



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

„Theorien der Zeit in zwei Epochen
- Einsteins Gleichzeitigkeit und Aristoteles Jetzt“

Verfasserin

Karoline Mühlbacher

angestrebter akademischer Grad

Magistra (Mag.)

Wien, im November 2011

Studienkennzahl lt. Studienbuchblatt: A 057 296

Studienrichtung lt. Studienbuchblatt: Individuelles Diplomstudium Philosophie

Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dr. Richard Heinrich

Dank

An:

Mag^a. Susanne Mühlbacher-Thauss, ohne das Sein des Sein wäre Nichts

Prof. Peter Christian Aichelburg, für die „zeitliche“ Unterstützung

Prof. Gerhard Ecker, für die Ermöglichung dieses Studiums

Prof. Reinhold Bertlmann, für die anregenden philosophischen Gespräche

Georg Koller, für Herrn Knute und alles was dazu gehört

Mag^a. Katharina Lacina, für die gemeinsame Erstellung meines Studiums

Paul, für gemeinsames kreatives Schaffen

Mag. Lukas Geyerhofer und Mag^a Donata Romizi für intellektuelle Unterstützung

Mag. Philipp Köhler, für das, was wirklich zählt

Prof. K. W. Zeidler, für seine hilfreichen Hinweise zu Kant

Mag^a. Christine Cézanne-Thauss, für den Feinschliff

Stef, für Sonntag

Und allen Menschen, die sich bereit erklärt haben bei meiner Umfrage mitzuwirken.

Inhaltsverzeichnis

Titelblatt	Seite 1
Dank	Seite 3
Inhaltsverzeichnis	Seite 4
Introduction (<i>in english</i>)	Seite 7
Fragestellung	Seite 7
Einleitung	Seite 10
A, Zeitmessung	Seite 12
A. 1, Herkunft und erste Grundgedanken	Seite 12
A. 2, Eine kurze Geschichte der Zeitmessung	Seite 13
A. 2.1, Der Kalender	Seite 13
A. 2.2, Jahreszahl	Seite 15
A. 3, Die erste Uhr	Seite 16
A. 3.1, Die Sonnenuhr – die erste natürliche Uhr	Seite 17
A. 3.2, Die ersten künstlichen Uhren	Seite 19
A. 3.2.1, Die Wasseruhr	Seite 19
A. 3.2.2, Die Feueruhr	Seite 21
A. 3.2.3, Die Sanduhr	Seite 21
A. 4, Mechanische Uhren	Seite 22
A. 4.1, Räderuhren	Seite 23
A. 4.2, Federuhren	Seite 24
A. 4.3, Pendeluhren	Seite 25
A. 4.4, Uhren mit Unruhschwingsystem – Die Zeitmessung sticht in See	Seite 26
A. 4.5, Taschenuhren	Seite 27
A. 5, Elektrische Uhren	Seite 29
A. 6, Atomuhren	Seite 30
A. 7, Die genaueste natürliche Uhr – zurück zu den Sternen	Seite 30
A. 8, Die genaueste Uhr – Quantenuhren	Seite 31

B, Der Zeitbegriff bei Albert Einstein – die Frage nach der Gleichzeitigkeit	Seite 32
B. 1, Relative Zeit	Seite 32
B. 1.2, Definition des Inertialsystems	Seite 35
B. 1.3, Die Realität der Zeitdilatation	Seite 37
B. 2, Zur Definition der Gleichzeitigkeit bei Einstein	Seite 39
B. 3, Die Richtung der Kausalität bei Einstein	Seite 41
B. 3.1, Veranschaulichung des Kausalität-Problems in der Relativitätstheorie anhand des Lichtkegels	Seite 42
B. 3.1.1, Der Lichtkegel und die Weltlinie	Seite 42
B. 3.1.2, Ein praktisches Beispiel	Seite 44
B. 3.1.3, Kausalität	Seite 49
B. 4, Die Importanz der Lichtgeschwindigkeit	Seite 50
B. 4.1, Das Experiment von Michelson und Morley	Seite 51
B. 4.2, Geometrische Implikationen - physikalische und philosophische Gegenüberstellung der Relativitätstheorie	Seite 55
B. 4.3, Zeitreisen	Seite 59
B. 4.4, Das Zwillingsparadoxon - ein kleiner Ausflug in die allgemeine Relativitätstheorie	Seite 60
B. 5, Uhren und Bahndämme	Seite 64
B. 6, Einsteins Relativität und der apriorische Zeitbegriff Kants	Seite 66
B. 6.1, Wie die Relativitätstheorie dem kantschen Zeit–A priori widerspricht	Seite 67
B. 6.2, Die Inkludierung der a priori Zeit im relativistischen Weltbild	Seite 69
C, Aristoteles und die Suche nach dem Wesen des Jetzt	Seite 73
C. 1, Das aristotelische Konzept der Zeit	Seite 75
C. 1.1, Zeit als Kontinuum	Seite 75
C. 1.2, Zeit und Bewegung	Seite 76
C. 2, Die aristotelische Problematik der zwei Jetzt	Seite 78
C. 2.1, Das sich-wandelnde Jetzt	Seite 79

C. 2.2, Das beständige Jetzt	Seite 82
D, Erörterung des aristotelischen Zeit-Begriffes unter einsteinschen Parametern – ein Versuch des Vergleiches der Zeit in zwei Epochen	Seite 85
D. 1, Der Zeitbegriff im Rahmen der Zeitmessung	Seite 85
D. 1.1, Eine Annäherung an Einstein	Seite 88
D. 2, Raum und Zeit - Raumzeit	Seite 91
D. 3, Bezugssysteme und Bewegung	Seite 92
D. 4, Die Frage nach der Gleichzeitigkeit und dem Jetzt - Die Problematik der aristotelischen zwei Jetztte im einsteinschen Weltbild	Seite 93
D. 4. 1, Die Dimension der Gleichzeitigkeit	Seite 95
D. 5, Absolut relative Zeit?	Seite 96
E, Konklusio	Seite 98
Anhang: Was ist Zeit für Dich?	Seite 100
Quellenverzeichnis	Seite 105
Zeitschriftenverzeichnis	Seite 109
Bilderquellenverzeichnis	Seite 109
Curriculum Vitae	Seite 110

Introduction:

People are children of their time.

This is not just a poetic phrase but a fact. Therefore I state, you can't analyze a human being without giving credit to its social, cultural and economic environment. Every thesis, every theory develops in a certain time for a reason. It interacts with the environmental influences. This interaction will be investigated.

I want to analyze how the measurement of time is entangled with the concepts of time, simultaneity and now.

Two major epochs will face each other, namely the Greek antiquity of Aristotle, with its solar clock and clepsydra, and the German modernity of Albert Einstein, with its electric- and pocket watch.

Both Aristotle and Einstein are physicists and philosophers, how did their environment interact with their theories about time? Is there a connection at all? What is *simultaneity* for them? Will it be possible to show that the major difference in the theories is due to the different time measurements in these epochs?

All in all I will try to make a connection between Einstein and Aristotle, starting from Einstein's point of view on relative time and the relative *now*, while never forgetting the concept of measuring time with clocks.

Fragestellung:

Jeder Mensch ist ein Kind seiner Zeit.

Dies ist nicht nur ein poetischer Ausspruch, sondern Faktum. Man kann einen Menschen nicht losgelöst von seiner gesellschaftlichen und kulturellen Einbettung auf sein Mensch-sein hin untersuchen. Denn der Mensch per se entwickelt seine Ideen und Einstellungen nicht aus dem Nichts heraus, sondern in ständiger Interaktion mit seiner Umwelt. Aber was ist diese „seine Zeit“? Was haben Gesellschaft und Kultur mit ihr zu tun? Eben dieser Umstand wird von mir untersucht werden.

Ich will analysieren, wie die Praxis der Zeitmessung mit dem Konzept einer Gleichzeitigkeit, bzw. eines Jetzt-Begriffes in Verbindung steht.

Zwei Epochen stelle ich hierbei gegenüber: die Antike Aristoteles mit ihren Sonnen- und Wasseruhren und die Moderne Einsteins mit ihren elektrischen Zeitmessern und Taschenuhren.

Wie haben diese beiden großen Denker, Aristoteles und Einstein, ihres Zeichens beide zugleich Philosophen und Physiker, den Umgang ihrer Epoche mit der Zeitmessung in ihre Konzepte der Zeit einfließen lassen? Gibt es tatsächlich einen Zusammenhang?

Was ist Gleichzeitigkeit für sie? Kann man den Unterschied in den beiden Epochen fest machen und tatsächlich herausarbeiten, dass die verschiedenen Konzepte vor allem an den verschiedenen Zeitmessungsmethoden liegen?

Zusammenfassend werde ich versuchen, von den Konzepten Einsteins ausgehend, die relative Zeit bzw. das relative Jetzt, mit den Konzepten des Aristoteles zu vergleichen; wobei die Idee des Einflusses der Zeitmessungsmethoden stets mit einfließen wird.

Die Theorie dahinter ist simpel: Der Mensch als solcher ist nicht separat zu betrachten, denn er allein ist nicht was ihn ausmacht. Menschen sind eingebettet in ihr soziales Umfeld, ihre ökologische Umgebung sowie die Wissenschaft, Kultur, Kriege und Religionen ihrer Zeit. Manches beeinflusst mehr, anderes weniger; dies scheint auch individuell verschieden zu sein. So ist es sinnvoll, eine Theorie nicht abstrahiert von Zeit und äußeren Umständen ihrer Entstehung zu erörtern, sondern sie eingebettet in ihre Zeit zu analysieren. Ein Denker, welcher sich mit Hingabe über ein Thema Gedanken macht, wird von Ereignissen seiner Epoche und seinem näheren Umfeld geprägt. Umgekehrt können (populäre) Theorien das Verhalten der Menschen verändern. Gedankenkonstrukte können direkt übergehen in technische Neuerungen, in Revolutionen oder in neue Verhaltensmuster der Menschen. Es ist, bezugnehmend auf diesen Hintergrund, naheliegend, dass theoretische Überlegungen über die Natur der Zeit mit den praktischen Formen der Zeitmessung korrelieren. Einerseits eröffnen sich durch neue Definitionen der Zeit, welche die alten Rahmen sprengen, den Technikern und Erfindern zuvor undenkbare Möglichkeiten in der Uhren-Herstellung; andererseits beeinflusst der Umgang mit den Techniken der Zeit bzw. den Uhren (und damit der Form der Messung der Zeit) die Denker bezüglich deren Zeitbewusstsein.

Dieser Zusammenhang von Theorie und Praxis fällt bei jenen Menschen besonders ins Gewicht, welche sich ohnedies sowohl mit dem Geist als auch der Natur und ihrer Umwelt befassen, insbesondere Philosophen und Physikern.

Da Aristoteles und Einstein beide sowohl Physiker als auch Philosophen waren (wenn auch beide in einer sehr verschiedenen Art), stellen sie hier ein gutes Beispiel dar.¹ Da ich Epochen vergleichen will, zwischen denen sich in der Zeitmessung genügend verändert hat, so dass ich

¹ Wobei es zu Aristoteles Zeiten die Bezeichnung des Physikers in diesem Sinne natürlich noch nicht gab. Anm. der Autorin

hinreichend einleuchtende Schlüsse mit einfließen lassen kann, erscheinen mir diese beiden Denker als repräsentatives Beispiel.

Wenn man von einer Theorie ausgeht, welcher die Praxis der Zeitmessung zugrunde liegt, muss man sich freilich fragen: was ist Zeitmessung überhaupt?

Zeitmessung ist ein Mittel zur Orientierung. Mit ihrer Hilfe findet sich der Mensch in der Zeit zurecht. Das wirkt vielleicht etwas banal, wenn man es so darstellt; doch möchte ich ein Beispiel bringen, um diese These zu verdeutlichen. Das Beispiel ist der Raum.

Zeit wird vom Menschen ebenso zu Zwecken der Orientierung zerteilt, wie der Raum – der Mensch zog in der Geschichte imaginäre Linien in den Sand, damit teilte er immer mehr Bereiche ein und definierte Orte genauer.

Man kann nun sagen, dass dies rein praktikablen Hintergrund hat; dass Herrscher ihr Revier markieren wollten, Könige ihr Land abstecken und in weiterer Folge Bauern ihre Obstplantagen einzäunen; doch selbst hierbei handelt es sich bloß um das Bedürfnis des Menschen nach Übersichtlichkeit. Der Mensch neigt dazu, alles was ihn umgibt zu kategorisieren, einzuteilen damit er sich in den selbst erzeugten Grenzen sicherer fühlen kann. Er sucht nach einem Grundverständnis der großen Gegebenheiten, mit denen er dabei konfrontiert ist. Die zwei essentiellsten und allgegenwärtigsten Konzepte hierbei sind der Raum und die Zeit.

Nimmt man diese These an, so sieht man den logischen Verlauf der Geschichte: der Mensch versucht auch die Zeit zu definieren, sie immer kleiner zu zerteilen, um sich selbst einen Überblick zu verschaffen und um sich in den selbst erschaffenen zeitlichen Grenzen einzurichten.

Ist man in der Lage etwas zu kategorisieren, soweit, dass es alle Menschen anerkennen und demselben Konzept gehorchen, dann ist man viel mächtiger, als wenn man sich dem lapidaren, scheinbar grenzenlosen Geschehen der Natur fügt und hingibt.

Doch allein mit dem gedanklichen Konstrukt von Zeiteinheiten geht das nicht; was der Zaun des Konzeptes Raum ist, das ist die Uhr für die Zeit.

Eine Uhr ist mehr als ein Instrument, welches uns hilft nicht zu spät zu kommen. Eine Uhr ist im physikalischen Sinne ebenso der Herzschlag in uns, das Pulsieren eines Sterns, das Öffnen und Schließen einer Knospe, der Zerfall von Elementarteilchen und der Gang der Erde um die Sonne. Vielleicht ist diese immense Größe der Grund, weshalb die Zeit für uns seit jeher gleichermaßen so ungeheuer und doch so faszinierend ist, weil sie uns so nahe ist, weil sie in uns wohnt und alles bestimmt, mit dem wir zu tun haben.

Daher rührt der Drang, mit Hilfe der Uhren, die Zeit einzufangen. Sie immer kleiner zerlegen zu können, immer genauer über sie Bescheid zu wissen, um mit den Uhren der Zeit, und schließlich somit dem inneren Ticken des Universums, auf die Schliche zu kommen.

Je genauer unsere Uhr geht, desto näher kommen wir an unsere eigene effektive Gegenwart. Mit der immer kleineren Zerteilung der Zeit in ihre – und das ist eben die Hoffnung dahinter – elementaren Bausteine, kommen wir zur Essenz dieser Arbeit: Gleichzeitigkeit. Die Gleichzeitigkeit und das Jetzt sind die beiden Qualitäten, welche man mit immer exakterer Zeitmessung anstrebt, sie sind das denkbar kleinste Moment der Zeit.

Meiner Meinung nach sind diese beiden Begriffe untrennbar. Denn, wie wir oben gesehen haben, dient die Zeitmessung der immer kleineren Zerteilung der Zeit bis hin zum allerkleinsten Stück (sofern es dieses gibt). Wenn wir uns diesen infinitesimal kleinen Einheiten annähern, dann nähern wir uns auch dem was „gleichzeitig“, was „Jetzt“ ausmacht. Jetzt und gleichzeitig sind flüchtige „Momente“, welche, wenn man darüber nachdenkt, immer kleiner und unwirklicher werden, ebenso wie wir mit immer genaueren Uhren, immer kleinere Zeiteinheiten erhalten werden. Mit „Jetzt“ bezeichnen wir diesen kleinsten, flüchtigen Moment, der schon lange vorbei ist, wenn wir ihn ansprechen. Gleichzeitig können nur zwei „Jetzte“ sein, welche von derselben Uhr im gleichen Bezugssystem gemessen werden².

Somit ist „Jetzt“ und „gleichzeitig“ untrennbar miteinander sowie mit Zeitmessung verwoben.

Einleitung:

Zeit. Ein kurzes Wort mit großer Bedeutung. Seit der Antike, wenn nicht schon davor, fragen sich die Menschen nach dem essentiellen Charakter der Zeit.

Ist diese nur ein nominalistisches Konstrukt, also ein Konzept, welches der Mensch kreiert und in seinen Sprachgebrauch aufgenommen hat? Oder kommt der Zeit per se Existenz zu? Tausende Fragen drehen sich um das Thema Zeit – eine der grundlegendsten ist auch zugleich die allgemeinste: Was ist Zeit?

Psychologisch gesehen hat die Zeit zwei Hauptaspekte: einen subjektiven und einen objektiven.

Der subjektive Charakter der Zeit ist allen Menschen bekannt. So können zwei Menschen ein und dieselbe Situation je als lang- oder kurzweilig erfahren.

² Siehe Kapitel B, ff.

Der zweite Aspekt, ist der objektive Charakter der Zeit. Diesem möchte ich mich in meiner folgenden Arbeit widmen.

Auch hierbei gelangt man wiederum zum Anfang der kultivierten Menschheit. Die Frage nach dem Urstoff von etwas ist eine der philosophisch ältesten; Thales von Milet gab hierauf die Antwort, dass der Urstoff der Welt das Wasser sei. Heraklit setzte an die Stelle des Wassers das Element Feuer. Doch was ist der Urstoff der Zeit? Eine bis heute ungeklärte Frage – und vielleicht auch eine letztlich unklärbare Frage, wenn man bedenkt, was ich oben angeführt habe: nämlich, dass man sich philosophisch gar nicht sicher sein kann, ob der Zeit Sein zukommt, oder ob sie bloß ein sprachliches, also nominalistisches, Konstrukt ist. Geht man der Frage nach dem Urstoff nach, stößt man irgendwann auf die Zerlegbarkeit der Zeit. Die Zeit kann und wird in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft unterteilt. Dieses Konzept ist uns Menschen schon lange bekannt; wahrscheinlich da es empirisch ist und uns somit leicht zugänglich und verständlich erscheint. Alles, an das ich mich erinnere, welches aber nicht mehr aktuell ist, ist die Vergangenheit. Jenes, was gerade ist, ist die Gegenwart, das Jetzt. Dasjenige, wofür ich plane und von dem ich nur hoffen kann, dass es kommen wird, was man aus empirischer Erfahrung heraus allerdings durchaus erwarten kann, dies nennen wir Zukunft.

Die zweite und vielleicht fragwürdigste dieser Zeitspannen, die Gegenwart, will ich genauer untersuchen. Was ist das Jetzt? Ein Punkt im Zeitkontinuum? Gibt es dies überhaupt? Und wenn ja, ist das Jetzt überall gleichzeitig „Jetzt“? Was bedeutet in diesem Kontext „gleichzeitig“? Ist Gleichzeitigkeit überhaupt in jeder physikalischen Konvention feststellbar? Die Beantwortung dieser Fragen ist stark mit dem Umgang und der Art der Zeitmessung verbunden - mit immer präziseren Zeitabfolgen nähert man sich asymptotisch dem Konzept des Jetzt und der Gleichzeitigkeit an.

Der Zeit sind wir Menschen unterworfen. Ich denke, dass dies wohl auch der psychologische Schlüssel dazu ist, warum sich der Mensch so viel mit der Zeit und Zeitmessung beschäftigt. Doch dies sei nur als Überlegung festgestellt.

Sicher ist allerdings, dass der Mensch sehr viel Zeit, Energie und Geld darin investiert, die Zeit zu zerlegen, um sich ihrer Grundsubstanz zu nähern.

In den kommenden Kapiteln werde ich einen kurzen Überblick über die Geschichte der Zeitmessung geben; dabei wird es, wie ich hoffe, klar werden, dass und wie der Mensch der Zeit immer mehr an die Substanz rücken wollte und immer noch will.

A, Zeitmessung

Es stellt sich beim Herangehen an eine solche Fragestellung natürlich die Herausforderung zu verstehen, wie Zeitmessung überhaupt entstanden sein könnte, und wie sie sich entwickelt hat. In welche Richtung zeigt die Kausalitätsstruktur? Hat die Kultur die Zeitmessung beeinflusst? Haben die Techniken der Zeitmessung die Kultur geprägt oder ist dies ein rekursiver Prozess?

