

# Unverkäufliche Leseprobe

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Text und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Dieses Buch ist der unveränderte Reprint einer älteren Ausgabe.

Erschienen bei FISCHER Digital

© 2016 S. Fischer Verlag GmbH,

Hedderichstr. 114, D-60596 Frankfurt am Main

Printed in Germany

ISBN 978-3-596-31135-4

# Fischer

Weitere Informationen finden Sie auf  
[www.fischerverlage.de](http://www.fischerverlage.de).



Paul Davies

# Die Unsterblichkeit der Zeit

Die moderne Physik  
zwischen Rationalität und Gott

Aus dem Englischen  
von Wolfgang Rhiel

Scherz

Die Originalausgabe erschien unter dem Titel  
«About Time. Einstein's Unfinished Revolution»  
bei Simon & Schuster, New York.  
Einzig berechnigte Übersetzung  
aus dem Englischen von Wolfgang Rhiel

3. Auflage der Sonderausgabe 1997  
Copyright © 1995 by Orion Productions.  
First published by Simon & Schuster, New York.  
All rights reserved.  
Alle deutschsprachigen Rechte beim Scherz Verlag, Bern, München, Wien.  
Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Funk, Fernsehen,  
fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art  
und auszugsweisen Nachdruck, sind vorbehalten.  
Schutzumschlag von Gerhard Noltkämper.

Ich widme dieses Buch meiner Familie,  
die lange gelitten hat.  
*Die Zeit*, die ich aufgewendet habe,  
es zu schreiben, gehört ihr.



# *Inhalt*

Vorwort .....	10
Einführung .....	12
1. Eine ganz kurze Geschichte der Zeit .....	20
Wessen Zeit ist das überhaupt? · Die Suche nach der Ewigkeit · Der Zeit entfliehen · Zyklische Welten und die ewige Wiederkehr · Newtons Zeit und das Uhrwerk Universum · Einsteins Zeit · Stirbt das Univer- sum? Die Wiederkehr der ewigen Wiederkehr · Wie alles anfing · Es ge- schieht, wenn es geschieht	
2. Zeit für einen Wechsel .....	47
Ein Geschenk des Himmels · Abschied vom Äther · Eine Lösung zur Zeit · Zwischenspiel · Die Zeit dehnen · Das Rätsel der Zwillinge · Ab- schied für die Gegenwart · Zeit ist Geld · Zeitbild	
3. Zeitmaschinen .....	87
Die Lichtbarriere · Das Perpetuum mobile und der mühsame Kampf · Warum die Zeit im Weltraum schneller vergeht · Die Uhr im Kasten · Die beste Uhr im Universum · Das verspätete Echo · Aufwärts	

4. Schwarze Löcher: Tore zum Ende der Zeit ..... 119  
 Krümmungsfaktor unendlich · Ein dunkles Geheimnis · Der Vorstoß  
 in den magischen Kreis · Ein singuläres Problem · Jenseits des Endes  
 der Zeit · Sind sie wirklich da draußen?
5. Der Anfang der Zeit: Wann genau war das? ..... 145  
 Die große Uhr am Himmel · Der Urknall, und was davor geschah · Äl-  
 ter als das Universum? · Einsteins größter Fehler · Den Kosmos über-  
 listen
6. Einsteins größter Triumph? ..... 170  
 Die Handschrift Gottes · Hat es den Urknall überhaupt gegeben? · Was  
 sind unter Freunden schon ein paar Milliarden Jahre? · Ein unange-  
 nehmes Problem · Das bummelnde Universum
7. Quantenzeit ..... 191  
 Zeit zum «Tunneln» · Der Teekessel-Effekt · Die Vergangenheit auslö-  
 schen · Geistersignale und übersinnliche Teilchen · Schneller als Licht?  
 · Die Zeit verschwindet!
8. Imaginäre Zeit ..... 215  
 Stephen Hawking · Wie die Zeit begann · Die Hartle-Hawking-Theo-  
 rie · Imaginäre Uhren
9. Der Zeitpfeil ..... 229  
 Die Welle erwischen · Signale aus der Zukunft · Eine Frage der Zeit-  
 umkehr · Das Teilchen, das die Zeit anzeigen kann · Das Universum  
 mit Schlagseite

