

„Eine hartnäckige Illusion“

Das Zeit-Bild der modernen Physik

Was ist Zeit? Wenn mich jemand fragt, weiß ich es. Wenn ich es jemandem erklären soll, weiß ich es nicht.“

Mit diesem Rätsel quälte sich der Kirchenlehrer Aurelius Augustinus im 5. Jahrhundert um eine Antwort auf die Frage nach dem Wesen der Zeit. Gott, nur das schien Augustinus gewiß, habe die Zeit geschaffen und von Anbeginn gewisse Keimkräfte in die Materie hineingelegt, die sich im Laufe der Zeit entfalten.

So schlecht lag der Bischof von Hippo nicht. Denn auch 1500 Jahre nach Augustinus wissen moderne Naturforscher die Beschaffenheit der Zeit kaum genauer zu beschreiben.

Die Gegenwart ist es, mit der wir gleichsam auf dem Strom der Zeit reisen: An die Vergangenheit erinnern wir uns; die Zukunft erwarten wir. Auf sie glauben wir einen gewissen Einfluß zu haben; die Vergangenheit, so sagt uns die Erinnerung, liegt unverrückbar fest. Dazwischen liegt das Jetzt, der Augenblick des Handelns, der Freiheit, der Selbstverwirklichung, in dem Zukunft in Vergangenheit umgearbeitet wird.

„Der Unterschied zwischen Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft“, befand Albert Einstein, „ist für uns Wissenschaftler eine Illusion, wenn auch eine hartnäckige.“ „Wir brauchen nur zu fragen“, pflichtete der US-Physiker Edward R. Harrison bei, „mit welcher Geschwindigkeit sich das ‚Jetzt‘ durch die Zeit bewegt und wie das Gefühl von Vergehen mit dem Eindruck von Beständigkeit vereint werden kann, um zu bemerken, daß wir das Wesen der Zeit noch immer nicht verstehen.“

Bewußt mieden Physiker den vielschichtigen, nicht faßbaren Zeitbegriff des Alltags. Erst die radikale Abkehr von der menschlichen Erlebnissphäre verhalf den Forschern zur physikalischen Zeit der Naturgesetze. Daß die Naturwissenschaft damit auch auf einen Teil der menschlichen Erfahrung verzichtet, ist ihr Gewinn und Gebrechen zugleich.

Schon Aristoteles war klar, daß dem Fluß der Zeit keine Geschwindigkeit zugeschrieben werden kann. Es vollziehe sich, so der Begründer der Logik, „eine Veränderung schneller und langsamer, doch von der Zeit gilt das nicht. ‚Schnell‘ und ‚langsam‘ werden vielmehr an der Zeit gemessen“. Folglich sei, schloß Aristoteles, „die Zeit keine Bewegung“.

Erst zwei Jahrtausende später, 1687, vermochte das Genie Isaac Newton die

Gedanken des griechischen Gelehrten gleichsam in die Form eines Naturgesetzes zu gießen: „Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand.“

Die Zeit-Definition Newtons gab den Naturwissenschaften ein vorzügliches Instrument an die Hand, die Gesetzmä-



Physiker Newton: Raumpunkte für die absolute Zeit

Bigkeiten des Kosmos zu ergründen. Erstmals vermochten Wissenschaftler nun, sämtliche Ereignisse der Welt eindeutig zu markieren: An jedem Punkt von Newtons „absoluter Zeit“ hingen „gleichzeitig“ alle Raumpunkte des Universums; vor einem solchen, beliebig gewählten Zeitpunkt lag jeweils die Vergangenheit, dahinter die Zukunft. Auch die Kausalität war damit eindeutig geregelt: Jedes Ereignis der Vergangenheit konnte im Prinzip jedes zukünftige Ereignis beeinflussen.

Diesem, der Intuition noch einleuchtenden Bild versetzte Albert Einstein mit seiner Speziellen Relativitätstheorie 1905 einen entscheidenden Schlag: Kein Ereignis konnte ein anderes kausal beeinflussen, wenn es sich dafür schneller als das Licht hätte bewegen müssen.

