



# Leseprobe

Thomas Bürke

## **E=mc<sup>2</sup> - Einführung in die allgemeine und spezielle Relativitätstheorie**

---

Thomas Bürke

$$E = mc^2$$

Thomas Bürke

$$E = mc^2$$

Einführung in die  
Allgemeine und Spezielle Relativitätstheorie

Mit Schwarzweißabbildungen  
von Nadine Schnyder

Anaconda

Lizenzausgabe mit freundlicher Genehmigung  
© 1999 Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München  
Der vorliegende Band ist ein unveränderter Nachdruck  
der 8. Auflage April 2010.



Penguin Random House Verlagsgruppe FSC® N001967

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten  
sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© dieser Ausgabe 2015, 2021 by Anaconda Verlag,  
einem Unternehmen der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,  
Neumarkter Straße 28, 81673 München  
Alle Rechte vorbehalten.

Umschlagmotiv: Virtual Fractal Realms, istockphoto.com / © agsandrew  
Umschlaggestaltung: dyadesign, Düsseldorf, [www.dya.de](http://www.dya.de)  
Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck  
ISBN 978-3-7306-0305-5  
[www.anacondaverlag.de](http://www.anacondaverlag.de)

# Inhalt

Vorbemerkung des Herausgebers .....	7
Ein Patentbeamter revolutioniert die Physik.....	9
Von langsamen Uhren und verbogenen Räumen .	18
Relativität vor Einstein .....	18
Die Spezielle Relativitätstheorie .....	27
Die Allgemeine Relativitätstheorie .....	68
Die Relativitätstheorie im Alltag .....	118
Energie aus Materie .....	118
Anhang	
Glossar .....	125
Weitere Literatur .....	129
Register .....	132

Für meine Freunde, die schon immer wissen wollten,  
was es mit dieser wunderlichen Theorie auf sich hat.

## Vorbemerkung des Herausgebers

Die Anzahl aller naturwissenschaftlichen und technischen Veröffentlichungen allein der Jahre 1996 und 1997 hat die Summe der entsprechenden Schriften sämtlicher Gelehrter der Welt vom Anfang schriftlicher Übertragung bis zum Zweiten Weltkrieg übertroffen. Diese gewaltige Menge an Wissen schüchtert nicht nur den Laien ein, auch der Experte verliert selbst in seiner eigenen Disziplin den Überblick. Wie kann vor diesem Hintergrund noch entschieden werden, welches Wissen sinnvoll ist, wie es weitergegeben werden soll und welche Konsequenzen es für uns alle hat? Denn gerade die Naturwissenschaften sprechen Lebensbereiche an, die uns – wenn wir es auch nicht immer merken – tagtäglich betreffen.

Die Reihe ›Naturwissenschaftliche Einführungen im dtv‹ hat es sich zum Ziel gesetzt, als Wegweiser durch die wichtigsten Fachrichtungen der naturwissenschaftlichen und technischen Forschung zu leiten. Im Mittelpunkt der allgemeinverständlichen Darstellung stehen die grundlegenden und entscheidenden Kenntnisse und Theorien, auf Detailwissen wird bewußt und konsequent verzichtet.

Als Autorinnen und Autoren zeichnen hervorragende Wissenschaftspublizisten verantwortlich, deren Tagesgeschäft die populäre Vermittlung komplizierter Inhalte ist. Ich danke jeder und jedem einzelnen von ihnen für die von allen gezeigte bereitwillige und konstruktive Mitarbeit an diesem Projekt.

Kaum eine wissenschaftliche Theorie der neueren Naturwissenschaften war so umstritten wie Albert Einsteins Relativitätstheorie, widerspricht sie in wesentlichen Teilen doch aller Erfahrung, die dem Menschen mit seinen Sinnen möglich

## Vorbemerkung des Herausgebers

ist. Entsprechend gegensätzlich waren die Reaktionen auf Einsteins Theorie. Während der Physik-Nobelpreisträger Max Born 1921 schrieb »Die Leistung der Einsteinschen Theorie krönt heute das Gebäude des naturwissenschaftlichen Weltbildes«, wetterte der ebenfalls nobelpreisgekürte Leiter des »Bundes Nationalsozialistischer Physiker« Philipp Lenard noch zehn Jahre später: »Ein beispielloser Fall von Massensuggestion und Irreführung in einem kaum für möglich zu haltenden Maßstab. Es scheint unfaßbar, wie Mathematiker, Physiker, Philosophen, ja vernünftige Menschen überhaupt sich derartiges auch nur vorübergehend einreden lassen konnten.« Thomas Bürke zeigt, daß Albert Einstein Recht hatte. In anschaulichen Vergleichen macht er das Unfaßbare verständlich und eröffnet den Blick auf einige der genialsten und faszinierendsten Ideen, die Menschen je über die Natur entwickelten.