10. Rückwärts in der Zeit .....	257
Rückwärts · Rückwärts denken · Antiwelten · Die Uhr zurückstellen · Hawkings größter Fehler · Eine Zeit für jedermann	
11. Zeitreisen: Fakt oder Phantasie? .....	274
Signale in die Vergangenheit · Besuch in der Vergangenheit · Schwarze Löcher als Zeitmaschinen · Wurmlöcher und Strings · Widerspruch	
12. Aber welche Zeit haben wir denn nun? .....	297
Kann die Zeit wirklich fließen? · Das Märchen vom Vergehen · Fliegt der Zeitpfeil? · Warum jetzt?	
13. Experimente mit der Zeit .....	312
Wie lange dauert die Gegenwart? · Jetzt sehen Sie es, jetzt nicht · Zeit einsetzen · Subjektive Zeit · Die Hintertür zu unserem Geist	
14. Die unvollendete Revolution .....	329
Nachwort .....	335
Anmerkungen .....	336
Literaturhinweise .....	341
Personen- und Sachregister .....	342

## *Vorwort*

Dies ist das zweite Buch, das ich über die Zeit schreibe. Das erste, das 1974 herauskam, war speziell für Physiker gedacht. Ich hatte immer vor, ein zweites Buch über dieses Thema für einen größeren Leserkreis zu schreiben, aber irgendwie fand ich nie die Zeit dazu. Nun bin ich doch am Ziel.

Das Rätsel Zeit fasziniert die Menschen seit jeher. Die ersten schriftlichen Zeugnisse verraten Verwirrung und Angst über das Wesen der Zeit. Viele griechische Philosophen versuchten, den Begriffen Ewigkeit und Vergänglichkeit Sinn zu geben. Die Zeit steht im Mittelpunkt aller Weltreligionen und war jahrhundertlang Ursprung zahlloser Auseinandersetzungen zwischen den Lehren.

Obwohl die Zeit mit Galilei und Newton als meßbare Größe in die Wissenschaft trat, wurde sie doch erst in diesem Jahrhundert ein eigenständiges Fachgebiet. Vor allem Albert Einstein zeichnet dafür verantwortlich. Die Geschichte der Zeit im 20. Jahrhundert ist ganz überwiegend die Geschichte der Einsteinschen Zeit. Auch wenn ich einige biographische Details angeführt habe, wo dies angebracht war, ist dieses Buch doch keine Biographie von Einstein, denn davon sind schon mehrere seit seinem hundertsten Geburtstag im Jahr 1979 erschienen. Ich hatte auch nicht vor, eine systematische und umfassende Abhandlung über die Zeit zu schreiben. Ich habe vielmehr einige Themen ausgewählt, die ich persönlich besonders aufregend oder geheimnisvoll finde, und sie dazu benutzt, die allgemeinen Grundlagen der Zeit darzustellen, wie wir sie heute verstehen.

Obwohl Einsteins Relativitätstheorie inzwischen fast einhundert Jahre alt ist, sind ihre ungewöhnlichen Voraussagen immer noch weitgehend unbekannt. Der größte Teil des Buchs behandelt zwar die direkteren Folgen der Theorie, ich komme jedoch zu dem allgemeinen Schluß, daß wir die Zeit noch längst nicht restlos begreifen. Einstein hat mit seiner Arbeit unser Verständnis von der Zeit revolutioniert, doch die Folgen sind noch lange nicht

ganz aufgearbeitet. Die Relativitätstheorie ist in weiten Bereichen noch ein weißer Fleck auf der Landkarte, und wichtige Fragen, wie die Möglichkeit einer Zeitreise, haben erst in jüngster Zeit Beachtung gefunden. Es gibt auch einige Schwierigkeiten, die auf grundlegende Grenzen der Theorie schließen lassen. Differenzen über das Alter des Universums und Hindernisse, die Einsteinsche Zeit mit der Quantenphysik in Einklang zu bringen, sind zwei der hartnäckigeren Probleme. Noch bedenklicher ist vielleicht, daß die Einsteinsche Zeit ernstlich über Kreuz mit der Zeit ist, wie wir Menschen sie erleben. All das bringt mich zu der Vermutung, daß es an der Zeit ist, Einsteins Gedanken aufzugreifen, aber weiterzugehen. Die herkömmliche Darstellung der Zeit überläßt uns hilflos einem Chaos aus Rätseln und Widersprüchen. Nach meinem Dafürhalten eignet sich die Einsteinsche Zeit nicht, das Universum und unsere Vorstellung von ihm restlos zu erklären.