Mit der Physik Einsteins verlor die Zeit ihren Absolutheitsanspruch: Es gab keine universelle Gleichzeitigkeit mehr; das „Vorher – Nachher“ war nur mehr bezüglich einzelner Ereignisse oder einzelner Beobachter zu erklären –, und hing damit von deren Geschwindigkeit ab. In dieser, Anfang des Jahrhunderts von Hermann Minkowski und Albert Einstein geschaffenen „Raum-Zeit“, war kein Platz mehr für den „Fluß der Zeit“.

Damit hatte sich die Physik einen Zeitbegriff geschaffen, mit dem sie bis heute erfolgreich operiert – von der Elementarteilchenforschung bis zur Kosmologie. Unerklärt blieb im Einstein-Minkowski-Weltbild der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft. Die Naturgesetze liefern keinen Anhalt: Was „vorwärts“ passiert, könnte – ausgenommen der Zerfall eines exotischen subatomaren Teilchens – im Prinzip auch „rückwärts“ ablaufen.

Warum also erinnern wir uns nur an die Vergangenheit – nicht aber an die Zukunft?

Unser Alltag beschert uns ständig Beispiele für die „Richtung der Zeit“. Man stelle sich vor, eine Tasse fällt vom

Tisch und zerbricht. Von einer Filmaufzeichnung dieses Vorgangs wüßten wir sofort, ob sie vorwärts oder rückwärts abgespielt wird. Wir sehen im wirklichen Leben nun einmal keine zersprungenen Tassen, die sich zusammensetzen und auf den Tisch springen.

Diese Erfahrung nannten die Physiker den „Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik“: Die Unordnung („Entropie“) nimmt mit der Zeit zu. Die intakte Tasse auf dem Tisch (ein Zustand der Ordnung) kann auf den Boden fallen und zerbrechen (ein Zustand der Unordnung), aber nicht umgekehrt.

Dieser grundlegende Erfahrungssatz der Physik basiert auf der Tatsache, daß es viel mehr unordentliche Zustände gibt als ordentliche. Nur *ein* Zustand läßt die Tasse ganz erscheinen, aber zerbrechen

kann sie auf tausendfach verschiedene Weisen. Die Wahrscheinlichkeit, einen Zustand der Unordnung anzunehmen, ist also wesentlich größer als die, durch Ordnung zu glänzen.

Dieser unausweichliche Zuwachs an Unordnung definiert für die Forscher einen „Pfeil der Zeit“.

Neben diesem thermodynamischen Zeitpfeil sprechen die Wissenschaftler von wenigstens zwei weiteren: dem psychologischen Zeitpfeil – jener Richtung also, in der wir die Zeit fließen spüren und in der wir die Vergangenheit erinnern, aber nicht die Zukunft. Daneben der kosmologische Zeitpfeil – jener Richtung der Zeit, in der das Universum sich ausdehnt.

Alle drei Zeitpfeile deuten in die „Zukunft“. Warum? Der Welt derzeit bedeutendster Kosmologe, der Brite Stephen Hawking, vermutet: „Unser subjektives Empfinden der Zeitrichtung wird durch den thermodynamischen Pfeil der Zeit bestimmt.“ Dies, so Hawking, lasse den Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik gleichsam als Binsenweisheit erscheinen. „Die Unordnung wächst mit der Zeit, weil wir die Zeit in der Richtung messen, in der die Unordnung anwächst.“

Doch warum sollte die Unordnung ausgerechnet in der Richtung der Zeit größer werden, in der auch das Universum expandiert?

Hawking meint: Entweder schuf Gott die Welt so, daß sie einem Zustand großer Ordnung entsproß. Dann bräuchten wir nicht weiter nach Gründen zu fragen, denn die Schöpfung der Welt wäre ein Werk Gottes.

Oder wir suchen eine naturwissenschaftliche Erklärung. Sie geht vom möglichen weiteren Schicksal des Kosmos aus: Entweder bläht das All sich



Physiker Einstein
Kann Zeit auch rückwärts laufen?



Kosmologe Hawking
Kein Leben im schrumpfenden Kosmos

immer weiter – in eine unendliche Zukunft – oder die Expansion kehrt sich eines Tages um und geht über in eine Phase der Schrumpfung. Nach Berechnungen Hawking würde sich in dieser Phase der kosmologische Zeitpfeil zwar umdrehen – doch die thermodynamische Richtung der Zeit (die unser Leben bestimmt) würde dennoch weiter die Unordnung im Weltall vergrößern bis hin zu ihrem größtmöglichen Wert: dem der „idealen Unordnung“. Wo die Welt aber den Zustand maximaler Unordnung erreicht hat, gibt es keine thermodynamische Richtung der Zeit mehr.