Ich werde nun zuallererst einen Überblick über die Entwicklung der Zeitmessung(en) geben und im Zuge dessen versuchen einige dieser Fragen zu beantworten.

A. 1, Herkunft und erste Grundgedanken

Die erste und ursprünglichste aller Uhren für den Menschen ist die Sonne.

Sie gibt der Erde einen regelmäßigen Zyklus vor. Somit ist ein Rhythmus des Lebens per se gegeben und die Menschen konnten ein Verständnis für (natürliche und zugleich lebenswichtige) Zeitabläufe entwickeln.

Mit der Sonne beginnt also die erste Einteilung unseres Lebens in zeitliche Abschnitte. Es erscheint in weiterer Folge als natürlicher und praktikabler Prozess, dass wir danach streben die Zeit immer genauer zu messen, sie in immer kleinere Aspekte zu zerlegen.

Diesem Prozess steht ein theoretisches Interesse gegenüber. Mit Demokrit und Leukippos kam der Atomismus auf³, gefolgt von ihren Gegnern (allen voran Aristoteles). Die Grunddebatte dahinter ist, ob es ein unteilbares, kleinstes Element der Welt gibt, also ob dem Teilen (dem Unter- und dem Zerteilen) irgendwo eine natürliche Grenze gesetzt ist, oder ob der Teilungsprozess ad Infinitum weiter geführt werden kann.

Ich denke, dass die Frage nach der Zeit somit auch den Wunsch impliziert auf diese Ur-Frage, nach Teilbarkeit per se und dem Urstoff der Welt, eine Antwort zu finden.

Zumindest meine ich, dies schwingt unbewusst mit. Ich spreche hier nicht von den allgemein nachvollziehbaren Einteilungen etwa in Tag und Nacht, sondern von der Teilung der Zeit in, für den gemeinen Menschen nicht nachvollziehbar kleinen Einheiten, wie etwa 10^{-9} Sekunden, also in Nanosekunden. Einen rein praktischen Zweck, wie es dies zu Beginn der Zeiteinteilung hatte, gibt es nun nicht mehr⁴. Somit ist der Schluss meinerseits, dass diese Teilung einen philosophischen Urtrieb des Menschen befriedigen soll.

³ Dawid, Richard, *Vom antiken Atomismus zu modernen Elementarteilchen*, Skriptum aus dem WS 2009/10, Universität Wien, S.: 6

⁴ Ich spiele hiermit auf einen praktischen Nutzen für den Menschen als Menschen an; der Mensch als Techniker zieht natürlich einen großen Nutzen aus dem Zerteilen der Zeit in

A. 2, Eine kurze Geschichte der Zeitmessung

A. 2.1, Der Kalender

„Die Astronomen können mit der Zeit nicht so „herumspielen“ wie wir Normalbürger. Schließlich beobachten sie das Uhrwerk des Himmels – ein Uhrwerk, das weder an Schaltjahren einen Sprung macht noch sich jedes Mal zurückstellte, wenn ein Herrscher oder Papst den Kalender reformierte“⁵

In vielen alten Kulturen wurde angenommen, dass die Himmelskörper die Zeitabläufe beherrschen. Dieser Gedanke und die Einsicht, wie wichtig die Sonne für das Überleben auf Erden ist, führten zu zahlreichen Sonnen- und Mondkulten. Die Himmelskörper wurden mit Götterbildern identifiziert, sie wurden verehrt.⁶

Heute werden die Himmelskörper in der Wissenschaft nicht mehr mit Göttern gleichgesetzt, dennoch kommen ihnen nicht weniger wichtige Attribute zu. Die grundlegendste Einteilung von Zeitabschnitten wird anhand der Sonne, des Mondes und unserer Erde vorgenommen.

Ein Jahr ist eine volle Umlaufbahn der Erde um die Sonne. Der veränderte Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, welche die Erde bei dieser Bewegung treffen, bringt die Jahreszeiten, da die Erde sich bei der Drehung neigt: Frühling, Sommer, Herbst und Winter mit sich.

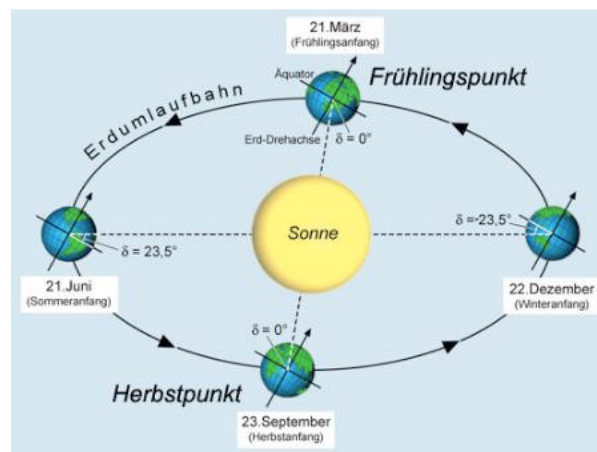


Bild 1: Die Umlaufbahn der Erde um die Sonne

Nanogrößen und darunter. Doch die Frage die sich stellt ist nach wie vor: wozu? Wozu (von technischen Neuerungen abgesehen) und warum will der Mensch der Zeit an den Kragen? Hierbei geht es nun in erster Linie nicht um Messbarkeit per se sondern um den philosophischen und psychologischen Hintergrund, welcher den Menschen antreibt. Anm. d. Autorin.

⁵ Seife, Charles, *Zwilling der Unendlichkeit – Eine Biographie der Zahl Null*, 3. Auflage, Goldmann, 2002, S.: 68

⁶ Berrens, Stephan, *Sonnenkult und Kaisertum von den Severern bis zu Constantin I. (193-337 n. Chr.)*, Historia Einzelzeitschriften 185, Stuttgart 2004, S.: 143 ff

Ein Jahr wird heute in 12 Monate unterteilt. Ein Monat ist in etwa die Periodendauer eines Mondumlaufes um die Erde. Diese Bewegung des Mondes und seine Anziehungskraft auf die Erde bewirkt u.a. die Gezeiten (Ebbe und Flut).

Ein Tag ist definiert als eine vollständige Drehung der Erde um ihre eigene Achse. Diese Drehung einmal „hin zu“ und einmal „weg von“ der Sonne bringt uns die Abwechslung von Tag und Nacht und dauert ungefähr 24 Stunden.

Die 7-Tage-Woche kommt aus der jüdischen Tradition. Die Zahl sieben ist in der Kabbala mit mystischen Eigenschaften belegt und spielt eine wichtige Rolle.⁷ Sieben ist hier die Zahl der Vollendung, also eine ganze Periode, eine Umdrehung vom Beginn hin um Ende und wieder zurück an den Start.⁸

In der Entstehung des Kalenders, wie wir ihn heute kennen, galt es noch einige technische Schwierigkeiten zu bewältigen, denn zwischen der Unterteilung des Jahres und der Anzahl der Monate und Tage besteht kein ganzzahliger Zusammenhang.⁹ Dies ist der Grund, weshalb viele Kulturen abweichende Kalender besitzen.

Die heutige Einteilung des Jahres in 365 Tage geht vermutlich auf die alten Ägypter zurück

„Sie hatten bereits, wie die Sumerer, 12 Monate zu je 30 Tagen, dazu aber noch 5 Tage zu Ehren der Gottheit Sothis (des hellsten Fixsterns, Sirius).“¹⁰

Die Mayas konnten, dank ihres herausragenden astronomischen Verständnisses, schon lange vor den Ägyptern, anhand der Sonne, ein Jahr auf genau 365,242 Tage berechnen. Das Wissen der Mayas wurde in der westlichen Welt allerdings lange Zeit nicht als wertvoll betrachtet.

Julius Cäsar reformierte 47 v. Chr. das römische Jahr mit seinen 10 Monaten und führte das 365-Tage-Jahr ein (Antrieb dahinter war das ägyptische System, dem er nacheiferte).

Im julianischen Kalender war ein Jahr 12 Minuten länger als ein tatsächlicher Sonnenzyklus. Papst Gregor XIII. führte 1582 die bisher letzte Kalenderreformation durch. Er adaptierte den julianischen Kalender, mit der Änderung, dass volle Hunderter-Jahre keine Schaltjahre mehr sein dürfen, sofern sie nicht durch 400 teilbar sind. Der zuvor erwähnte 12-Minuten Fehler des Kalenders, hat sich dadurch auf 26 Sekunden reduziert. Zusätzlich „entfielen“ im Jahr

⁷ Seife, Charles, *Zwilling der Unendlichkeit – Eine Biographie der Zahl Null*, 3. Auflage, Goldmann, 2002, S.: 88

⁸ Riedler, W. und Kirchner, D. in: *Das Phänomen Zeit*, Horvat, Manfred (Hg.), 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984, S.: 66

⁹ Ebenda, S.: 65ff

¹⁰ Ebenda, S.: 66

1582 der 5. bis 14. Oktober um diesen Fehler völlig zu beseitigen. Der gregorianische Kalender wurde aber nicht von allen Kulturen bzw. Religionen übernommen.

England wartete mit der Adaption bis 1752, sie mussten bei der Einführung schließlich 12 Tage entfallen lassen.

Russland musste 13 Tage ausfallen lassen, als es 1918 den Kalender übernahm.

Die orthodoxe Kirche folgte der Reform bis heute nicht und feiert aus diesem Grunde Weihnachten immer noch nach dem julianischen Kalender am 6. Jänner.

Ähnlich wie mit der Anerkennung des Gregorianischen Kalenders verhält es sich mit der, oben angesprochenen, jüdischen 7-Tage-Woche. Diese wurde nicht sofort von allen übernommen.

Der römische Kalender hatte zu Beginn eine 10-Tage-Woche.

In der Sowjetunion gab es 1929 die 5-Tage-Woche und später eine 6-Tage-Woche.

A. 2.2, Jahreszahl

Die Frage „Welches Jahr haben wir?“ ist keineswegs trivial, sie hat etwas durchaus Paradoxes an sich. Es verhält sich nämlich so, dass keineswegs die gesamte Weltbevölkerung sich im gleichen Jahr befindet.

- So befindet sich die jüdische Zeitmessung bereits im sechsten Jahrtausend. Sie zählt die Jahre ab dem Zeitpunkt der biblischen Schöpfung der Welt, die Hillel II. nach den biblischen Chroniken auf das Jahr 3761 v.Chr. errechnete.¹¹ Das regelmäßige Jahr hat 354 Tage, 12 Monate, im Schaltjahr 13 Monate.
- Der am weitesten verbreitete islamische Kalender zählt in Mondjahren, er ist also ein reiner Mondkalender, genannt „hidschri qamari“. Dieser Kalender beginnt am 16. Juli 622 mit der Auswanderung des Propheten Mohammeds aus Mekka.¹² Ein Mondjahr ist um einiges kürzer, als ein Sonnenjahr. Somit ist der hidschri qamari schwer mit anderen Kalendern, welche auf dem Sonnenjahr basieren, vergleichbar.
- Der persische Kalender beginnt seine Zeitrechnung ebenfalls mit dem Auszug Mohammeds aus Mekka. Allerdings ist dieser Kalender ein Sonnenkalender und somit mit dem gregorianischen vergleichbar. Der Zeitraum vom 21. März 2007 bis 19. März 2008 wäre laut persischem Kalender das Jahr 1386.

¹¹ Seggewiß, Wilhelm, *Kalenderkunst*, in: <http://www.astro.uni-bonn.de/~seggewis/kalender.pdf>

¹² Ebenda.

- Den gregorianischen Kalender, welcher fast überall auf der Welt bevorzugt verwendet wird, habe ich oben schon vorgestellt.

Doch selbst in diesem gibt es einige Ungereimtheiten. Sie basieren darauf, dass die Zahl Null in Europa sehr lange nicht anerkannt wurde. Dadurch wurde das Jahr um Christi Geburt, welches den gregorianischen Kalender beginnen lässt, mit „1“ deklariert. Als der Mönch Beda um 730 n. Chr. damit begann den Kalender auch für „vor Christi Geburt“ anzuschreiben, setzte er das Jahr vor Christi Geburt mit „1 v. Chr.“ an – somit fehlt in der christlichen Zeitrechnung ein ganzes Jahr: das Jahr null.

Dieses fehlt in der Tat bis heute und man feiert somit den jeweiligen Jahreswechsel immer ein Jahr zu früh.¹³

Einen Kalender frei von religiösen oder mathematischen Verirrungen gibt es auch: den astronomischen Kalender. Die Astronomen legen ihre Zeitrechnung in die Sterne. Sie lassen sich nicht von irdischen Kalendern irritieren; denn im All gibt es weder Schaltjahr noch Kalenderreform, noch religiöse Zwänge. Die Astronomen zählen die Tage seit dem 1. Jänner 4713 v. Chr. Diesen Tag legte 1583 der Franzose Joseph Scaliger fest. Seit damals rechnen die Astronomen mit dem julianischen Datum – nicht allerdings benannt nach Julius Cäsar, sondern nach Julius, dem Vater von Scaliger.¹⁴

A. 3, Die erste Uhr

Die natürlichen Zeiteinteilungen, welche durch die Planetenbewegung entstehen, habe ich oben schon ausführlich behandelt. Tag und Nacht sind von Natur aus gegeben - Stunden, Minuten, Sekunden sind abgeleitete menschliche Konstruktionen.

Die Einteilung des Tages in 24 Stunden geht auf die Ägypter zurück, die Teilung der Stunde in 60 Minuten auf die Babylonier.¹⁵

Die Frage nach der ersten Uhr der Menschheit muss unterteilt werden in die erste natürliche Uhr und die ersten künstlichen Uhren.

¹³ Vgl. Seife, Charles, *Zwilling der Unendlichkeit – Eine Biographie der Zahl Null*, 3. Auflage, Goldmann, 2002, S.: 67

¹⁴ Ebenda, S.: 68

¹⁵ Riedler, W. und Kirchner, D. in: *Das Phänomen Zeit*, Horvat, Manfred (Hg.), 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984, S.: 67

Definition:

Die Unterteilung in „natürliche“ und „künstliche“ Uhren entsteht aus einer persönlichen Definition meinerseits. Wie gleich anschließend erörtert werden wird, gehören Sonnenbasierte Uhren zu den wenigen natürlichen Uhren, da sie auch ohne menschliches Zutun existieren. Neben der Sonnenuhr fallen unter diese Definition noch rein stellare-Uhren, wie blinkende Sterne, oder diverse atomare Zerfallszeiten. Zur Uhr per se werden all diese klarerweise erst durch menschliche Interpretation, Messung und zugefügter Bedeutung. Die Unterscheidung zu den „künstlichen“ Uhren wird klar, wenn man sich vor Augen hält, dass es bei künstlichen Uhren einiges mehr bedarf, als nur menschliche Interpretation, um Zeitanzeiger zu sein.

Die Wasseruhr, und alle folgenden Uhren, werden der Kategorie der so genannten „künstlichen“ Uhren untergeordnet sein.

A. 3.1, Die Sonnenuhr – die erste natürliche Uhr

„Absque sole – absque usu“

(Ohne Sonne – kein Nutzen)

Inscription einer antiken Sonnenuhr¹⁶

Nach dem heutigen Wissensstand wird davon ausgegangen, dass alle uns bekannten Kulturen als erste Art der Zeitmessung die Sonne verwendeten. Es entstanden in fast allen Regionen Sonnenuhren.

Diese erste Art der Uhr ist insofern eine „natürliche“ da all ihre Bestandteile ohnehin vorhanden sind; die Sonne scheint ohne menschliches Zutun; die Erde dreht sich um die Sonne, ebenfalls, ohne dass der Mensch dies beeinflussen könnte. Für eine Sonnenuhr bedarf es nur mehr einen Stab, der aus der Erde ragt (und auch das gibt es teilweise in der Natur, man denke nur an einem spitzen Stein, oder einen Baum ohne Blätter. Vielleicht waren ja sogar solche Anblicke der Anstoß für den Bau einer Sonnenuhr).

Welche Kultur die erste war die eine Sonnenuhr benutzte, ist ungeklärt. Es ist bekannt, dass man in Ägypten schon 5000 v. Chr. und in China 3000 v. Chr. die Zeit mit der Sonne messen konnte.

¹⁶ Levine, Paul, *Eine Landkarte der Zeit*, 15. Auflage, Piper, München, 2009, S.: 91



Bild 2: Antike Sonnenuhr

Die einfachste Art der Sonnenuhr, ist der so genannte *Gnomon*, den die Griechen „Schattenjäger“ nannten. Dies ist ein denkbar simples Prinzip. Man steckte einen Stab in den Boden und verfolgte den Lauf des Schattens, der von besagtem Stab ausgeht.

Wenn es teurer sein durfte, verwendete man Obelisken. Wichtig bei beiden Arten ist die Spitze: damit die Schatten gut sichtbar und eindeutig sind, war die Spitze mit einer kleinen Kugel versehen, oder spitz zulaufend.

Da der Sonnenstand auch von der Jahreszeit abhängt, wurden die Ziffernblätter mit komplexen Einteilungen versehen.

In der Antike wurde der Stab der Uhr immer senkrecht zum Boden aufgestellt oder senkrecht zur Wand, an der er angebracht war.

Modernere Gnomone, so wie in Bild 3 ersichtlich, werden parallel zur Erdachse gestellt. Sein Neigungswinkel gegen die Ebene des Horizontes ist gleich der geographischen Breite des Standortes.

Man unterscheidet aus eben diesem Grund drei Typen von Sonnenuhren: die Äquatorialsonnenuhr, die Horizontalsonnenuhr und die Vertikalsonnenuhr.¹⁷

¹⁷ Riedler, W. und Kirchner, D. in: *Das Phänomen Zeit*, Horvat, Manfred (Hg.), 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984, S.: 68



Bild 3: Gnomon

Für eine exakte Zeitmessung mit Hilfe der Sonne, muss man zusätzlich die Ekliptik, also die scheinbare Bahn der Sonne, beachten. Die Ekliptik der Sonne ist dem Erdäquator gegenüber geneigt. Dadurch ergeben sich unterschiedlich lange Sonnentage im Vergleich zu einem mittleren Sonnentag. Es bedarf einem Korrekturwert. Hierfür verwendet man die so genannte „Zeitgleichung“¹⁸ um aus der wahren Sonnenzeit die, für uns angepasste, mittlere Sonnenzeit, zu erhalten.

A. 3.2, Die ersten künstlichen Uhren

Der Begriff der künstlichen Uhr, wird von mir so definiert, dass eine Uhr genau dann künstlich ist, wenn es ein menschliches Zutun verlangt, um sie zu bauen.

Die Sonnenuhr ist aus oben genannten Gründen nicht in die Liste der künstlichen Uhren aufgenommen.

A. 3.2.1, Die Wasseruhr

Die erste Uhr die ohne Sonnenlicht funktionierte, war die Klepsydra, griechisch für „Wasserdiebin“, also eine Wasseruhr.

¹⁸ Die Zeitgleichung hier ausführlich zu erörtern, würde den Rahmen dieses Abschnittes sprengen und ist weiters kein essentieller Teil dieser Arbeit. Anm. der Autorin.



Bild 4: Antike Wasseruhr

Einfache Formen der Wasseruhren sollen schon um 3000 v. Chr. in Ägypten verwendet worden sein.¹⁹

Wie in Bild 4 ersichtlich, besteht die antike Wasseruhr im Grunde aus einem Tontopf. In dieses Gefäß füllt man eine gewisse Menge Wasser, die dann langsam durch ein kleines Loch im Boden abfließt. Der Wasserspiegel zeigt an wie viel Zeit vergangen ist.

Über die Jahrhunderte wurden viele Formen der Klepsydra, alle mit dem gleichen Prinzip, gestaltet, welche teilweise sehr kunstvolle Ausmaße annahmen (so z.B.: die Wasseruhr von Ktesibios aus Alexandria (etwa 3. Jhdt. v. Chr.)).

