

DIE ORDNUNG DER ZEIT

ro
ro
ro

CARLO
ROVELLI





Carlo Rovelli

Die Ordnung der Zeit

Aus dem Italienischen von Enrico Heinemann

Über dieses Buch

Warum stehen wir mit den Füßen auf dem Boden? Newton meinte, weil sich Massen anziehen, Einstein sagte, weil sich die Raumzeit krümmt. Carlo Rovelli hat eine andere Erklärung: vielleicht ja deshalb, weil es uns immer dorthin zieht, wo die Zeit am langsamsten vergeht. Wenn, ja wenn es so etwas wie Zeit überhaupt gibt.

Kaum etwas interessiert theoretische Physiker von Rang so sehr wie der Begriff der Zeit. Seit Einstein sie mit dem Raum zur Raumzeit zusammengepackt und der Gravitation unterworfen hat, wird sie von großen Physikern wie Stephen Hawking und Carlo Rovelli umrätselt. Wenn es ums Elementare geht, darum, was die Welt im Innersten zusammenhält, kommen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in den Formeln der großen Theorien zwar nicht mehr vor. Aber geht es wirklich ohne die Zeit? Um diese Frage dreht sich das neue, aufregende Buch des italienischen Ausnahmephysikers.

Leben wir in der Zeit oder lebt die Zeit vielleicht nur in uns? Warum der physikalische Zeitbegriff immer weiter verschwimmt, je mehr man sich ihm nähert, warum es im Universum keine allgemeine Gegenwart gibt, warum die Welt aus Geschehnissen besteht und nicht aus Dingen und warum wir Menschen dennoch gar nicht anders können, als ein Zeitbewusstsein zu entwickeln: Rovelli nimmt uns mit auf eine

Reise durch unsere Vorstellungen von der Zeit und spürt ihren Regeln und Rätseln nach. Ein großes, packend geschriebenes Leseabenteuer, ein würdiger Nachfolger des Weltbestsellers «Sieben kurze Lektionen über Physik».

Vita

Carlo Rovelli, geboren 1956 in Verona, ist seit 2000 Professor für Physik an der Universität Marseille. Zuvor forschte und lehrte er u. a. am Imperial College London, an den Universitäten in Rom, Yale und Pittsburgh sowie am Zentrum für Theoretische Physik (CPT) in Luminy. Zusammen mit Lee Smolin entwickelte er die Theorie der Schleifenquantengravitation, die international als verheißungsvollster Ansatz zur Vereinigung von Einsteins Gravitationstheorie und der Quantentheorie gilt.

Impressum

Veröffentlicht im Rowohlt Verlag, Hamburg, September 2018

Copyright © 2018 by Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei
Hamburg // L'ordine del tempo © 2017 by Adelphi Edizioni
S.P.A. Milano

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt, jede Verwertung
bedarf der Genehmigung des Verlages.

Covergestaltung zero-media.net, München,
nach dem Entwurf von Anzinger und Rasp, München
Coverabbildung Umschlagabbildung: FrankRamspott/Getty
Images

Schrift Droid Serif Copyright © 2007 by Google Corporation
Schrift Open Sans Copyright © by Steve Matteson, Ascender
Corp

Abhängig vom eingesetzten Lesegerät kann es zu
unterschiedlichen Darstellungen des vom Verlag freigegebenen
Textes kommen.

ISBN 978-3-644-00075-9

www.rowohlt.de

Alle angegebenen Seitenzahlen beziehen sich auf die
Printausgabe.

Für Ernesto, Bilo und Edoardo

**Die Verse an den Kapitelanfängen stammen aus den Oden
des Horaz in: *Horaz, Oden und Epoden*. Lateinisch/Deutsch.
Übersetzt und herausgegeben von Bernhard Kytzler.**

**Stuttgart, Reclams Universal-Bibliothek Nr. 9905,
Copyright © 1978, 1981.**

Das wohl größte Geheimnis ist die Zeit

*Da wir noch sprechen, ist schon
entflohen die neidische*

Zeit: greif diesen Tag, nimmer traue dem nächsten! (I, 11)

Ich halte inne. Nichts geschieht. An nichts denkend, lausche ich dem Verrinnen der Zeit.

