

## Zeit

"Die Zeit kam so geräuschlos und entfernte sich, ohne dass man es merkte".

Dieses Zitat von Robert Walser zielt einen der ICN Züge der SBB. Die Zeit und ihr Ablauf bestimmt unseren Alltag und stellt gleichzeitig eine der merkwürdigsten Wahrnehmungen dar.

"Die Zeit kam so geräuschlos und entfernte sich, ohne dass man es merkte".

Was ist das Wesen der Zeit? Mein Damen und Herren, als Physiker möchte ich ihnen heute einige Anstösse zum Nachdenken über die Zeit geben.

Raum und Zeit stellen den Rahmen allen unseres Denkens und Handelns dar. Wenn Sie mit Ihrer Freundin oder Ihrem Freund ein 'date' ausmachen, dann vereinbaren Sie Ort und Zeit. Damit das Treffen auch klappt, sind Sie auf Vereinbarungen über die Einteilung von Raum und Zeit angewiesen. Im Raum gibt es Markierungen, Namen von Ortschaften und Strassen, den Meeting Point am Bahnhof, oder eine der vereinbarten Vermessungen der Erde, wie zum Beispiel das schweizerische Koordinatennetz.

Abstrakter ist es mit der Zeit. Die internationale Zeitvereinbarungen gibt es noch nicht so lange. Früher hatte jede grössere Ortschaft ihre eigene Zeit, die sich am Sonnenlauf orientierte. Erst als mit der industriellen Revolution die Eisenbahn schnelle Reisen zwischen weiter entfernten Städten ermöglichte, wurde eine vereinheitlichte Zeitangabe notwendig. Vorerst waren es die Bahngesellschaften, die eine Einheitszeit einführten, die für alle Züge ihrer Gesellschaft galt, womit erst ein sinnvoller fahrplanmässiger Bahnbetrieb möglich wurde. Im ersten Fahrplan der Gotthardbahn von 1882 ist noch extra vermerkt, dass es sich um Schweizer Zeit handle. Ab der Grenze in Chiasso galt die Zeit von Rom, die der Schweizer Zeit um 20 Minuten vorging. Noch heute benützt die transsibirische Eisenbahn die Moskauer Zeit als Grundlage für ihren Betrieb. Schliesslich fahren deren Züge von Moskau bis zum östlichen Ende in Wladiwostock durch 7 Zeitzonen, ohne eine einheitliche Zeit wäre das Chaos vorprogrammiert.

Wie denken Physiker über die Zeit? In Ihrem Physikunterricht war wohl die Zeit einfach schon da. Sie haben sich mit der Zeit nur insofern beschäftigt, als sie oft die unabhängige Variable für die Untersuchung von Naturphänomenen darstellte. Konkret wählten Sie die Zeit meist als horizontale Achse einer grafischen Funktionsdarstellung und ihrer Ableitungen. Ihr Physiklehrer versuchte sie dazu zu erziehen, Nullpunkt, Massstab und Einheiten anzugeben.- Ich hoffe natürlich sehr, dass er dabei erfolgreich war.

Nun, es gibt fundamentalere Merkwürdigkeiten mit der Zeit, als den Anspruch an einen einheitlichen Massstab. Im Raum können Sie sich normalerweise mit freiem Willen bewegen, wenn Sie nicht gerade von einem unangenehmen Zeitgenossen daran gehindert werden. Sie haben drei unabhängige Dimensionen zur Verfügung, und können in allen drei Richtungen ausweichen, wenn nötig. Mit der Zeit ist das etwas schwieriger. Den Ablauf der Zeit können wir scheinbar nicht beeinflussen. Wir können zwar willentlich "die Zeit ausnützen", wie man sagt, um in einem Zeitintervall möglichst viel zu erledigen. Oder wir "schlagen die Zeit tot", das heisst wir tun nichts oder nichts sinnvolles, und sind überzeugt, uns dabei zu erholen. Aber die Zeit läuft und läuft. Wir können sie weder anhalten, noch rückwärts laufen lassen.