Die Wasseruhr war für die Antike sehr prägend. Der Mensch hatte zum ersten Mal die Möglichkeit Zeit immer und (fast-)überall messen zu können. Es war ein Schritt der Emanzipation von den Umwelteinflüssen. Die Klepsydra wurde in Griechenland – und später auch im römischen Reich – u.a. dazu eingesetzt, die Redezeit bei Gericht zu begrenzen. Bei Platon kann man dies sogar nachlesen: er schreibt im *Theaitetos*, dass die Männer immer in Eile sprechen, weil das fließende Wasser sie dazu auffordert.²⁰ Auch im alten Rom wurden Wasseruhren zu Gericht wichtig. Aus dieser Zeit stammen die Ausdrücke: „aquam dare“

¹⁹ Riedler, W. und Kirchner, D. in: *Das Phänomen Zeit*, Horvat, Manfred (Hg.), 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984, S.: 69

²⁰ Platon, *Theait*, Rowohlt, 172e

(Wasser zugestehen) und „aquam perdere“ (Wasser verlieren) was gleichbedeutend mit je mehr oder weniger Redezeit ist.

A. 3.2.2, Die Feueruhr

Neben der Wasseruhr gab es auch die Feueruhr.

Sie war vor allem in China, Japan, Tibet, Indien und im heutigen Irak üblich. Sie funktioniert nach einem sehr ähnlichen Prinzip, wie die Wasseruhr, nur dass hier nicht die Schwerkraft die Arbeit leistet, sondern das Feuer. Man musste nur eine Skala abbrennen.

Man konnte mit speziellen Ölen Uhren bauen, die auf diese Art über Monate hinweg brannten und die Zeit angaben.

Es gab auch hier, wie bei der Klepsydra, unterschiedlich komplexe Systeme. Kerzenuhren, Räucherstäbchenuhren, etc.

Die Feueruhr mag ebenso alt sein wie die Wasseruhr, vielleicht sogar älter, man kann dies aber leider, wegen fehlender Quellen in der Literatur, nicht genau eruieren.

Gewiss ist, dass Wasser und Feuer die ersten Werkzeuge des Menschen zum Messen der Zeit waren.

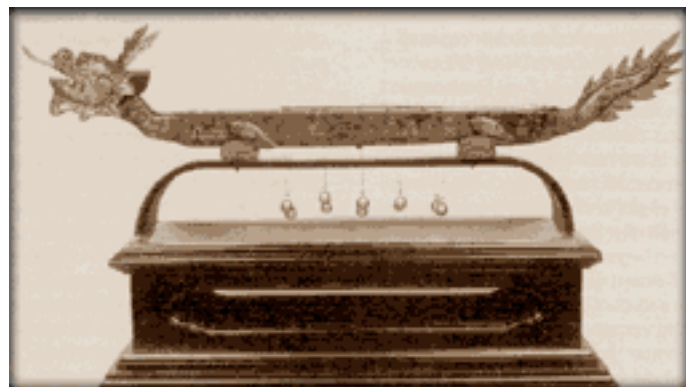


Bild 5: Chinesische Feueruhr

Bei diesem Exemplar brennt oben im Halter (in Form eines Drachens) ein Räucherstäbchen ab. Dieses verbrennt dabei auch die Schnüre, an denen kleine Kügelchen (wahrscheinlich aus Metall) befestigt sind. Man misst die Zeit, indem man die heruntergefallenen Kugeln zählt.

A. 3.2.3, Die Sanduhr

So mancher Leser wird an dieser Stelle die Sanduhr vermisst haben, doch diese ist bei weitem nicht so alt, wie man vielleicht glauben mag.

Aus dem Altertum sind keine Sanduhren bekannt. Die erste verlässliche Quelle über eine Sanduhr stammt aus dem 14. Jahrhundert. Sie entstand etwa zeitgleich mit der Räderuhr, also

verhältnismäßig spät.²¹ Die Sanduhr hatte gegenüber dieser ersten mechanischen Uhr allerdings einen großen Vorteil: sie war im Vergleich sehr viel billiger und auch praktischer; so konnte man sie auch auf See verwenden, was mit den damaligen riesigen Uhrwerken nicht möglich war.

Der Vorteil der mechanischen Uhr dagegen war ihre Präzession.

A. 4, Mechanische Uhren

„Schließlich dann wurde in einer kleinen Stadt in Italien die erste mechanische Uhr gebaut.

Die Menschen waren fasziniert. Später waren sie entsetzt. (...)

Man würde ihr huldigen müssen“²²

Es gibt historische Belege für mechanische Uhren ab dem 14. Jahrhundert.²³

Die Idee einer mechanischen Uhr ist es, sehr präzise und vor allem ohne äußere Einflüsse die Zeit zu bestimmen.

Die Technik, welche hinter den diversen mechanischen Uhrwerken steht, ist in der Lage, die Zeit viel präziser und in kleineren Einheiten anzugeben, als die zuvor bekannten „natürlichen“ und „künstlichen“ Uhren. Aber nicht nur, dass diese Uhren präziser und störungsunempfindlicher sind als ihre Vorgänger, eine bzw. mehrere mechanische Uhren haben den Vorteil, dass sie sehr einfach miteinander synchronisiert werden können. Dass eine Uhr die richtige Zeit anzeigt, war früher nicht so selbstverständlich wie heute. Selbst im direkten Vergleich konnte man nicht sicher sein, ob die Eichuhr richtig geht, da gerade die ersten mechanischen Uhren oft große Ungenauigkeiten aufwiesen. Darum war von Vorteil, wenn die Uhren zumindest einmal richtig eingestellt und synchronisiert wurden.

Die ersten mechanischen Uhren waren große Instrumente, welche zunächst in einigen Klöstern und großen Kirchen angebracht wurden. Sie sollten vor allem dem Klerus die Zeit für die sieben Tagesgebete läuten.²⁴ Diese Uhren hatten noch kein großes Ziffernblatt außen an der Kirche, wie wir es heute kennen, sie sollten die Zeit nicht anzeigen, sondern lediglich die Stunde läuten.²⁵

Mit der Erfindung der mechanischen Uhren kam nicht nur Fortschritt. Der gesamte menschliche Rhythmus wurde umgestaltet. Mechanische Uhren sind nicht nur hilfreiche

²¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Sanduhr>

²² Lightman, Alan, *Und immer wieder die Zeit*, Hamburg, 1994, S.: 173ff

²³ <http://de.wikipedia.org/wiki/Uhr>

²⁴ www.wandel-der-zeit.de/die_uhr.html

²⁵ Levine, Paul, *Eine Landkarte der Zeit*, 15. Auflage, Piper, München, 2009, S.: 93

Zeitanzeiger, wenn man eine Verabredung hat; sie diktieren den Menschen auch den Tag. Sie geben rhythmisch vor, wie lange man arbeiten muss usw. Sie sind viel strengere Regulanten, als die zuvor erwähnten natürlichen oder künstlichen Uhren. Früher waren Uhrzeiten eines Treffens sehr vage, wie etwa „im Morgengrauen“ oder „zum Sonnenuntergang“; man konnte kaum unpünktlich sein, schließlich gab es ja keine definierten Uhrzeiten, wie der Historiker Daniel Boorstin sehr schön beschreibt:

„So long as mankind lived by raising crops and hearing animals there was not much need for measuring small units of time. The seasons were all-important – to know when to expect the rain, the snow, the sun, the cold. Why bother with hours and minutes? Daylight time was the only important time, the only time when men could work. To measure useful time, then, was to measure the hours of the sun.“²⁶

Diese erste präzise Form der Zeitmessung, welche durch die mechanischen Uhren ermöglicht wurde, schlug sich auch im Sprachgebrauch nieder. Es treten Begriffe wie das englische „speed“ (Geschwindigkeit / Eile) in Schriftstücken auf;²⁷ die Menschen begannen „pünktlich“ zu sein. Dies erhielt erstmals Bedeutung, denn man konnte nun auch unpünktlich sein.

Somit wurde das Diktat der Zeit enger um die Bürger geschnallt.

Wie jede Entwicklung, hatte die Erfindung der mechanischen Uhren auch positive Aspekte; einer davon ist die Individualisierung der Zeit und somit ein Schritt der menschlichen Evolution hin zum selbstbestimmten Individuum. Mechanische Uhren waren die ersten Zeitanzeiger, welche „jeder“ Bürger (der wohlhabend genug war) selbst zuhause haben konnte, die er, später dann, am eigenen Handgelenk tragen konnte.

Dies war der erste Schritt für ein relativistisches Zeitverständnis²⁸.

A. 4.1, Räderuhren

Die Räderuhr besteht aus vier Hauptbestandteilen: der Energiespeicher, das Räderwerk mit Gangregler, das Zeitnormal mit Hemmung und das Zeigerwerk.

Die Energie, welche die Uhr benötigt, erhält sie klassischer Weise durch ein langsam fallendes Gewicht. Dieses Gewicht ist meist mit einem Seil am Antrieb der Uhr befestigt.

²⁶ Boorstin, Daniel J., *The Discoverers – a History of Man's search to know his World and Himself*, New York, Randomhouse, 1st Vintage Books Collection, 1985, S.: 26

²⁷ Levine, Paul, *Eine Landkarte der Zeit*, 15. Auflage, Piper, München, 2009, S.: 95

²⁸ Mehr hierzu siehe Kapitel: B, Der Zeitbegriff bei Albert Einstein – die Frage nach der Gleichzeitigkeit

Die vom Energiespeicher gelieferte und vom Räderwerk übertragene Antriebsenergie wird durch die Hemmung an den Gangregler abgegeben und hält dessen Schwingung aufrecht. Der Gangregler wiederum steuert die Hemmung, die das Ablaufen des Uhrwerks in einen gleichmäßigen Takt unterteilt. Die Anzeige wird vom Räderwerk in diesem Takt weiter geschaltet, an ihr kann man die Zeit ablesen.²⁹ Die Räderuhr war auch die erste bekannte Uhr, welche mit Ziffernblättern ausgestattet waren.³⁰



Bild 6: Räderuhrwerk

Diese erste mechanische Uhr brachte einen großen Fortschritt. Nun konnte man jederzeit auf der Kirchenglocke die Zeit ablesen³¹.

A. 4.2, Federuhren

Die Uhrwerke der Federuhren wurden durch eine gespannte Feder angetrieben – daher der Name.

An dieser spezifischen Uhr ist allerdings nicht die Technik der interessanteste Aspekt, sondern vielmehr ihr Verdienst zur Personalisierung von Uhren. Die Federuhren waren die

²⁹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Uhr>

³⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Zifferblatt>

³¹ Zwar hatten die ersten mechanischen Uhren wie zuvor erwähnt, noch kein Ziffernblatt, doch die späteren Uhren hatten eine gut lesbare Anzeige.

ersten (mechanischen) Zeitmessgeräte, welche in Miniaturform hergestellt werden konnten und wurden. Sie stellen den Beginn von Tisch- und Taschenuhren dar.³²

Damit einher geht ein Wandel des Zeitbegriffs. Uhren konnte man nun immer mit sich tragen, jeder (der es sich leisten konnte) hatte „die Zeit“ bei sich zuhause.

Zeit war nun allgegenwärtig, portabel und mobil.

Zeit und Zeitmessung werden zu einem privaten Asset und Accessoire. Die damaligen Uhren wurden sehr aufwendig verziert und geschmückt. Zeitmessung als Prestigeobjekt.

Dieser Aspekt wird noch dadurch betont, dass diese Uhren zwar elegant, aber keineswegs korrekt waren. Zeitabweichungen von bis zu einer ganzen Stunde waren nicht unüblich.³³

Dennoch galt es als schick, die Zeit mit sich zu führen. Besonders schöne Uhren galten gar als Statussymbol und sind auch in der gehobenen Malerei dieser Epochen in diversen Kunstwerken - neben den üblichen Globen, Büchern und teurem Gewand - zu sehen.³⁴

A. 4.3, Pendeluhren

Ich schicke vorweg, dass ich die Pendeluhr als Uhr mit in diese Liste aufnehme, obgleich ich mir hierbei der Widersprüche in der strengen Definition von Uhren im Sinne des Philosophen und Physikers Hans Reichenbach (1891-1953) bewusst bin. Dieser schrieb hierzu:

„Actually, pendulum clocks are not clocks because they are not closed systems. They move only because of the earth's gravitational force, which belongs to the class of universal forces and could be eliminated by definition.“³⁵

Ich bin allerdings der Meinung, dass man mit einem strengen Ausschlussverfahren wohl jede „Uhr“ als Nicht-Uhr entlarven könnte. So ist die mechanische Uhr, zwar nicht von der Erdanziehung abhängig, sehr wohl aber von äußeren Faktoren, wie dem Menschen, der sie aufzieht oder den kleinen Rädchen, die sie antreiben. Wasseruhren würden dem selben Argument zum Opfer fallen, wie die Pendeluhr, denn sie funktionieren nur dank der Gravitation. Selbst stellare Uhren (wie ich sie in Kapitel A. 7, erwähnen werde) sind kein komplett geschlossenes System.

Somit kann man entweder jede Uhr ausschließen, oder den fruchtbareren Weg gehen und die Pendeluhr in den Uhren-Begriff inkludieren. Ich wähle die zweite Möglichkeit.

³² Riedler, W. und Kirchner, D. in: *Das Phänomen Zeit*, Horvat, Manfred (Hg.), 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984, S.: 75

³³ Ebenda, S.: 75

³⁴ Vgl. Bild 7,

³⁵ Reichenbach, Hans, *The Philosophy of Space and Time*, Dover, New York, 1957, S.: 119

Mit der Erfindung der Pendeluhr war der Durchbruch der mechanischen Uhren komplett – von da an waren sie nicht mehr wegzudenken. Vor allem, da die Pendeluhren die ersten Uhren waren, die über eine äußerst genaue Zeitmessung verfügten.

Die Idee der ersten Pendeluhr wird dem italienischen Astronom und Physiker Galileo Galilei (1564–1642) zugeschrieben.³⁶ Dieser entdeckte um 1636, dass es Systeme gibt, welche sich unabhängig von der Amplitude mit konstanter Schwingungsdauer bewegen; dieses Phänomen nennt man Isochronismus.

Etwa 15 Jahre später verband der niederländische Physiker und Astronom Christian Huygens die gängigen Pendelgesetze mit der Idee der Zeitmessung und wies nach, dass ein Pendel genau dann isochrom ist, wenn sich sein Massenmittelpunkt zyklisch³⁷ bewegt.

Der Bau der ersten Pendeluhr war, von hier an, nur mehr ein verhältnismäßig kleiner Schritt. Das Pendel sorgt für den gleichmäßigen Gang der Uhr, eine Feder oder ein Gewicht bewegt das Uhrwerk.

Das Hauptproblem der Pendeluhren war, dass deren Genauigkeit stark temperaturabhängig ist, weil sich die Länge des Pendels (welches meist aus Messing oder Eisen bestand) je nach Temperatur verkürzt oder verlängert. Da ein kurzes Pendel schneller schwingt als ein langes, konnten Ungenauigkeiten auftreten, die sich über den Tag hinweg summierten. So würde z.B.: ein Messingpendel, bei einer Temperaturerhöhung von 10° Celsius eine tägliche Ungenauigkeit von 9 Sekunden liefern.

Um diesem Problem entgegenzuwirken, entwickelte der Uhrmacher Georg Graham (1673-1751) die „Quecksilberkompensation“ und das „Rostpendel“. Hierbei nützt man die unterschiedliche Wärmeausdehnung verschiedener Metalle, um den Pendelschwerpunkt in seinem Drehpunkt konstant zu halten.

Was man damit nicht ausmerzen konnte, ist die Erschütterungsempfindlichkeit von Pendeluhren, wie wir sie auch noch heute kennen.

A. 4.4, Uhren mit Unruhschwingsystem – Die Zeitmessung sticht in See

1675 stellte Christiaan Huygens der Royal Society die erste Unruh-Uhr vor. Das Uhrwerk besteht hierbei aus Unruh und Spiralfeder. Die Unruh bildet das Herz des Schwingsystems. Es ist der Teil, der genau in einer Sekunde einmal hin- und her schwingt. Die Feder sorgt für die

³⁶ Riedler, W. und Kirchner, D. in: *Das Phänomen Zeit*, Horvat, Manfred (Hg.), 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984, S.: 78

³⁷ Das Zykloid ist eine mathematische Kurve. Zyklisch sind Vorgänge, wenn sie einem speziellen Kurvengraphen ähnlich oder gleich sind.

Rückstellkraft und erfüllt somit die äquivalente Aufgabe zur Gravitationskraft bei der Pendeluhr.

Der große Vorteil der Uhren mit Unruh ist ihre große Amplitude. Während dem Pendel nur einige wenige Grad der Auslenkung zur Verfügung stehen, beträgt die Amplitude der Unruh-Uhren bis zu 300° . Das heißt, dass diese Uhren in (fast) jeder Lage funktionieren; dies machte sie perfekt für die Seefahrt.

Da die Seefahrt immer populärer wurde, stieg auch das Bedürfnis nach exakter Bestimmung der geographischen Länge auf See. Der Physiker Isaac Newton (1642–1727) entwickelte eine Methode, mit welcher man diese Länge messen konnte. Allerdings benötigte man dazu eine exakte Uhr, welche nicht von Temperatur- oder Feuchtigkeitsschwankungen beeinflusst wurde. Der Tischler John Harrison (1693-1776) sollte diese Herausforderung bewältigen. Es gelang ihm, auf Grundlage von Unruh-Uhren, vier Chronometer zu bauen, die alle Erwartungen noch übertrafen.

Mit diesen Geräten gelang es 1761 auf der Strecke England – Jamaica den geringen Fehler in der Berechnung der geographischen Breite von nur $1\frac{1}{4}$ Minuten, also etwa $1\frac{1}{2}$ Seemeilen, zu erhalten.

A. 4.5, Taschenuhren

Die erste Taschenuhr wurde um die Jahrhundertwende von 1500 auf 1600 in Nürnberg vom Uhrmacher Peter Henlein entwickelt; das so genannte „Nürnberger Ei“.³⁸ Sie funktionierte mit einem Federtriebwerk.

Die Taschenuhren wurden sehr schnell beliebt, galten als Statussymbol und waren in ganz Europa verbreitet.

Allerdings waren diese Federuhren sehr ungenau, da sie so störungsempfindlich waren.

Dieses Manko konnte um 1700 mit Christiaan Huygens Erfindung der Unruh Spiralfeder behoben werden.³⁹ Da die Taschenuhren nun auch sehr präzise sein konnten und waren, steigerte sich ihrer Popularität noch mehr.

Der Aufschwung der Taschenuhr brachte einerseits eine Vereinheitlichung der Uhrzeit mit sich, da es nun standardisierte, persönliche Uhren gab. Andererseits, und dies wird vor allem in den späteren Kapiteln von Wichtigkeit sein, bedeuteten die Taschenuhren auch eine Relativierung von Zeit als solcher, da jede Uhr von der nächsten abwich. Ebenso trug diese

³⁸ Vgl. <http://www.fliegeruhren-buse.de/fliegeruhren-infos/taschenuhren/geschichte.html> oder <http://de.wikipedia.org/wiki/Taschenuhr>

³⁹ siehe Kapitel: A. 4.4, Uhren mit Unruhschwingsystem – Die Zeitmessung sticht in See.

Erfindung zur Dezentralisierung der Zeit bei. Wo es früher nur eine einzige (Kirchen-)Uhr gab, eine absolute Zeit so zu sagen, gibt es nun viele kleine, dezentralisierte Zeiten. Jeder Bürger, der es sich leisten konnte, trug seine eigene, kleine Zeit.

Mit genauer Zeitmessung hatte dies zu Beginn nicht viel zu tun, wie oben erwähnt; doch der einzelne Mensch hatte nun die Macht, immerzu in die eigene Tasche zu langen um dort nach der Zeit zu sehen; die Zeit war nun ständig zugänglich.

