

A man in a dark suit and tie is seated in a highly ornate, steampunk-style time machine. The machine is constructed from brass and copper, featuring a large, circular, perforated metal disc behind him. The man is looking upwards and to the right, holding a small object in his hands. The background is a dimly lit room with a window showing a dark, rainy night.

Andreas Müller

Zeitreisen und Zeit- maschinen

Heute Morgen war ich noch gestern

SACHBUCH



Springer Spektrum

Zeitreisen und Zeitmaschinen

Andreas Müller ist Astrophysiker und Wissenschaftsautor. Er promovierte 2004 im Fach Astronomie an der Universität Heidelberg und forschte anschließend am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in München in der Röntgenastronomie über Schwarze Löcher. Seit 2007 ist er als Wissenschaftsmanager im Exzellenzcluster „Universe“ der Technischen Universität München beschäftigt. Als gefragter Referent für öffentliche Vorträge kooperiert er auch mit Schulen und veranstaltet Lehrerfortbildungen für Astronomie, Relativitätstheorie und Kosmologie, wofür er 2012 mit dem Johannes-Kepler-Preis zur Förderung des Astronomieunterrichts von MNU ausgezeichnet wurde. „Zeitreisen“ ist sein drittes Springer-Sachbuch nach „Schwarze Löcher“ (2009) und „Raum und Zeit“ (2012).

Andreas Müller

Zeitreisen und Zeitmaschinen

Heute Morgen war ich noch gestern

 **Springer** Spektrum

Dr. Andreas Müller
Exzellenzcluster Universe, Technische
Universität München
Boltzmannstraße 2
85748 Garching
Deutschland

ISBN 978-3-662-47109-8 ISBN 978-3-662-47110-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-47110-4

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

Springer Spektrum

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Planung: Dr. Vera Spillner, Dr. Lisa Edelhäuser

Einbandabbildung: © United Archives/IFTN/picture alliance

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Berlin Heidelberg ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Augenblick, verweile doch. Du bist so schön!
(frei nach Faust, Johann Wolfgang von Goethe)

Vorwort

Ist es nicht extrem faszinierend, dass wir Zeit bewusst erleben können? Im Alltag ist das für uns selbstverständlich geworden. Aber das Verrinnen der Zeit und wie wir sie wahrnehmen, ist alles andere als gewöhnlich. Wir sind dem Diktat der Zeit unterworfen und scheinen keine Möglichkeit zu haben, ihr zu entfliehen. Wir erinnern uns an Vergangenes, erleben die Gegenwart und planen unsere Zukunft. Die Zeit ist allgegenwärtig – ein Fundament unserer Welt, ohne das die Welt nicht so wäre, wie wir sie kennen.

Mich persönlich fasziniert das Wesen der Zeit schon seit Langem. In meiner Jugend hatte ich ein sehr inspirierendes Erlebnis: Mit etwa zehn Jahren sah ich den Film *Die Zeitmaschine* von 1960. In der Verfilmung des Science-Fiction-Romans von H. G. Wells (1895) *The Time Machine* spielten Rod Taylor und Yvette Mimieux die Hauptrollen. In der Geschichte geht es um einen Wissenschaftler, der eine **Zeitmaschine** erfindet und baut und damit in die ferne Zukunft reist. Er kann den Fluss der Zeit lenken. Ein faszinierender Gedanke! Ich war als Zuschauer natürlich neugierig, was uns da erwarten könnte. *Die Zeitmaschine* zeichnet ein Bild einer scheinbar paradiesischen Zukunft, die sich als düster und grausam entpuppt.

Mir persönlich hat dieser Gedanke sehr gefallen, wie sich der Protagonist vom Diktat der Zeit befreien konnte und welche Konsequenzen das hatte. Seine Zeitmaschine war zunächst eher ein Guckfenster in die Zukunft. Denn am Anfang war der Wissenschaftler mehr Beobachter und nahm keinen Einfluss auf die Ereignisse, die ihm mit der Zeitmaschine zugänglich wurden. Erst die Konfrontation mit der düsteren Zukunft zwingt ihn zum Eingreifen.

Es ist natürlich spannend zu untersuchen, ob diese Fiktion irgendwann einmal Wirklichkeit werden könnte. Genauso interessant ist es, naturwissenschaftlich zu erforschen, ob zum einen Zeitreisen prinzipiell möglich sind und ob es zum anderen vielleicht sogar möglich sein könnte, Zeitmaschinen zu bauen. Spinnt man den Gedanken weiter, so kann man sich fragen, welche gesellschaftlichen Folgen die Existenz von Zeitmaschinen hätte. Würde man sie verbieten, weil das Ändern des Ablaufs der Geschichte unabsehbare Konsequenzen hätte? Wäre es nicht gefährlich, einen Blick in die Zukunft zu riskieren, weil es das gegenwärtige Handeln beeinflusst? Diese Thematik wurde natürlich längst in weiteren Büchern und Filmen aufgegriffen, u. a. in *Zurück in die Zukunft*. Auch darum soll es hier gehen.

