNDLAGEN DER
EINSTEINSCHEN
GRAVITATIONSTHEORIE, MIT
EINEM VORWORT VON ALBERT
EINSTEIN**

Published @ 2017 Trieste Publishing Pty Ltd

ISBN 9780649770052

Die Grundlagen der Einsteinschen Gravitationstheorie, mit einem Vorwort von Albert Einstein
by Erwin Freundlich & Albert Einstein

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

ERWIN FREUNDLICH & ALBERT EINSTEIN

**DIE GRUNDLAGEN DER
EINSTEINSCHEN
GRAVITATIONSTHEORIE, MIT
EINEM VORWORT
VON ALBERT EINSTEIN**

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung	I
1. Die spezielle Relativitätstheorie als Vorstufe zu der allgemeinen Relativitätstheorie.	2
2. Zwei Forderungen prinzipieller Natur bei der mathematischen Formulierung der Naturgesetze	18
3. Zur Erfüllung der beiden Forderungen	20
a) Das Linienelement in der dreidimensionalen Mannigfaltigkeit der Raumpunkte in der mit beiden Forderungen verträglichen Fassung	22
b) Das Linienelement in der vierdimensionalen Mannigfaltigkeit der Raum-Zeitpunkte in der mit beiden Forderungen verträglichen Fassung	29
4. Die prinzipiellen Schwierigkeiten der klassischen Mechanik.	35
5. Die <i>Einsteinsche</i> Gravitationstheorie	42
a) Das Grundgesetz der Bewegung und das Äquivalenzprinzip der neuen Theorie	42
b) Rückblick	53
6. Die Prüfung der neuen Theorie durch die Erfahrung	60
Anhang: Erläuternde Anmerkungen und Literaturangaben	67

Vorwort.

Herr *Freundlich* hat es im nachfolgenden Aufsatz unternommen, die gedanklichen und empirischen Quellen, aus denen die allgemeine Relativitätstheorie stammt, vor einem weiteren Leserkreise zu beleuchten. Ich habe bei der Lektüre den Eindruck gewonnen, daß es dem Verfasser gelungen ist, die Grundgedanken der Theorie jedem zugänglich zu machen, dem die Denkmethode der exakten Naturwissenschaft einigermaßen geläufig sind. Die Beziehungen des Problems zur Mathematik, Erkenntnistheorie, Physik und Astronomie sind fesselnd dargelegt und insbesondere die tiefen Gedanken des seiner Zeit so weit voraneilenden Mathematikers *Riemann* eingehend gewürdigt. Herr *Freundlich* ist nicht nur als Kenner der in Betracht kommenden Wissensgebiete ein berufener Darsteller des Gegenstandes; er ist auch der erste unter den Fachgenossen gewesen, der sich um die Prüfung der Theorie eifrig bemüht hat. Möge sein Schriftchen vielen Freude machen!

A. Einstein.

Vorwort zur dritten Auflage.

Die dritte Auflage dieses Büchleins weist gegenüber den beiden vorangehenden Auflagen verschiedene Verbesserungen auf. Insbesondere wurde das einleitende Kapitel über die spezielle Relativitätstheorie vollständig neu bearbeitet und durch erläuternde Anmerkungen weiter vervollständigt. Auch die folgenden Kapitel über die Maßverhältnisse der Raum-Zeit-Mannigfaltigkeit erfuhren verschiedene Änderungen, nicht allein wo es aus stilistischen Gründen ratsam erschien, sondern vielmehr wo die Klarheit und Strenge der Überlegungen solche Änderungen wünschenswert erscheinen ließen. Dagegen blieben die Kapitel über die klassische Mechanik und die *Einstein*sche Theorie im wesentlichen unverändert; es wurden nur die *Einstein*schen Entwicklungen über die räumliche Struktur der Welt als Ganzes kurz berührt und im Schlußkapitel die Fortschritte in der Prüfung der neuen Theorie während der letzten Jahre mitgeteilt.