Das diese Uhren nur wenig mit der tatsächlichen Zeitmessung zu tun hatten⁴⁰, schien die Taschenuhrträger nicht weiter zu tangieren. Dies zeigt schon, dass Zeit eher etwas Modisches, als etwas Wissenschaftliches an sich hatte. Es ging weniger darum genau zu wissen wann es „Schlag drei Uhr“ war, als die prinzipielle Macht zu besitzen, eine Zeit bei sich zu haben. Wie bei den meisten Statussymbolen ging es also während der ersten Stunden der Taschenuhr weniger um die Praktikabilität als um das rein Ästhetische.

Ein weiterer Effekt, welchen die Taschenuhr mit sich brachte, war das Bewusstsein, dass Zeiten voneinander abweichen können. Dass Zeit, per se, relativ ist, wurde in diesen frühen Epochen der Uhr nicht bedacht, da die Grundeinstellung hierfür noch nicht gegeben war. Zeit war, obgleich durch menschliches Können jetzt auf Metallkreisen ablesbar, etwas Göttliches und somit absolut. Die physikalischen Grundvorstellungen und die Vorstellungen über die Natur und somit auch über die Natur der Zeit waren noch nicht soweit, Zeit als etwas Relatives anzusehen; auch dann nicht, wenn zwei Uhren nebeneinander eine andere Zeit anzeigten.⁴¹

Trotzdem, die Taschenuhr war die erste Uhr, mit der man zwei verschiedene Zeiten nebeneinander erleben konnte, in dem man mit seinem Nächsten die Uhren verglich. Das sollte man nicht vergessen, wenn man sich später auf die Frage der Relativität der Zeit einlässt.

⁴⁰ Denn selbst mit genauem Uhrwerk waren doch die Uhren noch zu stellen und je nachdem, wer die Uhr einstellte und nach welcher Referenzuhr, wichen die Uhrzeiten der diversen Taschenuhren drastisch voneinander ab. Anm. d. Autorin

⁴¹ Genauere Ausführungen hierzu finden Sie ab Kapitel: B, Der Zeitbegriff bei Albert Einstein – die Frage nach der Gleichzeitigkeit



Bild 7: Diego Velázquez
Maria Theresia von Spanien („Mit den zwei Uhren“)
Die Taschenuhr als Statussymbol

A. 5, Elektrische Uhren

Mit der flächendeckenden Stromversorgung der Haushalte und Fabriken im 19. Jhdt. kamen auch elektrische Uhren.

Die erste elektrische Uhr gab es schon um 1839. Sie wurde vom Physiker und Astronom Carl August von Steinheil (1801 – 1870) erfunden.⁴² Wirklich gebräuchlich wurden der Umgang und die Nutzung von elektrischen Uhren erst um 1950.

Es gibt verschiedene Grade in der Herstellung von elektrischen Uhren, die einfachsten solcher Uhren haben nur einen elektrischen Antrieb. Auf der anderen Seite dieser graduellen Unterscheidung stehen Uhren, welche komplett elektrisch laufen: hier fehlt das Räderwerk zur Gänze und die Zeitanzeige ist digital.

Elektrische Uhren sind schon sehr genaue Zeitmesser; ihre Gangschwankung beträgt im Mittel nur ± 0.2 Millisekunden pro Tag.

Die elektrischen Uhren haben den großen Vorteil, dass sie, im Gegensatz zu ihren Vorgängern, sehr präzise und störungsunempfindlich sind. Zeitmessung wurde dank ihnen noch zuverlässiger.

⁴² Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.), *Normen mit Umrechnungstabellen für die gesetzlichen Einheiten*, Beuth, Berlin, 1976, S.: 50

A. 6, Atomuhren

Atomuhren beruhen auf den Strahlungsübergängen der Elektronen aus freien, also ungebundenen, Atomen. Diese Übergänge geschehen mit einer gewissen Frequenz (Häufigkeit), welche durch eine Referenzuhr übernommen werden; schließlich bedarf es nur mehr einer digitalen Zeitanzeige.

Die erste Moleküluhr wurde 1948 von Harold Lyons gebaut; sie funktionierte schon wie die heutigen Atomuhren, nur dass sie auf molekularen Strukturen basierte, statt auf atomaren.

Die erste wirkliche Atomuhr erfand J.J. Rabi. Er entdeckte, dass Atome Impulse mit exakt definierten Frequenzen abgeben. Im Jahr 1955 wurden Cäsiumatome zur Frequenzstabilisierung benutzt. Daher auch der Name „Cäsiumatomuhr“.

Die modernste Atomuhr ist die NIST-F1, eine so genannte Cäsium-Fontäne, welche im National Institute of Standards and Technology steht. Sie hat einen Gangunterschied von ca. 1 Sekunde alle 100 Millionen Jahre.⁴³

Da selbst Erdrotation oder auch die Umlaufzeit der Erde um die Sonne gewissen Schwankungen unterliegen, und Atomuhren um einiges genauer sind, wurde 1967 die astronomische Zeitdefinition durch eine atomare ersetzt. Die so genannte Internationale Atomzeit (TAI, *Temps Atomique International*) ist der Mittelwert von 260 Cäsiumatomuhren in 60 Instituten weltweit.

A. 7, Die genaueste natürliche Uhr – zurück zu den Sternen

Es gibt einige Sterne in den Galaxien die pulsieren, das heißt sie senden mit einer gewissen Frequenz Lichtstrahlen aus. Diese Frequenzen sind bei manchen Sternen so exakt, ihr Gangunterschied so verschwindend gering, dass sie zu den präzisesten Uhren überhaupt gehören.

Ein solcher Stern ist G117-B15A, ein weißer Zwerg im Sternbild des kleinen Löwen. Die Zu- und Abnahme der Lichtintensität, welche wir von G117-B15A empfangen, hat eine Periode von 215.2 Sekunden, was bedeutet, dass diese sich um nur eine Sekunde alle 14 Millionen Jahre verschiebt. Damit ist G117-B15A die genaueste optische Uhr.⁴⁴

⁴³ http://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_clock

⁴⁴ <http://en.wikipedia.org/wiki/G117-B15A>

A. 8, Die genaueste Uhr – Quantenuhren

Quantenuhren basieren auf Magnesium und Aluminium Ionen⁴⁵. Die beiden Stoffe werden in einer elektromagnetischen Falle festgehalten; was bedeutet, dass sie das elektromagnetische Feld, in dem sie sich befinden, nicht verlassen können. Die Stoffe werden dann mit einem Laser bis fast zum absoluten Nullpunkt⁴⁶ herunter gekühlt - in diesem Zustand erfolgt jegliche Bewegung extrem langsam.

2008 haben Physiker des National Institute of Standards and Technology (NIST) die erste Quantenuhr gebaut. Der Gangunterschied dieser Uhr beträgt 1 Sekunde pro Milliarde Jahre. 2010 gelang es der Gruppe rund um Chin-wen-Chou vom NIST eine noch genauere Uhr zu bauen. Hierbei benutzten sie nur ein einzelnes Aluminium Atom. Diese Uhr verliert ca. eine Sekunde alle 3.4 Milliarden Jahre und ist damit mehr als doppelt so genau, als ihre Vorgängerin.⁴⁷

⁴⁵ Ein Ion ist ein elektrisch geladenes Atom. Anm. der Autorin

⁴⁶ Der „absolute Nullpunkt“ entspricht 0° Kelvin oder auch -273° Celsius. Anm. d. Autorin

⁴⁷ C.-W. Chou, D. B. Hume, J. C. J. Koelemeij, D. J. Wineland, T. Rosenband, *Frequency Comparison of Two High-Accuracy Al⁺ Optical Clocks*, Phys. Rev. Lett. 104, 070802, 2010

B, Der Zeitbegriff bei Albert Einstein – die Frage nach der Gleichzeitigkeit

„Raum und Zeit waren, als Einstein begann, die Physik umzukrempeln, eine unveränderliche Bühne, auf der das Schauspiel der Körper und Kräfte stattfand.“⁴⁸

Als der Physiker Albert Einstein 1905 seine spezielle Relativitätstheorie (SRT) aufstellte, sorgte er damit nicht nur in der naturwissenschaftlichen Gesellschaft für Aufregung. Seine Theorien über eine neue Physik und die neue Art über die Ereignisse in der Natur nachzudenken, brachten auch einen neuen Umgang mit dem Phänomen Zeit mit sich. Dieser neue Zeitbegriff ist von großer Bedeutung im philosophischen Kontext. Anders, als noch in der neuzeitlichen Physik Newtons, ist Zeit nun nicht mehr als ein Absolutes zu sehen, welches in sich eine stetige Einheit bildet, sondern als ein relatives Konzept, welches als solches veränderlich ist.

Der Zeitbegriff des Albert Einstein ist bestimmt einer der meistbesprochenen und zitierten Begriffe seit seiner Entstehung. Meist wird er falsch oder lapidar verwendet: „alles ist relativ“ hört man des Öfteren.

Doch was steckt tatsächlich hinter den berühmten Theorien Einsteins? Was ist Zeit für ihn? Welche physikalischen aber auch philosophischen Implikationen trägt der relative Zeitbegriff in sich?

Ich werde in diesem Abschnitt versuchen einen Einblick in die Physik der Zeit bei Einstein zu geben. Eine kleine physikalische Grundausrüstung wird mitgeliefert, da sie unabdingbar ist. Doch der Hauptteil wird geprägt sein, von philosophischen Überlegungen zu diesem aufregenden neuen Zeit-Konzept, welches wir Albert Einstein verdanken.

B. 1, Relative Zeit

„Da sich das Licht so schnell ausbreitet, spielte der Unterschied zwischen Einstein und Newton früher kaum eine Rolle, doch durch die unglaubliche Präzision der Atomuhren wird heute die Differenz gewaltig.“⁴⁹

Bevor ich in medias res gehe und den einsteinschen Begriff der Gleichzeitigkeit erläutere, möchte ich zuvor den Zeit-Begriff bei Einstein im Allgemeinen näher bringen.

⁴⁸ Pössel, Markus, *Das Einstein Fenster- Eine Reise in die Raumzeit*, 1. Auflage, Hoffmann und Campe, Hamburg, 2005, S.: 16

⁴⁹ Faustmann, Thirring, *Einstein entformelt, wie ihm ein Teenager auf die Schliche kam*, 1. Auflage, Seifert, Wien, 2007, S.: 20

Was unterscheidet die Zeit bei Einstein von der absoluten Zeit der klassischen Physik? Was macht Relativität bei Einstein aus und wie hängt dies mit dem Begriff der Zeitdilatation zusammen?

In den folgenden Kapiteln, wird die Rede von Zeit und Gleichzeitigkeit sein. Doch nicht etwa von der Zeit, die wir Menschen wahrnehmen. Denn diese Zeit ist nicht nur stark subjektiv, sondern auch eher absolut und damit einem klassischen Weltbild unterworfen.

Bei Isaac Newton wurden Raum und Zeit physikalisch so beschrieben, wie der Mensch sie wahrnimmt: nämlich auf sich, den Menschen und seine Welt, bezogen. Raum und Zeit, in der wir uns bewegen, waren als absolut gesetzt. Damit geht einher, dass all unsere Maßstäbe, seien es Uhren, Längenmaße, Gewichte und dergleichen, ebenso absolut, also universal gültig und einsetzbar waren.

Mit Einsteins Physik hat sich dies alles geändert. Die moderne Physik öffnete einen ganz anderen Blickwinkel – und zwar einen nach außen. Der Blick führte weg von einem neuzeitlichen Begriff vom alles dominierenden Menschen hin zu einem Universum in dem wir bloß eine untergeordnete Rolle spielen. Nämlich die eines Bezugssystems unter vielen. Nichts Besonderes haftet unserer Erde an (zumindest nichts für die Relativitätstheorie Relevantes). Es gibt hier also nicht mehr ein ausgezeichnetes System, nachdem alle anderen sich richten müssen, sondern jedes Inertialsystem⁵⁰ hat seine eigenen Definitionen von Maßstäben und Uhren.

Ein gemeinsames Ganzes, welches all diese Systeme verbindet und vergleichbar macht, ist die universale Naturkonstante c , die Lichtgeschwindigkeit, über die im einsteinschen System alles definiert wird.

Was die Zeit ausmacht, ist bei Einstein schwer zu begreifen, da sie unserem persönlichen Verständnis von Zeit und Zeiterleben krass gegenüber steht. Dass Zeit im einsteinschen Sinne relativ ist, „erlebt“ man erst wenn man sich mit Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit bewegt und es ist dem Menschen (oder besser gesagt, jeglicher Materie mit einer Ruhemasse größer als null Kilogramm) leider versagt, diese Geschwindigkeiten tatsächlich zu erreichen.⁵¹

⁵⁰ Vgl. Abschnitt: B, 1.2, Definition des Inertialsystems

⁵¹ Aus gegebenem Anlass muss darauf hingewiesen werden, dass es laut aktuellen Messungen von CERN und OPERA möglich sein könnte, dass Neutrinos (Elementarteilchen mit sehr kleiner Masse) schneller sind als Photonen. Vgl.: <http://arxiv.org/pdf/1109.4897v1> Anm. d. Autorin.

Zeit ist also relativ, doch wie macht sich das bemerkbar? Was sind die physikalischen Implikationen dieser Behauptung?

Am besten beschrieben wird dies durch das Phänomen der Zeitdilatation.

Wenn man sich in das einsteinsche Weltbild begibt, wird man nicht darum herum kommen, sich mit dem Begriff der Zeitdilatation, der Längenkontraktion und der Massenambivalenz auseinander zu setzen. Für diese Arbeit am wertvollsten ist natürlich der Begriff der Zeitdilatation, welcher die paradox anmutenden Eigenschaften einer relativistischen Zeit beschreibt. In einem Satz gesagt: „Bewegte Uhren gehen langsamer“.

Die Überlegung ist, dass in einem System, welches sich mit annähernder Lichtgeschwindigkeit bewegt, die Zeit langsamer vergeht, als in einem System welches sich relativ dazu bewegt. Bewegt „man“ sich mit c , so vergeht keine Zeit. Bewegt „man“ sich schneller als mit c , kann man sich rückwärts in der Zeit bewegen.

Relativität gilt im Allgemeinen für jede beliebige Geschwindigkeit. Erst bei annähernder Lichtgeschwindigkeit allerdings werden diese Effekte tatsächlich beobachtbar.

Ein zweiter Aspekt der relativistischen Zeit, welcher unserem Alltagsverständnis widerstrebt, ist, dass Ereignisse, welche in einem System „A“ zu einer gewissen Zeit⁵² geschehen, in einem anderen System „B“ keineswegs auch genau zu dieser Zeit geschehen (oder um diese Zeit wahrgenommen werden-) müssen. Dies steht im Kontrast zu den Vorstellungen über die Zeit und ihre Natur so wie sie in der klassischen Physik noch angenommen wurden.

Wenn zwei Bezugssysteme relativ zueinander bewegt sind, so messen sie unterschiedliche Zeiten und auch die Dauer eines Ereignisses (oder zwischen zwei Ereignissen) wird anders wahrgenommen.

Hierzu gibt es das berühmte Beispiel, der in gegensätzliche Richtungen bewegten Raketen. Die Aussagen der Besatzung der Raketen werden nicht übereinstimmen, wenn sie nach der Uhrzeit gefragt werden, da sie sich so schnell aneinander vorbei bewegen, sich selbst aber als annähernd ruhend empfinden.⁵³

⁵² An dieser Stelle eine genaue Uhrzeit als Beispiel anzuführen (etwa 12.30 Uhr) wäre im relativistischen Kontext streng genommen falsch. Um in beiden Räumen von „12.30 Uhr“ sprechen zu können, bräuchten beide einen gemeinsamen Ursprung, von dem aus die Zeit weggerechnet wird. Doch in der Relativitätstheorie geht man von einem affinen Raum aus, also einem Raum ohne ausgezeichneten Ursprung.

⁵³ Vgl.: Abschnitt B, 1.3,

Dies führt uns zum dritten komplexen Teil der Zeit im relativistischen Weltbild: da es verschiedene Inertialsysteme gibt, welche sich selbst als „ruhend“ wahrnehmen, sehen diese Systeme alle anderen als bewegt an; während diese wiederum sich selbst in Ruhe und somit mit normaler Zeit- und Raummessung empfinden. Diese Existenz verschiedener Inertialsysteme war bis zur modernen Physik undenkbar. In der klassischen Physik gab es die Vorstellung eines ausgezeichneten Systems: die Erde. Zwar war diese in der neuzeitlichen Vorstellung nicht mehr der Mittelpunkt des Universums (wie man es noch im Mittelalter annahm) und sie galt auch nicht als ruhend (wie es Aristoteles mit seiner Idee des Nusschalen Universums erdachte), doch herrschte in der Neuzeit ein recht anthropozentrisches Weltbild. Der Mensch, sein Können und sein Glauben standen im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses. Dadurch „eingeschränkt“ ging auch die Physik von einem ausgezeichneten Inertialsystem Erde aus. Dieses eine System gibt die Naturgesetze, Geschwindigkeiten, Längen und Zeiten vor, das restliche Universum hat sie zu übernehmen.

Mit Einsteins relativistischer Physik fielen diese Vorstellungen.

Diese drei Aspekte (dezentralisiertes Menschheitsbild, verworrene Kausalitätsstruktur und vom menschlichen Empfinden abstrahierte physikalische Gesetze) der relativistischen Zeit muss man erst akzeptieren, bevor man sich tiefer auf die physikalischen und philosophischen Implikationen einlassen kann.

Sie alle haben gemeinsam, dass sie im Kontrast zu einer absoluten Zeit der neuzeitlichen Physik stehen.

Dies liegt vor allem daran, dass mit Einstein die Lichtgeschwindigkeit als obere Geschwindigkeitsgrenze eingeführt wurde. Gäbe es keine solche, oberste, Grenze (wie es noch in der klassischen Physik war), wäre Zeit durchaus als absolut zu setzen. Es gäbe absolute Gleichzeitigkeit und keinerlei Kausalitätsproblematik.

Ich werde auf all diese Aspekte nun in den folgenden Kapiteln genauer eingehen.

B. 1.2, Definition des Inertialsystems

In der modernen Physik seit Einstein gibt es keine ausgezeichneten Inertialsysteme / Bezugssysteme, wie sie noch in der klassischen Physik Newtons gebraucht wurden.

Doch was bedeutet das konkret? Was ist überhaupt ein Inertialsystem?

Ein Inertialsystem ist ein physikalisch „abgeschlossenes“ System. Das heißt, es ist unbeschleunigt, es wirken keine äußeren Kräfte und die Gesetze der Physik gelten. In einem

Inertialsystem wird zudem eine gemeinsame Zeit angenommen. Körper bewegen sich innerhalb eines Inertialsystems mit der gleichen Eigenzeit und können in Bezug auf dieses System beschrieben werden. Dies ist eine mathematische Näherung, welche große rechnerische Vorteile mit sich bringt.

Erst, wenn man zu einem Inertialsystem ein anderes System in Bezug setzt, kommen die Gesetze der Relativität voll zum Tragen.

Jedes Inertialsystem hat seine eigene Definition von Gleichzeitigkeit (darum beobachten zwei relativ zueinander bewegte⁵⁴ Raumschiffe beide, dass die jeweils andere Uhr langsamer geht (da man sich ja selbst in Ruhe fühlt))⁵⁵. Jedes System misst mit den eigenen Maßstäben und Uhren und dem eigenen Begriff von Gleichzeitigkeit und somit geht die jeweils andere Uhr langsamer.

Diese Definition führt dazu, dass es keine universale Gleichzeitigkeit, keine universalen Längenmaße und generell keine universalen Maßstäbe gibt, denn ihre jeweiligen Eichstandards sind an das jeweilige System gebunden.

Einige mathematisch-physikalische Definitionen helfen den Naturwissenschaftlern bei der Bestimmung von Inertialsystemen:

.) jedes System, in dem die Naturgesetze gelten, ist ein Inertialsystem.