Meine Damen und Herren, wir sind heute zusammengekommen, um Ihnen zu Ihrem erfolgreichen Abschluss des Gymnasiums oder der Wirtschaftsmittelschule und zum Erwerb des Diploms oder des

Maturzeugnisses zu gratulieren. Wir sind alle überzeugt, dass Sie, wie man so schön zu sagen pflegt: "die Zukunft vor sich haben". -- Nun, es gibt ja nicht viel Dümmeres als diesen Satz. Wir haben ja per definitionem alle immer unsere Zukunft vor uns. Denn die Zeit läuft und lässt sich nicht anhalten oder umdrehen. Aber immerhin, sie können mit Ihrem Leben etwas anfangen, sie können es gestalten. Die Zeit läuft zwar unbeirrbar, aber im physischen Raum und in der Welt der Gedanken können sie sich frei bewegen, so wie es ihr Wille ist.

Viele von Ihnen werden bald ein Studium an einer Hochschule beginnen. Andere werden sich noch schwer tun mit der Fächerwahl, oder mit der Entscheidung, ob Sie überhaupt studieren sollen. Mit ziemlicher Sicherheit kann ich übrigens voraussagen, was diejenigen von Ihnen, die ein Hochschulstudium wählen, in etwa zwei Jahren über Ihre Schule denken werden. Dann werden Sie vielleicht an einer Umfrage teilnehmen. Sie werden gefragt werden, ob Sie von Ihrem Gymnasium gut auf das Studium vorbereitet wurden. Und die meisten von Ihnen werden wohl ein gutes, fast verklärt schönes Bild ihrer früheren Schule entwerfen. Ihre Kolleginnen und Kollegen aus dem Kanton Zürich wurden schon mehrmals auf diese Weise befragt, und die Antworten wurden sorgfältig ausgewertet. Sie werden wohl genau wie diese erklären, dass sie in den meisten Fächern gut bis sehr gut vorbereitet waren. Prominente Ausnahme stellt übrigens ausgerechnet mein eigenes Fach dar, die Physik, das in der Rangliste dieser Umfrage am Schluss anzutreffen ist. Ich hoffe natürlich sehr, dass Sie das nicht so sehen werden! -- Wir Physiker wissen übrigens ganz genau, dass wir ein 'PR' Problem haben. Wir wissen nur nicht, wie wir es lösen sollen.

### **Aber zurück zum Zeitablauf:**

Ein berühmter Physiker, der wie Sie im Kanton Aargau sein Maturzeugnis erwarb, hat uns vor gut hundert Jahren mit seiner Relativitätstheorie einige neue Einsichten zum Ablauf der Zeit gebracht. In ihrem schön renovierten Schulhaus konnten sie jeden Tag im Treppenhaus Einstein's Maturzeugnis zur Kenntnis nehmen. Ich hoffe, es hat sie motiviert, auch im Physikunterricht aktiv mitzumachen. Und übrigens, wenn französisch nicht Ihr Fach ist... meins war es jedenfalls auch nicht. Aber Einsteins Maturzeugnis können wir dafür nicht als Entschuldigung nehmen, Sie kennen gewiss den Hintergrund der Geschichte.

Aus seinen Überlegungen über die Elektrodynamik bewegter Körper musste Albert Einstein schliessen, dass das Licht als elektromagnetische Welle sich in allen Bezugssystemen gleich schnell bewegt, unabhängig von deren eigener Geschwindigkeit. Daraus folgte unmittelbar, dass die Zeit in schnell bewegten Systemen langsamer laufen muss, als in ruhenden. Die damaligen Zeitgenossen taten sich schwer mit dieser merkwürdigen Aussage, die der Alltagserfahrung völlig widerspricht.

- Aber Einstein hatte den Mut an seine Einsicht zu glauben. - Und er sollte recht behalten. In der Zwischenzeit sind in verschiedenen Experimenten und Naturbeobachtungen Einsteins Aussagen unzählige Male und zum Teil mit höchster Präzision bestätigt worden.

Ich will nur ein Beispiel nennen, die sogenannten Müonen in der Höhenstrahlung. Müonen sind kleine elementare Teilchen. Sie haben fast genau die gleichen Eigenschaften, wie die Elektronen, die sie alle kennen, nur sind sie etwa 200 Mal schwerer als Elektronen. Und sie zerfallen in drei andere Teilchen in sehr kurzer Zeit. Wollen Sie ein Müon genauer untersuchen, ist es - im Mittel - schon nach 2.2 Mikrosekunden zerfallen. Müonen werden zum Beispiel durch hochenergetische Protonen erzeugt, die von weit her aus dem Weltall kommend auf unsere Atmosphäre auftreffen. In grosser Höhe zerstören sie einzelne Atomkerne der Luft. Dabei entstehen ganze Schauer von Teilchen, unter anderem eben diese Müonen. Sie bewegen sich dann mit grosser Geschwindigkeit auf die Erdoberfläche zu, wo jeder von uns laufend mit etwa 10 bis 100 solchen Teilchen pro Sekunde bombardiert wird.