Ich habe dieses Buch für den wissenschaftlich oder mathematisch nicht vorgebildeten Leser geschrieben. Die Fachsprache ist auf ein Minimum reduziert, desgleichen die Angaben von Zahlen. Es läßt sich jedoch nicht leugnen, daß das Thema kompliziert ist und einige Anforderungen an den Geist stellt. Um die Bürde ein wenig zu erleichtern, habe ich die Figur eines friedlichen fiktiven Skeptikers eingeführt, der von Zeit zu Zeit mögliche Einwände oder Fragen des Lesers äußert.

Viele Menschen haben mir im Lauf der Jahre beim Formulieren meiner Gedanken geholfen. Besonders profitiert habe ich von Gesprächen und Diskussionen mit John Barrow, George Efstathiou, Murray Gell-Mann, Ian Moss, James Hartle, Stephen Hawking, Don Page, Roger Penrose, Frank Tipler, William Unruh und John Wheeler. Andere, deren Arbeiten mich beeinflusst haben, werden im Text erwähnt. Danken muß ich auch meinen Kollegen und Freunden, die viele nützliche Gedanken und Einsichten beigetragen haben. Zu ihnen gehören Diane Addie, Philip Davies, Susan Davies, Murray Hamilton, Angus Hurst, Andrew Matacz, James McCarthy, Jesper Munch, Graham Nerlich, Stephen Poletti, Peter Szekeres, Jason Twamley und David Wiltshire. Als letzte, aber keineswegs zuletzt, sei Anne-Marie Grisogone genannt, deren kritische Lektüre des Manuskripts und Anregungen zu Diskussionen über das Thema sich als äußerst wertvoll erwiesen haben.

## *Einführung*

Die Unterscheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft ist nur eine Täuschung, wenn auch eine hartnäckige.

*Albert Einstein*

Jeder Mensch hat Helden gern. Von der griechischen Mythologie bis zur Neuzeit mit ihren Popstars und Sportidolen waren die spektakulären Leistungen einiger immer weit attraktiver als die der Gemeinschaft insgesamt. Die Wissenschaft macht da keine Ausnahme: Aristoteles, Galileo Galilei, Isaac Newton, Charles Darwin ... diese Namen ragen heraus aus der Menge und stehen für Männer, die die Wissenschaft revolutioniert haben. In dieser Auflistung genialer Wissenschaftler verkörpert insbesondere ein Name geistige Brillanz und den Anstoß zum dramatischen Wandel unserer Welt-sicht: Albert Einstein. Schon zu Lebzeiten eine Legende, steht Einstein für all das, was die Öffentlichkeit mit wissenschaftlicher Genialität verbindet. Er hatte ein exzentrisches, leicht schlampiges Äußeres, sprach Englisch mit deutschem Akzent, drückte seine Theorien in schwerverständlichen mathematischen Formeln aus und brachte seine revolutionärsten Ideen offenbar fast im Alleingang hervor, indem er ungewöhnliche neue Vorstellungen aus irgendeinem rein theoretischen Bereich nahm und feststellte, daß die Natur sich ihnen entgegenkommenderweise fügte.

Wie alle Legenden enthält auch die vom Wissenschaftler Einstein eini-ges Wahres. Er war ein Genie, er hat die Wissenschaft revolutioniert, und ein Großteil seiner Arbeit war weitgehend das Ergebnis eigener Bemühun-gen.