Das ist die Zeit. Bekannt und vertraut. Unaufhaltsam zieht sie uns mit sich fort. Im reißenden Fluss der vergehenden Sekunden, Stunden und Jahre stürzen wir dem Leben und dann dem Nichts entgegen ... Wie die Fische im Wasser schwimmen wir in der Zeit. Unser Sein ist eines in der Zeit. Ihre Elegie gibt uns Nahrung, eröffnet uns die Welt, verwirrt uns, erschreckt uns, wiegt uns in den Schlaf. Im Schlepptau der Zeit und nach der Ordnung der Zeit entfaltet sich das Universum in seinem Werden.

Die Hindu-Mythologie fängt das Entstehen und Vergehen im Kosmos im Bild des tanzenden Shiva ein: Sein Tanz regiert den Lauf des Universums und den Fluss der Zeit. Was könnte universeller und augenfälliger sein als dieses Fließen?

Dennoch liegen die Dinge komplizierter. Die Wirklichkeit ist häufig anders, als sie erscheint: Obwohl flach anmutend, hat die Erde Kugelgestalt. Auch wenn die Sonne über den Himmel zu ziehen scheint, drehen in Wahrheit wir uns. Auch die

Struktur der Zeit ist anders, als es scheint: Sie ist kein gleichförmiger Ablauf. Darauf stieß ich verblüfft in Physikbüchern an der Universität. Die Zeit funktioniert anders, als wir sie wahrnehmen.

Entdeckt habe ich in diesen Büchern auch, dass wir noch gar nicht wissen, wie die Zeit wirklich funktioniert. Das Wesen der Zeit ist wohl immer noch das größte Geheimnis, eines, das über seltsame Fäden mit weiteren großen ungelösten Rätseln verbunden ist: das Wesen des Geistes, der Ursprung des Universums, das Schicksal Schwarzer Löcher oder die Funktionsweise von Leben. Wesentliches führt immer wieder zum Wesen der Zeit zurück.

Staunen ist die Quelle unseres Erkenntnisdrangs. [1] Und die Entdeckung, dass die Zeit anders ist, als wir dachten, wirft tausend Fragen auf. Das Wesen der Zeit stand Zeit meines Lebens im Zentrum meiner Forschungen in theoretischer Physik. Auf den nachfolgenden Seiten erzähle ich, was wir von der Zeit begriffen haben, auf welchen Wegen wir uns bewegen, um mehr zu verstehen, was wir noch nicht verstehen und welches Verständnis sich für mich abzuzeichnen scheint.

Warum erinnern wir uns an die Vergangenheit und nicht an die Zukunft? Leben wir in der Zeit oder lebt die Zeit in uns? Was bedeutet es eigentlich, dass Zeit «vergeht»? Was verbindet die Zeit mit unserem Wesen als Subjekte?

Was verfolge ich eigentlich, wenn ich dem Lauf der Zeit folge? Dieses Buch hat drei ungleiche Teile. Im ersten fasse ich zusammen, was die moderne Physik von der Zeit verstanden

hat. Das ist so, als halte man eine Schneeflocke in Händen: Je länger wir sie betrachten, desto mehr schmilzt sie dahin, bis sie am Ende ganz verschwunden ist. Wir sehen die Zeit gewöhnlich als etwas Einfaches, Grundlegendes, das sich unbeeindruckt von allem in einem gleichförmigen Fluss bewegt, gemessen von Uhren, von der Vergangenheit in die Zukunft. Im Verlauf der Zeit folgen die Ereignisse des Universums der Reihe nach aufeinander: vergangene, gegenwärtige, zukünftige. Die Vergangenheit steht fest, die Zukunft ist offen ... Schön: Dies alles hat sich als falsch erwiesen.

Die kennzeichnenden Aspekte der Zeit haben sich einer nach dem anderen als reine Näherungen erwiesen, als Täuschungen, die ähnlich der von der flachen Erde oder der rotierenden Sonne der Perspektive geschuldet sind. Unser wachsendes Wissen hat eine Auflösung des Zeitbegriffs herbeigeführt. Was wir «Zeit» nennen, ist eine komplexe Ansammlung aus Strukturen [2] oder verschiedenen Schichten. Immer gründlicher untersucht, hat die Zeit diese Schichten eine nach der anderen verloren. Von dieser Auflösung der Zeit erzählt der erste Teil des Buchs.