Was hat das mit dem Zeitablauf zu tun? Schaut man die Sache genauer an, stellt man fest, dass die Müonen, die in luftiger Höhe erzeugt wurden, längst zerfallen sein sollten, wenn sie auf dem Boden ankommen. Von uns aus gesehen, benötigen sie typischerweise das zehnfache ihrer Lebensdauer vom Ort der Entstehung bis sie auf dem Boden auftreffen. Wieso können sie so lange leben? Sie überleben nur darum, weil auf ihrem eigenen, schnell bewegten System die Zeit langsamer läuft. -- Grosse Geschwindigkeit verlängert das Leben!

Nun, es gibt andere Zeitgenossen, die ähnliches verkünden, denken Sie nur an die Protagonisten der Gesundheitsprävention: Viel Sport, vor allem viel 'jogging' verlängere angeblich das Leben! Nun, die Analogie könnte allenfalls als Merkgel taugen, mit dem Lauf der Zeit hat sie natürlich nichts zu tun.

Man kann diese Ueberlegungen noch weiter treiben. Wenn ein Gegenstand immer schneller wird, läuft die Zeit darauf immer langsamer. Die schnellsten Teilchen, die es gibt, sind die Photonen, die Quanten des Lichtes. Sie laufen mit Lichtgeschwindigkeit, der schnellsten Geschwindigkeit, die möglich ist.

Geben wir nun einem Photon eine Uhr mit. Na ja, das ist natürlich nicht so einfach. Eine Uhr hat ja eine Masse. Und es bräuchte unendlich viel Energie, um sie auf Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen. Aber der Ablauf der Zeit ist ja nicht an eine materielle Uhr gebunden. Wir könnten dem Photon ja einfach unser Zeitbewusstsein mitgeben. Wir wollen gewissermassen einem Photon unsere Zeitseele verkaufen. Was ist nun mit der Zeit auf einem Photon, das sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt? Ja, ganz einfach: die grösstmögliche Geschwindigkeit führt zur kleinstmöglichen Alterung: Die Zeit auf dem Photon steht still! ... Die Zeit steht still.

Können Sie sich das vorstellen? Vermutlich nicht, ich kann es jedenfalls auch nicht. Aber richtig ist es.

Uebrigens hier ein Nebengedanke: Um denken zu können, muss Zeit vergehen. Wenn Sie nachdenken, kommt ein Gedanke nach dem anderen. Vielleicht ziehen Sie eine Schlussfolgerung. Oder treffen eine Entscheidung. Dafür braucht es Zeit. Aber auf dem Photon steht die Zeit still. Daraus folgt sofort, dass das Photon nicht denken kann. Denn auf dem Photon läuft die Zeit ja nicht. - Aber es ist jetzt wohl keine so überraschende Erkenntnis, dass ein Photon nicht denken kann.

Also, was haben wir bisher gesehen? Die Zeit läuft unaufhaltsam, aber der Ablauf ist auf schnell bewegten Systemen langsamer.

### **Nächste Frage: Kann die Zeit rückwärts laufen?**

Wir haben keine Alltagserfahrung in dieser Hinsicht. Die meisten Gesetze der Physik - mit Ausnahme einiger experimentell nicht direkt nachgewiesenen theoretischen Spezialitäten - sind symmetrisch in der Zeit. Wenn sie irgend eine mechanische Bewegung, zum Beispiel die Bewegungen der Planeten im Sonnensystem, rückwärts laufen lassen, bleibt alles in bester Ordnung. Die Keplerschen Gesetze und die Newtonschen Prinzipien sind invariant unter Zeitumkehr, heisst es im Physikerjargon.

