Walter Hehl

Die Zeit in Physik, Philosophie und im Menschlichen

SACHBUCH

Springer VS

Die Zeit in Physik, Philosophie und im Menschlichen

Walter Hehl

Die Zeit in Physik, Philosophie und im Menschlichen

Springer VS

Walter Hehl
Thalwil, Schweiz

ISBN 978-3-658-44835-6 ISBN 978-3-658-44836-3 (eBook)
https://doi.org/10.1007/978-3-658-44836-3

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über https://portal.dnb.de abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2024

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jede Person benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des/der jeweiligen Zeicheninhaber*in sind zu beachten.
Der Verlag, die Autor*innen und die Herausgeber*innen gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autor*innen oder die Herausgeber*innen übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Frank Schindler
Springer VS ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Vorwort

Die Zeit ist vielleicht die wichtigste Grösse in der Physik und in unserem Leben. Auf jeden Fall ist *time* das gebräuchlichste Substantiv der englischen Sprache nach dem Forschungsprojekt Oxford English Corpus. Die Welt ist versessen auf das Phänomen Zeit.

Der Autor betrachtet die Zeit einerseits als Physiker, andrerseits als Vertreter der Informatik. Und natürlich ist er selbst auch Spielball der Zeit als ein nicht mehr junger Mensch.

Die objektive Zeit ist zunächst eine physikalische Grösse. Hier gibt es weise alte Erkenntnisse und seit Einsteins Arbeiten von 1905 bis 1915 auch fundamental Neues. Das Neue greift in die Tiefen unseres Verständnisses von der Welt und der Zeit. Auch die Informationstechnologie bringt neue Erkenntnisse, denn der Computer ist eine Vorrichtung in der Zeit. Letztlich sind wir – informationstechnisch gesehen – auch Computer, die ihren Lauf in der Zeit ausführen. Allerdings mit der Beschränkung der verfügbaren Zeit durch unseren Tod. Diese Begrenzung unserer Lebenszeit verändert alles. Wir empfinden die Zeit i. A. sachlich über das Ablesen von Uhren, aber die Empfindung selbst ist doch subjektiv, ja manchmal sogar eindeutig gestört. Das Buch skizziert die Psychologie der Zeit und wirft einen Blick auf die belletristische Literatur,

die die Zeit thematisch behandelt. Die menschliche Zeit wird an Hand von Beispielen aus der Weltliteratur und der bildenden Kunst illustriert. Die Auswahl entspricht dem persönlichen Empfinden durch den Autor, aber sie ist durch die zitierten Werke doch von literarischem Wert. Es ist sicher lohnend, die angegebenen Gedichte und Romane zum Problem Zeit weiter zu verfolgen.

Das Buch versucht Fragen zu beantworten wie: Was ist die *Zeit*? Ist sie eine Illusion? Was kann man über sie aussagen? Was war am antiken Verstehen der Zeit schon richtig, was ist neu? Allerdings versteht man heute noch nicht, wie Zeit entsteht. Viel Verwirrung rührt von der Vermengung von Physik, Psychologie und Empfinden her. Hier können wir vielleicht einiges klären. Die Zeit als Illusion zu betrachten heisst jedenfalls «das Kind mit dem Bade auszuschütten».

Das Buch betrachtet die Zeit in der Physik und im Menschlichen. Dadurch bekommen die entsprechenden Kapitel zwangsläufig einen verschiedenen Stil und verschiedene Dichte.

Der erste Teil ist vor allem physikalisch und technisch. Den Anfang macht die *Zeit* klassisch astronomisch und physikalisch. Es sind Grundlagen im Verstehen der praktischen Zeit, angefangen mit Augustinus. Vor allem mit Einstein wird die Zeit dann ganz anders, viel komplexer. Wir erweitern den Horizont schliesslich auf den Kosmos als ganzes. Wir werden feststellen, dass das Bonmot vom Zeitpfeil nicht so passend ist wie üblich angenommen. Die *Zeit* ist zwar die vierte Weltkoordinate neben den drei Raumkoordinaten, aber wir zeigen, dass die Zeit anders ist und mehr.

Im zweiten Teil analysieren wir die Zeit der Menschen, zunächst nüchtern in ihrer Funktionsweise, dann wirklich menschlich mit Zeitgefühl. Der Leser mit Abneigung zur Physik findet hier Betrachtungen zur Faszination der Zeit allgemein und zur Rolle des Todes für die menschliche Zeit. Dort sind die schönsten Gedichte und die wichtigsten Romane zum Phänomen *Zeit* aufgeführt, die der Autor finden konnte.

Das Schlusskapitel versucht dann knapp die beste Antwort zu geben auf die Frage, was *Zeit* im Universum und im Menschlichen ist.

Insgesamt ist das Buch der Versuch, eine Art von Vorlage zu liefern für eine Studium-Generale-Vorlesung zum Thema *Zeit.* Es spannt dazu den Bogen von klassischer und moderner Physik zur schönen Literatur.

Im Unterschied zu «richtigen» Philosophiebüchern ist das Buch reich illustriert mit Bildern und Grafiken. Dazu kommen viele Originalzitate verschiedenster Quellen, die ich für treffend halte und/oder von wichtigen Personen sind, die ihre Ideen unverfälscht einbringen. Das Buch spannt ein Netz von Zitaten zum Thema Zeit. Ein Glossar zu wichtigen Begriffen aus den gestreiften Bereichen der Physik, Philosophie und Psychologie soll beim Verständnis helfen.

Jetzt ist es Zeit, das Buch zum Phänomen *Zeit* zu beginnen.

Walter Hehl

Danksagung

Dem Physiker und Autor Philipp Wehrli danke ich für Diskussionen und Anregungen zur Physik der Zeit.

Dem Astronomen Heino Falcke von der Radboud Universität in Nijmegen, Niederlande, verdanke ich den Hinweis zur zukünftigen Bedeutung von Pulsaren als Zeitgeber.

Dem Physiker und IBM-Kollegen Axel Tanner verdanke ich den Hinweis auf das Projekt der Zehntausend-Jahre-Uhr.

Dem Psychiater und Philosophen Marcin Moskalewicz, zur Zeit an der Universität Heidelberg, danke ich für seine Anregungen zum Zeitgefühl und zu dessen Störungen.