.) jedes Bezugssystem, welches sich relativ zu einem Inertialsystem mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, ist ebenfalls ein Inertialsystem.

.) jedes Inertialsystem muss invariant unter Lorentztransformation sein. Das heißt, die physikalischen Gesetze dürfen sich nicht auf Grund von Rotationen oder Schüben ändern.⁵⁶

Die Umwandlung von einem in ein anderes System durch solche Transformationen dürfen die Naturgesetze nicht ändern; das neue System muss ebenso die Lorentzsymmetrie erhalten.

Wenn also auf der Erde ein Apfel, wegen der Gravitationskraft⁵⁷, auf den Boden fällt, dann wird jedes andere, relativ zur Erde bewegte, Inertialsystem diesen Apfel auch fallen sehen, ganz egal, wie schnell es sich bewegt. Die Relativität von Zeit und Länge betrifft nur die Form des Apfels, seine zurückgelegte Wegstrecke und die Dauer des Falles. In keinem

⁵⁴ Es ist hier von Bedeutung zu erwähnen, dass diese Raumschiffe, so wie die meisten Systeme in der speziellen Relativitätstheorie, als *unbeschleunigt* gedacht werden. Dies ist eine Idealisierung zwecks mathematischer und physikalischer Vereinfachung.

⁵⁵ Für eine ausführlichere Erklärung siehe: B. 1, 2, Die Realität der Zeitdilatation

⁵⁶ Kostelecky, A., *Perspectives on lorentz and cpt violation*, <http://arxiv.org/abs/0802.0581v1>

⁵⁷ Oder der gekrümmten Raumzeit oder da es sein natürlicher Ort ist... welchem System man nun glauben schenken mag und mit welcher Wirklichkeitsvorstellung man sich anfreunden kann, Fakt bleibt: der Apfel fällt zu Boden.

möglichen System wird der Apfel von der Erde aufsteigen und am Baum enden; dies ist eine Konsequenz der Lorentzinvarianz.

B. 1.3, Die Realität der Zeitdilatation

Geht man von der Existenz mehrerer Inertialsysteme aus, welche sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aneinander vorbei, aufeinander zu oder voneinander weg bewegen, kommt es zu zwei physikalischen Phänomenen: der Längenkontraktion (oder Lorentz-Kontraktion, nach dem Physiker Hendrik A. Lorentz) und der Zeitdilatation.

In jedem abgeschlossenen System gelten die Naturgesetze und es gibt gewisse, einheitliche Maße. So ist ein Meter am Nordpol genauso lang wie am Südpol, ein Kilogramm wiegt in Paris so viel wie in Wien und eine Stunde vergeht am Äquator so schnell wie in Australien. Das liegt daran, dass die Erde ein Inertialsystem⁵⁸ bildet.

Ein gleichwertiges Inertialsystem ist z.B.: eine Rakete⁵⁹. Wenn sich nun diese Rakete mit hoher Geschwindigkeit an der Erde vorbei bewegt, erscheint es den Besatzungsmitgliedern so, dass der Meter auf der Erde kürzer ist, als der Meter an Bord, und die Uhren auf der Erde scheinen viel langsamer zu gehen, als die der Rakete. Umgekehrt sieht die Bevölkerung der Erde die Maßstäbe der Rakete verkürzt und die Uhren ebenso langsamer gehen.

Dies rührt daher, dass die Erdbewohner glauben ihr System ruht; sie sehen die Rakete vorbeiziehen und damit deren Maßstäbe kürzer bzw. Uhren langsamer. Von der Rakete aus allerdings sieht es so aus, als würde die Erde schnell an ihr vorbeiziehen und die Rakete in Ruhe sein.

Dies sind die relativistischen Effekte der Längenkontraktion und der Zeitdilatation. Man kennt dieses Phänomen aus der Alltagserfahrung sowie der Alltagssprache. Sitzt man in einem Zug, welcher sich in Bewegung befindet, so wird man davon reden, dass die Landschaft „vorbei zieht“, man wird dies auch als solches wahrnehmen, obgleich sich der Verstand zu Wort meldet und zu Recht darauf hinweist, dass man selbst derjenige ist welcher

⁵⁸ Die Erde ist tatsächlich nur in guter Näherung ein Inertialsystem. Da sie der Gravitation ausgesetzt ist, wirkt eine Kraft auf sie; doch wie so oft in der Physik idealisiert man solche Modelle. Anm. d. Autorin.

⁵⁹ Die Physiker verwenden in solchen Beispielen so gerne das Bild der „sich schnell bewegenden Rakete“, da es hier leichter vorstellbar ist, dass sich diese mit annähernder Lichtgeschwindigkeit bewegt, als wenn man von einer Weltraumkuh reden würde, welche an der Erde vorbei eilt. In Wahrheit ist es allerdings egal, welches abgeschlossene System sich an einem anderen System vorbei bewegt; auch eine Kuh würde die relativistischen Effekte beobachten. Allerdings hätte die Kuh im Weltall ganz andere Sorgen.... Sauerstoffmangel wäre eine davon. Anm. d. Autorin.

sich bewegt. Beispiele mit Zügen wurden auch von Einstein selbst gerne verwendet, da sie die Problematik gekonnt vor Augen führen. Allerdings sind Bewegungen von Zügen viel zu langsam, um als *relativistisch* eingestuft zu werden.

Da Zeitdilatation wie ein absurdes physikalisches Gedankenexperiment anmutet, würde man nicht vermuten, dass sie unsere Alltagswelt betrifft. Doch es gibt einige durchaus realistische Implikationen.

So gibt es Teilchen, die so genannten Myonen, welche auf der Erde gemessen werden können, obwohl sie schon längst zerfallen sein sollten.

Myonen haben eine ungefähre Lebensdauer von $2.2 \cdot 10^{-6}$ Sekunden im Ruhesystem.

Produziert werden diese Teilchen in unserer Atmosphäre durch die Höhenstrahlung (in etwa 30km Höhe). Sie sollten nach einer zurückgelegten Strecke von ungefähr 660 Meter zerfallen (also auf der Erde nicht mehr messbar) sein. Das Kuriose allerdings ist, dass Myonen durchaus in Messstationen auf der Erde detektieren werden. Sie müssten also viel weiter fliegen als nur 660 Meter. Dafür wiederum müssten sie viel länger leben, als sie es eigentlich können. Wie ist das möglich? Die Lösung des Rätsels ist, dass Myonen sich sehr schnell bewegen. Die Myonen befinden sich in ihrem Ruhesystem, sie bewegen sich nicht und zerfallen nach ihrer Lebenserwartung von $2.2 \cdot 10^{-6}$ Sekunden. Von den Teilchen aus betrachtet, kommt die Erde mit einer sehr hohen Geschwindigkeit auf sie zu. So schnell, dass keine $2.2 \cdot 10^{-6}$ Sekunden vergehen, bevor sie den Erdboden erreichen (bzw. der Erdboden sie erreicht). Man kann dies relativistisch auch anders herum formulieren. Die Erde ruht und die Myonen bewegen sich mit annähernder Lichtgeschwindigkeit auf die Erde zu. Da bewegte Uhren langsamer gehen, tickt auch die innere Uhr der Myonen bei einer solchen, schnellen Bewegung langsamer. Dadurch schaffen es die Teilchen, trotz ihrer kurzen Lebenserwartung die ca. 30 Kilometer hinter sich zu bringen, bevor sie zerfallen.

Dies ist ein praktisches Beispiel für die effektiven Auswirkungen der Relativitätstheorie auf unsere Umwelt.⁶⁰

⁶⁰ Vgl. Ecker, Gerhard, *Elektrodynamik, Theoretische Physik 3*, Skriptum aus dem WS 05/06, Universität Wien, S.: 91

B. 2, Zur Definition der Gleichzeitigkeit bei Einstein

„Die Gleichzeitigkeit zweier bestimmter events (sic!) in bezug (sic!) auf ein Inertialsystem involviert die Gleichzeitigkeit dieser events in bezug auf alle Inertialsysteme. Dies ist gemeint, wenn man sagt, die Zeit in der klassischen Mechanik ist absolut.“⁶¹

„Ohne Gleichzeitigkeit keine Messung der Geschwindigkeit (...). Der Grund kann aber auch sein, dass es gar keine „natürliche Gleichzeitigkeit“ gibt, die man der Natur abschauen könnte, sondern dass Gleichzeitigkeit ein Konzept ist, das man definieren muss.“⁶²

Der Begriff der „Gleichzeitigkeit“, bzw. wann zwei Ereignisse „gleichzeitig“ stattfinden, gab vor der einsteinschen Physik keinerlei Probleme auf. Da Raum und Zeit bei Newton, und somit also in der klassischen Physik, als absolut gesetzt waren, war es keine Frage, ob es verschiedene „Gleichzeitigkeiten“ geben könne, da es ja noch nicht einmal vorstellbar war, verschiedene *Zeiten* zu haben. Die Physik Newtons beschreibt ein ausgezeichnetes Inertialsystem, in welchem die Gesetze der Physik gelten.

Wenn man also zwei Ereignisse in einem Inertialsystem als gleichzeitig wahrnimmt (oder misst), dann ist dieses Ereignis auch in allen anderen möglichen Inertialsystemen gleichzeitig. Der Physiker Walter Heitler (1904-1981) fasste die Grundzüge der klassischen Mechanik sehr gekonnt zusammen:

„Die logische Struktur dieser klassischen Physik trägt folgende Merkmale: Die Geschehnisse der Außenwelt (stets auf die leblose Natur beschränkt) laufen in absolut kausaler, durch strenge, raumzeitliche Gesetze beschriebener Weise ab. Das Raum-Zeit-Kontinuum, in dem diese Ereignisse sich abspielen, entspricht dem absoluten Raum-Zeit-Begriff Newtons und hat die Eigenschaften, die wir vom alltäglichen Leben her gewohnt sind.“⁶³

Mit Einstein und der Relativität der Zeit fällt diese Definition weg. In der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie ist kein Inertialsystem ausgezeichnet. Dadurch wird der Begriff der Gleichzeitigkeit sehr komplex.

⁶¹ Einstein, Albert, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 24. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2009, S.: 102

⁶² Pössel, Markus, *Das Einstein Fenster- Eine Reise in die Raumzeit*, 1. Auflage, Hoffmann und Campe, Hamburg, 2005, S.: 33

⁶³ Heitler, Walter, in: Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1955, S.: 98

„Daß die Gleichzeitigkeit von Vorgängen an entfernten Stellen eine Sache der Definition ist, war unbekannt, bevor Einstein seine spezielle Relativitätstheorie auf diese logische Entdeckung begründete.“⁶⁴

fasst Hans Reichenbach sehr treffend zusammen, was sich mit der Beschreibung der SRT für die Welt der Physik und auch der Philosophie eröffnet hat, bzw. woraus die daraus resultierenden Missverständnisse entstanden. Die Fragen, die sich nun stellen sollten, waren zuvor nie gefragt worden, da sie in einer newtonschen Mechanik (oder auch einer antiken Physik) bedeutungslos gewesen wären.

Zeit bzw. Gleichzeitigkeit wird bei Einstein über Lichtsignale, also durch die konstante Lichtgeschwindigkeit, definiert. Zwei Ereignisse sind gleichzeitig, wenn ihre Lichtsignale (also im Übertragenen Sinne die Information darüber, dass sich diese Geschehnisse ereigneten) zugleich beim Empfänger eintreffen. Dies misst jeder Beobachter in seinem eigenen Bezugssystem, mit den Maßstäben und Uhren des jeweiligen Systems. Zeit und Gleichzeitigkeit sind also abhängig vom Inertialsystem. Der springende Punkt hierbei ist nun, dass die Zeit sehr wohl unterschiedlich schnell (oder langsam) vergehen kann; dies hängt vom gewählten System ab. Wenn System A sich in „Ruhe“ befindet und System B relativ dazu bewegt ist, so wird, aus Sicht von A, die Zeit in B langsamer vergehen, als im eigenen System (A). Dies liegt daran, dass Licht in der einsteinschen Physik, bzw. der modernen Physik im Generellen, die Position einer Naturkonstanten einnimmt; die Lichtgeschwindigkeit ist also konstant und ist immer und überall gleich schnell.

Wenn man dies annimmt, so erhält man automatisch eine große Veränderung der räumlichen und zeitlichen physikalischen Vorstellungen sowie der Naturgesetze. Wenn etwas, wie die Lichtgeschwindigkeit, was bis dato als variabel galt, plötzlich als konstant gehandelt wird, so muss im Ausgleich etwas Anderes, was bisher als konstant galt, nun relativ sein: in diesem Fall ist es der Idee der Zeit so ergangen.

Allein dadurch, dass man im 19. Jahrhundert die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit erwies⁶⁵, legte man den Grundstock für die Relativität der Zeit und dies wiederum bedingte, dass es keine universale Gleichzeitigkeit geben kann.

An dieses Konzept muss man sich freilich erst gewöhnen, da man es im Alltag nie wahrnimmt; es erscheint sehr abgehoben. Auch die Physiker und Philosophen zu Zeiten

⁶⁴ Reichenbach, Hans, in: Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1955

⁶⁵ Vgl. Abschnitt B. 4, Die Importanz der Lichtgeschwindigkeit

Einsteins haderten mit dem neuen Zeitbegriff. Immerhin bedeutete das Anerkennen der einsteinschen Theorien die Abkehr von einer über 300 Jahre erfolgreichen physikalischen Tradition – und mehr noch, von einem ganzen Weltbild.

Man muss allerdings auch anführen, dass der größte Aufschrei der alten Generation gegenüber der Physik Albert Einsteins, nicht dessen Relativitätstheorien galt, sondern seinen Beiträgen zur Quantenmechanik; und diesen Aufschrei tat Einstein später sogar selbst mit.

B. 3, Die Richtung der Kausalität bei Einstein

Kausalität, wie sie uns allen bekannt ist, ist etwas Geradliniges, wobei vergangene, oder gegenwärtige Ereignisse zukünftige beeinflussen können, jedoch nicht umgekehrt.

Das bedeutet, wenn ein Ereignis A die Ursache von einem anderen Ereignis B ist, dann ist B niemals die Ursache von diesem bestimmten Ereignis A. Dies liegt daran, dass der Zeitpfeil immer nur in eine Richtung geht, nämlich voran; von der Vergangenheit in die Zukunft.

In unserer Alltagserfahrung spiegelt sich dies wieder. Es ist nicht nur subjektives menschliches Empfinden, sondern wird auch in den Hauptsätzen der Thermodynamik aufgezeigt. Nicht jeder physikalische Vorgang ist umkehrbar.

Der Physiker Ludwig Boltzmann (1844-1906), Begründer der neuartigen Thermodynamik und der statistischen Physik, präzierte dies anhand des zweiten thermodynamischen Hauptsatzes⁶⁶. Dieser liefert uns, dass eine Funktion mit fortlaufender Zeit immer nur wachsen kann und dass somit jedes System von Körpern einem gewissen Endzustand zustrebt an dem die Entropie ein Maximum erreicht. Daraus wiederum lässt sich folgern, dass die ganze Welt, sofern sie endlich ist und dem zweiten Hauptsatz genügt, einem sicheren Endzustand zustrebt. Wenn wir allerdings die Welt als unendlich ansehen, sind wir wieder zu Beginn unserer Diskussion und enden in Denkschwierigkeiten.

Die gängige Vorstellung von Kausalität, Ursache und Wirkung ist, wie oben erwähnt, recht einleuchtend und wohl weltweit verbreitet. Hierbei wäre es unvorstellbar zu sagen, dass ein Ereignis, welches morgen stattfindet, meine Tat von gestern ausgelöst hat. Diese Behauptung klingt wie aus einem Science-Fiction-Roman.

⁶⁶ Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt dass die Entropie (welche ein Maß für die Unordnung in einem System ist) im Gesamtsystem immer nur steigen oder gleich bleiben kann.

Betrachtet man nun das Konzept der Kausalität mit dem Wissen über die Relativität von Gleichzeitigkeit, Zeit und Bezugssystemen, muss man daran zweifeln, dass nur vergangene Ereignisse zukünftige verändern. Schließlich ist Zeit relativ und zueinander bewegte Systeme sehen ihre Maßstäbe verschoben – wieso sollte sich nicht auch die Kausalitätsrichtung ändern können?!

Mit der Relativitätstheorie und dem Modell des Lichtkegels⁶⁷, welcher uns in jedem Inertialsystem Vergangenheit, Jetzt und Zukunft anzeigt, kann ein Ereignis A, von System 1 aus betrachtet, *vor* Ereignis B stattfinden, während A in System 2 *nach* Ereignis B stattfindet. Doch heißt das, dass aus Sicht des Systems 2 das Ereignis B das Ereignis A *auslösen* kann? Kann ein Ereignis, welches in meinem System das Resultat ist, in einem anderen, relativ zu mir bewegten System, tatsächlich der Auslöser sein?

Es ist hier also nötig zwei Fragen zu klären 1, wie kann es sein, dass Ereignis A in einem anderen System vor Ereignis B stattfindet? Und 2, kann dieses relativistische „Verhalten“ die uns bekannte Struktur der Kausalität beeinflussen bzw. sogar umkehren?

Um die Veranschaulichung dieses schwer verständlichen Problems zu erleichtern, erläutere ich es hier anhand des Beispiels Lichtkegel.

B. 3.1, Veranschaulichung des Kausalität-Problems in der Relativitätstheorie anhand des Lichtkegels

B. 3.1.1, Der Lichtkegel und die Weltlinie

Der *Lichtkegel* ist ein geometrisches Konstrukt, mit dem man in jedes Inertialsystem einen geometrischen Nullpunkt setzen kann; dieser Nullpunkt gibt das *Jetzt* an. Vom Jetzt aus geht die Zukunft (in der geometrischen Darstellung ist dies jener Teil des Kegels, welcher nach oben weggeht); zum Jetzt hin führen alle vergangenen Ereignisse des besagten Inertialsystems (dies wird durch den unteren Teil des Kegels symbolisiert). Vergangenheit und Zukunft spannen, mit der Lichtgeschwindigkeit als physikalische Grenzen des Kegels, einen Kegel in der Raumzeit auf. Dies ist eine abstrakte geometrische Überlegung und darf nicht wörtlich genommen werden; wir befinden uns nicht tatsächlich *in einem Kegel*, doch die Raumzeit kann durchaus mathematisch und physikalisch als solche dargestellt werden. Dieser Kegel gibt an, welche vergangenen Ereignisse innerhalb eines Inertialsystems zu einem bestimmten Jetzt führen und welche Geschehnisse von diesem Jetzt aus in der Zukunft möglich sind.

⁶⁷ Vgl.; Abschnitt B. 3.1, ff.

Ereignisse, die sich *innerhalb* des Kegels befinden nennt man *zeitartig*, sie bewegen sich mit einer Geschwindigkeit, die langsamer ist, als die Lichtgeschwindigkeit; es sind somit Ereignisse, welche wir in der Alltagswelt wahrnehmen können.

Geschehnisse *außerhalb* des Lichtkegels nennt man *raumartig*. Um diese erreichen zu können, müsste man sich mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen. Solche überlichtschnellen Ereignisse können keinerlei Information mit sich tragen und sind somit nicht wahrnehmbar. Dies liegt allerdings nicht an der schlechten Auflösungsfähigkeit unserer Sinnesorgane, sondern daran, dass solchen Ereignissen in der Relativitätstheorie per se untersagt wird, einen Informationsgehalt zu haben; was keine Information irgendeiner Art trägt, kann durch keine Messapparatur erkannt werden.

Am Rand des Kegels befinden sich die *lichtartigen* Geschehnisse. Man kann sagen, dass dies das Licht per se ist, wie es sich durch die Raumzeit bewegt und ausbreitet. Da jegliche Information höchstens mit Lichtgeschwindigkeit c übertragen werden kann, bildet Lichtgeschwindigkeit genau jene Grenze, die Raumartigkeit und Zeitartigkeit voneinander trennt. Nur zeitartige Ereignisse können einander beeinflussen, da die Geschehnisse hierin sich mit Geschwindigkeit geringer als c ereignen. Gegenseitige Beeinflussungen innerhalb des zeitartigen Bereiches sind nur in Richtung des Zeitpfeiles, also von der Vergangenheit in die Zukunft möglich.