Mich hat das Wesen der Zeit schon vor Jahren so sehr begeistert, dass ich einen kleinen Essay verfasste, den ich auf meiner Website zugänglich machte. Als ausgebildeter Physiker schrieb ich vor allem über die naturwissenschaftlichen Aspekte von Zeit, doch das Thema bietet noch viel mehr. Bis heute lässt mich das Thema „Zeit“ nicht los. In meinem letzten Buch *Raum und Zeit: Vom Weltall zu den Extradimensionen – von der Sanduhr zum Spinschaum* (Müller 2012) ging es ebenfalls mehr um die physikalischen

Grundlagen zum Wesen der Zeit. Im März 2011 verfasste ich für meinen Blog bei SciLogs, dem Blogportal für Wissenschaften, einen längeren Beitrag mit dem Titel *Vision 2100– Blick in die Zukunft* (Müller 2011). Darin beschrieb ich eine mögliche Welt im Jahr 2100 und malte mir aus, welche verschiedenen Entwicklungen die Menschheit bis dahin durchmachen könnte. Ich beschrieb die Gesellschaft, stellte Prognosen zum Klima und zu politischen und wirtschaftlichen Fragen, insbesondere der Energiepolitik, dar und spekulierte über Technologien, die uns bis dahin zur Verfügung stehen könnten. Ich muss sagen, dass die Recherche, die einige Tage beanspruchte, viel Spaß gemacht hatte und für mich sehr erhellend war. Der endgültige Blogbeitrag war recht umfangreich ausgefallen und fand eine recht ordentliche Resonanz, die zum Teil auch kritisch war. Mir wurde vorgeworfen, dass die Vision viel zu positiv ausgefallen sei. Gut, ich bin ein optimistischer Mensch und neige eher zu einer Entwicklung mit gutem Ausgang. Aber war das wirklich zu einseitig?

Um das besser einordnen zu können, stellte ich mir die Frage, ob ein Zeitgenosse, der um das Jahr 1910– also vor rund hundert Jahren – lebte, eine Vision von unserer aktuellen Gegenwart (seinerzeit 2011) hätte haben können. Dieser Blog-Artikel heißt *Zeitreise nach 1911 – Die Welt vor 100 Jahren* (Müller 2011). Wieder war der Rechercheaufwand gewaltig und drohte sogar auszufern. Ich beschränkte mich zur besseren Vergleichbarkeit auf die gleichen Aspekte wie in „Vision 2100“, was auch den Umfang des Textes begrenzte. Als Fazit zog ich, dass man einiges bei genauerem Hinschauen recht gut, auch über Jahrzehnte, prognostizieren könne, weil es Gesetzmäßigkeiten folgt;

anderes verhält sich komplett „chaotisch“ und scheint sich jeder Vorhersagbarkeit zu entziehen. Für mich war das ein recht erstaunliches Resultat, neigt man doch vielmehr dazu, alles als bloße Spekulation abzutun. In der Folge trug ich über diese Gegenüberstellung von Vision und Rückschau auch an Volkshochschulen vor, was jedes Mal zu sehr anregenden Diskussionen führte.

Das Beschäftigen mit dem Thema „Zeit“ hat allerdings auch eine ganz persönliche Note, und zwar das persönliche Erleben der eigenen Zeit auf diesem Planeten und die Erkenntnis, dass die Lebenszeit begrenzt ist. Über diese eigene Endlichkeit macht man sich in der Jugend keine Gedanken; das trifft ja scheinbar nur andere. Mittlerweile sind schon einige Freunde, Bekannte und Verwandte aus meinem persönlichen Umfeld von uns gegangen. Sicherlich kein schönes, aber ein sehr wichtiges Thema. Ich ertappe mich dabei, wie ich mich frage, wie das nur geschehen konnte, dass ein Schulkamerad um die 20 oder nahestehende Verwandte viel zu jung aus dem Leben schieden. Es war weder sinnvoll noch fair, aber es geschah – und ließ mich mit noch mehr Fragen und einer gewissen Verständnislosigkeit zurück. Was lehrt uns die eigene Endlichkeit, diese Beschränktheit in der scheinbaren Unendlichkeit des Zeitflusses?

Ich bin jetzt ein Mann um die 40, in einem Alter, in dem ich nicht mehr fleißig die Geburtstage mitzähle. Gelegentlich bemerke ich, dass ich mein Alter vergessen habe und erst nachrechnen muss. Erschrocken bin ich dann, wenn ich eine Geburtstagstorte bekomme, auf der eine ganze Menge Kerzen stehen. Zu viel Information und auch noch schwarz auf weiß.

Ist das schon eine Midlife-Crisis? Immer öfter wundere ich mich über die Tatsache, wie schnell das Jahr schon wieder vergangen ist, und staune bei Begebenheiten, an die ich mich noch gut erinnere: „Was? Das ist auch schon wieder 20 Jahre her?“ Was ist aus meinem Leben geworden, das ich im Alter von 20 Jahren so hübsch geplant und eingerichtet hatte? Es ist alles ganz anders gekommen – anders, aber besser und schöner. Eigentlich konnte ich mir als 20-Jähriger nicht wirklich vorstellen, was mich da erwartet. Ich wundere mich über Gegenwart gewordene Zukunft, wundere mich aber auch über meinen Ursprung. Was wäre gewesen, wenn meine Mutter damals nicht meinen Vater kennen gelernt hätte? Wo wäre ich heute ohne meine Frau, die ich eigentlich eher zufällig traf und in die ich mich, dann nicht mehr zufällig, verliebte. War das so etwas wie Schicksal? Gibt es das überhaupt? Oder ist das doch nur eine ganz merkwürdige Anhäufung erstaunlich vieler Zufälle?