Meinem Schulfreund, dem Psychiater Volker Hüttl (gest. 2023), danke ich für seine Begeisterung über den *Zauberberg* von Thomas Mann, die ich heute zu würdigen weiss.

Ich danke dem Lektor des Springer Verlags, Frank Schindler, für das Interesse am Thema der Zeit und den Hinweis auf die Verwendung der Zeit in der Literatur und im Film als Stilmittel.

Dem Erfinder, Ingenieur und Uhrmacher John C. Taylor danke ich für die Genehmigung, ein Bild seiner Campusuhr für den Bucheinband verwenden zu dürfen.

Ganz ausserordentlicher Dank gilt meiner Frau Edith Geissmann, als Vertreterin der Geisteswissenschaft und Pädagogin in unseren Diskussionen, für ihre Beiträge zur belletristischen Literatur über die Zeit, aber dann ganz praktisch auch für die sorgfältige Korrektur des Manuskripts.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung – die Zeit im klassischen Sinn 1
1.1 Die klassische Philosophie der Zeit 5
1.1.1 Die Zeit subjektiv bei Augustinus 5
1.1.2 Die Zeit objektiv bei Plato, Aristoteles und Newton 12
1.2 Historische Zeitmessung 23
1.2.1 Die klassische astronomische Zeit 26
1.2.2 Die klassische physikalische Zeit 43
1.3 Moderne Zeit 56
1.3.1 Quarzuhren und Quarzzeit 57
1.3.2 Atomuhren und moderne Zeit 60
1.3.3 Eine kosmische Uhr mit Pulsaren 64
1.3.4 Drei Zeiten und neue Definition der Zeiteinheit 66

2 Die nicht alltägliche Zeit, nach Einstein 77
2.1 Das Problem mit den Geschwindigkeiten 80
2.1.1 Licht hat immer die gleiche Geschwindigkeit 81
2.1.2 Der Lorentz-Faktor und die Zeitdehnung 84

2.1.3 Das Zwillings-Paradox 88
2.1.4 Gleichzeitigkeit 93
2.1.5 Die Zeit und der Anblick der Welt 96
2.2 Die Gravitation und die Zeit 102
2.3 Die kosmische Zeit 114
2.3.1 Die Raumzeit 115
2.3.2 Die Geschichte des Kosmos 120
2.3.3 Die Zeit ist kein Pfeil 133
2.3.4 Zeit zwischen Physik und Information: Entropie und Evolution 144
2.3.5 Die Zeit ist mehr als die vierte Koordinate und mehr als Raum 148

3 Die Zeit und die Computer 155
3.1 Die Zeit im einzelnen Computer 156
3.1.1 Stufen der Zeit im Computer 158
3.1.2 Vom Wert der Zeit (technisch) 160
3.2 Aus vielen *Jetzt* wird *Eines* 163
3.2.1 Was ist das *Jetzt*? 163
3.2.2 Synchronisation 164
3.2.3 Selbst – Synchronisation 169

4 Die menschliche Zeit – nüchtern 173
4.1 Unsere Zeit als Computerzeit 176
4.1.1 Die Zeit als gleitendes Fenster 177
4.1.2 Die gespeicherte Zeit 184
4.2 Unsere menschliche Zeit 192
4.2.1 Die subjektive Gegenwart 192
4.2.2 Innere Uhren 196
4.2.3 Die gefühlte Zeit 204
4.2.4 Die «beschleunigte» Zeit 221

5 Die menschliche Zeit – existentiell und poetisch 233
5.1 Das Menschliche an der Zeit 234
5.2 Die Zeit in Kunst und Literatur 245
5.2.1 Alter und Tod als Motiv 246
5.2.2 Die Zeit selbst in der Lyrik – Auswahl 256

5.2.3 Die Zeit als Objekt im Roman – Auswahl 271
5.2.4 Die Zeit als Musik 289
5.3 Die Faszination «Zeit» und Uhren 294
5.3.1 Die Mystik der unendlichen Zeit: Das Long-Now-Projekt 295
5.3.2 Die Faszination des sehr Langsamen: Das Pechtropfen-Experiment 300
5.3.3 Die Faszination des Unmöglichen: Zeitreisen 303

6 Die Zeit – Schlussgedanken 319

Liste der Gedichte 333

Liste der Romane 334

Ausgewählte Wikipedia-Artikel 334

Glossar 337

Literatur 341

Stichwortverzeichnis 349

1

Einführung – die Zeit im klassischen Sinn

Inhaltsverzeichnis

1.1 Die klassische Philosophie der Zeit 5
1.1.1 Die Zeit subjektiv bei Augustinus 5
1.1.2 Die Zeit objektiv bei Plato, Aristoteles und Newton 12
1.2 Historische Zeitmessung 23
1.2.1 Die klassische astronomische Zeit 26
1.2.2 Die klassische physikalische Zeit 43
1.3 Moderne Zeit 56
1.3.1 Quarzuhren und Quarzzeit 57
1.3.2 Atomuhren und moderne Zeit 60
1.3.3 Eine kosmische Uhr mit Pulsaren 64
1.3.4 Drei Zeiten und neue Definition der Zeiteinheit 66

Die Zeit, klassisch, ist das, was und wie wir die Zeit fühlen. Es ist die gleichmässig fliessende Zeit, die wir empfinden. Dazu gibt zum einen kluge Gedanken zur *Zeit* (das ist die klassische Philosophie der Zeit) und zum anderen ist dieses Vorstellung das Fundament der klassischen Physik.

© Der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2024

W. Hehl, *Die Zeit in Physik, Philosophie und im Menschlichen,*
https://doi.org/10.1007/978-3-658-44836-3_1

Der Anfang ist die klassische philosophische Frage:

> «quid est ergo tempus?» – Was aber ist nun die Zeit?

So beginnt eine Diskussion über die Zeit bei Augustinus (354–430 n.Chr.). Sein ganzer Absatz zu Fragen nach der Zeit hier auf Deutsch[1]:

> Was aber ist nun die Zeit? Wer will das kurz und bündig erklären? Wer kann es im Denken erfassen und in Worten darstellen? Was aber auch ist uns im Sprechen vertrauter und geläufiger als die Zeit? Wir wissen, wovon wir reden, wir verstehen, wenn ein anderer davon spricht. Was also ist die Zeit? Wenn keiner mich fragt, weiß ich es; wenn einer mich fragt und ich es erklären soll, weiß ich es nicht mehr.