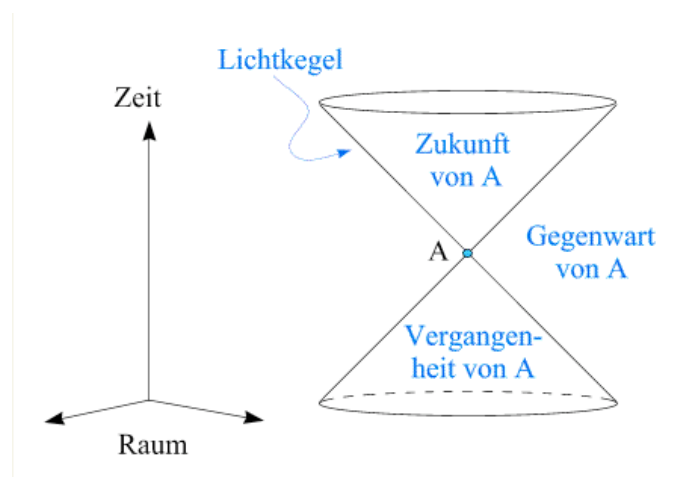


Bild 8: Der Lichtkegel, hier dargestellt als Projektion auf zwei Raumdimensionen

Ein weiterer wichtiger, da häufig gebrauchter, Begriff ist die *Weltlinie*. Sie stellt den zeitlichen Verlauf von Ereignissen in der Raumzeit graphisch dar. Jedes Geschehen in einem Inertialsystem hat seine eigene Weltlinie. Wenn man also in ein Raum-Zeit-Koordinaten System ein Ereignis einzeichnet, macht man dies mit Hilfe einer Weltlinie. Anders als in rein

räumlichen Koordinatensystemen (mit x-y-Achsen etwa) ist ein Geschehnis (sofern es eine gewisse Zeit andauert und sei sie noch so kurz) kein eindimensionaler Punkt, sondern eine (Welt-) Linie.

Alle Weltlinien zusammengenommen bilden die Struktur der Raumzeit an sich.

Die Weltlinie ist die vierdimensionale Darstellung der Bewegung von Körpern oder der Ausbreitung von Lichtstrahlen. Die ersten drei Dimensionen sind die Raumdimensionen x, y, z die vierte Dimension ist die Zeit ct (wobei c, wie gewohnt, für die Lichtgeschwindigkeit steht).

Die Länge der Linie bildet das vierdimensionale Raum-Zeit-Intervall „ s^2 “, welches auch „Eigenzeit“ genannt wird.⁶⁸ Die Eigenzeit wiederum ist der Abstand von einem Ereignis bis zum nächsten. Sie ist in jedem Inertialsystem gleich; das heißt, dass sie invariant unter Lorentztransformationen⁶⁹ ist, ebenso wie die Naturgesetze. Man wird die Länge einer Weltlinie, also die Eigenzeit, in jedem Inertialsystem als gleich lang sehen.

Ist der Wert der Eigenzeit $s^2 = 0$, so stellt dies in unserem Lichtkegel die Lichtartigkeit dar.

Für $s^2 < 0$ gibt es uns den raumartigen Bereich und für $s^2 > 0$ den zeitartigen.⁷⁰

B. 3.1.2, Ein praktisches Beispiel

Als Beispiel wollen wir uns anschauen, wie man zwei Mehlsäcke, die an verschiedenen Orten auf der Welt kurz nacheinander umfallen, geographisch darstellen kann, und wie diese fallenden Säcke für einen relativ zu unserem System bewegten Beobachter aussehen.

Die erste Fragestellung lautet: kann ein Beobachter eines beliebigen Bezugssystems „G“ ein Ereignis B („Sack 2 fällt“) vor einem Ereignis A („Sack 1 fällt“) sehen; wobei das Ereignis B in unserem Bezugssystem „X“ einige Zeit *nach* B eintritt?

Um dieses System geometrisch zu bearbeiten, muss man die Lichtgeschwindigkeit geschickt in das Raum-Zeit-Koordinatensystem einzeichnen, am besten unter einem Winkel von 45° , dieser trennt Raumartigkeit von Zeitartigkeit.

⁶⁸ Carrier, Martin, *Raum-Zeit*, Walter de Gruyter GmbH & Co, Berlin, 2009, S.: 31

⁶⁹ Vgl.: B, 1.2, Definition des Inertialsystems

⁷⁰ Die vollständige Formel für die Eigenzeit lautet: $s^2 = c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2$. Wobei ct die Zeitachse angeben und x, y, z die Raumachsen der Raumzeit.

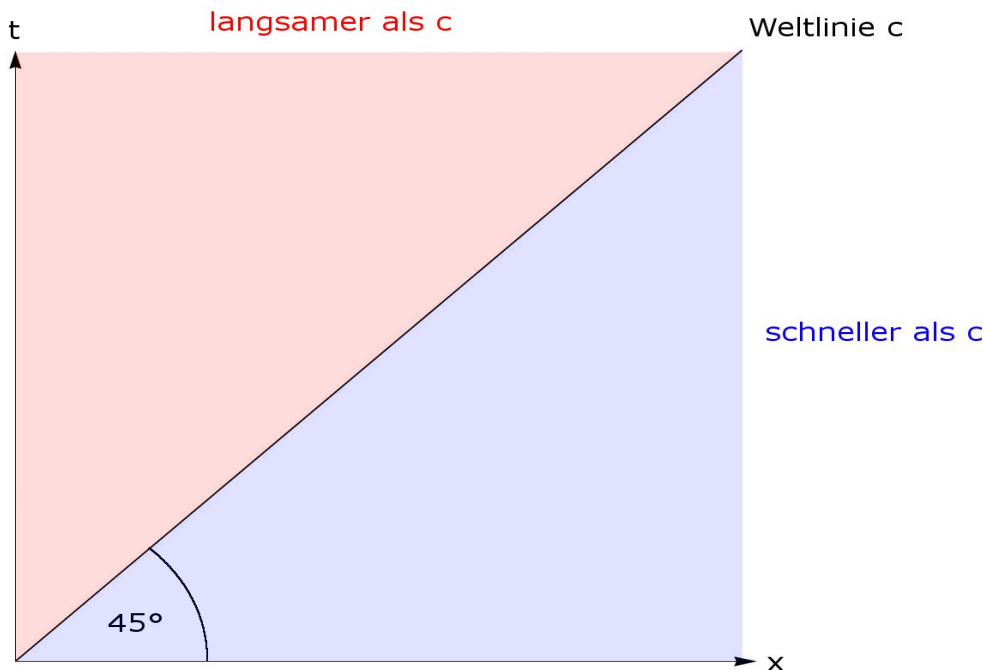


Bild 9

Bild 9 zeigt jenen Ausschnitt eines Lichtkegels, welcher für unser Beispiel relevant ist.

Vergleicht man es mit Bild 8 sieht man hier das rechte, obere Quartal des Kegels.

Die Linie c stellt einerseits die Bewegung mit Lichtgeschwindigkeit dar und zugleich wird sie als „Weltlinie“ bezeichnet. Die Weltlinie stellt die natürliche Grenze aller möglichen Ereignisse mit Informationsgehalt im System dar.

Nehmen wir nun an, es gibt in unserem System „X“ ein Ereignis A (das Umfallen des ersten Mehlsackes), welches ein paar Mikrosekunden vor dem Ereignis B (das Umfallen des zweiten Mehlsackes) eintritt. Weiters sollen die Ereignisse 1.5 km voneinander entfernt stattfinden.

Aus praktischen Gründen legen wir das Ereignis A in den Koordinatenursprung, den Nullpunkt, also in das „Jetzt“ unseres Systems. Der erste Mehlsack fällt also jetzt gerade um.

Das Ereignis B liegt noch 2 Mikrosekunden und 1.5 km in der Zukunft. Geometrisch lässt sich dies wie in Bild 10 veranschaulichen.

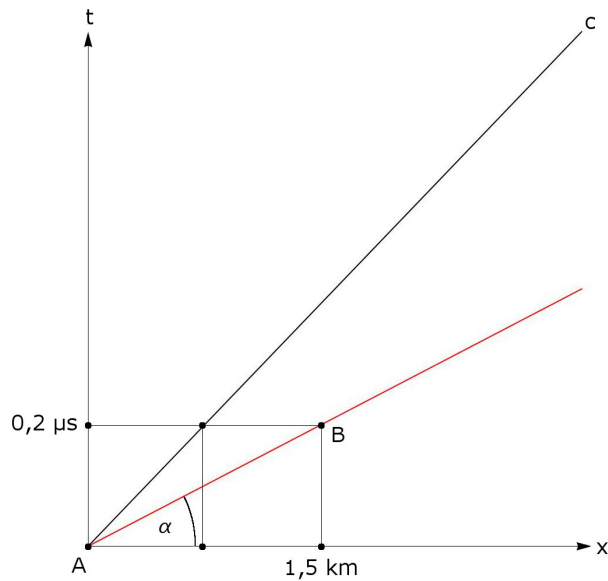


Bild 10

Wobei c weiterhin die Grenze des Lichtkegels symbolisiert. Die Linie die Ereignis A mit B verbindet, ist deren Weltlinie. α ist der Winkel zwischen dieser Weltlinie und der x -Achse. Ereignisse direkt auf der x -Achse sind statisch.

Bild 10 ist eine einfache geometrische Darstellung unserer zwei Ereignisse A und B in der Raumzeit.

Der erste Schritt zur Beantwortung unserer Hauptfrage („Kann man das Umfallen des zweiten Sackes vor dem Fall des ersten wahrnehmen?“), ist die Beantwortung einer anderen Frage: „Kann es ein System geben, welches die Ereignisse A und B *zugleich* sieht?“.

Die Antwort lautet ja.

Tatsächlich ist es so, dass moderne Physiker hier nicht fragen *ob* es ein solches System geben kann, sondern nur *wie schnell* es sein muss. Dies bedarf ein wenig Rechnerei. Es stellt sich heraus, dass *jedes* System H , dessen Weltlinie in unserem Koordinatensystem unter einem Winkel α steht, mit inverser (also umgekehrten) Steigung zu unserem Ereignis B (welches ebenfalls α unter steht), die Ereignisse A und B gleichzeitig sieht. Das ist der Fall, da für H das Licht zugleich bei A und B ist.

In der Relativitätstheorie wird die Gleichzeitigkeit so definiert, dass Ereignisse in einem System gleichzeitig sind, wenn das Licht sie zugleich „berührt“.

„Wir nennen die Ereignisse genau dann gleichzeitig, wenn diese beiden Lichtsignale im selben Moment bei der Kamera eintreffen.“⁷¹

Die „Kamera“, die der Physiker Markus Pössel hier als Beispiel bringt, ist in unserem Beispiel das Inertialsystem H. Es klingt vielleicht verwirrend, ist geometrisch allerdings recht ansehnlich, wie Bild 11 zeigt.

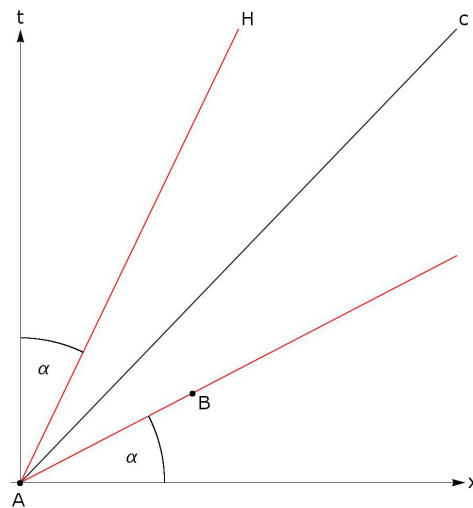


Bild 11: Für das System H erscheinen die Ereignisse A und B gleichzeitig.

Da die Weltlinie des Systems H unter dem gleichen Winkel α wie die Weltlinie der Ereignisse A und B steht, werden diese Ereignisse (A und B) von H als gleichzeitig wahrgenommen. Es bleibt noch anzumerken, dass auch alle Geschehnisse, welche *parallel verschoben* zur Ereignislinie von A-B laufen, vom System H aus als gleichzeitig gesehen werden.

Kommen wir nun zu der Auflösung unserer Hauptfrage: Gibt es ein System in dem der zweite Sack (Ereignis B) vor dem ersten (Ereignis A) umfällt?

Die Antwort lautet erwartungsgemäß: ja!

Wenn sich ein Beobachter in einem System G, schneller bewegt als das System H, hat er auch eine verschobene Weltlinie. Somit liegt G nicht mehr unter dem gleichen Winkel α , wie die Ereignisse A und B.

⁷¹ Pössel, Markus, *Das Einstein Fenster- Eine Reise in die Raumzeit*, 1. Auflage, Hoffmann und Campe, Hamburg, 2005, S.: 33

G liegt unter einem neuen Winkel α^* und sieht somit alle jene Ereignisse als gleichzeitig, welche ebenfalls unter dem gleich großen Winkel α^* oder dazu parallel verschoben liegen. Da die Weltlinie von A-B nicht unter dem gleichen Winkel liegt, wie die Weltlinie des neuen Systems G, nimmt G diese Ereignisse also nicht so wahr, wie sie in unserem System X wahrgenommen werden (A fällt um, dann fällt B um) und auch nicht so, wie sie in System H gesehen werden (die Säcke A und B fallen zugleich um). Für G sieht es so aus, als würde der zweite Sack B vor dem ersten Sack, A, umfallen. Dies ist geometrisch gut ersichtlich.

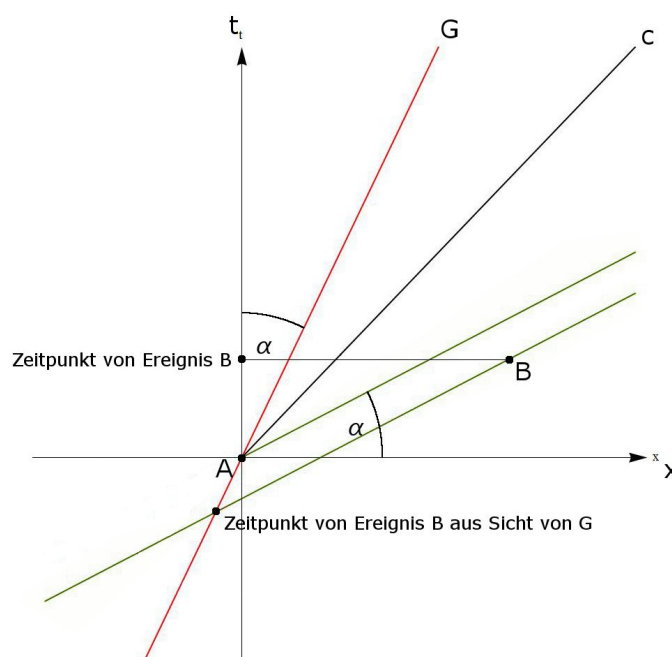


Bild 12: Das Ereignis B geschieht unter System G vor Ereignis A.

In Bild 12 sieht man die Weltlinie von System G eingezeichnet. Die grüne Linie ist eine Weltlinie, die unter dem gleichen Winkel steht, wie G (so wie es sich vorher mit System H und der Weltlinie von A-B ergeben hat). G sieht also alle Ereignisse, welche auf der grünen Linie liegen als gleichzeitig. Ebenso sieht G alle zur grünen Linie parallel verschobenen Weltlinien als gleichzeitig an. Eine dieser zur grünen Linie parallel verschobenen Linien geht genau durch das Ereignis B und ist in Bild 12 eingezeichnet. Was man noch sieht, sind die Verlängerungen der Weltlinien in das untere, linke Quartal des Koordinatensystems. Hier erkennt man, dass die parallelverschobene Linie, welche B schneidet, die Verlängerung der Linie von G trifft (dieser Bereich ist gekennzeichnet). Da der Zeitpfeil in unserem

Koordinatensystem von unten nach oben geht, wissen wir nun, dass das System G das Ereignis B sieht *bevor* es Ereignis A sieht.

Somit haben wir in Inertialsystem G ein System gefunden, welches B vor A sieht.

Ich habe hier demonstriert, dass es in der Relativitätstheorie kein Problem ist von Systemen zu sprechen, in denen zeitlich getrennte Vorgänge in anderen Reihenfolgen geschehen, als wir sie in unserem System wahrnehmen.

Etwas, dass uns als gleichzeitig erscheint, kann anderorts hintereinander passieren. Es ist nur eine Frage der (relativ-)Geschwindigkeit.

Dieses Beispiel demonstriert die Relativität der Gleichzeitigkeit, wie sie auch schon in Abschnitt B. 2, beschrieben wurde.

B. 3.1.3, Kausalität

Ändert dieses relative Verständnis von Zeit auch die Struktur der Kausalität, so wie sie uns bekannt sind?

Bedeutet es, wenn ich mich nur schnell genug bewegen muss, um B vor A zu sehen, dass ich zuerst eine Vase zerbrechen sehen kann und erst danach den Wurf? Einen Menschen tot umfallen und erst dann den Schuss der Pistole?

Wenn dem so ist, inwiefern könnte man dann noch seinem eigenen Urteil trauen?

Die Antwort auf diese Frage finden wir in der Minkowski-Raumzeit.

Der Lichtkegel gibt uns seines Zeichens die Unterteilung in Raum- und Zeitartigkeit innerhalb der Raumzeit.

Als erstes muss man unterscheiden, in welchem Bereich Ereignisse überhaupt kausal zusammenhängen können.

Die raumartige Sphäre ist jene, welche von unserer Wahrnehmung abgeschirmt bleibt, da sie außerhalb der Grenze der Lichtartigkeit liegen. Das bedeutet, dass Ereignisse hierin sich nicht beeinflussen können, da das Licht (und damit jegliche Information) nicht schnell genug von einem Ereignis zum nächsten kommt. Somit können zwei raumartige Ereignisse sich nicht beeinflussen, sie können keine Information austauschen.

Es bleibt uns also nur der zeitartige Bereich des Lichtkegels für kausale Zusammenhänge.

Dies ist die Sphäre, in der wir wahrnehmen, in der wir leben. Hier können Ereignisse in kausalem Zusammenhang stehen, da Lichtsignale zwischen ihnen hin und her geschickt werden (können). So weit so gut, doch kann die Kausalität die Richtung wechseln? Kann ein

anderes Inertialsystem Ursache und Wirkung vertauscht wahrnehmen?

Die Antwort ist: Nein.

Kausalität, wie wir sie kennen, bleibt auch in der SRT erhalten. Das liegt daran, dass Kausalität mit der Lichtgeschwindigkeit in direktem Zusammenhang steht.

Lichtgeschwindigkeit ist eine konstante Grenze der Kausalität. Ebenso ist sie in eine Richtung gerichtet: nach vorne in der Zeit, ebenso wie die Zeit selbst. Diese Konstanz von c bleibt in jedem Inertialsystem erhalten, da c eine *Universalkonstante* ist. Man kann die Struktur der Zeit nicht umkehren, egal wie schnell man sich bewegt.⁷²

Das ist auch der Grund, weshalb relativ zueinander bewegte Systeme nur raumartig getrennte Ereignisse als gleichzeitig oder eben nicht-gleichzeitig sehen können. Im raumartigen Bereich hängen Geschehnisse nicht kausal zusammen, das Licht ist nicht schnell genug und somit liegt keine zeitliche Struktur vor, die es verhindern würde, dass Ursache und Wirkung erhalten bleiben.

B. 4, Die Importanz der Lichtgeschwindigkeit

Als Isaac Newton die Physik der Neuzeit neu definierte und mit seinen Theorien prägte, beschrieb er den Raum und die Zeit in seiner *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* als absolut:

„Absolute, true, and mathematical time, of itself, and from it's own nature flows equably without regard to anything external, and by another name is called duration: relative, apparent, and common time, is some sensible and external (whether accurate or unequable) measure of duration by the means of motion, which is commonly used instead of true time; such as an hour, a day, a month, a year.“⁷³.