Wie Sie sehen, liebe Leserin, lieber Leser, bietet das Thema „Zeit“ viel Diskussionsstoff und regt sehr zum Nachdenken an. Was erwartet den Leser in diesem Buch? In Kap. 1 fasse ich kurz die wesentlichen Fakten über das Wesen der Zeit zusammen. Dabei nehme ich insbesondere die naturwissenschaftliche Perspektive ein. Danach möchte ich ein paar bekannte Beispiele für Zeitreisen in Literatur und Film vorstellen. In Kap. 2 werden verschiedene Bauweisen von Zeitmaschinen erörtert, die naturwissenschaftlich im Prinzip denkbar wären. Ich erläutere auch, ob sie praktisch umsetzbar sind und welche Probleme und Gefahren beim Zeitreisen zu erwarten sind. In Kap. 3 stelle ich Überlegungen an, welche gesellschaftlichen Folgen Zeitreisen haben

könnten. Wie wäre unsere Welt in 100 Jahren? Eine mögliche Prognose wage ich in Kap. 4 in der „Vision 2100“. Ich stelle ich in Kap. 5 eine Reise in die Vergangenheit gegenüber: die „Rückschau ins Jahr 1910“. Nach dieser reizvollen Gegenüberstellung von Epochen komme ich schließlich zum Menschen als Zeitreisenden zurück. Ich unternehme in Kap. 6 eine ganz persönliche Zeitreise, um daraus einen Schluss zu ziehen, wie wir mit unserer Gegenwart und unserem Zeiterleben umgehen sollten. Am Ende des Buchs befinden sich ein Glossar mit Erklärungen zu den fett gesetzten Begriffen sowie ein Index zum schnellen Auffinden von Textstellen.

Diese Aspekte von Zeit, Zeitreisen und Zeitmaschinen möchte ich nun vorstellen und für die Nachwelt konservieren. Wer weiß, vielleicht liest dieses Buch jemand im Jahr 2100? Wird er sich über die naive Vorhersage amüsieren oder über die scharfe Prognose wundern?

München im November 2014

Andreas Müller

Inhalt

1	Einführung: Vom Wesen der Zeit	1
1.1	Der Zeitpfeil	1
1.2	Die relative Zeit	6
1.3	Zeit und Raum: Untrennbar vereint	8
2	Sind Zeitreisen überhaupt möglich?	15
2.1	Zeitreisen in der Science-Fiction	15
2.2	Zeitmaschine 1: Die speziell-relativistische Turbokapsel	26
2.3	Zeitmaschine 2: Die allgemein relativistische Parkkapsel	44
2.4	Zeitmaschine 3: Die Wurmlochkapsel	57
3	Eine Gesellschaft der Zeitreisenden	75
3.1	Zeitreisen verbieten: Ja oder nein?	75
3.2	Bedeutung von Zeitreisen	80
3.3	Zeitreisen und Paradoxe	81
3.4	Wo sind die Zeitreisenden?	84
4	Vision 2100 – Zeitreise in die Zukunft	91
4.1	Gesellschaft	92
4.2	Politik und Wirtschaft	107
4.3	Klima	113
4.4	Energie	120
4.5	Katastrophen	131

XIV Zeitreisen und Zeitmaschinen

4.6	Medizin	136
4.7	Technik und Verkehr	150
4.8	Unterhaltung und Trivia	170
4.9	Naturwissenschaften	174
5	Rückschau 1910 – Zeitreise in die Vergangenheit	183
5.1	Gesellschaft	183
5.2	Politik und Wirtschaft	186
5.3	Klima und Energie	197
5.4	Katastrophen	203
5.5	Medizin	208
5.6	Technik und Verkehr	213
5.7	Unterhaltung und Trivia	219
5.8	Naturwissenschaften	222
5.9	Vision versus Retrospektive	232
6	Eine persönliche Zeitreise	241
6.1	Wiedersehen mit Saint-Tropez	241
6.2	Früher war alles besser	248
6.3	Die Rolle des Zufalls	250
6.4	Augenblick verweile	252
	Glossar	255
	Quellen und Literatur	289
	Sachverzeichnis	299

1

Einführung: Vom Wesen der Zeit

1.1 Der Zeitpfeil

Ich bin ja ein Kind der 1980er-Jahre. Dieses Jahrzehnt hat eine ganz besondere Bedeutung für mich. Es war für mich persönlich eine Zeit der großen Veränderungen: Ich wurde eingeschult; wir zogen in ein eigenes Haus um; der erste Kuss; ich wechselte auf zwei neue Schulen und lernte neue Freunde kennen, die ich heute noch treffe; ich kam in die Pubertät und wurde erwachsen. Allein die Musik der 80er ist der absolute Knaller, und ich höre sie heute noch gerne: Nena, A-ha, Kim Wilde, Depeche Mode, Tears for Fears, Eurythmics, Starship, Billy Idol, Sting, Toto, um nur einige meiner Lieblinge zu nennen. Vermutlich lieben alle zwischen 40 und 50 diese Musik, weil sie sie an ihre Jugend und eine schöne, turbulente Zeit erinnert.

Gut, es gab in den 1980er-Jahren auch Dinge, die die Welt nicht braucht und über die man heute lieber den weiten Mantel des Schweigens ausbreitet: Schulterpolster, weiße Tennissocken, Igelfrisuren und **Vokuhila** beispielsweise.

Politisch war es eine bedeutungsvolle Dekade: Ich wuchs mit Bundeskanzler Helmut Kohl und US-Präsident Ronald Reagan auf – ja, der Schauspieler. Der Song *Russians*

von Sting war zwar 1985 ein Hit, aber wir hatten als Teenies gar nicht mitbekommen, dass die Welt ziemlich nah am Abgrund stand. Der Ost-West-Konflikt und der Kalte Krieg zwischen der Sowjetunion und den USA hatten in den 1980er-Jahren sicher einen Höhepunkt. Als die 80er fast vorbei waren, kam noch der fulminante Paukenschlag für Deutschland: die Wiedervereinigung der Bundesrepublik Deutschland mit der ehemaligen DDR im November 1989.