Diese Fragen wurden um das Jahr 400 n.Chr. vom christlichen Philosophen Augustinus von Hippo formuliert im 11. Buch seiner autobiografischen Bekenntnisse *Confessiones*. Der Titel dieses Bands heisst *Das Rätsel der Zeit*. Die Logik in den Fragen des Augustinus erinnert an die Logik des US-amerikanischen Richters Potter Stewart in einem pragmatischen Urteil zur Definition von Pornografie 1964:

> *«Ich weiss es, wenn ich es sehe, und jemand anderes wird es wissen, wenn er es sieht, aber was er sieht und was er weiß, kann mit dem, was ich sehe und was ich weiß, übereinstimmen oder auch nicht, und das ist in Ordnung.»*

Dies bedeutet für die Zeit: Ich weiss es, weil ich sie spüre oder besser *weil ich sie erlebe*. Meine Sinne melden mir Veränderungen in der Zeit. Viele dieser Veränderungen können wir sogar messen, das heisst mit systematischen Zahlenwerten versehen. Damit kommt eine ganz andere Antwort vom Physiker auf die Frage «Was ist Zeit»:

> *Ich weiss es, weil ich es messen kann.*

---

[1] Hier übersetzt von Dieter Hattrup, 2006. Augustinus Bekenntnisse, Paderborn. https://www.unifr.ch/dogmatik/de/assets/public/files/Dokumentation/Online-Bibliothek/Klassiker/Augustinus_Bekenntnisse.pdf.

Damit haben wir zwei verschiedene Ansätze, die Zeit zu verstehen: *Subjektiv* als Zeit für lebendige Wesen, die die Zeit und die davon abhängigen Veränderungen durch sie erleben, und *objektiv* als Zeit des messenden Naturwissenschaftlers, der die Veränderungen systematisch untersucht. Eine Zwischenposition nimmt die Psychologie der Zeitwahrnehmung ein. Hier ist das Ziel, die Zeitsensorik von Menschen und Tieren mit ihren Eigenschaften und Phänomenen zu erfassen. Wir werden versuchen, die Zeit auf drei Ebenen zu verstehen:

1. Objektiv physikalisch: Instrumente messen die Zeit,
2. Im Computer: Wir bauen und arbeiten in der Zeit,
3. Menschlich: Wir empfinden die Zeit. Es ist eigentlich wie 2), nur aus der Innenperspektive.

Die Versuche, die Zeit zu verstehen, reichen damit von der Literatur, etwa mit dem Thema des Tods und der Endlichkeit des menschlichen Lebens, bis zur Kosmologie mit dem (wahrscheinlichen Beginn) der Zeit im Urknall in einem sich ausdehnenden Weltall.

Infolge der Abstraktheit aller Vorstellungen zur *Zeit* wurde von Anbeginn der philosophischen Diskussion der Begriff der Illusion für die Zeit ins Spiel gebracht. Wir definieren eine Illusion:

> Def.: Eine Illusion ist eine falsche Wahrnehmung oder falsche Interpretation der Wirklichkeit.

Aber was ist die behauptete Illusion und was ist die «wahre» Wirklichkeit? Im menschlichen Leben ist der Ablauf des Lebens mit dem Tod als Schlusspunkt ein eindrücklicher Beweis für die Zeit als Realität. In der Welt der Physik ist die Geschichte des Weltalls mit der Entstehung unseres Planetens und der Evolution eine gigantische Bestätigung.

Es gab schon eine ähnliche philosphische Situation in den ersten Jahrzehnten der Entwicklung der Quantenphysik. Es kursierte der Gedanke, dass es keine Realität gäbe. In der atomaren Welt sind Objekte gleichzeitig Welle und Teilchen und zwischen zwei Beobachtungen tatsächlich und nachgewiesen unbestimmt-dazwischen. Hierzu gibt es eine

kleine Anekdote von Heisenberg, einem der Schöpfer der Quantenmechanik aus dem Jahr 1925 (nach Rovelli, 2016):

Heisenberg geht im Abendnebel Kopenhagens im dunklen Park nach Hause. Er sieht einen Passanten im Licht der Strassenlaterne. Die Person verschwindet im Dunkel des Nebels und taucht im Licht der nächsten Strassenlaterne wieder auf. Dabei sei im der Gedanke gekommen, wie sich die Teilchen verhalten zwischen Realität und Virtualität. Dem Licht der Laterne entspricht der Vorgang der Messung.

Im Grossen ist die Welt jedoch stabil. Entfernte Objekte, die gemeinsam entstanden sind, können über grosse Entfernungen noch eine virtuelle Verbindung haben (die «Verschränkung»). Albert Einstein hatte nicht daran geglaubt und es spöttisch «spukhafte Wirkung» genannt. Heute ist dieser «Spuk» quantenmechanisch verstanden und wir wissen, dass diese Fernwirkung existiert, mit der Realität verträglich ist und man keine Information damit übertragen kann.

Gewiss existieren grosse Körper real – unsere Körper etwa und erst recht die Himmelskörper. Albert Einstein hat dies sarkastisch bemerkt in einem Gespräch mit dem niederländischen Physikerkollegen Abraham Pais. Pais hat den Ausspruch Einsteins dazu 1979 veröffentlicht:

> *Einstein blieb bei einem Spaziergang plötzlich stehen, drehte sich zu mir um und fragte mich, ob ich wirklich glaube, dass der Mond nur existiere, wenn ich ihn anschaute*.

Es gibt keinen Zweifel an der Realität grosser Objekte, aber im atomaren Bereich löst sich der Begriff der Realität durch die Quantenphysik und die Unschärferelation auf. Dadurch lassen sich Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens nicht gemeinsam genau bestimmen.

Entsprechendes gilt für die Zeit: Für unser menschliches Schicksal und die Entwicklung der Sterne ist die Zeit Realität. Auch ein unbelehrbarer Illusionist wird schliesslich durch seinen Tod «überzeugt». Allerdings wird im atomaren Bereich auch die physikalische Zeit unscharf – es gilt auch hier eine Unschärferelation. Die Unschärfen von Energie und Zeit sind gemeinsam gekoppelt. Ein Prozess kann sich für kurze Zeit damit Energie in diesem Zeitrahmen ausborgen.