Newton geht also einerseits davon aus, dass wahre Zeit (sowie wahrer Raum) absolut sind, andererseits gesteht er einer zweiten Art von Zeit Existenz zu: der Zeit, die wir Dauer nennen; welche wir zum Messen verwenden. Damit spricht Newton ein gedankliches Problem an, welches auch die Zeit Einsteins überdauern wird: die Frage lautet: in welcher Zeit messen wir Zeit? Hierauf kann man mit Newton antworten: in der absoluten Zeit messen wir Zeitabschnitte, in der absoluten, alles umfassenden Zeit geschieht alles, auch die Zeit selbst.

⁷² Außer man bewegt sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit. Dann würde man die Struktur der Zeit überwinden können und es wären auch Zeitreisen möglich. Anm. d. Autorin.

⁷³ Newton, Isaac, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Andrew Motte (Übers.), Prometheus Books, Great Minds Series, 1995, S.: 13

Dieses Raum- und Zeit- Konzept überdauerte die Jahre, verwurzelt im physikalischen Verständnis der Welt.

Doch das sollte sich mit Einsteins Formulierung der speziellen Relativitätstheorie rasch ändern.

Was die Zeit vom der Neuzeit bis zu Einstein überdauerte war der Messbarkeits-Gedanke. Newton lebte in einem Weltverständnis, geprägt von Galileo Galilei, welcher sagte „alles messen, was messbar ist und alles messbar machen, was es nicht ist.“. Einstein selbst steht dieser Einstellung in nichts nach, so legte er selbst fest, dass Größen, wie z.B.: die Zeit, erst durch ihre Messbarkeit definiert und bestimmt werden. Hieran erkennt man, wie stark der Gedanke der Messbarkeit, des Vermessens, des Einteilens und somit in diesem Fall der Uhr in den Köpfen der Physiker verankert war und noch heute ist.

Einstein ging an die Zeit anders heran als es bis dato üblich war: er hinterfragte ein völlig stabiles Konzept: die Gleichzeitigkeit.

Da Einstein in seiner Relativitätstheorie feststellt, dass Gleichzeitigkeit kein absolutes Konstrukt ist, beschreibt er somit auch Raum und Zeit (und in der allgemeinen Relativitätstheorie schließlich auch die untrennbare Raumzeit) als relativ. Auf diese Konzepte wurde in den oberen Abschnitten genauer eingegangen.

Es ist von großer Wichtigkeit, dass man nicht nur das Relativitätskonzept Einsteins akzeptiert, sondern dass man nachvollziehen kann, woher es kommt. Einer der Hauptcharaktere hierbei ist die Lichtgeschwindigkeit. Um die Wandlung des physikalischen Weltbildes nachvollziehen zu können, werde ich nun die einsteinschen Ideen über die Lichtgeschwindigkeit in einen historischen Kontext setzen.

B. 4.1, Das Experiment von Michelson und Morley

Bis ins Jahre 1887 dachte man, dass unsere Welt, unser Universum und alles, was man sich erdenken kann, in den so genannten Äther (auch *Lichtäther* genannt) eingebettet ist. Äther – ein, für das menschliche Auge unsichtbares Medium, in welchem, so die These, die Lichtwellen⁷⁴ (z.B.: von der Sonne zur Erde) übertragen werden.

Der Physiker Albert Michelson und der Chemiker Edward Morley erdachten im Jahre 1887 ein Experiment, um die Existenz des Lichtäthers nachzuweisen.

⁷⁴ Es war dies gerade die Periode in der die Korpuskulartheorie Newtons schon von T. Young's Theorie der Lichtwellen abgelöst war (welche dieser aufgrund des Interferenzphänomens des Lichtes aufstellte). Anm. d. Autorin.

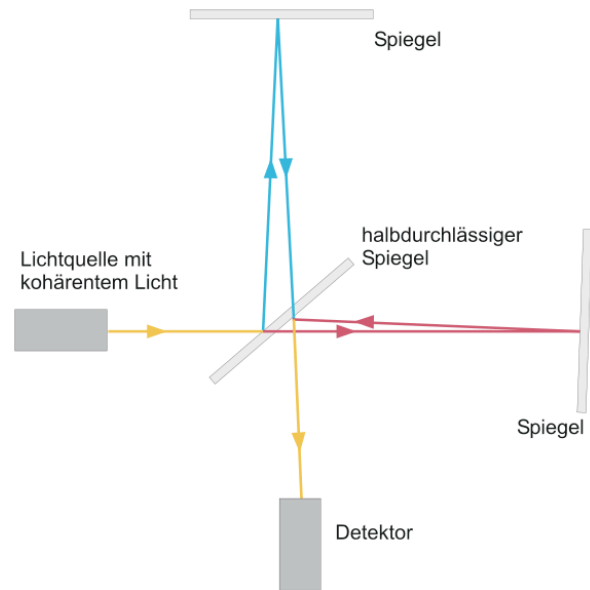


Bild 13: Schematische Darstellung des Lichtäther-Experiments

Man wollte zeigen, dass Licht, welches sich gegen den Äther bewegt, langsamer läuft, als Licht, welches mit dem Äther läuft. Diese Überlegung basiert darauf dass, man annahm die Erde bewege sich durch den Äther, wodurch ein in eine Richtung gerichteter „Ätherwind“ entstünde. Dieser Wind kann, so die Überlegung, entweder bremsend oder beschleunigend wirken, so wie jeder uns bekannte Wind. Michelson und Morley bauten hierfür eine große Konstruktion aus Spiegeln und Lichtquellen, welche auf einem Quecksilbersee ruhte (um Erschütterungen von außen vorzubeugen). Man erwartete, dass das Licht, welches gegen den Ätherwind „ankämpfen“ musste, langsamer sein würde, als jenes Licht, welches mit dem Ätherwind geht. Dies würde man anhand eines verschobenen Interferenzmusters auf dem Schirm bzw. Detektor eindeutig sehen können. Durch dieses erwartete Interferenzmuster sollte die Existenz des Äthers bewiesen werden.

Das Experiment war per se gut durchdacht, das Problem war nur, dass es nicht die Existenz des Lichtäthers zeigte, sondern ihn, zumindest so wie man ihn sich vorstellte, völlig negierte. Das erwartete Interferenzmuster blieb aus. Das Licht bewegte sich in alle verschiedenen Richtungen genau mit der gleichen Geschwindigkeit, es waren keinerlei Auswirkungen des Ätherwindes ersichtlich oder messbar.

Ein zweiter, mindestens ebenso bedeutungsschwangerer Effekt des Experiments war, dass es die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit nahe legte.

Diese Konsequenz wurde nicht gleich gezogen, man versuchte vorerst das Medium Äther zu retten (da man sich sonst die Fortpflanzung der Lichtwellen nicht erklären konnte, und man das All nicht konzeptuell als leer (also Vakuum) festlegen wollte).⁷⁵

Etwa zwanzig Jahre später machte Albert Einstein den Begriff *Äther* überflüssig.

Er meinte, wenn man ihn nicht messen kann und er außerdem keine merkbaren

Veränderungen der Naturgesetze mit sich bringt, so kann man genauso gut davon ausgehen, dass er nicht existiert.⁷⁶ Weiters zog Einstein die Konsequenz, dass die Lichtgeschwindigkeit eine Naturkonstante darstellt, diese wird mit c bezeichnet (von lat. *celeritas*: „Schnelligkeit“).

Das bedeutet, dass sich Licht nie schneller oder langsamer bewegt, sondern immer mit konstanter Geschwindigkeit - nämlich mit konstanten 300.000 km/s (im Vakuum).

Da Licht konstant ist, kann man Lichtgeschwindigkeiten nicht addieren, so wie man es mit regulären Geschwindigkeiten im Allgemeinen macht⁷⁷. Daher misst man Licht immer mit 300.000 km/s, egal wie schnell man sich selber bewegt. Die Lichtgeschwindigkeit wird damit zu einer Maßeinheit, welche wir in die Raumzeit legen können, um diese zu vermessen; in etwa so, wie wir mit der Einheit Meter einen Raum ausmessen können.

Mit dieser Festlegung schloss Einstein mit einer, weit in die Geschichte zurückgehenden, Diskussion ab, nämlich mit der Frage nach der Geschwindigkeit des Lichtes.

Ob Licht eine endliche oder unendliche Ausbreitungsgeschwindigkeit besitzt war schon Thema in der griechischen Antike. Der Philosoph Empedokles (ca. 450 v. Chr.) war der Meinung, dass Licht sich nur endlich schnell ausbreiten könne, da Licht, wie alles in Bewegung, Zeit braucht um eine Strecke hinter sich zu legen.

Für den Philosophen Aristoteles (384–322 v. Chr.) war Licht nicht etwa in Bewegung, sondern rührt nur von der Anwesenheit der Objekte per se her. Damit hatte Licht für Aristoteles eine unendliche Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Diese Diskussion durchzieht jede Epoche. Berühmte Denker wie Galileo Galilei (endlich), Johannes Kepler (unendlich), René Descartes (unendlich), oder Isaac Newton (endlich)

⁷⁵ Die Physiker George Fitzgerald und Hendrik Lorentz definierten den Äther neu, so dass sich materielle Körper bei Bewegung durch denselben verkürzen; somit könnte man durch Experimente, wie das von Michelson und Morley, niemals feststellen, ob es Äther gibt oder nicht.

⁷⁶ Hawking, Stephen, *Das Universum in der Nussschale*, dtv, München, 2004, S.: 17

⁷⁷ Wenn ich aus einem fahrenden Auto, mit 120km/h mit einer Taschenlampe leuchte, hat das Licht der Lampe immer noch 300.000 km/s, egal (!) aus welchen Bezugssystem ich dies betrachte. Werfe ich allerdings einen Stein aus dem fahrenden Wagen, so hat dieser die Geschwindigkeit welche er durch meine Wurfkraft erfährt plus die Geschwindigkeit des Wagens. Anm. d. Autorin

machten sich Gedanken über die Geschwindigkeit des Lichtes.⁷⁸ Auch in die neuzeitliche Physik fand dieses Thema Einzug, ohne dass man je auf einen fundierten Konsens kommen konnte.

Albert Einstein schaffte es schließlich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit festzusetzen, da er dies mit den Konzepten der Relativität der Zeit und der Nicht-Existenz des Lichtäthers begründete.

Dass die Lichtgeschwindigkeit absolut ist, eröffnet einen völlig neuen physikalischen Blickwinkel auf die Welt und ihre Phänomene. Die absolute Zeit Newtons musste neu überdacht werden.

Da wir alle Information, die wir erhalten, mit höchstens 300.000 km/s (der Geschwindigkeit des Lichtes) erhalten, stellt dies eine natürliche Grenze dar.⁷⁹ Wenn diese Grenze, also die Geschwindigkeit des Lichtes, absolut ist, dann können Raum und Zeit im Gegenzug nicht mehr als absolut gesetzt werden. Bisher konnte man anhand des absoluten Raumes und absoluter Zeit alles korrekt vermessen; nun ist aber die Lichtgeschwindigkeit die neue maßgebende Universalkonstante, mit Hilfe derer wiederum Zeit (und Raum) vermessen werden kann.

Dies stellte eine Basistransformation im Weltbild der Physiker dar. Die bisher starren Konzepte Raum, Zeit und Äther wurden ersetzt durch das Licht. Da nun Licht konstant ist, war es eine logische Folge, dass Raum und Zeit als Konzepte neu überdacht werden mussten. Somit hatte Einstein eigentlich keine andere Wahl, als die Konsequenz aus seiner Feststellung zu ziehen und Raum und Zeit als relativ zu postulieren. Die Idee einer relativen Zeit war eine direkte Folge aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.

⁷⁸ <http://de.wikipedia.org/wiki/Lichtgeschwindigkeit>

⁷⁹ A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen: *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, Phys. Rev. 47 (1935), S. 777 - 780

B. 4.2, Geometrische Implikationen - physikalische und philosophische

Gegenüberstellung der Relativitätstheorie

„Einstein war es, der in die Physik geometrische Ideen einführte, die vor ihm als rein mathematische Spekulationen betrachtet wurden.“⁸⁰

Wie wir gesehen haben, ist die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ein wichtiger Faktor in der Entstehung der Relativitätstheorie gewesen. Wie prägend das Licht für Einstein und seine Physik war, zeigt sich auch in der Geometrie des Lichtkegels.

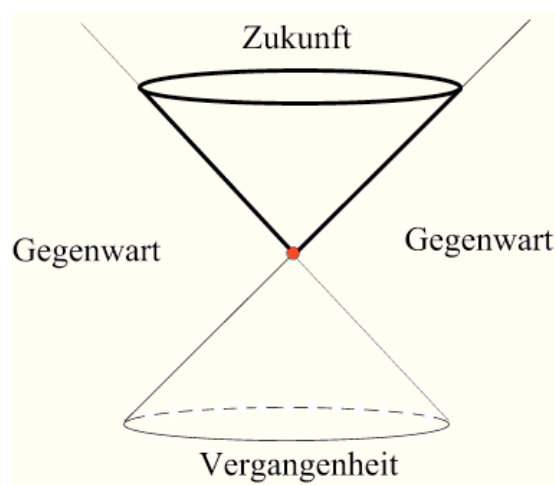


Bild 14: Darstellung der drei Zeiten: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in Form eines Lichtkegels.

Der Lichtkegel ist nicht nur von physikalischer Bedeutung, sondern auch von philosophischer, da er die Konzepte der Kausalität und der Informationsübertragung beinhaltet. Der Kegel und seine Implikationen wurden schon erörtert, darum möchte ich an dieser Stelle erklären, wieso seine Grenzen, also der lichtartige Bereich, zugleich die Grenze für jede mögliche Informationsübertragung sind.

Dies ist anhand der Gleichung $E = mc^2$ zu erklären.

Diese Formel ist wohl die bekannteste von Albert Einstein. Und das, obwohl sie eigentlich in dieser Form gar nicht vollständig⁸¹ ist und auch nicht jene Formel ist, wie viele meinen, die Einstein 1921 den Nobelpreis einbrachte (den bekam er für die Entdeckung des photoelektrischen Effektes.).

⁸⁰ Menger, Karl, *Die Relativitätstheorie und die Geometrie*, in Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1979, S.: 337

⁸¹ Die komplette Formel lautet: $E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$

Die Formel $E = mc^2$ stellt eine Relation zwischen der Ruheenergie, der Ruhemasse und der Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat dar. Die Formel gibt uns einerseits an, dass man Energie in Masse umwandeln kann und vice versa (dies wird in Teilchenbeschleunigern, wie im Large Hadron Collider (LHC) in CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*), praktisch umgesetzt). Andererseits sagt sie uns, dass man für die Beschleunigung von Massen immer mehr und mehr Energie benötigt. Das ist der Grund, warum nur Teilchen, wie die Photonen, welche eine Ruhemasse von 0 besitzen, mit Lichtgeschwindigkeit fliegen können. Alles, was schwerer ist, kann sich nie mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, denn für größere Massen würde die benötigte Energie ins unendliche gehen. Das ist eines der Hauptargumente gegen Zeitreisen⁸². Diesen Effekt nennt man *relativistische Massezunahme*. $E = mc^2$ setzt somit Masse und Energie in ein äquivalentes Verhältnis; das ist nur möglich geworden, durch die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.

Information wiederum ist in der Physik Datenübertragung. Datenübertragung geschieht mit Hilfe gewisser Träger, diese Träger sind die Teilchen aus denen unsere Welt zusammengesetzt ist. Teilchen wie Photonen. Da sich im Vakuum nichts schneller als Photonen bewegen kann, kann es auch keine Datenübertragung schneller als mit Lichtgeschwindigkeit geben.

Der Lichtkegel gibt uns also die Grenzen der Informationsübertragung und die erlaubten kausalen Zusammenhänge vor. Interessant ist, dass die Zeit-Konzeption in der Relativitätstheorie einerseits so frei wirkt – schon allein durch den Begriff „relativ“ wirkt es ungezwungener als wenn Zeit mit „absolut“ belegt ist – doch andererseits zeigt uns der Lichtkegel ein straffes kausales Gefüge auf.

Wenn man das Jetzt im Lichtkegel betrachtet, fällt auf, dass sowohl die möglichen vergangenen Ereignisse sowie die möglichen zukünftigen Geschehnisse von beschränkter Zahl sind. Die Anzahl der möglichen, kausal zusammenhängenden Events wird vom Lichtkegel durch die Grenze der Lichtgeschwindigkeit gegeben. Alle Ereignisse, welche sich außerhalb des Lichtkegels des jeweiligen Jetzt befinden, können niemals zu diesem Jetzt führen oder von ihm ausgehen.

⁸² Vgl.: Abschnitt: B, 4.3

Das bedeutet zwar, dass die Regeln der Chaostheorie weiterhin gültig sind⁸³ und jede Kleinigkeit in unserem Handeln unsere Zukunft neu schreibt, dennoch wirkt die Anzahl der Möglichkeiten durch das Konzept des Lichtkegels beschränkt.

Das Konzept des Lichtkegels ist somit summa summarum ein philosophisch äußerst interessantes, wie ich bereits in Abschnitt B. 3.1, erläutert habe.

Ein weiterer interessanter Aspekt des Lichtkegels ist dessen Darstellung unserer Zeiten: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Die vergangenen Ereignisse fügen sich zusammen und bilden das einzige mögliche, daraus resultierende Jetzt. Von diesem Jetzt aus gehen wiederum die möglichen Zukunftsstränge. Diese Darstellung der drei Zeiten erinnert an Tizians Gemälde „Allegorien der Zeit und Klugheit“.



Bild 15: Tizian
„Allegorien der Zeit und Klugheit“.

⁸³ Die Chaostheorie, begründet von den Mathematikern und Physikern Henri Poincaré, Edward Lorenz, Benoit Mandelbrot und Mitchell Feigenbaum, besagt, dass jedes noch so kleine Event eine große Auswirkung haben kann. Diese Theorie ist der Grund, wieso man z.B.: das Wetter nicht präzise mehr als drei Tage voraussagen kann. Anm. d. Autorin. Vgl.: Lorenz, Edward N., *The Essence of Chaos*. Seattle 1993

Dieses Gemälde symbolisiert die Wandlung, welche jeder Mensch, die gesamte Menschheit und zugleich das Universum, durch die Zeit erfahren. Es ist somit eine Gegenüberstellung des einzelnen Schicksals und des kosmischen, die beide in der Zeit liegen.

Den Lichtkegel kann man äquivalent analysieren; einerseits wirkt der Lichtkegel, welcher sich mit der Raumzeit umgibt, wie ein Absolutes. Er zeigt einen einzigen, 0-dimensionalen Punkt als „Jetzt“ an, zu dem die gesamte Vergangenheit hinführt und von dem die scheinbare Zukunft des Universums ausgeht. Hierbei wird das Problem ersichtlich, welches schon Aristoteles quälte: das Problem des Jetzt. Was ist es? Und *ist* es überhaupt (so es ja 0-dimensional ist)? Andererseits führt die Vergangenheit, wie in Bild 14 ersichtlich, zum Jetzt und die Zukunft geht vom Jetzt aus. So betrachtet erinnert der Lichtkegel an das aristotelische oder augustinische Verständnis der Zeiten. Beide Philosophen spielen mit Metaphern, welche das Jetzt bzw. die Jetztte wie Punkte erscheinen lassen, welche sich zur Zeit zusammenfügen, ähnlich Punkten die eine Linie bilden.⁸⁴ Tizians Gemälde scheint dies wieder zu spiegeln. Andererseits ist auch der Lichtkegel eine individuelle und relative Konzeption. Geometrisch ist die Darstellung des Lichtkegels keineswegs eine absolute. Der Kegel ruht in einem willkürlichem Koordinatensystem, dessen Ursprung (also der Punkt (0,0)) nicht zwangsweise an jener Stelle sein muss. Ein anderer Beobachter, in einem anderen Bezugssystem wird sich auch immer mit seinem „Jetzt“ bewegen, dieses Jetzt (nennen wir es „J2“) stellt für sein System immer den Koordinatenursprung dar und gibt die Zeit an.