Der zweite Teil beschreibt, was am Ende übrigbleibt. Eine leere, vom Wind durchfegte Landschaft, aus der fast jede Spur von Zeitlichkeit verschwunden ist. Eine seltsame, fremde Welt, die aber unsere ist. Als sei man ins Hochgebirge hinaufgestiegen, wo es nur noch Schnee, Felsen und den Himmel gibt. Oder wie es wohl Armstrong und Aldrin erlebt haben, als sie sich auf den reglosen Sand des Mondes

hinauswagten. Eine ätherische Welt, die in arider, klarer und beunruhigender Schönheit erglänzt. Die Physik, an der ich arbeite, die Quantengravitation, bemüht sich um ein zusammenhängendes Verständnis dieser extremen und wunderschönen Landschaft: der Welt ohne Zeit.

Der dritte Teil des Buchs ist der schwierigste, aber auch der lebendigste, der uns am nächsten steht. In der Welt ohne Zeit muss es doch etwas geben, aus dem die Zeit hervorgeht, die uns mit ihrer Ordnung, mit dem Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft und ihrem sanften Fluss vertraut ist. Unsere Zeit muss irgendwie um uns, im uns vertrauten Maßstab, für uns entstehen. [3]

Dies ist die Rückreise zu der Zeit, die im ersten Teil, auf der Suche nach der Basissprache der Welt, verloren gegangen ist. Wie im Kriminalroman fahnden wir nach dem Schuldigen, der die Zeit entstehen ließ. Wir begegnen nacheinander den Stücken wieder, aus denen sich die uns vertraute Zeit zusammensetzt, nicht als elementare Strukturen der Realität, sondern als nützliche Näherungen für uns Sterbliche, die wir die Wirklichkeit nur grob und unbeholfen wahrnehmen, als Aspekte unserer Perspektive und vielleicht auch – entscheidende – Aspekte dessen, was wir selbst sind. Denn vielleicht betrifft das Geheimnis der Zeit am Ende eher unsere Verfassung als Menschen als den Kosmos. Vielleicht stellt sich wie im ersten und bedeutendsten aller Kriminalstücke – Sophokles' *König Ödipus* – sogar der Detektiv als der Täter heraus.

Hier entwickelt sich das Buch zu einem Strom glühender Lava aus Ideen, zuweilen klaren, zuweilen konfusen. Wenn mir der Leser folgt, führe ich ihn nach dort, wohin unser gegenwärtiges Wissen über die Zeit strebt, bis zum großen nächtlichen und von Sternen überglänzten Ozean dessen, was wir noch nicht wissen.

Erster Teil

Der Zerfall der Zeit

1. Der Verlust der Einheitlichkeit

*Schon führt Kytheras Venus an die Chöre, darüber schwebt Luna,
es reihen sich ein den Nymphen die Grazien, die holden,
wechselnd den Grund berührt ihr Fuß [...] (I, 4)*