Diese Zeit liegt jetzt sehr lange hinter mir – mehr als 30 Jahre –, und manchmal kann ich es gar nicht fassen. Es fühlt sich fast an wie ein anderes Leben, weil sich seither so viel getan hat.

Diese vielen Erlebnisse, die ein Menschenleben zu bieten hat, erleben wir alle als ein Nacheinander. Nichts kann die 80er-Jahre zurückbringen, wir können nur in Erinnerungen schwelgen, die uns ein Lächeln ins Gesicht zaubern oder uns erschauern lassen. Denn in unserer alltäglichen Erfahrung erleben wir die **Zeit** als etwas, das wir nicht beeinflussen können. Sie scheint zu verstreichen, ohne dass wir etwas dagegen tun können. Scheinbar vergeht die Zeit auch immer gleich schnell. In den Naturwissenschaften war das lange Zeit die vorherrschende Lehrmeinung. Diese unbeeinflussbare, gleichförmig verrinnende Zeit heißt auch die *absolute Zeit*.

Aber was ist Zeit überhaupt? Sie ist substanzlos und kann doch an der Art von Substanzen abgelesen werden. Die Zeit ist etwas, das untrennbar mit der Welt verbunden ist. Zusammen mit dem **Raum** bildet sie die Bühne für alles, was geschieht. Doch Raum und Zeit sind wesensverschieden, denn zwischen Raum und Zeit gibt es entscheidende Unterschiede: Der Raum ist dreidimensional, d. h., er wird

durch Länge, Breite und Höhe aufgespannt. In diesen drei Raumdimensionen können wir uns im Prinzip frei bewegen: vor und zurück, nach links und nach rechts, nach oben und nach unten – nichts hält uns auf. Bei der Zeit ist das anders. Denn Zeit kennt nur eine Richtung, nämlich in die Zukunft. Wenn wir einfach abwarten, bis Zeit verstrichen ist, haben wir uns automatisch von der Gegenwart in die Zukunft bewegt. Man könnte auch sagen, dass wir gealtert sind. In die andere „Zeitrichtung“, hin zur Vergangenheit, können wir uns nicht bewegen. Ein Trip zurück in die 80er-Jahre? No way! Unsere alltägliche Erfahrung legt uns nahe, dass wir nicht in die Vergangenheit reisen können, um z. B. unsere Fehler von gestern zu korrigieren. Die Eigenschaft, dass Zeit nur eine Richtung hat, nennt man auch den **Zeitpfeil**. Er weist in die Zukunft.

Warum das so ist, ist eine recht knifflige Frage. Eigentlich lässt sie sich nur mit der Physik beantworten. Die Wärmelehre (**Thermodynamik**) ist ein Teilgebiet der klassischen Physik und enthält ein Naturgesetz, das hierbei eine besondere Rolle spielt. Es handelt sich um den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, der besagt, dass in einem abgeschlossenen System eine Größe namens **Entropie** nur zunehmen oder gleich bleiben kann. Anders ausgedrückt nimmt die Entropie niemals ab. Genauso wie beim Verstreichen von Zeit die vergangene Zeit immer mehr zunimmt, wächst in einem abgeschlossenen System auch die Entropie in der Regel stetig an.

So weit, so gut, aber was verbirgt sich hinter dem rätselhaften Begriff „Entropie“? Anschaulich wird diese thermodynamische Größe, wenn wir sie als Maß für Unordnung interpretieren. Eine unversehrte Tasse, die auf einem Tisch steht, ist ein Zustand hoher Ordnung – physikalisch könnte

man auch sagen: geringer Entropie. Fällt die Tasse vom Tisch und zerbricht, dann hat sie sich in einen Zustand geringer Ordnung oder hoher Unordnung verwandelt: Physikalisch ausgedrückt hat ihre Entropie zugenommen. Das passiert ganz von selbst, ohne dass wir uns groß anstrengen müssen, weil es eben ein Naturgesetz ist. Einfach die Tasse fallen lassen.

Umgekehrt ist das schon viel schwieriger: Aus den Scherben eine Tasse zu machen, ist zwar möglich, aber dann müssen wir Energie aufbringen und z. B. einen Kleber benutzen und viel Geduld haben. Die Entropiebilanz fällt nach all den Mühen übrigens wieder so aus, dass sie insgesamt zugenommen hat, weil wir Energie aufbringen mussten, die irgendwoher kommen musste. Dabei wurde die Entropie an anderer Stelle erhöht: beim Herstellen des Klebers oder des Essens, das uns für die mühevollen Klebearbeit gestärkt hat. Offenbar ist der Trend der Entropiezunahme kaum aufzuhalten – oder wissen Sie einen Weg, wie man ein Naturgesetz umgehen kann? Auf der Erde bekämpfen wir gewissermaßen den Trend der zunehmenden Unordnung. Damit meine ich jetzt nicht, dass Sie jede Woche Ihre Wohnung aufräumen und insbesondere beim Besuch der Schwiegermutter hübsch herrichten. Es ist wieder eher physikalisch zu verstehen: Wir können beispielsweise einen hohen Zustand der Ordnung herstellen, indem wir Energie in ein System stecken. Der Mensch selbst ist ein Beispiel dafür, denn wir leben. Wir führen uns chemisch gespeicherte Energie in Form von Essen und Trinken zu. So verhindern wir den eigenen Kollaps des Systems Mensch. Wir halten unter diesen Mühen den Zustand der Ordnung in uns aufrecht. Erst wenn ein Mensch stirbt und weder essen, trinken noch atmen kann, entfaltet das Entropie-Gesetz

seine volle Wirkung. Denn von da an zerfällt der Mensch, und die Unordnung im System Mensch nimmt zu. Eine physikalische Analyse im Rahmen der Wärmelehre zeigt, dass in allen abgeschlossenen Systemen die Entropie allenfalls gleich bleiben, in der Regel jedoch zunehmen wird. Weil dieses Verhalten mit den Methoden der Wärmelehre berechnet werden kann, heißt diese so begründete Zeitrichtung auch der *thermodynamische Zeitpfeil*.