Olaf Benzinger



# Ein Patentbeamter revolutioniert die Physik

Zwei physikalische Theorien haben zu Beginn des 20. Jahrhunderts unser Weltbild revolutioniert: Die Quantenmechanik und die Relativitätstheorie. Revolutionär waren sie aus zwei Gründen: Zum einen brachen sie mit den damals herrschenden physikalischen Gesetzen, und zum anderen beschrieben sie die Natur auf eine Weise, die dem gesunden Menschenverstand und der Alltagserfahrung eklatant widersprach. Dennoch oder gerade deshalb wurden sie zu Höhepunkten wissenschaftlichen und kulturellen Schaffens.

Während die Quantenmechanik aus der gemeinsamen Anstrengung einer größeren Gruppe von Physikern hervorging, hat die Relativitätstheorie nur einen Schöpfer: Albert Einstein. Max Planck erkannte als erster die fundamentale Bedeutung der Speziellen Relativitätstheorie und nannte sie eine kopernikanische Tat, die »an Kühnheit wohl alles, was bisher in der spekulativen Naturforschung, ja in der philosophischen Erkenntnistheorie geleistet wurde«, übertreffe. Als einen »Treppenwitz der Geschichte« empfand es indes der Würzburger Physiker Jakob Laub, daß der »neue Kopernikus« fast drei Jahre nach dessen epochaler Veröffentlichung immer noch als Schweizer Beamter in einem Patentamt arbeitete. Und nicht minder erstaunlich ist die Tatsache, daß Einstein die Theorie in einer bescheidenen Mietwohnung in Bern entwickelte.

Albert Einstein kam am 15. März 1879 in Ulm zur Welt. Sowohl in der Grundschule als auch später im Gymnasium war er ein guter bis sehr guter Schüler, obwohl ihm die Auto-

rität der Lehrer und der alltägliche Drill die Freude am Lernen weitgehend verleiteten. Der Vater betrieb zusammen mit seinem Bruder ein Elektrogeschäft, dessen Sitz sie 1893 nach Italien verlegten. Der 15jährige Albert konnte seinen Eltern jedoch nicht folgen, da er nicht ausreichend italienisch sprach, um dort das Abitur abzulegen. Nachdem er am Polytechnikum in Zürich durch die Aufnahmeprüfung gefallen war, kam er in der Schweizer Kantonsschule in Aarau unter, wo er 1896 die Matura als bester von neun Kandidaten erlangte. Zwei Wochen später begann er sein Studium in Zürich an der renommierten Eidgenössischen Polytechnischen Schule, der »Poly«.

Der Student Einstein konnte sich, wie schon in der Schule, nicht so recht dem Diktat des Studienplanes fügen. Vielmehr studierte er zu Hause die Meister der theoretischen Physik »mit heiligem Eifer«. Am stärksten faszinierte ihn die Maxwellsche Theorie elektromagnetischer Felder, die ihm »wie eine Offenbarung« vorkam.

Im Sommer 1900 legte er das Diplom als Fachlehrer in Mathematik und Physik ab. Mit 4,91 von sechs möglichen Punkten hatte er zwar einen guten Abschluß erzielt, aber die erhoffte Anstellung als wissenschaftlicher Assistent an der Poly blieb ihm versagt. Nach kurzen Intermezzi als Hilfslehrer in Winterthur und als Privatlehrer in Schaffhausen ging er schließlich nach Bern, wo er im Juni 1902 eine Stelle am eidgenössischen »Amt für geistiges Eigentum« antrat.

Er war überfrohen, endlich eine Arbeit gefunden zu haben, die ihm gut gefiel, da »sie ungemein abwechslungsreich ist und viel zu denken gibt«. Ganz offensichtlich genügte ihm die geistige Nahrung am Patentamt aber nicht, denn nebenbei beschäftigte er sich mit Problemen der Physik. Schon kurz nach seiner Ankunft in Bern hatte er eine Art Debattierklub, die »Akademie Olympia«, gegründet. Abends traf sich Einstein mit dem rumänischen Philosophiestudenten Maurice So-

lovine und mit Conrad Habicht, der in Bern Mathematik studierte. Dann lasen sie Werke von Mach, Hume oder Poincaré und diskutierten bis spät in die Nacht hinein, während sich der Raum zunehmend mit erstickendem Tabakqualm füllte.