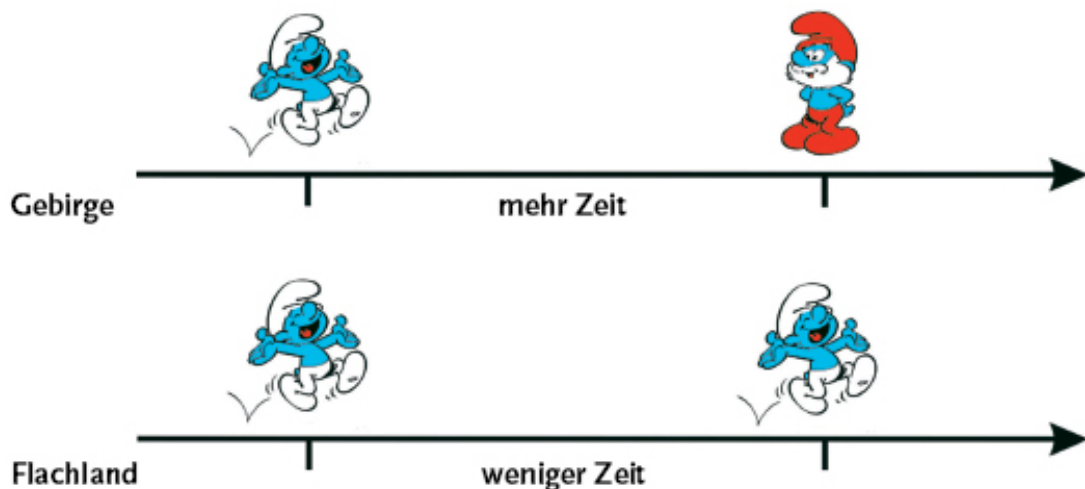
Die Verlangsamung der Zeit

Ich beginne mit einer schlichten Tatsache: Im Gebirge vergeht die Zeit schneller als im Flachland.

Der Unterschied ist gering, lässt sich aber mit präzisen Uhren, wie man sie heute im Internet für rund tausend Euro kaufen kann, durchaus messen. Mit ein wenig Übung kann sich jeder von dieser Verzögerung des Zeitablaufs selbst überzeugen. Mit speziellen Laboruhren ist sie schon bei einem Höhenunterschied von wenigen Zentimetern beobachtbar: Die

Uhr auf dem Boden geht einen verschwindend geringen Tick langsamer als die auf dem Tisch.

Und das ist nicht den Uhren geschuldet. Prozesse laufen unten langsamer ab. Zwei Freunde gehen auseinander: Der eine übersiedelt in die Berge, der andere bleibt im Tiefland. Nach Jahren treffen sie sich wieder: Der Freund unten hat weniger lang gelebt und ist weniger stark gealtert. Das Pendel seiner Kuckucksuhr hat weniger Schwingungen absolviert. Er hat weniger Zeit für Erledigungen gehabt. Seine Pflanzen sind langsamer gewachsen. Und er hatte weniger Zeit zum Nachdenken ... Unten vergeht die Zeit langsamer als oben.



Überraschend? Vielleicht. Aber so ist die Welt beschaffen. Die Zeit vergeht mancherorts langsamer, anderenorts schneller.

Wahrhaft überraschend ist, dass jemand diese Verzögerung des Zeitablaufs schon ein Jahrhundert früher erkannt hat, als es

Uhren gab, die sie messen konnten: Einstein.

Die Fähigkeit, Dinge zu verstehen, ehe man sie beobachten kann, bildet den Kern wissenschaftlichen Denkens. In der Antike erkannte Anaximander (um 610–547 v. Chr.), dass der Himmel unter unseren Füßen hindurch weitergeht, noch ehe Schiffe Weltumsegelungen unternahmen. Zu Beginn der Neuzeit entdeckte Kopernikus (1473–1543), dass sich die Erde dreht, noch ehe Astronauten vom Mond aus ihre Rotation beobachten konnten. Und so erkannte Einstein (1879–1955), dass die Zeit nicht gleichförmig vergeht, noch bevor die Uhren genau genug gingen, um den Unterschied zu messen.

In Schritten voran wie diesen stellt sich scheinbar Selbstverständliches als reines Vorurteil heraus. Der Himmel, so schien es, befand sich *selbstverständlich* nur oben, nicht unten, weil eine frei schwebende Erde herabfallen müsste. Die Erde – so schien es – steht *selbstverständlich* still, was herrschte sonst für ein Chaos. Die Zeit, so schien es, vergeht überall gleich schnell, das versteht sich von selbst ... Heranwachsende Kinder lernen, dass die Welt nicht ganz so ist, wie sie zu Hause zwischen den vier Wänden erscheint. Diese Erfahrung macht auch die Menschheit als Ganzes.