Einstein war vor allem ein Mensch seiner Zeit. Die Physik war um die Jahrhundertwende an einem Scheideweg angelangt. Die Methoden dieser bereits bewährten Disziplin waren erprobt und ihre Leistungen beein-

druckend. Nach Meinung einiger begeisterter Physiker näherte sich das ganze Fach einem Zustand der Vollendung. Man konnte glauben, daß Newtons Bewegungsgesetze und sein Gravitationsgesetz, Maxwells Theorie vom Elektromagnetismus, die Hauptsätze der Thermodynamik und eine Handvoll weiterer Grundsätze alle physikalischen Erscheinungen angemessen erklärten. In dieser Hinsicht ähnelte die Physik am Ende des 19. Jahrhunderts der am Ende des 20. Eine alles umfassende, endgültige Theorie – eine einheitliche Feldtheorie – schien im Bereich des Möglichen zu liegen. Dummerweise trübten dann, damals wie heute, einige unerklärliche Geheimnisse die ansonsten glänzende Erfolgsbilanz. Im experimentellen Bereich deutete die Entdeckung der Radioaktivität auf eine energetische Welt innerhalb des Atoms hin, die außerhalb der Gravitation oder des Elektromagnetismus lag. Das gewaltige Alter der Erde, das aus fossilen Funden abgeleitet wurde, war mit keinem der bekannten physikalischen Prozesse in Einklang zu bringen, die zum Beispiel die Sonne scheinen lassen. Und die scharfen Linien in den Gasspektren widersetzten sich allen Erklärungen mittels anschaulicher Atommodelle.

Noch schwerwiegender war, daß Widersprüche in den grundlegenden Theorien selbst wie unsichtbare Riffe nur darauf zu warten schienen, das stolze Schiff der «klassischen» Physik zu versenken. Eine komplette Welttheorie kann nicht aus Teilen entstehen, die nicht richtig zusammenpassen. In dieser Hinsicht irritierten vor allem zwei seltsame Phänomene, und sie erkämpften sich dann auch einen Platz auf der Tagesordnung der Physiker. Das erste betraf die Verschmelzung der Theorie der elektromagnetischen Strahlung mit der Thermodynamik. Beide Bereiche waren für sich genommen äußerst erfolgreich. Maxwells elektromagnetische Gleichungen erklärten sehr elegant, wie elektrische und magnetische Felder ineinandergreifen, und bildeten die theoretische Grundlage für praktische Vorrichtungen wie Elektromotoren und Dynamos. Sie führten außerdem zur richtigen Vorhersage elektromagnetischer Wellen und lieferten eine überzeugende Erklärung der Eigenschaften des Lichts als elektromagnetische Welle. Die Hauptsätze der Thermodynamik waren genauso beeindruckend, erklärten sie doch nicht nur die Wirkungsweise von Wärmekraftmaschinen, Dampfmaschinen und Kühlschränken, sondern auch die Eigenschaften von Gasen und chemischen Reaktionen. Aber sobald man diese beiden großartigen theoretischen Systeme zusammenbrachte, ergab sich ein verheerender Widerspruch. Nach der gängigen Vorstellung war der freie Raum mit einem unsichtbaren Stoff erfüllt, dem sogenannten Äther.

Elektromagnetische Felder wurden als Spannungen oder Verformungen in diesem Medium angesehen. Das Problem bestand nun darin, daß der angenommene Äther eine unbegrenzte thermische Kapazität zu haben schien, einen unersättlichen Appetit auf Wärme. Nichts konnte anscheinend die gewöhnliche Materie davon abhalten, in zunehmendem Maße ihre gesamte Wärme in Form elektromagnetischer Wellen mit beliebig hoher Frequenz an den Äther abzugeben. Diese anscheinend unausweichliche Instabilität bedeutete, daß materielle Körper nicht in der Lage wären, Wärme zu speichern oder im thermischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung zu bleiben, was in krassem Widerspruch zum normalen Menschenverstand und auch zu den experimentellen Beweisen stand.

Die zweite rätselhafte Erscheinung hatte ebenfalls mit dem Elektromagnetismus zu tun, in diesem Fall mit der Beschreibung bewegter elektrischer Ladungen. Zwischen Maxwells Theorie vom Elektromagnetismus und den Bewegungsgesetzen Newtons gab es eine feine, aber wesentliche mathematische Abweichung. Newtons Gesetze galten als die Gründungsaussage der Physik und hatten lange als ein Modell für jede wissenschaftliche Beschreibung von Veränderung gedient. Formuliert im 17. Jahrhundert, hatten sie Ende des 19. Jahrhunderts die Zeitprobe hervorragend bestanden. Und doch gerieten sie nicht nur wegen eines technischen Details in Konflikt mit der elektromagnetischen Theorie, sondern grundsätzlich auch darüber, wie sie den Gedanken der Bewegung darstellten.