Ein weiteres Zitat von Einstein hat unglücklicherweise den Gedanken der Zeit als Illusion durch die Autorität des grossen Wissenschaftlers beflügelt:

> *Für uns gläubige Physiker hat die Scheidung zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft nur die Bedeutung einer, wenn auch hartnäckigen, Illusion.*
>
> *Kondolenzbrief Einsteins an die Angehörigen seines verstorbenen Freundes Michele Besso, 1955.*

Aber dieser Brief redet nicht von Physik trotz der Anrede als «gläubige Physiker» (Einstein ist nicht gläubig, weder jüdisch noch christlich. Er meint hier eher etwa «nüchterner»). Der Text ist menschlich tröstend gemeint. Er soll die Bedeutung des Todes abschwächen. «Illusion» ist kein physikalischer Begriff.

1.1 Die klassische Philosophie der Zeit

> Nach den genannten Themen steht als nächstes die Zeit zur Diskussion. Am besten beginnt man damit, die Schwierigkeiten, die mit ihr verbunden sind, mithilfe der gängigen Argumente herauszuarbeiten. Erstens: Gehört sie zu den Dingen, die existieren, oder zu den Dingen, die nicht existieren? Und zweitens: Welcher Art ist sie?
>
> Aristoteles im Essay Physik IV, §10, nach Barnes, 1984.

1.1.1 Die Zeit subjektiv bei Augustinus

> «Duo ergo illa tempora, praeteritum et futurum, quomodo sunt, quando et praeteritum iam non est et futurum nondum est?»
>
> Die Zeit kommt aus der Zukunft, die nicht existiert, in die Gegenwart, die keine Dauer hat, und geht in die Vergangenheit, die aufgehört hat zu bestehen.

Dieses wunderbare Zitat und kompakte Beschreibung der Zeit stammt ebenfalls aus den *Confessiones* von Augustinus von Hippo. Wir beginnen die Diskussion der Zeit mit Augustinus. Er liefert das antike Verständnis der Zeit besonders anschaulich und ist dabei so modern.

Abb. 1.1 Augustinus von Hippo Gemälde *Tolle lege* – nimm das Buch und lies! Benozzo Gozzoli, um 1465. (Bild: TolleLege, Wikimedia Commons, Web Gallery of Art)

Die Abb. 1.1 zeigt Augustinus in der Szene seiner Bekehrung. Eine kindliche Stimme hat ihm nach seiner Autobiographie *Tolle Lege* gesagt: Nimm das Buch (mit den Paulus-Briefen) und lies!

Augustinus definiert die Zeit dreiteilig («tripartit») mit den drei Zeiten Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, die wir auch empfinden. Eigentlich gibt es davon nur die Gegenwart: Die Zukunft ist eine Erwartung in der Gegenwart, die Vergangenheit die Erinnerung an eine Gegenwart. Die Gegenwart ist ein vorübergehender Moment und muss vergehen, sonst wäre sie Ewigkeit. Danach kann man nach Augustinus konsequenterweise nicht von einer Zeitspanne in der Vergangenheit sagen, *«es war eine lange Zeit»* – denn die vergangene Zeit existiert nicht.

Die Betonung der Gegenwart bis hin zur Leugnung der Existenz von Zukunft (die noch nicht hier ist) und Vergangenheit (die vergangen ist) nennen wir *Präsentismus,* abgeleitet von lat. *praesens* – gegenwärtig. In der extremen Formulierung der Nichtexistenz von etwas anderem als der Gegenwart hat man ein logisches Problem: Wie soll man mit der Zukunft und der Vergangenheit objektiv umgehen, denn sie existieren ja nicht! Was für Augustinus als Zeit existiert, sind die Eindrücke und Empfindungen. Augustinus verinnerlicht die Zeit und schreibt nach Aichelburg, 2006:

> In dir, mein Geist, messe ich meine Zeiten ... der Eindruck, den die vorübergehenden Dinge in dir hervorbringen und der bleibt, wenn sie vergangen sind, ihn, den gegenwärtigen, messe ich ... also ist er es den wir die Zeiten nennen, oder aber ich kann die Zeit nicht messen.

Für Augustinus ist das Wesentliche an der Zeit die Empfindung in uns, zunächst das Spüren der vorbeiziehenden Gegenwart und dann das Erinnern an die vergangene Gegenwart als mehr oder weniger ausgeprägten Eindruck. Die Vergangenheit ist der Gedächtnisbereich im Geist (d. h. modern im Gehirn), die Zukunft ist ein Erwartungsareal. In diesem Sinn steht Augustinus am Beginn einer Psychologie der Zeit. Diese Zeit ist nicht die abstrakte Zeit der Physik, sondern es sind die begleitenden Gedanken und die Empfindungen in uns. Dazu gehören die schmerzlichen Ereignisse des Lebens, insbesondere der Tod, erwartet oder unerwartet, die dem Menschen die Zeitlichkeit vorführen. Augustinus berichtet von den Erlebnissen des Tods des Vaters, vom Tod des Freundes und vom Tod der Mutter. Er spricht vom *zähen Leim des Todes* und wie *kostbar jeder Tropfen der Zeit* eines Lebens ist.

Die Gegenwart konstruiert Augustinus förmlich als Einschachtelung in immer kleinere Zeitspannen (Abb. 1.2). Er schreibt (Hattrup, 2006):

> Sind hundert gegenwärtige Jahre eine lange Zeit? Aber überlege zuvor, ob hundert Jahre gegenwärtig sein können. Während das erste von ihnen abläuft, ist es gewiss gegenwärtig, während die übrigen neunundneunzig künftig und deshalb noch nicht sind. Läuft das zweite ab, dann ist das erste schon vergangen, das zweite ist Gegenwart, die übrigen sind Zukunft.