Da das ein Naturgesetz für geschlossene Systeme ist, kann dieser Trend im Universum nicht aufgehalten werden. Die Entropie des ganzen Kosmos nimmt zu. Auf diese Weise verwandelt sich der thermodynamische Zeitpfeil in einen *kosmologischen Zeitpfeil*. In früheren Epochen der kosmischen Entwicklung hatte das Universum als Ganzes im Mittel eine niedrigere Entropie oder, anders gesagt, eine größere Ordnung. Mit der kosmischen Entwicklung nimmt die Entropie des Universums zu. Man könnte übrigens auch sagen, dass der Kosmos mehr Struktur und Vielfalt bekommen hat. Den Begriff der Entropie kann man nämlich auch mit dem der Information in Verbindung bringen. Ob unser Universum tatsächlich ein abgeschlossenes System ist, ist noch Gegenstand der aktuellen Forschung. Alle Universen, die wiedergeboren werden – Kosmologen sprechen hier von zyklischen Universen –, geraten früher oder später in Konflikt mit dem Gesetz der Entropiezunahme.

Fakt ist jedenfalls, ich komme nicht mehr in die 1980er-Jahre zurück, weil diese seltsame Entropie kosmisch betrachtet seither beständig zunahm. Oder gibt es einen Weg, dass ich nochmal einen Abstecher in meine Kindheit wagen kann? Falls ja, würden Sie da mitkommen wollen, oder gewinnt Ihre Abneigung gegen Schulterpolster?

1.2 Die relative Zeit

Tatsächlich scheint sich da eine Möglichkeit aufzutun. Denn vor gut 100 Jahren gelang ein Durchbruch in unserem Verständnis vom Wesen der Zeit. Die Zeit ist nicht absolut, sondern relativ. Wie schnell eine **Uhr** tickt, ist im Allgemeinen individuell ganz verschieden. Das liegt aber nicht etwa an der Uhr, sondern an der Natur der Zeit selbst. Das Verrinnen von Zeit hängt von äußeren Umständen ab. Welche das sind, werden wir im Folgenden aufklären. Mit dem Konzept der relativen Zeit ist der berühmteste Physiker aller Zeiten verbunden: Albert Einstein.

Natürlich gab es eine Vorgeschichte, und die Arbeiten vieler anderer Pioniere führten schließlich zu diesem radikalen Umbruch. Ende des 19. Jahrhunderts wurden Experimente mit Licht durchgeführt, bei denen die Forscher sich fragten, ob sich Licht – genauso wie Schall – in einem Medium, dem „Lichtäther“, ausbreite. Die beiden Physiker Joseph Larmor (1897) und Hendrik Antoon Lorentz (1899) sowie der Mathematiker Henri Poincaré (1900) entdeckten dabei auch einen rätselhaften Effekt der **Zeitdilatation**. Sie waren aber nicht so kühn, diesen Effekt auf unsere wirkliche Zeit im Alltag zu übertragen. Erst Albert Einstein ging den revolutionären Schritt, von einer Konstanz der **Lichtgeschwindigkeit** in allen Systemen auszugehen, d. h., dass die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Geschwindigkeit der Lichtquelle ist. Sie ist immer gleich. Einstein erkannte, dass ein Lichtäther gar nicht nötig ist. Sein neues Konzept von Raum und Zeit war damit vollkommen im Einklang mit der Maxwell'schen **Elektrodynamik**. Diese klassische Theorie der elektromagnetischen Felder war es, die Einstein schon als Jugendlichen auf die Spur der **Relativitätstheorie**

brachte. Das fundamental neue Verständnis von Raum und Zeit ist die Grundlage von Einsteins 1905 veröffentlichter **speziellen Relativitätstheorie (SRT)**. Was heißt das nun, dass die Zeit relativ ist? Einsteins Theorie sagt voraus, dass das Verrinnen der Zeit davon abhängt, wie schnell sich eine Uhr relativ zu einem Beobachter bewegt. Je schneller sich die Uhr bewegt, umso langsamer tickt sie aus der Sicht des Beobachters. Eine Uhr, die sich relativ zum Beobachter nicht bewegt, tickt am schnellsten. Sie befindet sich im **Ruhesystem**. Wir werden den Effekt detailliert betrachten, nämlich wenn wir ihn in Kap. 2 zum Bau einer Zeitmaschine nutzen möchten.

Der speziell relativistische Zeitdehnungseffekt durch Bewegung ist allerdings nicht die einzige Form von Zeitdehnung in der Relativitätstheorie. Im November 1915 veröffentlichte Albert Einstein in Vorträgen vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften eine Weiterentwicklung seiner SRT, die als **allgemeine Relativitätstheorie (ART)** bekannt wurde (Einstein 1915). Während die SRT nur Bezugssysteme betrachtet, die sich gegeneinander gleichförmig geradlinig – also ständig mit konstanter Geschwindigkeit in gleicher Richtung – bewegen, lässt die ART auch gegeneinander beschleunigte Systeme zu. Auch in diesem Fall gibt es eine Dehnung der Zeit, die *allgemein relativistische Zeitdilatation*. Gleichmäßige Beschleunigungen treten auf, wenn sich Objekte im freien Fall auf eine anziehende Masse befinden. Die ART-Zeitdehnung hat also etwas mit Gravitation zu tun. In der Nähe einer Masse verrinnt die Zeit langsamer als weit entfernt von ihr. Mit diesem Effekt lässt sich eine komplett andere Art von Zeitmaschine bauen, die wir uns genau in Kap. 3 anschauen werden.