Damit sieht sich Hawking verblüffen-derweise gezwungen, die Existenz des Lebens vorauszusetzen, um ein kosmisches Phänomen erklären zu können. „Ein kontrahierender Kosmos erlaubt keine Intelligenzen, die die Frage stellen könnten: Warum wächst die Unordnung in derselben Zeitrichtung wie die, in der das Universum expandiert?“

Die Vorstellung, ein schrumpfendes Universum könne intelligentes Leben bergen, wie wir es kennen, führt zu einem unauflösbaren Widerspruch: Menschen nehmen mit ihrer Nahrung eine geordnete Energieform auf und wandeln sie in eine ungeordnete Energieform (Wärme) um – das aber widerspricht der Annahme von einem Schrumpf-Kosmos, der den Zustand größtmöglicher Unordnung schon erreicht hat.

„Daher kann“, folgert Stephen Hawking, „intelligentes Leben in einem kontrahierenden Kosmos nicht existieren. Dies erklärt, warum der thermodynamische und der kosmologische Zeitpfeil in die gleiche Richtung weisen.“

ein Höchstmaß an Ruhe, um Dinge wahrzunehmen, die in der Natur vor sich gehen, und ich fürchte, wir bringen vielleicht eine Generation von Leuten hervor, die zu schnell sind, um sich auf die langsameren, natürlichen Rhythmen einzustellen.“

Die alternative Bewegung aufs Land stellt eine radikale Abkehr von den Tempo-Zwängen dar. Aber auch Verbliebene und Getriebene in der High-Tech-Kultur zieht es wenigstens zur Entspannung in halbwegs heile Biotope. In saturierten Kreisen entwickelt sich als letzter Luxus der wilde Garten zu einer Oase der Langsamkeit.

„Zurück zur Natur“ ist auch ein Zurück zur menschlichen Natur. Es kam ein Bewußtsein für „ganzheitliche Gesundheit“ und „Bio-Rhythmik“ auf: ein Sektor, auf dem sich Scharlatane tummeln, aber auch hochkarätige Wissenschaftler forschen.

Soviel ist gewiß: Der Mensch ist als ein schwingendes System zu verstehen, vergleichbar einem riesigen Uhrenladen. Es sind schon viele hundert verschiedene Prozesse mit einem Tag- und Nacht-Rhythmus bekannt: Wir sind also alle Stunde ein anderer, und das in so beträchtlichem Ausmaß, daß sich eine Chronopharmakologie entwickelt zur Bestimmung der günstigsten Einnahmezeiten für Medikamente.

Obschon der Makro-Uhr des Himmels genetisch nachgeformt, sind die Perioden in der menschlichen Mikrowelt nicht ganz genau. Um die vielen hundert Rhythmen miteinander zu synchronisieren, bedarf das Individuum eines Impulses von außen. Seine biologischen Uhren ticken zwar ererbtermaßen von selbst, aber sie müssen immer wieder richtig gestellt werden. Als archaischer Zeitgeber wirkt das Signal der Sonne: Es stößt mit Hilfe des Hormons Melatonin einen biochemischen Regulationsprozeß an, der im Frühling auch noch ein anderer als im Winter ist.

Wer durch Nachtschichten oder Jet-Reisen aus seinem gewohnten Tages- oder Jahreszeitenrhythmus fällt, hat einige Schwierigkeiten mit der Synchronisation seiner inneren Uhren. Der Mensch ist zwar ein atavistisches Tier, aber doch auch ein Zoon politikon. Und so kann er den himmlischen Zeitgeber durch soziale Signale einigermaßen ersetzen. Die Zeichen der heutzutage von technischen Uhren gesteuerten Gesellschaft vermögen biologische Reaktionen wie das Licht anzustoßen. Die Chronokratie mit ihren minutiösen Zwängen schreibt sich tatsächlich fortwährend in die Körper ein.

In den künstlichen Zeitwelten fern der Natur mit ihren elementaren Signalen ist aber die Steuerung des hochkomplizierten Uhrwerks Mensch störanfällig. Auseinanderlaufende und gegeneinander arbeitende Rhythmen sind nach neuester Einschätzung Begleiterschei-