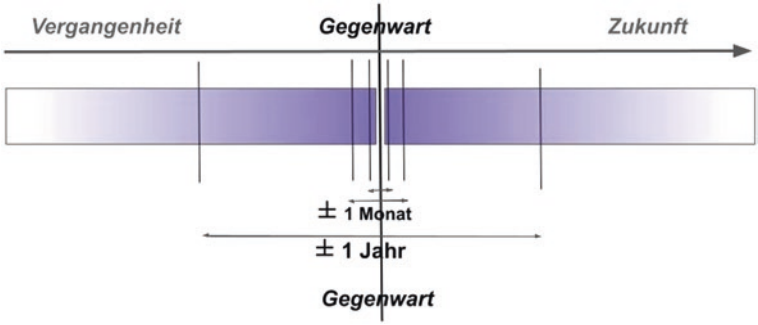

Abb. 1.2 Die Gegenwart als Dedekindscher Schnitt in der Zeit Die Gegenwart ist der Grenzwert der Einschachtelung in immer kleinere Zeitspannen. Analogon zur Bildung reeller Zahlen aus rationalen Zahlen

Und so konstruiert er weiter nach dem Jahr den Monat, einen Tag, eine Stunde:

> Lässt sich ein Zeitpunkt fassen, der in kein noch so winziges Teilchen unterteilt werden kann, so könnte dieser Punkt allein als Gegenwart bezeichnet werden, aber dieser Punkt fliegt so rasch von der Zukunft in die Vergangenheit, dass er sich nicht in der kleinsten Dauer ausdehnen kann.

Diese Einschachtelung der Zeit bis zur Gegenwart, ohne sie zu letztlich fassen zu können, entspricht in der Mathematik dem Verfahren, irrationale Zahlen sauber zu definieren, genannt Dedekindscher Schnitt[2]. So am Beispiel der Quadratwurzel der Zahl 2. Seit der Antike ist es sicher, dass es keinen Bruch gibt, der mit sich selbst multipliziert 2 ergibt, aber die Zahl$\sqrt{2}$ lässt sich beliebig genau einschachteln: Sie ist grösser als 1, kleiner als 2, grösser als 1.4, kleiner als 1.5, usw., auf 10 Dezimale genau grösser als 1.4142135623, aber kleiner als 1.4142135624. Damit können wir elegant sagen nach Augustinus und Dedekind:

> Die Gegenwart ist ein laufender Dedekindscher Schnitt in der Zeit.

[2] Nach dem deutschen Mathematiker Richard Dedekind (1831–1916).

Und umgekehrt:

> Die Zeit ist die Zerdehnung (distentio) der Gegenwart.

Der mathematische Schnitt lässt sich ohne Ende weiterführen bis zu beliebiger Genauigkeit. Dies gilt nicht ohne weiteres für den Schnitt in der Zeit. Allerdings ist die Vermutung, dass eine Körnung der Zeit erst bemerkbar wird, weit weg von üblichen Zeiten, sowohl im Alltag wie in der Laborphysik. Es ist die Planck-Zeit von 5.39×10^{-44} s! Das ist die kürzeste Zeit, die in der Physik auftaucht und damit die kürzest mögliche Gegenwart. Dagegen sind die Zeitspannen für die effektive menschliche Gegenwart riesengross: Die menschliche Zeitspanne, die ankommende Signale und folgende Aktionen integriert, ist bis zu etwa 3 s. Die Zeit, die neurologische Prozess zur Synchronisation brauchen, ist unter 100 Millisekunden. Die letztere Zeit ist der psychologische Moment, die erstere Zeit etwa die minimale Zeit, um eine Melodie zu erkennen (Elliott, 2016). Die innere Struktur des psychologischen Moments lässt sich dabei noch weiter analysieren. Dies ist die Aufgabe der mentalen Chronometrie.

Trotz der subjektiven Betrachtung der Zeit weiss Augustinus, dass der Lauf der Gestirne, vor allem von Sonne und Mond, als Mass der Zeit gilt. Hier ergibt sich eine andere, eine objektive Frage *Was ist die Zeit?*

> Ist die Bewegung der Gestirne selbst die Zeit?
> Oder ist es die Dauer, in der sie sich vollenden [d. h. am Himmel umlaufen]?

Augustinus sieht die Zeit als «etwas Unabhängiges» von der Bewegung, hinter der Bewegung am Himmel. Sein Hauptargument ist allerdings religiös und nicht wissenschaftlich-philosophisch. Er bezieht sich auf das Alte Testament und schreibt, dass

> auf den Wunsch eines Menschen hin die Sonne stillstand, damit die Schlacht siegreich beenden werden konnte, und die Zeit ging [dennoch] voran (Joshua, 10, 12).

Ein weiteres Konzept des Augustinus zum Phänomen Zeit ist der Gedanke der Ewigkeit. Sie wird im Sprachgebrauch definiert als «eine Zeitspanne ohne Anfang und (vor allem) ohne Ende».

In Religionen und im Alltag wird mit dem Begriff «ewig» leichtfertig umgegangen. Es gibt die ewigen Reiche des Bösen und des Guten, ein ewiges Leben, ewige Gesetze und ewige Verfassungen, ewige Wahrheit. Ein Höhepunkt ist die Formulierung «von Ewigkeit zu Ewigkeit» in der deutschen Kirchensprache. Dieser paradoxe Ausspruch, bei dem eine Ewigkeit endet, um eine zweite beginnen zu lassen, kommt allerdings in der Bibel gar nicht vor. Die Bibel verwendet statt «Ewigkeit» den weniger scharf definierten Begriff «Äon» oder Lebensalter aus dem klassischen Griechisch (Fischer, 2019).

Wir können uns Ewigkeit nicht visuell vorstellen. Es gibt einige beschränkte Versuche für die symbolische Darstellung der Ewigkeit (die Abb. 1.3). Es sind Symbole, die zumindest einen Anfang und ein Ende vermeiden und durch gedankliche Wiederholung von Umläufen eine Ewigkeit simulieren wollen. Aber sie können die unendliche lineare Ausdehnung nicht darstellen. Die ewige Wiederholung ist ein anderes, besonderes Konzept für eine Ewigkeit.