Jede Uhr tickt also mit ihrer ganz individuellen Zeit. Die Schnelligkeit des Tickens hängt von der Geschwindigkeit der Uhr relativ zum Beobachter der Uhr (sagt die SRT) und dem Abstand zu großen Massen (sagt die ART) ab. Damit ist klar, dass auch das Erleben von Gleichzeitigkeit relativ wird. Zwei Ereignisse, die für den einen Beobachter vollkommen gleichzeitig geschehen, können für einen anderen Beobachter, der sich relativ zum ersten bewegt oder sich in einem anderen Abstand zur gleichen Masse befindet, nicht mehr gleichzeitig wahrgenommen werden.

1.3 Zeit und Raum: Untrennbar vereint

Auf der Grundlage unserer Alltagserfahrung würden wir niemals auf die Idee kommen, Raum und Zeit in einen Topf zu werfen. Zwar sind beides Fundamente unserer Welt, aber sie scheinen doch sehr wesensverschieden. Der Raum wird aufgespannt von den drei Raumdimensionen Länge, Breite und Höhe, durch die wir uns scheinbar mühelos vor und zurück bewegen können. Die Zeit hingegen ist eindimensional und kennt nur eine Richtung: vorwärts.

Es war Einsteins ehemaliger Lehrer Hermann Minkowski, der 1908 bei seinem Vortrag „Raum und Zeit“ vor der 80. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Köln die Verbindung von Raum und Zeit folgendermaßen formulierte: „Von Stund’ an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren.“ Im Rahmen der SRT entdeckte Minkowski, dass Raum und

Zeit vereint in einem **Raum-Zeit-Kontinuum** verstanden werden können. Das drückt sich auch mathematisch aus. Auf Minkowski und Henri Poincaré geht eine sehr kompakte Schreibweise in der mathematischen Physik zurück (**Vierervektoren**), die Raum und Zeit zusammenfassen. Jeder Physikstudent lernt heutzutage diese moderne Formulierung der Relativitätstheorie. Raum und Zeit sind also nicht unabhängig voneinander, sondern in einem Raum-Zeit-Kontinuum miteinander verwoben. Kurz sagt man daher auch **Raumzeit**. Die Hauptaussage der ART besteht darin, dass wir in einer vierdimensionalen, dynamischen und gekrümmten Raumzeit leben. Es sind Energieformen wie die Masse, die die Krümmungen in der Raumzeit hervorrufen. Gegenstände fallen nicht auf die Erde, weil sie von der Schwerkraft angezogen werden – das wäre die Newton'sche Sprechweise –, sondern weil die Erdmasse die Raumzeit so verbiegt, dass die Gegenstände der gekrümmten und sogar rotierenden Raumzeit der Erde folgen müssen.

Allerdings hat nicht nur die Erde ihre Raumzeit. Albert Einsteins ART zeigte auch, dass wir uns unsere Umgebung zerlegen können in verschiedene Formen von Raumzeiten. So gibt es eine Raumzeit der Erde, die relativistisch die irdische Schwerkraft beschreibt. Es gibt auch eine Raumzeit der Sonne, der die Erde und die anderen Körper des Sonnensystems folgen müssen. Individuelle Himmelskörper, so z. B. auch **Neutronensterne** und **Schwarze Löcher**, kann man ihrerseits wieder durch andere, ihnen eigene Raumzeiten beschreiben. Schließlich stellte sich sogar heraus, dass das ganze Universum durch eine einzige Raumzeit beschrieben werden kann, die man in der Kosmologie als **Friedmann-Universum** bezeichnet.

Wie kommt man auf diese verschiedenartigen Raumzeiten, und wie unterscheiden sie sich? Es ist, wie Sie es vielleicht schon befürchten: Man muss sie berechnen. Dazu reicht leider die Schulmathematik nicht aus, sondern man muss ein echtes Ungetüm von Gleichung lösen: einen Satz von zehn gekoppelten, nichtlinearen, partiellen Differentialgleichungen. Mithilfe von mathematischen Objekten, den **Tensoren**, kann dieser Gleichungssatz kompakt als eine einzige Gleichung notiert werden. Das ist die fundamentale **Einstein'sche Feldgleichung** von Albert Einsteins ART. Sie besagt, dass Energie und Masse die Raumzeit krümmen und die gekrümmte Raumzeit Testteilchen eine Bewegung durch die Raumzeit diktiert. Die Lösungen der Einstein'schen Feldgleichung sind Raumzeiten.

Einstein veröffentlichte die Feldgleichung der ART im November 1915. Sie zu finden, war Einsteins Meisterwerk und größte wissenschaftliche Leistung. Dabei half ihm der befreundete Mathematiker Marcel Grossmann, der mit der Differentialgeometrie vertraut war. Den beiden gelang mit dieser Beschreibung eine Geometrisierung der Gravitation.