Einstein stellte sich eine Frage, die sich wohl schon viele von uns stellten, als sie sich mit der Schwerkraft auseinandersetzten: Wie gelingt es Sonne und Erde, sich wechselseitig «anzuziehen», ohne sich zu berühren oder ein Medium für ihre Anziehung zu nutzen? Auf der Suche nach einer plausiblen Erklärung kam Einstein auf den Gedanken,

dass sich Sonne und Erde nicht direkt wechselseitig anziehen, sondern unterschiedlich stark auf das einwirken, was einzig zwischen ihnen liegt: auf Raum und Zeit. Sonne und Erde mussten um sich herum Raum und Zeit in gleicher Weise verändern, wie ein eintauchender Körper das Wasser um sich verdrängt. Und diese Veränderung der Struktur der Zeit wirkt ihrerseits auf die Bewegung sämtlicher Körper ein. Sie sorgt dafür, dass sie aufeinander «zufallen». [4]

Was heißt «Veränderung der Struktur der Zeit»? Es bedeutet, dass, wie oben beschrieben, die Zeit verlangsamt abläuft: Jeder Körper verlangsamt das Vergehen der Zeit in seiner näheren Umgebung. Die Erde ist eine große Masse und bremst den Zeitablauf in ihrer Nähe: stärker im Tiefland und weniger stark im Gebirge, weil die Dinge oben vom Schwerpunkt der Erde weiter entfernt sind. Deswegen altert der Freund im Flachland langsamer.

Wenn Dinge fallen, so wegen dieser Verlangsamung der Zeit. Wo die Zeit gleichförmig vergeht, im interplanetaren Raum, bleiben die Objekte, ohne zu fallen, in der Schwebe. Hier auf der Oberfläche unseres Planeten streben Dinge natürlicherweise dorthin, wo die Zeit langsamer vergeht, ungefähr so, wie wenn wir vom Strand aus ins Meer laufen und dann wegen des Wasserwiderstands an den Füßen mit dem Gesicht nach vorn in die Wellen platschen. Die Dinge fallen nach unten, weil der Zeitablauf in tieferen Lagen von der Erde stärker gebremst wird. [5]

Obwohl sie eher schwer zu beobachten ist, hat die Verlangsamung der Zeit beachtliche Auswirkungen: Sie lässt Dinge herabfallen und hält uns mit den Füßen auf der Erde. Wenn wir auf dem Boden stehen, so deshalb, weil der gesamte Körper natürlicherweise dorthin strebt, wo die Zeit langsam vergeht. Und an den Füßen läuft sie langsamer ab als am Kopf.

Seltsam? Dasselbe Gefühl empfindet man bei der Beobachtung, wie die sinkende Abendsonne allmählich fröhlich hinter fernen Wolken verschwindet – während man sich erstmals bewusst macht, dass nicht die Sonne, sondern die Erde sich dreht. Mit den törichten Augen des Verstandes sehen wir, wie sich unser gesamter Planet mit uns obenauf von der Sonne aus gesehen nach hinten wegdreht. Diese Augen des törichten Narren auf dem Berg, die Paul McCartney besingt, [6] sehen weiter als unsere verschlafenen Alltagsaugen.

Zehntausend tanzende Shivas

Ich habe ein Faible für Anaximander, den griechischen Philosophen, der vor sechsundzwanzig Jahrhunderten erkannte, dass die Erde, aufgehängt im Nichts, gleichsam im Raume schwebt. [7] Auch wenn uns sein Denken nur über andere überliefert ist, blieb ein einziges Fragment seiner Schriften erhalten:

(Woraus aber für das Seiende das Entstehen ist, dahinein erfolgt auch ihr Vergehen) gemäß der Notwendigkeit; denn sie schaffen einander Ausgleich und zahlen Buße für ihre Ungerechtigkeit nach der Ordnung der Zeit.

«Nach der Ordnung der Zeit» (κατα τήν του χρόνου τάξιν).
Allein diese rätselhaften, geheimnisvoll klingenden Worte blieben uns von einem Gründungsmoment der Naturwissenschaften erhalten.

Astronomie und Physik haben sich nach Anaximanders Hinweis weiterentwickelt: zu verstehen, wie die Phänomene *nach der Ordnung der Zeit* geschehen. Die antike Astronomie hat die Bewegungen der Gestirne *in der Zeit* beschrieben. Die Gleichungen der Physik beschreiben, wie sich die Dinge *mit der Zeit* verändern. Von den Gleichungen Newtons, welche die Bewegungslehre begründeten, bis zu denen Maxwells, welche die elektromagnetischen Phänomene beschreiben; von der Schrödinger-Gleichung, die beschreibt, wie sich die Quantenphänomene entwickeln, bis zu denen der Quantenfeldtheorie, welche die Bewegung der subatomaren Teilchen beschreiben: Unsere gesamte Physik ist die Wissenschaft davon, wie sich die Dinge «nach der Ordnung der Zeit» verändern.