Die Schlange in Abb. 1.3 a) beisst sich in den Schwanz und ist ein ägyptisches und alchemistisches Symbol für die ewige Wiederkehr. Ein

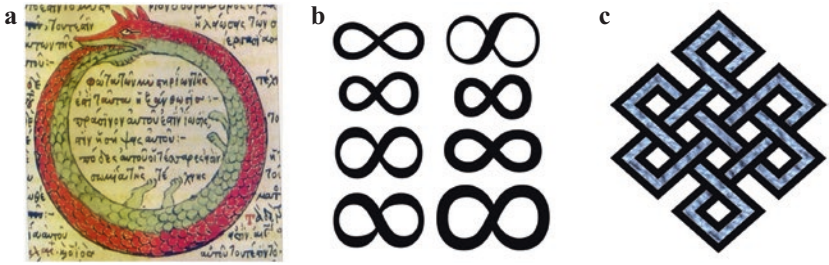

Abb. 1.3 Falsche Symbole der Ewigkeit (a) Ouroboros Alchemistische Schlange Bild: Ouroboros, Wikimedia Commons,lhcoyc. **(b) Lemniskate** Zeichen der Unendlichkeit Bild: Infinity Symbol, Wikimedia Commons,public. **(c) Endlosknoten** Buddhistisches Symbol Bild: EndlessKnot03d, Wikimedia Commons,Rickjpelleg.

schlichter Kreis reicht eigentlich aus als abstraktes Zeichen für die ewige Wiederholung. Abb. 1.3 b) zeigt das mathematische Symbol für Unendlichkeit, die Abb. 1.3 c) das entsprechende buddhistische Zeichen des endlosen oder ewigen Knotens.

Kulturell liegt es nahe, aus den ewigen Kreisbewegungen am Himmel auf eine Art kreisender Zeit insgesamt zu denken, an eine zyklische Wiederholung von allem. Verschiedene Religionen haben die Vorstellung von der Zeit als ein kosmisches Rad. Im Jainismus ist die Zeit ein Rad mit 12 Speichen, das sich ohne Anfang für immer dreht. Im westlichen Kulturkreis hatte die zyklische Zeit keine grössere Bedeutung. Ein Grund dafür war und ist das dominierende jüdische Weltbild mit einer linearen Weltgeschichte, mit der Erschaffung der Welt und einem geplanten Weltende. Aber auch die ausgeprägte Geschichtsschreibung, erfunden von im fünften Jahrhundert v.Chr. vom griechischen Autor Herodot, verhinderte den Eindruck einer zyklischen Wiederkehr von allem. Die Zeit ist linear, auch physikalisch, und dies mit unglaublicher Präzision. Es gibt keinen experimentellen Grund von dieser letzten Endes tautologischen Annahme abzuweichen.

Ewigkeit ist kein physikalischer Begriff. Die Physik lässt den Lauf der Zeit in die Unendlichkeit offen; auch die Unendlichkeit ist kein physikalischer Begriff. Offen ist die Frage, ob die Ewigkeit beidseitig ist (in der Vergangenheit wie in der Zukunft) oder nur einseitig. Mit der modernen Erkenntnis eines Urknalls, des Big Bang, vor 13.787 Mrd. Jahren, ist die Frage des Augustinus übertragen noch heute aktuell:

Beginnt die Zeit mit der Schöpfung der Welt, modern also mit dem Urknall, oder gab es sie schon vorher? Naturgemäss ist der Gedanke eines «Anfangs der Zeit» ein Unding – wie könnte ohne existierende Zeit etwas geschaffen werden?

Die Lösung sind bei Augustinus zwei Arten von Zeit:

Menschliche (weltliche Zeit):

Sie beginnt mit der Schöpfung. In ihr leben wir und mit ihr messen wir.

Göttliche (ewige) Zeit:

Sie ist ohne Anfang und Ende. Wir verstehen sie nicht.

Im Ewigen gibt es keine Bewegung, nur das Ganze. Das Ganze ist wie «Gegenwart». Augustinus philosophiert scharfsinnig über die Ewigkeit und das Unvermögen der Menschen, die Ewigkeit zu erfassen. Er diskutiert die Frage *Was machte Gott vor der Erschaffung der Welt?* Er hält sie für ketzerisch. Aber es ist ein reelles logisches Problem: Wie kann aus der Ewigkeit heraus die Schöpfung der Welt entstehen? Wie kann sich der augustinische ewige Gott in die endliche Zeit der Menschen versetzen …

Auch dieser Gedanke der sich nicht bewegenden (ewigen) Zeit findet sich in modernen Überlegungen wieder. Es ist die vermutlich falsche Hypothese eines Blockuniversums (s. u.).

Augustinus schreibt: Wenn etwa die Himmelslichter verschwänden, würde das Rad des Töpfers sich weiterdrehen und die Zeit liefe weiter. Dieses Zeitkonzept ist die abstrakte, objektive Zeit, wie sie Newton 1300 Jahre später beschreiben wird.

1.1.2 Die Zeit objektiv bei Plato, Aristoteles und Newton

> Die Sonne und der Mond und fünf andere Sterne, die Planeten genannt werden, wurden von ihm erschaffen, um die Zahlen der Zeit zu unterscheiden und zu bewahren; und als er ihre verschiedenen Körper geschaffen hatte, setzte er sie in die Bahnen, in denen sich der Kreis der anderen drehte – sieben Bahnen sieben Sterne.
>
> Plato in *Timaeus*, um 360 v.Chr.

Dies schreibt der antike Philosoph Plato (428–348 v.Chr.) über die Einsetzung der Zeit durch «ihn», den Demiurgen. «Demiurg» ist das altgriechische Wort für Handwerker, Werkmeister. Bei Plato ist es der Erbauer der Welt aus den vorhandenen Bausteinen – nicht der Schöpfer von allem, sondern der grosse Ordner des vorhandenen Chaos. Er bringt das Universum und damit den Himmel in die Kugelform und setzt die Himmelskörper auf (oder in) ihre Kreisbahnen. Der Demiurg ist damit in einer fiktiven Gotteshierarchie eine Stufe unter dem christlichen Schöpfergott des Augustinus; er nimmt das Vorhandene und macht damit das Bestmögliche, um einen vorgegebenen Sinn zu erfüllen.

Der *Timaios* ist das naturphilosophische Spätwerk Platos in Dialogform. Der Philosoph und «Wissenschaftler» Timaios erklärt darin dem Philosophen Sokrates die Entstehung des Universums und auch der Zeit (Platon/Franz Susemihl, 1856):

> «Er» [der Demiurg oder der höchste Lebendige] beschloss, ein bewegtes Bild der Ewigkeit zu machen, und bildete, um zugleich dadurch dem Weltgebäude seine innere Einrichtung zu geben, von der in Einheit beharrenden Ewigkeit ein nach der Vielheit der Zahl sich fortbewegendes dauerndes Abbild, nämlich eben das, was wir Zeit genannt haben.
>
> Plato, griechischer Philosoph, in *Timaios*, um 420 v.Chr.