Man kann sich die damalige Situation gar nicht paradox genug vorstellen: Acht Stunden am Tag, sechs Tage in der Woche begutachtete der technische Experte III. Klasse an einem Stehpult Patenteinreichungen, und in der übrigen Zeit wälzte er in seinem Kopf tiefgründige physikalische Probleme. Bereits seit 1901 hatte er in den ›Annalen der Physik‹ mehrere Schriften veröffentlicht, doch das Jahr 1905 sollte für ihn zum *annus mirabilis*, dem Wunderjahr, werden. Hier erschienen gleich sechs Arbeiten. Für eine erhielt er später den Physik-Nobelpreis, eine der anderen ging als Spezielle Relativitätstheorie in die Geschichte ein.

Einstein ist in seinem Leben oft gefragt worden, wie er auf die Relativitätstheorie gekommen sei, welche Gedanken ihn dabei geleitet hätten. Stets antwortete er ausweichend und ungenau, so etwa bei einem Vortrag, den er 1922 an der Universität von Kyoto hielt: »Es fällt mir nicht leicht darüber zu sprechen, wie ich auf die Theorie der Relativität gekommen bin; sehr viele verborgene Verwicklungen regten meine Gedanken an.« Eine dieser Verwicklungen spukte ihm schon seit seinem 16. Lebensjahr im Kopf herum: »Wenn ich einem Lichtstrahl naheile mit Geschwindigkeit  $c$  (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum), so sollte ich einen solchen Lichtstrahl als ruhendes, räumlich oszillierendes elektromagnetisches Feld wahrnehmen. So was kann es aber nicht geben, weder aufgrund der Erfahrung noch gemäß den Maxwell'schen Gleichungen. Intuitiv klar schien es mir von vornherein, daß von einem solchen Beobachter aus beurteilt, alles sich nach denselben Gesetzen abspielen müsse wie für einen relativ zur Erde ruhenden Beobachter. Denn wie sollte der erste Beobachter wissen bzw. konstatieren können, daß er sich im Zustand

rascher gleichförmiger Bewegung befindet? Man sieht, daß in diesem Paradoxon der Keim zur Speziellen Relativitätstheorie schon enthalten ist.«

In der Tat spiegelt dieses Gedankenexperiment, das Einstein 1949 in ›Autobiographisches‹ beschrieb, eine tiefgründige Krise der Physik um die Jahrhundertwende wider. Es deckte nämlich einen Widerspruch zwischen der Newtonschen Mechanik und der Maxwellschen Elektrodynamik auf, der damals zwar bekannt war, den aber die führenden Physiker entweder ignorierten oder durch feinsinnige Hypothesen wegzudiskutieren suchten.

Auf der einen Seite stand das schon von Galilei erkannte und von Newton aufgegriffene Gesetz, wonach alle physikalischen Vorgänge in gleichförmig – das heißt mit konstanter Geschwindigkeit – bewegten Systemen gleich ablaufen. Nimmt man beispielsweise einen Stein in die Hand und läßt ihn los, so wird er stets senkrecht zum Boden fallen, egal, ob wir dieses Experiment zu Hause oder in einem Zug durchführen, der konstant mit 200 Kilometern pro Stunde über die Schienen rast. Physiker nennen diese gleichförmig bewegten Systeme Inertialsysteme. In ihnen haben alle physikalischen Gesetze die gleiche Form.

Genau das aber war der entscheidende Punkt in Einsteins Gedankenexperiment, in dem er sich wie ein Surfer auf eine Lichtwelle gesetzt hatte. Bewege man sich mit Lichtgeschwindigkeit, so scheinen die Lichtwellen um einen herum stillzustehen, und man würde gar kein Licht mehr wahrnehmen. Dies widersprach aber den Maxwellschen Gleichungen, wonach sich Lichtwellen immer bewegen müssen. Das bedeutete, die Newtonsche Mechanik galt in allen gleichförmig bewegten Systemen, die Maxwellsche Theorie aber offensichtlich nicht. »Ich gewann früh die Überzeugung, daß dies in einer tiefen Unvollkommenheit des theoretischen Systems seinen Grund habe«, schrieb Einstein.