Eine Lösung der **Feldgleichung** beschreibt Punktmassen. Man kann sie verwenden, um relativistisch die Gravitation der Erde, der Sonne oder von (nicht rotierenden, elektrisch neutralen) Schwarzen Löchern zu beschreiben. Das ist die (äußere) **Schwarzschild-Lösung**, die nach Karl Schwarzschild benannt wurde, der 1916 die erste Lösung der Feldgleichung fand. Diese Lösung war nicht nur die erste, sondern ist bis heute die wichtigste Lösung in der ART. Im gleichen Jahr 1916 fand Schwarzschild eine Lösung, die relativistisch die Raumzeit einer statischen Flüssigkeitskugel beschreibt. Sie wird zur Unterscheidung von

der ersten Lösung auch die innere Schwarzschild-Lösung genannt. Gewissermaßen ist das ein einfaches, relativistisches Modell für die Gravitation eines Sterns, das auch das Innere des Sterns beschreibt.

Vor 100 Jahren war das Interesse der Relativisten der ersten Stunde vor allem der Kosmos als Ganzes. Es war die Geburtsstunde der relativistischen Kosmologie. Schon im Jahr 1917 wurden Lösungen der Feldgleichung gefunden, die das ganze Universum zu beschreiben vermögen. Dazu gehören Einsteins statischer Kosmos und die *De-Sitter-Lösung*. Die bis heute bewährte Raumzeit, die sogar die kosmische Ausdehnung berücksichtigt, wurde in den frühen 1920er-Jahren von dem Russen Alexander Friedmann gefunden. Diese Friedmann-Lösungen beschreiben dynamische Universen. Mitte der 1920er-Jahre fanden die Astronomen Hinweise anhand der Beobachtungen weit entfernter Galaxien, dass sich unser Universum tatsächlich ausdehnt und deshalb mit einer dynamischen Friedmann-Lösung erklärt werden kann.

Eine andere Art von Raumzeit wurde 1963 von dem Neuseeländer Roy P. Kerr entdeckt. Diese *Kerr-Lösung* beschreibt die Gravitation rotierender Massen relativistisch. Da in rotierenden Raumzeiten der Raum selbst rotiert, wird alles, was sich einer rotierenden Masse nähert – ob Materie oder Licht –, in Rotation versetzt. Allerdings klingt dieser Effekt der Raumzeitdrehung sehr schnell ab, wenn man sich von der Masse entfernt.

So weit mag das mathematisch befriedigend sein, aber wie sollte man sich eine Raumzeit anschaulich vorstellen? Können Sie in vier Dimensionen denken? Eine Raumzeit der ART ist nämlich vierdimensional und wird von den

drei Raumdimensionen Länge, Breite und Höhe sowie der Zeit als vierte Dimension aufgespannt. In allen vier Dimensionen kann man sich die Raumzeit nicht wirklich vorstellen, lässt man jedoch ein, zwei Dimensionen unter den Tisch fallen, gibt es Darstellungen, wie die gummihautartige Raumzeit, die einem ein Gespür für Raumzeiten geben können.

In der SRT ist die Raumzeit flach wie ein Schachbrett, wenn man sich die Raumzeit als ein nur zweidimensionales Analog mit Länge und Breite veranschaulicht. In der ART gibt es dann etwas Neues: Die Raumzeit wird gekrümmt. Der Grund dafür ist die Masse oder eine andere Energieform, wie die Feldgleichung verrät. Damit erklärt Einsteins neue Gravitationstheorie die Schwerkraft nicht als Kraft, sondern vielmehr als geometrische Eigenschaft des uns umgebenden Raum-Zeit-Kontinuums. Die äußere Schwarzschild-Lösung kann als trichterförmige Raumzeit veranschaulicht werden, die in der Mitte ein Loch hat. Dieser „Gravitationsstrichter“ verschluckt einfallende, kleine Materieteilchen und selbst das Licht. Damit sagt Einsteins Theorie die Existenz von Schwarzen Löchern voraus. In der Tat finden Astronomen eine Vielzahl von Objekten im Kosmos, die am besten mit den Schwarzen Löchern erklärt werden können. Massereiche Sterne enden in Sternexplosionen, und ihr Inneres kollabiert zu einem stellaren Schwarzen Loch mit drei bis 100 **Sonnenmassen**. In den Zentren von Galaxien wird die XXL-Variante von Schwarzen Löchern vermutet, die Millionen bis zehn Milliarden Sonnenmassen erreichen.

Das Konzept der gekrümmten Raumzeit ist zwar sehr gewöhnungsbedürftig und stellt unsere Vorstellungskraft auf die Probe, jedoch beschreibt sie offenbar unsere Natur sehr gut. Viele Beobachtungen und Experimente bestätigen Einsteins ART in grandioser Weise. Derzeit beschreibt sie am besten die Phänomene, die mit Gravitation zu tun haben.

Warum gibt es eigentlich Zeit? Der US-amerikanische Science-Fiction-Autor Ray Cummings hatte darauf in seinem Roman eine verblüffend einfache Antwort: „Time [...] is what keeps everything from happening at once.“ (Cummings 1922) oder übersetzt ins Deutsche: „Zeit ist, was verhindert, dass alles gleichzeitig geschieht.“ (Das Zitat wird fälschlicherweise häufig John A. Wheeler zugeschrieben.).

Dieses Kapitel mag einen kleinen Überblick über das Wesen der Zeit geben. Die Thematik habe ich an anderer Stelle vertieft, nämlich in dem Sachbuch *Raum und Zeit: Vom Weltall zu den Extradimensionen – von der Sanduhr zum Spinschaum* (Müller 2012).

2

Sind Zeitreisen überhaupt möglich?