Nun sie wundern sich vielleicht über diese Behauptung. Denn sobald in einem Prozess Wärme erzeugt wird, gibt es scheinbar eine ausgezeichnete Zeit-Richtung. Wenn Sie zum Beispiel zu Hause einen Kühlschrank betreiben, verbrauchen Sie dafür Energie. Wenn Sie das Kabel aus der Steckdose ziehen, wird es nach kurzer Zeit so warm im Kühlschrank, wie in der Umgebung - und die Milch wird nach einigen Tagen ungeniessbar. Umgekehrt funktioniert das nicht: Sie können scheinbar beliebig lange warten, es wird niemals von selbst kalt im Kühlschrank und die Milch wird auch nicht mehr appetitlicher.

Allerdings wissen wir seit dem Ende des 19. Jahrhunderts, dass das nur scheinbar ein Problem der Zeit-

Asymmetrie ist. Der sogenannte zweite Hauptsatz der Thermodynamik, der diese Asymmetrie in der Zeit phänomenologisch beschreibt, lässt sich auf einfache Weise in der Statistik der Vielteilchensysteme begründen. Das Innere des Kühlschranks besteht aus Größenordnung  $10$  hoch  $20$  einzelnen Molekülen, die sich unabhängig voneinander bewegen. Dass sie sich einmal gemeinsam alle so an den Wände stossen, dass sie langsam und somit kalt werden, ist einfach deshalb unwahrscheinlich, weil es so viele Moleküle hat. Es ist viel viel wahrscheinlicher, dass Umgebung und Inneres im Kühlschrank etwa die gleiche Bewegungsenergie und somit gleiche Temperatur hat.

Ludwig Boltzmann lieferte für diese statistische Erklärung des zweiten Hauptsatzes eine Formel: Entropie =  $k$  mal Logarithmus der Wahrscheinlichkeit. Diese Formel wurde als derart wichtig erachtet, dass sie sogar in seinen Grabstein im Wiener Zentralfriedhof gemeißelt wurde. Und damit war die Welt wieder in Ordnung, die physikalischen Gesetze sind wieder symmetrisch bezüglich Zeitumkehr.

### **Weitere Frage: Wie steht es mit dem Nullpunkt der Zeit?**

Was ist mit dem Anfang der Zeit? Nun die Frage ist in sich selbst widersprüchlich. Ein Anfang eines Prozesses kann logischerweise nur definiert werden, wenn ein Zeitablauf schon da ist. Die Uhr muss laufen, um feststellen zu können, wann unsere heutige Maturfeier begann.

"Im Anfang schuf Gott den Himmel und die Erde; die Erde war aber eine Wüste und Einöde, und Finsternis lag über der weiten Flut, und der Geist Gottes schwebte brütend über der Wasserfläche", so steht es am Anfang der Bibel. Die meisten anderen Kulturen besitzen ähnliche kosmogone Texte, die sich mit dem Anfang der Welt befassen. Die Frage nach dem Anfang der Zeit ist so alt, wie die Menschen denken können.

Was vor dem Anfang war, wird hingegen nicht diskutiert. Denn es kann kein vorher geben, wenn man vom Anfang der Zeit redet.

Die aktuelle physikalische Forschung beschreibt den Anfang der Welt mit einem sogenannten "Urknall", wie Sie sicher schon gehört haben. In den letzten Jahren sind viele Fortschritte in den Einsichten über die Anfänge des Kosmos gemacht worden. Die Messdaten aller heutiger Beobachtungen der Strahlung aus dem Weltall können zusammen mit den Erkenntnissen aus der Elementarteilchenphysik konsistent mit dem sogenannten Standardmodell der Kosmologie beschrieben werden. Es zeigt sich dabei übrigens klar, dass die uns bekannte Materie höchstens vier Prozent der gesamten Energiedichte im Weltall ausmachen kann. Der Rest ist völlig unbekannt, aber trotzdem hier überall vorhanden. Unter anderem am Forschungszentrum Cern in Genf versuchen wir diesen unbekanntem Materie- und Energieformen auf die Spur zu kommen, die 96% unserer Welt ausmachen.

### **Aber zurück zu unserem Hauptthema: Was ist nun mit dem Ablauf der Zeit?**

Die Zeit läuft und läuft, und wir sind dem Phänomen dieses unaufhaltsamen Laufs noch immer nicht näher gekommen. Vielleicht steckt der Zeitablauf ja nur in unserem Denken drin?