Nach althergebrachter Konvention geben wir diese Zeit mit dem Buchstaben *t* (dem Anfangsbuchstaben für «Zeit» im Französischen, Englischen, Spanischen und Italienischen, nicht aber im Deutschen, Arabischen, Russischen oder Chinesischen)

wieder. Was gibt t an? Einen mit der Uhr gemessenen Zahlenwert. Die Gleichungen sagen uns, wie sich die Dinge verändern, während die Zeit vergeht.

Aber wenn verschiedene Uhren jeweils andere Zeiten angeben, wie wir oben sahen, was gibt t dann an? Wenn sich die beiden Freunde wiedersehen, von denen der eine in den Bergen und der andere im Flachland gelebt hat, zeigen ihre Armbanduhrer doch unterschiedliche Zeiten an. Welche der beiden ist t ? Zwei Uhren in einem Physikkolabor gehen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, wenn die eine auf dem Tisch und die andere am Boden steht: Welche von beiden zeigt die richtige Zeit? Wie beschreibt man den unterschiedlichen Takt der beiden Uhren? Müssen wir sagen, dass die Uhr am Boden gegenüber der richtigen, auf dem Tisch gemessenen Zeit nachgeht? Oder geht die Uhr auf dem Tisch gegenüber der richtigen, am Boden gemessenen Zeit vor?

Die Frage ist sinnlos. Sie ist so, als fragte man sich, ob ein in englischen Pfund angegebener Wert *richtiger* sei als ein in US-Dollar ausgedrückter. Es gibt keinen richtigen Wert, sondern nur zwei Währungen, deren Wert sich an der jeweils anderen bemisst. Es gibt keine richtige Zeit, sondern zwei von verschiedenen realen Uhren angezeigte Zeiten, die unterschiedlich *zueinander* ablaufen. Keine ist richtiger als die andere.

Ja es gibt nicht einmal nur *zwei*, sondern Heerscharen verschiedener Zeiten: jeweils eine für jeden Punkt des Raumes. Es gibt nicht eine einzige, sondern zahllose Zeiten.

Die Zeit, die von einer bestimmten Uhr angegeben wird, gemessen anhand eines besonderen Phänomens, heißt in der Physik «Eigenzeit».

Jede Uhr hat ihre Eigenzeit. Jedes sich ereignende Phänomen hat seine Eigenzeit, seinen eigenen Rhythmus. Einstein hat uns gelehrt, die Gleichungen zu erstellen, die beschreiben, wie eine Eigenzeit *jeweils in Bezug zu einer anderen* abläuft. Er hat uns gelehrt, die Differenz zwischen zwei Zeiten zu berechnen. [8]

Die einzelne Größe «Zeit» zerfällt in ein Spinnennetz aus Zeiten. Wir beschreiben nicht, wie die Welt sich in der Zeit entwickelt, sondern wie sich die Dinge in lokalen Zeiten entwickeln und wie eine örtliche Zeit *jeweils in Bezug zur anderen* abläuft. Die Welt verhält sich nicht wie eine Marschkolonie, die in einem vom Kommandanten vorgegebenen Tempo voranrückt. Sie ist ein Netzwerk aus Ereignissen, die sich wechselseitig beeinflussen.

So zeichnet Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie die Zeit. Deren Gleichungen kennen nicht eine, sondern zahllose Zeiten. Zwischen zwei Ereignissen wie der Trennung und der Wiederbegegnung zweier Uhren gibt es keine einheitliche Dauer. [9] Die Physik beschreibt nicht, wie sich die Dinge «im Verlauf der Zeit» verändern, sondern wie sie sich im Verlauf ihrer jeweiligen Zeit verändern und wie die Zeiten in Bezug zueinander ablaufen. [*]

Die Zeit hat ihre erste Schicht verloren: ihre Einheitlichkeit. An jedem Ort hat die Zeit einen anderen Rhythmus, einen anderen Ablauf. Die Dinge der Welt tanzen in

unterschiedlichen Rhythmen durcheinander. Wenn der Ablauf der Welt vom tanzenden Shiva regiert wird, muss es Zehntausende tanzende Shivas geben, einen großen gemeinschaftlichen Tanz wie auf einem Gemälde von Matisse ...