2.1 Zeitreisen in der Science-Fiction

Der Gedanke, das Vergehen von Zeit gezielt beeinflussen zu können, ist verführerisch. Würde es Sie nicht auch interessieren zu wissen, wo Sie in 30 Jahren stehen werden, und zu schauen, ob Sie in der Vergangenheit alles richtig gemacht haben? Oder wie wäre es, in einem nostalgischen Moment 20 oder 30 Jahre in die Vergangenheit zu reisen und nochmal die erste Liebe zu erleben?

Das klingt nach Science-Fiction, und genau das ist es bis heute. Die Faszination am Thema „Zeitreisen“ wurde in vielen literarischen Werken und Spielfilmen verarbeitet. Die Autoren setzten das teils mit viel wissenschaftlicher Plausibilität und teils in Form von hanebüchenen Geschichten um. Die beliebtesten Science-Fiction-Geschichten haben häufig mit Zeitreisen zu tun. Also irgendetwas muss das Thema haben, das uns fesselt. Im Folgenden soll eine Auswahl von Science-Fiction-Geschichten vorgestellt werden, die mit Zeitreisen zu tun haben. Sie machen uns sowohl grundsätzliche Probleme von Zeitreisen als auch die Herausforderungen an den Bau einer Zeitmaschine klar. Achtung, Spoiler! Wer vorhat, das Buch zu lesen bzw. den

Film zu anzuschauen, sollte den Absatz zum betreffenden Beitrag überspringen.

Eine der spannendsten Geschichten dieses Genres erzählt der Science-Fiction-Roman *Die Zeitmaschine* von Herbert G. Wells (Originaltitel: *The Time Machine*) aus dem Jahr 1895. In der US-amerikanischen Verfilmung von 1960 kamen Oscar-prämierte Spezialeffekte zum Einsatz, die sich auch 50 Jahre später sehen lassen können. In den Hauptrollen sind Rod Taylor und Yvette Mimieux zu sehen. Taylor spielt den Erfinder George, der im ausgehenden 19. Jahrhundert die Idee zu einer Zeitmaschine hat. In der Buchvorlage war der Protagonist übrigens noch namenlos, aber die Filmemacher nannten ihn passenderweise *H. George Wells*. Tatsächlich baut der Erfinder ein kleines Modell, das den Test mit Bravour besteht. Schließlich wagt er den Selbstversuch und reist mit der an einen alten Sessel erinnernden Zeitmaschine (Abb. 2.1) durch die Zeit. Wie die Zeitmaschine genau funktioniert, lässt der Film komplett offen. Es wird keinerlei wissenschaftliche Theorie bemüht, um ihr Geheimnis zu erklären. Vielmehr geht es in der Geschichte darum zu erzählen, wie diese Möglichkeit des Zeitreisens genutzt werden könnte.

Zunächst macht der Erfinder nur ein paar vorsichtige Experimente mit Zeitreisen. Durch Drücken bzw. Ziehen eines Hebels kann er beeinflussen, in welche Zeitrichtung er sich bewegt: nach vorn in die Zukunft oder nach hinten in die Vergangenheit. Je weiter er den Hebel drückt oder zieht, umso schneller bewegt er sich durch die Zeit. Anfangs macht er faszinierende Beobachtungen, z. B. wie eine Kerze in Zeitraffer abbrennt oder wie sich die Sonne am Himmel rasend schnell bewegt. Auch die Jahreszeiten erlebt der Zeitreisende in atemberaubendem Tempo. Wie

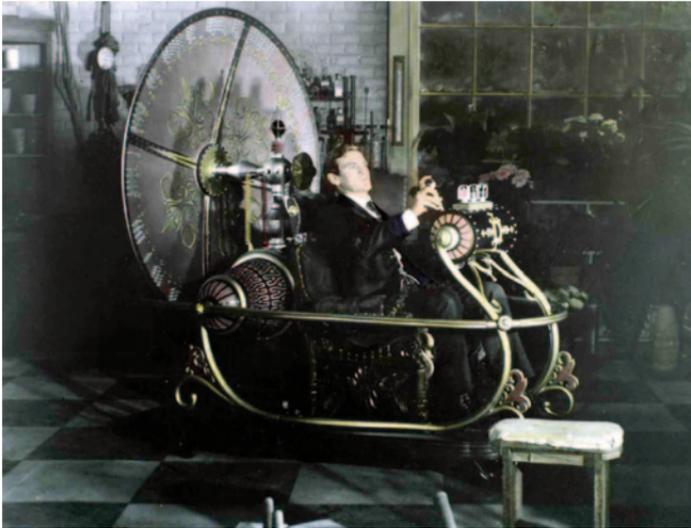


Abb. 2.1 Die Zeitmaschine aus dem Film *Die Zeitmaschine* von 1960. © United Archives/IFTN/picture alliance

betrunken vom Ritt durch die Zeit, wagt der Wissenschaftler bald mehr und beschließt, in die Zukunft zu reisen, um die Geschehnisse seiner direkten Umgebung zu studieren.

Er bereist die recht nahe Zukunft und wird Zeuge des Ersten und Zweiten Weltkriegs, die in Wells' Romanvorlage von 1895 freilich nicht, aber in der späteren Verfilmung bekannt waren. In der weiteren Zukunft, die auch jenseits der Zeit der Verfilmung, also nach 1960, spielt, erlebt der Protagonist einen fiktiven Dritten Weltkrieg, einen Atomkrieg, der zu einer katastrophalen Vernichtung seines Standorts – der ganzen Welt, wie der Zuschauer spekulieren könnte – führt. In dieser Hinsicht war der Film übrigens erschreckend wenig von der Realität entfernt, ereignete sich doch im Jahr 1962 die Kuba-Krise, eine gefährliche Konfrontation der