Die Zeit ist damit ein ordnender Faktor für die Welt.

Der Realist Aristoteles (384–322 v.Chr.), Schüler des Plato, Philosoph und vielleicht der erste Wissenschaftler, sieht keinen Demiurgen, aber er sieht die Zeit auch als Ordnungsprinzip. Er zählt die Zeit, er schreibt von den Zahlen *arithmos* der Zeit und nicht von Messwerten *metron*.

> Zeit ist also eine Art von Zahl. (Zahl wir in zweierlei Hinsicht verwendet – sowohl für das, was gezählt wird oder zählbar ist, als auch für das, womit wir zählen. Die Zeit ist also das, was gezählt wird, nicht das, womit wir zählen: das sind verschiedene Arten von Dingen.
>
> Aristoteles im Essay *Physik* IV, §10, nach Barnes, 1984.

Die Zeit ist also, ganz im modernen Sinn, das, was hinter den Zahlen steht. Der Titel des Buchs *Physik* des Aristoteles aus dem Jahr 350 v. Chr. bedeutet so viel wie «Lektionen über die Natur». Diese Lektionen haben der ganzen Disziplin *Physik* den Namen gegeben.

Eine lineare Fortbewegung brächte noch zum Problem der Zeit das Problem der fortdauernden Ortsveränderung. Einfacher ist zum Zählen ein sich wiederholender Vorgang; Aristoteles fügt hinzu:

> Die regelmäßige Kreisbewegung ist vor allem das Maß, denn die Zahl davon ist am besten bekannt.

In der Moderne nahm man ebenfalls zunächst auch eine Rotation (die der Erde) zum Mass für die Zeit, heute ist es eine atomare Schwingung. Zeit ist nicht die Bewegung selbst, sondern «etwas» mit ihr oder hinter ihr. Um einen Zirkelschluss zu vermeiden, vermeidet Aristoteles sogar den Begriff der «Geschwindigkeit» – denn diese wird ja erst mit der Zeit gemessen. Das unaufhaltsame Weiterschreiten der Himmelskörper auf ihren Kreisen macht den Himmel zur göttlichen Uhr.

Sinngebend ist in der Antike und vor allem für Plato das Vorhandensein von Symmetrien. Platon (wie zwei Jahrtausende später Johannes Kepler) ist fasziniert von den fünf Körpern höchster Symmetrie, die heute nach ihm «Platonische Körper» heissen: Tetraeder, Würfel, Oktaeder, Dodekaeder und Ikosaeder. Diese Körper werden von 4, 6, 8, 12 und 20 Flächen gebildet. Für die himmlischen Uhren sind die Kreise auf der Himmelskugel mit ihrer höchsten Symmetrie seit Plato ein antikes Axiom. Es war bis zu den Entdeckungen von Johannes Kepler undenkbar, an eine andere geometrische Form für die Bewegungen am Himmel zu denken:

> Die antike Zeit wird gegeben durch das gleichförmige Fortschreiten eines Himmelskörpers auf einem himmlischen Kreis.

Aristoteles teilt die Welt ein in die himmlische Welt («über dem Mond») und die irdische Welt («unter dem Mond»). Die himmlische Welt besteht aus den beweglichen Kristallsphären, deren Bewegung einmal angestossen wurde und die die Bahnen der Himmelskörper tragen.

Eindrucksvolle Modelle des himmlischen Uhrwerks sind die Armillarsphären, ursprünglich astronomische Messinstrumente. Eine Armillarsphäre ist ein System von beweglichen Ringen in einem kugelförmigen Rahmen mit dem Modell der Erde oder der Sonnen im Zentrum. Die Abb. 1.4 zeigt eine Armillarsphäre des dänischen Astronomen Tycho Brahe (1546–1601), des grössten Astronomen seiner Zeit in der Epoche vor der Erfindung des Fernrohrs und vor den Entdeckungen von Johannes Kepler.

Eine erste Komplikation bringt die Neigung der Erdachse zur Bahn der Sonne, der Ekliptik, die im geozentrischen Weltbild die Drehung

Abb. 1.4 Armillarsphäre Zeichnung der Armillarsphäre von Tycho Brahe, 1598. (Bild: Tycho instrument armillary 13, Wikimedia Commons, DET KGL Bibliotek)

des Universums bestimmt. Diese Neigung verwandelt die Kreisbahnen der beweglichen Himmelskörper in ewige Spiralen.

Eine zweite Komplikation, die scheinbar in den Lauf der Zeit eingreift, ist die Schleifenbewegung der Lichtpunkte von Planeten am Himmel. Der Planet scheint stillzustehen oder gar rückwärts zu laufen. Heute wissen wir, dass Schleifen beim Überholen eines Planeten scheinbar auftreten. Aber für die antiken beobachtenden Astronomen sind die Himmelskörper keine Körper, sondern nur Lichtpunkte. Ein genialer mathematischer Trick ermöglicht es, die Schleifen zu erklären, ja die Planeten sogar kurzzeitig rückwärts laufen zu lassen: Man positioniert den Planeten auf einem Kreis (dem Epizykel), der auf einem Grundkreis (dem Träger oder Deferenten) abläuft.

Die Abb. 1.5 illustriert den Effekt mit der Erde im Mittelpunkt. Der Planet läuft i.A. gegen den Uhrzeigersinn, zwischen den Positionen 2 und 3 im Uhrzeigersinn. Selbst dies genügt nicht. In der höchstentwickelten Form der Epizyklentheorie von Ptolemäus (100–160 n.Chr.) muss der Deferent noch speziell versetzt werden. Dies alles klingt sehr

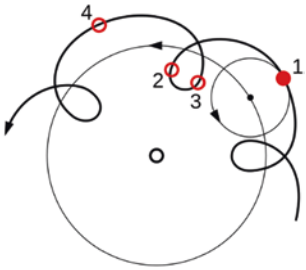

Abb. 1.5 Der Schleifeneffekt der Planeten Ein Kreis (Epizyklus) läuft auf einem Grundkreis (Deferenten) ab. (Bild: Epicycle and deferent, Wikimedia Commons, MLWatts)

künstlich, aber zum einen gibt es sie ja wirklich, die Epizyklen: Die Bahnen der Monde um die Planeten sind eigentlich Epizyklen mit den Planetenbahnen als Deferenten. Zum anderen waren die Epizyklen eine geniale und hochkomplexe mathematische Rechenmethode, die über eineinhalb Jahrtausende gültig war und noch heute passable Planetenörter liefern würde.