2. Der Verlust der Richtung

*Was, wenn du süßer noch als der thralische Orpheus,
vernehmlich bewegest sogar für Bäume die Saite?
Kehrt denn je zurück das Blut ins nichtige
Schattenbild [...]?
Hart! Doch leichter wird durch Geduld,
was zu verändern verwehrt ist. (I, 24)*

Woher stammt der ewige Fluss?

Uhren gehen im Gebirge und auf Meereshöhe unterschiedlich schnell: Aber interessiert uns gerade das an der Zeit? An den Rändern des Flusses fließt das Wasser langsam und in der Mitte schnell, trotzdem ist es ein Strömen. Ist die Zeit nicht immerhin etwas, das von der Vergangenheit in die Zukunft verläuft? Lassen wir das genaue Maß, *wie viel* Zeit vergeht, mit dem ich mich im vorangegangenen Kapitel abgemüht habe, einmal beiseite, also diese Zahlen, in denen man Zeit misst. Es gibt einen wesentlicheren Aspekt: ihren Lauf, ihren Fluss, die *ewige Strömung* aus Rilkes *Duineser Elegien*:

Die ewige Strömung

*reißt durch beide Bereiche alle Alter
immer mit sich
und übertönt sie in beiden. [10]*

Vergangenheit und Zukunft sind verschieden. Ursachen gehen Wirkungen voraus. Der Schmerz folgt auf die Verletzung und nicht umgekehrt. Das Trinkglas zerspringt in tausend Scherben, aus denen sich keines mehr bildet. Wir können Vergangenes nicht ungeschehen machen, sondern allenfalls Bedauern oder Reue empfinden oder uns an glücklichen Erinnerungen erfreuen. Dagegen ist die Zukunft mit Ungewissheit, Wunschdenken oder Besorgnis verbunden. Sie ist offener Raum, vielleicht Schicksal. Wir können in sie hineinleben, sie wählen, da sie noch nicht ist. In ihr ist alles möglich. Die Zeit ist keine Achse mit zwei gleichwertigen Richtungen: Sie ist ein Pfeil mit unterschiedlichen Enden:



Dies ist uns an der Zeit wichtig, mehr noch als die Geschwindigkeit, mit der sie vergeht. Dies bildet ihren Kern. Dieses Kribbeln auf der Haut, das wir spüren, wenn wir uns vor der Zukunft fürchten oder die Erinnerung uns Rätsel aufgibt. Hier liegt das Geheimnis der Zeit verborgen: der Sinn dessen,

was wir meinen, wenn wir an die Zeit denken. Was ist dieses Strömen? Wo in der tief liegenden Struktur der Welt ist es verankert? Was zwischen den Rädchen des Weltengeriebes unterscheidet die Vergangenheit mit ihrem Gewesen-Sein von der Zukunft mit ihrem Noch-nicht-gewesen-Sein? Warum ist Vergangenheit so ganz anders als Zukunft?

Mit diesen Fragen hat sich die Physik des 19. und des 20. Jahrhunderts herumgeschlagen und ist auf etwas gestoßen, das noch mehr überrascht und befremdet als nur die im Grunde nebensächliche Tatsache, dass Zeit an unterschiedlichen Orten in verschiedenem Tempo vergeht. Der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft – zwischen Ursache und Wirkung, Erinnerung und Hoffnung, Reue und Absicht – kommt in den Grundgesetzen, welche die Mechanismen der Welt beschreiben, überhaupt nicht vor.

Wärme

Alles begann mit einem Königsmord. Am 16. Januar 1793 fällte der Pariser Nationalkonvent das Todesurteil über Ludwig XVI., in einer Auflehnung gegen die herrschende Ordnung, die wohl auch ein grundlegender Antrieb von Wissenschaft ist. [11] Zu den Mitgliedern, die das verhängnisvolle Votum verkündeten, zählte Lazare Carnot, ein Freund Robespierres. Carnot hatte eine Leidenschaft für den großen persischen, aus Schiraz