Die scheinbar kontinuierlich fortschreitende Ordnung im Auftreten von Ereignissen legt es nahe, den Lauf der Zeit mit der Kausalität in Verbindung zu bringen. Die Ursache ist vorher, die Wirkung nachher. Die physikalischen Gesetze bestimmen den Ablauf der Welt. In diesem Bild wäre seit dem Urknall alles festgelegt. Nicht nur die Entwicklung des Universums, die Planetenbahnen und die biologische Evolution, sondern auch jeder noch so kleine Effekt wie der Flügelschlag jedes Schmetterlings wurde schon beim Urknall festgelegt. Konsequenterweise weitergedacht, ist damit ebenso jeder menschliche Gedanke seit dem Anfang der Welt eindeutig vorausbestimmt. Damit ginge die Willensfreiheit des Menschen völlig verloren. Eine höchst unangenehme Vorstellung...

Diese Ansicht hat aber auch sonst ihre logischen Probleme. Es ist nämlich in vielen Fällen nicht klar, was die Ursache und was die Wirkung ist, wie das im berühmten Sprichwort vom Huhn und dem Ei zum Ausdruck kommt. Etwas physikalischer gesagt: Die Gleichungen der Physik stellen Zusammenhänge zwischen verschiedenen beobachtbaren Phänomenen her. Aber es ist nur scheinbar offensichtlich was die Ursache und was die Wirkung ist. Die Gleichungen sagen in der Regel nichts darüber aus.

Auf der Suche nach einem Ausweg aus dieser Kausalitätsfalle für den freien Willen wird von manchen Leuten die Quantenmechanik herangezogen. Die Theorie der Quantenmechanik besagt unter anderem dass es einen absoluten Zufall in den Naturgesetzen gibt. Das Verhalten eines physikalischen Systems kann nicht mit absoluter Genauigkeit vorhergesagt werden, sondern der Wert einer physikalischen Grösse kann in einem gewissen, sehr kleinen Bereich schwanken. Dies auch dann, wenn es eigentlich nicht zulässig wäre, also wenn zum Beispiel dadurch die Energieerhaltung kurze Zeit verletzt wird. Die Quantenmechanik sagt allerdings die durchschnittlichen Schwankungswerte genau voraus. Diese Voraussagen wurden in unzähligen Messungen mit höchster Präzision bestätigt. In diesem Sinne ist auch die Quantenmechanik eine exakte, deterministische Theorie.

Wir wissen heute ausserdem, dass keine sogenannten "hidden variables" existieren, die im Hintergrund agieren, und - von uns unbemerkt - dem quantenmechanischen Zufall etwas nachhelfen. Gerade in den letzten Jahrzehnten konnten mit allen Regeln der experimentellen Kunst solche deterministischen Hintergrundmechanismen ausgeschlossen werden. - Der absolute Zufall existiert in der Tat.

Es gibt Leute, die möchten deshalb die Quantenmechanik her nehmen, um die Existenz eines freien Willens zu begründen, der ausserhalb des deterministischen Ablaufs der Welt existiert, und der sich innerhalb der Wahrscheinlichkeitsschwankungen noch entscheiden kann, wo er hinwill. So attraktiv dieser Gedanke auf den ersten Blick erscheinen mag - bisher kann jedoch niemand damit konkrete Mechanismen bei den gedanklichen Leistungen des Gehirns erklären.

Aber all das gibt uns noch keine befriedigende Antwort auf die Frage nach dem Ablauf der Zeit. "Die Zeit kam so geräuschlos und entfernte sich, ohne dass man es merkte", steht im ICN. -- Unser Denken und Handeln ist eng verknüpft mit dem Ablauf der Zeit. Ohne Zeit kein Verstand. Man sagt nicht umsonst: "Kommt Zeit, kommt Rat". -- Wir haben die Freiheit, weiter über den Lauf der Zeit nachzudenken.

Meine Damen und Herren. Wir wünschen Ihnen für Ihr weiteres Leben alles Gute, viel Glück und Erfolg. -- Wir übergeben Ihnen hiermit die Verantwortung für die Zukunft der Welt. Machen Sie etwas daraus! Die Zeit läuft.

Aber trotzdem: Nehmen Sie sich gelegentlich Zeit zum nachdenken.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

Ueli Straumann, 28. Juni 2008, Maturfeier der Kantonsschule Baden