Ich habe insbesondere Herrn *Einstein* aufrichtig dafür zu danken, daß er durch seine offene Kritik und seinen stets bereiten Rat an der Verbesserung dieses Büchleins mitgeholfen hat.

Neubabelsberg, Dezember 1919.

Erwin Freundlich.

Einleitung.

Ende des Jahres 1915 hat *A. Einstein* eine Theorie der Gravitation auf Grund eines allgemeinen Prinzips der Relativität aller Bewegungen zum Abschluß gebracht. Sein Ziel war dabei nicht, ein anschauliches Bild von dem Wirken einer Anziehungskraft zwischen den Körpern zu schaffen, vielmehr eine Mechanik der Relativbewegungen der Körper gegeneinander unter dem Einfluß von Trägheit und Schwere. Der Weg zu diesem weitgesteckten Ziel führt allerdings über manches Opfer an althergebrachten Anschauungen. Aber dafür gelangt man zu einem Standpunkt, der seit langem vielen, die sich mit den Grundlagen der theoretischen Physik befaßt haben, als äußerstes Ziel vorgeschwebt hat. Daß die neue Theorie solche Opfer bringt, kann nur Zutrauen zu ihr erwecken. Denn das seit Jahrhunderten erfolglose Bemühen, die Lehre von der Gravitation befriedigend in die Naturwissenschaften einzuordnen, mußte zu der Erkenntnis führen, daß dies nicht ohne Zugeständnisse an manche festwurzelnde Anschauung möglich sein würde. In der Tat geht *Einstein* bis auf die Grundpfeiler der Mechanik zurück, um dort seine Theorie zu verankern und begnügt sich nicht lediglich mit einer Umformung des *Newtonschen* Gesetzes, um den Anschluß an neuere Anschauungen zu gewinnen.

Um zum Verständnis der *Einsteinschen* Ideen vorzudringen, muß man den prinzipiellen Standpunkt, den *Einstein* eingenommen hat, mit dem Standpunkt der klassischen Mechanik denselben Fragen gegenüber vergleichen. Man erkennt dann, wie von dem „speziellen“ Relativitätsprinzip eine logische Entwicklung zu dem „allgemeinen“ und zugleich zu einer Theorie der Gravitation hinführt.

Die spezielle Relativitätstheorie als Vorstufe zu der allgemeinen Relativitätstheorie.

Die ganze Umwälzung, deren Zeugen wir sind, entsprang aus Schwierigkeiten, auf die der Ausbau der Elektrodynamik stieß. Doch das Bedeutsame der weiteren Entwicklung war, daß nur eine neue Begründung der Mechanik einen Ausweg aus diesen Schwierigkeiten eröffnete*).

Die Elektrodynamik hatte sich im wesentlichen unbeeinflusst durch die Ergebnisse der Mechanik und selbst ohne Einfluß auf diese entwickelt, solange sie sich auf die elektrodynamischen Vorgänge ruhender Körper beschränkte. Erst als in den *Maxwell*schen Gleichungen eine Grundlage dafür geschaffen war, konnte man an das Studium der elektrodynamischen Vorgänge in bewegter Materie gehen. Nach der *Maxwell*schen Theorie gehören auch alle optischen Vor-

*) Anmerkung. Die meisten Einwände gegen die neue Entwicklung hat man freilich gerade deswegen erhoben, weil eine Disziplin, welche man in Fragen der Mechanik nicht für stimmberechtigt erachtete, einen so tiefgehenden Einfluß auf deren Grundlagen beanspruchte. Geht man jedoch diesen Einwänden nach, so erkennt man, daß sie dem Wunsche entspringen, die Mechanik zu einer rein mathematischen Disziplin ähnlich der Geometrie zu gestalten, unerachtet der Tatsache, daß die Grundlagen der Mechanik rein physikalische Hypothesen enthalten; allerdings hatte man diese Hypothesen bis dahin als solche nicht erkannt.

