

# ENTROPIE, ZEIT UND GEDÄCHTNIS

Clemens Jochum

clemens.jochum@tuwien.ac.at

## Abstract

Während wir uns im physikalischen Raum in beliebige Richtungen bewegen können, scheint es in der Zeit-Dimension eine ausgezeichnete Richtung zu geben: Wir bewegen uns in der Zeit stetig vorwärts aber niemals rückwärts; ein Umstand der auch als Zeitpfeil bezeichnet wird. Diese Asymmetrie existiert, obwohl die fundamentalen physikalischen Gesetze invariant unter Zeit-Inversion sind, also keine ausgezeichnete Zeitrichtung kennen. Der Grund dafür liegt im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, der besagt, dass Entropie sich stetig vergrößert. Diese fundamentale Asymmetrie hat weitreichende Auswirkungen auf organische und anorganische Formen von Gedächtnis.

## Definition von Zeit

Eine allgemein gültige Definition von Zeit stellt sich schnell als äußerst schwieriges Unterfangen heraus: je nachdem ob man die Definition von philosophischer, psychologischer oder physischer Perspektive versucht gelangt man zu unterschiedlichsten Schlüssen.

Titanen der Physik wie Isaac Newton und Gottfried Leibniz widersprachen sich vehement: während Newton Zeit und Raum als real existierend Behälter betrachtete, in denen sich sämtliche Ereignisse abspielten, stellten Raum und Zeit für Leibniz rein gedankliche Konstruktionen dar, die uns helfen die Beziehungen zwischen Ereignissen und Objekten besser zu beschreiben.<sup>1</sup>

Wenn man von solchen philosophischen Herangehensweisen absieht und eine Definition unter rein naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten versucht ist die Situation schon etwas eindeutiger: man kann Zeit – oder genauer gesagt Zeitintervalle – messen indem man das zu messende Intervall mit einem zeitlich wohl definiertem, periodischen Prozess vergleicht.<sup>2</sup> Die hierbei herangezogenen Prozesse reichen von dem Pendel eines Uhrwerks, über das Oszillieren eines Quarz-Kristalls bis zur charakteristischen Frequenz von Strahlungsübergängen der freien Elektronen eines Cäsium Atoms. Mittels der letztgenannten Methode, die auch als Atomuhr bekannt ist, wird die SI-Einheit der Zeit, die Sekunde, definiert.

Das zwanzigste Jahrhundert brachte mit Einsteins Relativitätstheorie und der damit einhergehenden Vereinheitlichung von Raum und Zeit die physikalisch eindeutige Definition von Zeit gehörig ins Wanken. Nicht nur, dass Raum und Zeit äquivalent sind, nein, durch die universell konstante Geschwindigkeit von Licht werden Konzepte wie "Gleichzeitigkeit" auch ad absurdum geführt.<sup>3</sup>

## Der thermodynamische Zeitpfeil

Was alle bisher erwähnten Definitionsversuche eint ist die Tatsache, dass eine definierte Richtung der Zeit von Vergangenheit zur Gegenwart zur Zukunft existiert. Doch woher kommt dieser Zeitpfeil?

Betrachtet man mikroskopische Prozesse bei denen wenige atomare Teilchen involviert sind, so ist es oft unmöglich eine eindeutige Zeitrichtung festzulegen. Veranschaulicht gesagt: wenn man ein Video eines solchen Prozesses aufnehmen könnte, so wäre man außerstande zu sagen ob man dieses Video vorwärts oder rückwärts abspielt.

Vergleicht man dieses mikroskopische Szenario mit einer makroskopischen Situation, wie dem Zerspringen eines Trinkglases auf dem harten Fußboden, so ist die Existenz des Zeitpfeils auf makroskopischer Ebene direkt ersichtlich: ein Glas das sich aus seinen zersprungenen Einzelteilen zusammensetzt und wieder ganz wird läuft eindeutig in der Zeit rückwärts.

Auf den Stationen vom Mikrokosmos zum Makrokosmos, die durch die Größenordnung der Atomzahl gekennzeichnet sind, entsteht etwas, das den thermodynamischen Pfeil der Zeit erzeugt: die Entropie. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, der besagt, dass Entropie in einem geschlossenen System immer zunimmt oder gleich bleibt, aber von selbst nie abnehmen kann, verhindert, dass sich die am Boden liegenden Scherben wieder zu einem vollkommenen Glas zusammenfügen, selbst wenn dies physikalisch möglich wäre.<sup>4</sup>

## Entropie, Zeit und Gedächtnis

Der Zusammenhang zwischen dem oben erwähnten thermodynamischen Zeitpfeil und dem psychologischen Zeitpfeil, der die Reihenfolge unserer Erinnerungen vorgibt, wurde in einer unlängst erschienen Publikation untersucht. Die Autoren argumentieren, dass sich der psychologische Zeitpfeil am thermodynamischen Zeitpfeil orientiert und sich in fiktiven Szenarien, in denen sich der thermodynamische Zeitpfeil umdreht, ebenfalls umdrehen würde.<sup>5</sup>

## Literatur

<sup>1</sup>G. W. Leibniz, „Die metaphysischen Anfängen der Mathematik (aus Handschriften zur Grundlage der Philosophie II)“, hrsg. von A. Antoine und A. von Boettiche, 35 ff. (2007).

<sup>2</sup>A. Bauch, „Caesium atomic clocks: function, performance and applications“, Meas. Sci. Technol. **14**, 1159–1173 (2003).

<sup>3</sup>D. F. Comstock, „The Principle Of Relativity“, Science **31**, 767–772 (1910).

<sup>4</sup>S. W. Hawking, „Arrow of time in cosmology“, Phys. Rev. D **32**, 2489–2495 (1985).

<sup>5</sup>L. Mlodinow und T. A. Brun, „Relation between the psychological and thermodynamic arrows of time“, Phys. Rev. E **89**, 052102 (2014).