Kopernikus versuchte sie umzuformen mit der Sonne im Zentrum, aber das Resultat war weniger genau als mit dem alten Verfahren und benötigte etwa gleich viele Epizyklen, nämlich bis zu 48 Hilfskreise (Köstler, 1959). Kopernikus war näher an der physikalischen Wahrheit, aber nicht besser in der Genauigkeit der Berechnung. Auf keinen Fall konnte er beweisen, dass die Sonne im Zentrum des Planetensystems stand und nicht, wie bisher angenommen, die Erde.

Damit ist Kopernikus noch ein antiker Astronom, und auch Galilei ist der Antike verhaftet. Galilei zweifelt nicht daran, dass es am Himmel nur göttlich Kreise geben kann. Erst mit Kepler, der die Kreise durch Ellipsen und allgemein durch Kegelschnitte ersetzt, beginnt die Neuzeit und die Epizyklen werden unnötig. Es hat eineinhalb Jahrtausende benötigt, um die Wissenschaft der Antike zu überflügeln! Der Physiker Isaac Newton (1643–1727) wird die Planetenbewegungen sogar kausal aus dem Gravitationsgesetz herleiten können.

Bei Plato ist die Zeit das mystische Abbild der Ewigkeit,
bei Aristoteles eine am Himmel erfasste Zahl von Umläufen.
Newton wird den Zeitbegriff mathematisch etablieren.

Newton formuliert die Theorie der Bewegung von Körpern mathematisch und entwickelt dafür mit dem deutschen Philosophen Gottfried Wilhelm Leibniz eine eigene Mathematik, die Differentialrechnung. Diese Mathematik erfasst die Zeit in subtiler Form, direkt und indirekt als Bewegung mit der Geschwindigkeit und vor allem mit der Änderung der Geschwindigkeit, der Beschleunigung. Diese Beschleunigung ist dann unmittelbar mit den wirkenden Kräften verknüpft. Die Bezeichnungen, die Newton für Ort, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung eingeführt hat, gehen in die Geschichte der Physik ein: x für den Ort, t für die Zeit *(tempus),* $\dot{x}$ mit dem Punkt für die Geschwindigkeit, $\ddot{x}$ für die Beschleunigung. Allerdings setzt sich diese Schreibweise von Newton nur für die Abhängigkeit von der Zeit durch, allgemein wird heute die Notation von Leibniz verwendet: etwa dx/dt für die Geschwindigkeit und d^2x/dt^2 für die Beschleunigung[3].

Newton beschreibt seine philosophische Auffassung von der Zeit im Anhang S*cholium* zu seinem Hauptwerk *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, das er im Jahr 1687 in lateinischer Sprache veröffentlicht. Es ist der Beginn der modernen Physik und eines der wichtigsten Bücher der Menschheit. Die Abb. 1.6 zeigt die Titelseite des Buchexemplars, das Newton selbst benützt hat und mit Notizen versehen. Nach Wikipedia ist ein Scholium eine Erläuterung zu einer schwierigen Textstelle. Er sagt vorab, dass er sie eigentlich nicht definieren will, da «es ja allen bekannt sei, was Zeit, Raum, Ort und Geschwindigkeit sind» – aber dann definiert er doch «um Vorurteile zu vermeiden» (siehe z. B. Rynasiewicz, 2016):

> Die absolute, wahre und mathematische Zeit fließt von sich aus und aus ihrer eigenen Natur heraus gleichmäßig, ohne Beziehung zu irgendetwas Äußerem, und wird mit einem anderen Namen "Dauer" genannt; die

[3] Der Buchstabe *d* steht für Differenz.

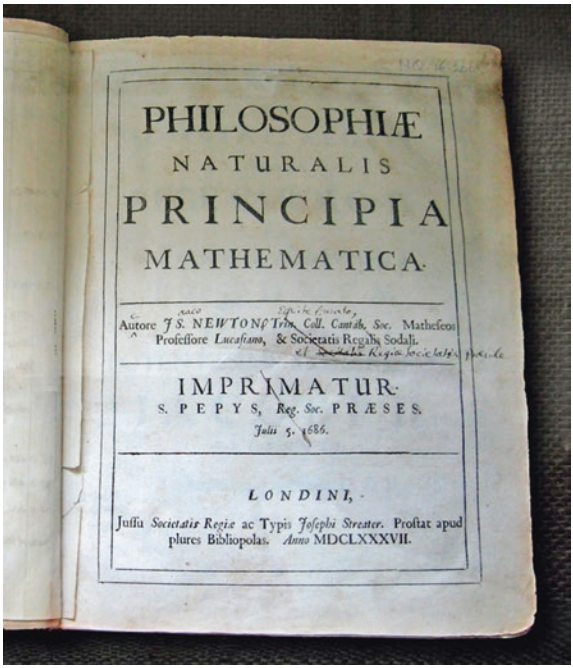
PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA
Autore J. S. NEWTONO Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.
IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.
LONDINI,
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

Abb. 1.6 Die *Principia* Newtons Eines der wichtigsten Bücher der Weltkultur. Newtons eigene Kopie. Sie befindet sich im Trinity College, Cambridge. (Bild: NewtonsPrincipia, Wikimedia Commons, Dunn/Solipsist)

> relative, scheinbare und gewöhnliche Zeit ist irgendein sinnliches und äußeres (ob genau oder ungleichmäßig) Maß der Dauer durch Bewegung, das gewöhnlich anstelle der wahren Zeit verwendet wird, wie eine Stunde, ein Tag, ein Monat, ein Jahr.

Die klassische Diskussion der Zeit erreicht mit Newton ihren Höhepunkt. Die Zeit ist nicht sichtbar und wird deshalb leicht mit einer Vielzahl falscher Eigenschaften verbunden, als wäre sie eine Substanz. Substanzen gibt es viele. Vielleicht hat jeder Körper seine eigene Zeit? Vielleicht passt keine Bewegung eines Körpers in der Zeit zu einer anderen Bewegung mit anderer Zeit? Vielleicht verläuft die Zeit heute anders als gestern? All dies will Newton ausschliessen mit den Attributen