gänge zu den elektrodynamischen, und diese spielen sich entweder zwischen Himmelskörpern ab, die relativ zueinander in Bewegung sind, oder aber auf der Erde, die (mit fast 30 km Geschwindigkeit in der Sekunde) die Sonne umkreist und außerdem gemeinsam mit dieser eine translatorische Bewegung (von ungefähr derselben Geschwindigkeit) durch das Fixsternsystem ausführt. Sofort erhoben sich da Fragen von großer prinzipieller Bedeutung: Macht sich die Bewegung einer Lichtquelle in der Geschwindigkeit des von ihr ausgesendeten Lichtes bemerkbar? und: Wie beeinflusst die Bewegung der Erde die optischen Vorgänge auf ihrer Oberfläche, z. B. die optischen Versuche im Laboratorium? Man hatte also eine Theorie derjenigen Erscheinungen zu entwickeln, in denen elektrodynamische und mechanische Vorgänge vereint auftreten¹⁾. Die seit langem sorgfältig ausgebaute Mechanik hatte die Probe zu bestehen, ob ihre Hilfsmittel zur Beschreibung solcher Vorgänge ausreichen. So wurde das Problem der elektrodynamischen Vorgänge für bewegte Materie zugleich zu einem entscheidenden Problem der Mechanik.

Den ersten Versuch einer Beschreibung der elektrodynamischen Vorgänge in bewegten Körpern machte *H. Hertz*. Er baute die *Maxwellsche* Theorie aus, um auch den Einfluß der Bewegung der Materie auf die elektrodynamischen Vorgänge zur Geltung zu bringen und vertrat in seinen Ansätzen die für seine Theorie charakteristische Auffassung, daß der Träger des elektromagnetischen Feldes, der Lichtäther, überall an der Bewegung der Materie teilnehme. Infolgedessen tritt in seinen Gleichungen der Bewegungszustand des Lichtäthers neben dem elektromagnetischen Felde, als Ätherzustand, auf. Bekanntlich lassen sich die *Hertzschen* Ansätze mit der Erfahrung, z. B. dem Ergebnis

des *Fizeauschen* Versuches (siehe Anmerkung 2) nicht in Einklang bringen, so daß ihnen nur ein historisches Interesse, als einer Etappe auf dem Wege zu einer Elektrodynamik bewegter Materie, zukommt. Erst *Lorentz* gewann aus der *Maxwellschen* Theorie elektromagnetische Grundgleichungen für bewegte Materie, welche im wesentlichen mit der Erfahrung im Einklang standen. Allerdings geschah das unter Verzicht auf ein Prinzip von fundamentaler Bedeutung, nämlich unter Verzicht darauf, daß das *Galilei-Newtonsche* Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik zugleich auch für die Elektrodynamik gelten sollte. — Die praktischen Erfolge der *Lorentzschen* Theorie ließen anfangs dieses Opfer fast übersehen; dann setzte an diesem Punkte die Auflösung ein, welche die Stellung der klassischen Mechanik schließlich unhaltbar machte. Zum Verständnis dieser Entwicklung bedarf es darum einer eingehenden Behandlung des Prinzips der Relativität in den Grundgleichungen der Physik.

Unter dem Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik versteht man die aus den *Newtonschen* Bewegungsgleichungen fließende Konsequenz, daß zur Beschreibung der mechanischen Vorgänge Bezugssysteme gleichwertig sind, die gleichförmig gradlinig gegeneinander bewegt sind. Für unsere Beobachtungen auf der Erde besagt dies, daß irgendein mechanischer Vorgang auf der Erdoberfläche z. B. die Bewegung eines geworfenen Körpers, nicht dadurch modifiziert wird, daß die Erde nicht ruht, sondern sich, was annähernd auch der Fall ist, gradlinig gleichförmig bewegt. Mit diesem Relativitätspostulat ist jedoch das *Galilei-Newtonsche* Relativitätsprinzip noch nicht erschöpfend charakterisiert, wenn auch in ihm diejenige Erfahrungstatsache zum Ausdruck kommt, welche den eigentlichen Sinn dieses Rela-