Beide Widersprüche betrafen, wie ich in den folgenden Kapiteln zeigen werde, das Wesen der Zeit. Der erste – der Konflikt zwischen der elektromagnetischen Theorie und der Thermodynamik – erwuchs aus dem Versuch, den sogenannten Zeitpfeil zu verstehen, also die Tatsache, daß die meisten physikalischen Prozesse eine eingebaute Richtung aufweisen, die sich insbesondere in der Richtung des Wärmeflusses zeigt – von warm nach kalt. Der zweite hatte mit einem Konflikt zwischen Newtons Vorstellung von einer absoluten Zeit und der Relativität der Bewegung zu tun, die auf elektrisch geladene Teilchen angewandt wird.

Diese beiden theoretischen Probleme hatten noch vor dem Ende des ersten Jahrzehnts des 20. Jahrhunderts die traditionelle oder klassische Physik einfach gesprengt und nicht nur eine, sondern zwei wissenschaftliche Revolutionen ausgelöst. Aus dem ersten Rätsel entwickelte sich die Quantenmechanik, eine völlig neue und höchst eigenartige Theorie der Materie – die tatsächlich so eigenartig war, daß viele sie selbst heute noch

nicht recht glauben können: Einstein hat sich ein Leben lang geweigert, ihre verblüffenden Konsequenzen zu akzeptieren. Das zweite Rätsel ließ die Relativitätstheorie entstehen. Einstein spielte in beiden Fällen eine Schlüsselrolle, wird jedoch überwiegend mit der Relativitätstheorie in Verbindung gebracht.

Das Wort «Relativität» bezieht sich hier auf die Tatsache, daß die Erscheinungsform der Welt ringsum von unserem Zustand der Bewegung abhängt: die Bewegung ist «relativ». Das wird an einigen einfachen Beispielen sogar im täglichen Leben erkennbar. Wenn ich auf einem Bahnsteig stehe, scheint sich der vorbeirasende Zug sehr schnell zu bewegen; sitze ich jedoch im Zug, sieht es so aus, als husche der Bahnhof vorbei. Diese offensichtliche und unstrittige Relativität der Bewegung war schon Galilei bekannt und tauchte bereits im 17. Jahrhundert in Newtons Mechanik auf. Einstein entdeckte dagegen später, daß nicht nur die Bewegung relativ ist, sondern *Raum und Zeit ebenfalls*. Das war eine weit aufregendere und sinnverwirrendere Feststellung. Wie wir noch sehen werden, ist die Einsteinsche Zeit eine höchst beunruhigende Herausforderung an unsere normale Vorstellung von der Wirklichkeit.

Für Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts war es möglich zu glauben, die Physik wäre vollständig, wenn sie die Kräfte erklären könnte, die zwischen den Materieteilchen wirken, und die Art und Weise, wie diese Teilchen sich unter der Einwirkung der Kräfte bewegen. Darauf lief alles hinaus: Kräfte und Bewegung. Die Teilchen selbst und der Raum und die Zeit, in denen sie sich bewegten, wurden einfach angenommen. Sie waren gottgegeben. Wenn die Natur mit einem großen kosmischen Drama verglichen werden kann, in dem der Inhalt des Universums – die Atome – die Besetzung war und Raum und Zeit die Bühne, dann hielten die Wissenschaftler es lediglich für ihre Aufgabe, die Handlung auszuarbeiten.

Heute würden Physiker ihre Aufgabe erst dann als erfüllt betrachten, wenn sie das Ganze gut erklärt hätten: Besetzung, Bühne und Stück. Sie würden nichts weniger als eine vollständige Erklärung für die Existenz und Eigenschaften aller Materieteilchen erwarten, die die Welt bilden, für das Wesen von Raum und Zeit und sämtliche Aktivitäten, zu denen diese Systeme in der Lage sind. Einsteins größter Beitrag war der, zu zeigen, daß die Trennung zwischen Besetzung und Bühne künstlich war. Raum und Zeit sind selbst Teil der Besetzung, sie spielen eine eigenständige und aktive Rolle im großen Drama der Natur. Raum und Zeit sind nicht, wie sich herausstellt, einfach als ein unveränderlicher Hintergrund der Natur *da*; sie