Wir haben also hier ein flexibles, und zugleich starres System. Flexibel ist es, da es nur an seinen Beobachter gebunden ist und somit nicht absolut gültig. Starr ist es wiederum, da es eine Richtung der Zeit vorgibt.

Dies ist ein essentieller Punkt, welcher nicht vernachlässigt werden sollte. Wir haben hier ein System, welches uns sagt, dass wir im Jetzt Richtung Zukunft reisen und nicht in die Vergangenheit. Dies gibt einerseits Aufschluss über die Kausalität in der Relativitätstheorie, andererseits leitet es ein weiteres relevantes Thema ein: das Thema Zeitreisen.

⁸⁴ Vgl.: Aristoteles, P IV 10 218a 7ff, P IV 13. ff sowie Augustinus, Aurelius, *Bekenntnisse*, 1. Auflage, Insel, Frankfurt am Main, 1987, S.: 629

B. 4.3, Zeitreisen

Der Mathematiker Kurt Gödel (1906–1978) hat einmal geschrieben, dass Zeitreisen mit einer lichtschnellen Rakete in jede beliebige Richtung möglich sind⁸⁵. Allerdings nur mathematisch. Gödel und Einstein waren gut befreundet und führten gewiss angeregte Diskussionen über diese Thematik. Man kann allerdings mit Sicherheit sagen, dass Zeitreisen physisch nicht möglich sind. Dies zeigt der Lichtkegel. Für Zeitreisen müsste man sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Wenn man sich langsamer als Licht bewegt, befindet man sich im zeitartigen Bereich des Lichtkegels; in diesem Bereich finden alle Ereignisse statt, die wir wahrnehmen können, und die sich gegenseitig beeinflussen können, die Zeit vergeht „normal“ schnell. Am Lichtkegel selbst geschieht alles mit Lichtgeschwindigkeit, hier vergeht keine Zeit, da Zeit ja anhand der Lichtgeschwindigkeit definiert ist. Will man nun in der Zeit zurück reisen oder in der Zeit voraus reisen, so muss man sich schneller als das Licht bewegen, man muss in die raumartige Sphäre des Lichtkegels gelangen. Dies ist aber nicht möglich, da es in dieser Sphäre keine Informationsübertragung geben kann und keine kausalen Zusammenhänge.

Dies ist der geometrische Beweis anhand des Lichtkegels. Der mathematische Beweis erfolgt anhand der Gleichung: $E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$. Aus dieser Gleichung kann man ablesen, dass die Energie, um einen Körper auf Lichtgeschwindigkeit c zu beschleunigen unendlich hoch sein muss, sofern es sich nicht um Körper mit Ruhemasse 0 handelt (wie Photonen, also Lichtteilchen). Dies hat mit dem Effekt der relativistischen Massezunahme zu tun; dieser besagt, dass jeder Körper an Masse gewinnt, wenn er beschleunigt wird. Es bedarf unendlich viel Energie, um einen Körper, mit Masse größer als 0, auf Lichtgeschwindigkeit zu bringen – wenn man also davon ausgeht, dass unser Universum unendliche Ausdehnung besitzt, so würde es die gesamten Energie des Universums benötigen um ein Objekt mit Masse auf Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen.

Wie wir vorhin gesehen haben, reisen wir durch unser Leben mit dem Jetzt-Punkt in unserem persönlichen Lichtkegel. Nun ist aber die Theorie über Zeitreisen, dass man schneller als das Licht reisen muss, um vom Jetzt, in dem wir ja immerfort gefangen sind, loszukommen.

Ich habe demonstriert, dass dies physikalisch bzw. energetisch nicht möglich ist.

Mathematisch mag es möglich sein; doch leider sind wir Menschen (und alle Lebewesen, die

⁸⁵ Gödel, Kurt, *Eine Bemerkung über die Beziehungen zwischen der Relativitätstheorie und der idealistischen Philosophie*, in: Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1979, S.: 409 ff

uns bekannt sind) den Gesetzen der Physik unterworfen und nicht (primär) denen der Mathematik.

Philosophisch gesehen eröffnen sich beim Thema Zeitreisen ganz andere Problematiken: falls man rückwärts durch die Zeit reisen könnte, welche Implikationen hätte es dann auf meine eigene Zukunft oder der Zukunft des Universums? Welche moralischen Grundsätze müsste ein Mensch aufweisen, damit er in die Vergangenheit reisen dürfte? Und wer würde dies bestimmen?

Wenn wir mit Überlichtgeschwindigkeit in die Zukunft reisen würden, was könnten wir dort überhaupt sehen oder erleben? Das Licht wäre doch „hinter“ uns? Es gäbe keine Information, die an uns herandrängen könnte. Wäre das dann überhaupt eine Zeitreise in die Zukunft? Und mit welchem Sinn?

Und wenn Zeitreisen jemals möglich sein sollten, warum haben wir dann noch keinen Besuch aus der Zukunft erhalten?

Dies sind nur einige Fragen, die sich beim Thema Zeitreisen eröffnen.

B. 4.4, Das Zwillingsparadoxon - ein kleiner Ausflug in die allgemeine Relativitätstheorie

„On most occasions when I consult my wristwatch I do not consider its relationship to other clocks. And yet, the concept of time is inseparable from the notion of simultaneity. And as soon as we focus on this link we are forced to acknowledge that a single clock cannot be meaningfully said to measure time.“⁸⁶

Eines der berühmtesten Paradoxien der Relativitätstheorie ist wohl das so genannte Zwillingsparadoxon. Es ist nicht nur paradox, da es der alltäglichen Logik widerspricht, sondern auch dem klassischen physikalischen Verständnis.

Das Grundkonzept dieses Paradoxons ist, dass gleichartige biologische Systeme, nur aufgrund der Geschwindigkeit ihrer Bewegung, unterschiedlich altern. Dieses Phänomen wird freilich in der Alltagswelt nicht erfahren; um solche Effekte zu beobachten bedarf es, wie immer in der Relativitätstheorie, Geschwindigkeiten, welche nahe an die Lichtgeschwindigkeit heran kommen. Und dennoch ist dieses Gedankenexperiment von großer Bedeutung, will man die Grundaussagen Einsteins verstehen.

⁸⁶ Kusch, Martin, *Wittgenstein and Einstein's Clocks*, in: *Ungesellige Gesellschaft – Wittgensteins Umgang mit anderen Denkern*, Ramharter, Esther (Hg.), Parerga, Berlin, 2011

Das Experiment selbst ist rasch erklärt: zwei eineiige Zwillinge, Flora und Stella, sind exakt gleich alt. Im Alter von 30 Jahren (es ist natürlich völlig irrelevant wie alt die beiden tatsächlich sind) besteigt Flora eine Rakete, um ins Weltall zu fliegen; Stella bleibt auf der Erde zurück.

Flora bewegt sich innerhalb des Raumschiffes mit Geschwindigkeiten bis zur Lichtgeschwindigkeit, während sich Stella „normal“ auf der Erde weiter bewegt. Fünf Jahre später kommt Flora zurück auf die Erde. Sie ist nun, wie erwartet 35 Jahre alt.

Als sie auf der Erde nach ihrer gleichaltrigen Zwillingsschwester sucht, wird sie nicht fündig. Denn während Flora, mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, nur fünf Jahre gealtert ist, hat die Erde sich normal weitergedreht, dies mit einer Geschwindigkeit, welche um ein vielfaches langsamer ist, als die Lichtgeschwindigkeit; Stella ist nun schon über 80 Jahre alt.

Dieses Phänomen können wir mit unserem bisherigen Wissen um die Natur der Lichtgeschwindigkeit und der Relativitätstheorie recht schnell begreifen: für schnell bewegte Uhren (somit auch Lebewesen; denn diese haben eine innere Uhr (ihren Organismus)) vergeht die Zeit langsamer. Somit ist Flora weniger gealtert als ihre Schwester.

Das Paradoxe daran ist: wenn jedes System eine Eigenzeit besitzt und es in der Relativitätstheorie Einsteins keine ausgezeichneten Inertialsysteme gibt, wieso altert dann nicht aus dem Blickfeld von Stella ihre Schwester Flora schneller? Dies würde man erwarten, nach allem, was man seit Beginn des Kapitels B, gelesen hat.

Anstatt sich in das „Ruhesystem“ Erde zu setzen, von dem aus sich die Rakete mit annähernder Lichtgeschwindigkeit weg bewegt, kann man in der Relativitätstheorie genauso gut die Rakete als ruhend ansehen, während sich die Erde mit c von ihr fortbewegt. In diesem System würde nun Flora rasch altern, während Stella verhältnismäßig jung bliebe.

Das Paradoxe ist nun, dass es selbst in der Relativitätstheorie diesmal so ist, dass der Zwilling auf der Erde auf jeden Fall schneller altert, als der Zwilling in der Rakete!

Dies ist das berühmte Zwillingsparadoxon, welches nur in der Relativitätstheorie entstehen konnte und auch nur dort unlösbar scheint. Denn solange Inertialsysteme nicht ausgezeichnet sein können, und man zugleich an der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit fest hält, bleibt das Paradoxon bestehen.

Alle hierzu durchgeführten Experimente⁸⁷ zeigen, dass das Paradox nicht nur ein Gedankenexperiment ist, sondern auch in der Realität zu tragen kommt. Es würde, wie in der oben erzählten Geschichte geschehen, Flora jung bleiben und Stella altern.

So gab es mehrere Versuche mit Uhren, welche in Flugzeugen um die Erde geschickt wurden. Eine Uhr fliegt von Ost nach West, die andere von West nach Ost. Und tatsächlich zeigte die nach Osten geflogenen Uhr (also jene, die sich gegen die Erddrehung bewegte) weniger verronnene Zeit an, als die nach Westen geflogene. Dies ist innerhalb der relativistischen Mechanik möglich, da sich die Flugzeuge immer mit einer gewissen Relativgeschwindigkeit zueinander, sowie zur Erde bewegen. Das Flugzeug, welches sich relativ mit der Erde mit bewegt (also nach Westen fliegt), wird somit nach dem Flug mehr Zeit gemessen haben, als jenes, welches sich relativ gegen die Erde bewegt (also nach Osten fliegt).

Alle bisher besprochenen Inertialsysteme waren zwar relativ zueinander bewegt, teilweise in entgegengesetzte Richtungen und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten; doch sie hatten eines gemeinsam: sie waren nicht beschleunigt.

Beschleunigte Bezugssysteme sind in der Relativitätstheorie sehr schwer zu beschreiben, da sich die ganze Physik der Systeme verändert durch diese zweite zeitliche Ableitung.

In beschleunigten Systemen kommen viel mehr physikalische Ausnahmen hervor, als in gleichmäßig bewegten Systemen.

Hinzu kommt, dass man beschleunigte Systeme nicht mehr als Inertialsystem behandeln kann, da zusätzliche Kräfte wirken. Aus diesem Grund wird die Beschleunigung in den Gedankenexperimenten oft außen vor gelassen.

Bezieht man die Beschleunigung in seine Überlegungen mit ein, muss man davon ausgehen, dass ein beschleunigter (nicht linear bewegter) oder abgebremster⁸⁸ Körper, in der Zeit, in der er positive oder negative Beschleunigung erfährt, schneller altert, da er sehr starken relativistischen Effekten ausgesetzt ist. Somit kann man argumentieren, dass sich die Rakete im Zwillingsparadoxon nicht instantan mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, wenn sie startet. Sie muss erst von der Erde aus beschleunigen. Dasselbe gilt für Floras Rückkehr, hier muss sie die Geschwindigkeit erst lange und stark drosseln, um nicht auf der Erde zu zerschellen. Während dieser beiden Perioden (Beschleunigung und negative Beschleunigung) ist ihr Organismus extremen Kräften ausgesetzt.

⁸⁷ Vgl. Hawking, Stephen, *Das Universum in der Nussschale*, dtv, München, 2004, S.: 17

⁸⁸ Bremsen ist mathematisch gesehen Beschleunigen mit umgekehrten Vorzeichen. Anm. d. Autorin.

Was genau während dieser Phasen geschieht ist schwer zu beschreiben und schlecht vorstellbar, da man so ein Verfahren nicht experimentell durchführen kann. Würde man einen Menschen so sehr beschleunigen, würde er sterben, da die auf ihn wirkenden Kräfte zu stark sind. Selbst eine Uhr würde kaputt werden. Verfolgt man das Gedankenexperiment mit einem „idealisierten“ Menschen weiter, kann man davon ausgehen, dass seine innere Uhr während der Beschleunigung immer langsamer wird und während des Abbremsens schneller, bis sie wieder den Rhythmus der Erde angenommen hat. Diese starken relativistischen Effekte können erklären, weshalb der Prozess des unterschiedlichen Alterns im Zwillingsparadoxon anders herum durchgeführt werden kann. Der Zwilling auf der Erde kann nicht als bewegt und der Zwilling in der Rakete nicht als Ruhesystem gesehen werden, da auf den Zwilling in der Rakete nicht nur eine andere *Geschwindigkeit* wirkt, sondern eine *Beschleunigung*. Durch diese Beschleunigung ist die Rakete kein Inertialsystem mehr; darum kann man aus dem System „Rakete“, auch mit einer Lorentztransformation, kein anderes Inertialsystem machen.

Das Paradoxe kurz zusammengefasst:

Zwei Zwillinge altern in dem Gedankenexperiment unterschiedlich schnell, da sie sich in verschiedenen Systemen bewegen. Das Irritierende hierbei ist, dass wir nun nicht, wie gewohnt, das Ruhesystem wechseln können und somit der andere Zwilling schneller altert. Experimente zeigten, dass das Paradoxe des Zwillingsparadoxons in der Natur tatsächlich existiert.

Begibt man sich auf die Spuren der Beschleunigung, in der Annahme, dass dies unser Dilemma auflösen wird, wird das Ganze nur noch verworrener. Da man ein Experiment mit annähernder Lichtgeschwindigkeit nicht durchführen kann und die Effekte bei kleineren Geschwindigkeiten zu gering wären, um aussagekräftig zu sein.

Noch scheint das Paradoxon erhalten bleiben zu müssen. Vielleicht wird man es später einmal schaffen ein Experiment durchzuführen, welches uns die Physik beschleunigter Systeme näher bringen kann.

B. 5, Uhren und Bahndämme

„Die Uhr, nicht die Dampfmaschine, ist die wichtigste Maschine des Industriezeitalters.“⁸⁹

Lewis Mumford

Warum hat gerade Albert Einstein die Relativitätstheorien aufgestellt und damit das Denken der Menschen über die Zeit umgekrempelt? War es ein glücklicher Zufall? War es reine mathematische Begabung? Mag sein, dass das alles mitgespielt hat; aber warum konnte Einstein so offen in seinem Denken sein?

Die Physik seiner Zeit arbeitet mit dem absoluten Zeitbegriff, den Isaac Newton prägte. Wie konnte Einstein überhaupt die Annahme treffen, dass die Zeit vielleicht doch nicht absolut ist?

Ich bin der Meinung, dass Einstein dies u.a. möglich war, da er zur richtigen Zeit, am richtigen Ort lebte. Es war eine Zeit der industriellen Veränderungen, des generellen Umdenkens in Europa. Technik rückte mehr in den Mittelpunkt des menschlichen Daseins. Ich glaube Einstein verdankt seine genialen Theorien seinem Genie und der Eisenbahn.

Spätestens seit dem 19. Jahrhundert befand sich ganz Europa im industriellen Aufschwung - der so genannten industriellen Revolution. Nicht nur Fabriken wurden gebaut, es gab immer mehr mechanische Maschinen und die Dampflok wurde populär.⁹⁰ Die Uhren der damaligen Zeit waren entweder mechanischer oder elektrischer Natur und damit schon sehr präzise und verlässlich⁹¹. Trotz der zuverlässigen Uhren sollte sich ein Problem der Zeitmessung einstellen, an das man zuvor noch nicht gedacht hatte – dies hing zusammen mit der Eisenbahn.

Als es ab Mitte 1800 Züge gab⁹², die weite Strecken hinter sich brachten und immer mehr Passagiere transportieren konnten, kam der Wunsch nach Fahrplänen auf. Schließlich wollte man wissen, wann man beim Bahnhof sein musste und wann man am gewünschten Zielort ankommen würde. Fahrpläne sind für uns heutzutage alltäglich und erscheinen uns als selbstverständlich; doch um 1900 stießen die Erschaffer der ersten Fahrpläne auf ein Problem: auf die Zeitzonen, oder besser: auf das nicht-vorhanden-Sein solcher.

Der Psychologe Paul Levine schreibt hierzu:

⁸⁹ Levine, Paul, *Eine Landkarte der Zeit*, 15. Auflage, Piper, München, 2009, S.: 101

⁹⁰ Vgl.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Eisenbahn>

⁹¹ Wie ab Kapitel A, 4, „Mechanische Uhren“ gezeigt wurde.

⁹² Vgl.: Levine, Paul, *Eine Landkarte der Zeit*, 15. Auflage, Piper, München, 2009, S.: 103

„Oft orientierten sich Bahnhöfe, die nur ein paar Meilen voneinander entfernt waren, an verschiedenen Standards, so daß die Züge sich in der Zeit rückwärts und dann wieder schnell vorwärts bewegten.“⁹³

Die Eisenbahner mussten sich also etwas überlegen und so wurde die *Greenwich-Mean-Time* (Mittlere Greenwich Zeit) eingeführt. Diese Zeit wurde benannt nach dem Greenwich-Observatorium in Greenwich, London, wo sie ursprünglich gemessen wurde. Sie entspricht der mittleren Sonnenzeit des 15. Längengrads östlich von Greenwich, das heißt: im Mittel überquert die Sonne um 12:00 GMT den Meridiandurchgang von Greenwich und hat dabei annähernd ihren höchsten Stand am Himmel. Ab 1883 (ausgehend von Österreich-Ungarn) wurde dieser Zeitzonen-Standard in Europa eingebracht. Seine Verbreitung zog sich bis in die 1990er (Portugal stellte hier das Schlusslicht dar).

Man erschuf nun genaue Zeitpläne und gliederte die Zeit in einen geregelten Ablauf ein, nach dem sich sowohl die Züge, als auch bald darauf schon, die gesamte Bevölkerung einstellen konnte und musste.

Albert Einstein, geboren 1879, ist in dieser Zeit groß geworden; ihm war die Problematik der individuellen Zeiten der teilweise nur ein paar Kilometer (manchmal sogar noch näher) entfernten Dörfer, so wie das Dilemma der Eisenbahner, durchaus bewusst.

Es scheint mir naheliegend, dass Einstein von diesem Geschehen rund um die Industrialisierung in seinem Denken beeinflusst wurde. Man kann dies daran erkennen, dass in Einsteins Formulierungen zur speziellen Relativitätstheorie, in den Ausgaben, welche er für Nicht-Physiker verfasste, fast jedes erklärende Beispiel mit Zügen und Bahnhöfen zusammenhängt. Ein Beispiel:

„Sind zwei Ereignisse, welche in bezug auf den Bahndamm gleichzeitig sind, auch in bezug auf den Zug gleichzeitig?“⁹⁴

Auch sein berühmter Ausspruch „Ist Zürich schon vorbei gefahren?!“ erläutert einerseits sehr gekonnt in einem Satz die Grundbedeutung der Relativität im einsteinschen Sinne und andererseits zeigt sie den großen Einfluss der Zugfahrt auf das Denken der damaligen Menschen.

Weiters ist mit diesem vorerst individuell gestaltetem Zeitsystem (jeder Ort hat seine eigene Zeit/ sowie die große Verbreitung der Taschenuhren und Heim-Uhren) ein erster gedanklicher

⁹³ Ebenda.

⁹⁴ Einstein, Albert, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 24. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2009, S.: 17

Baustein zur relativen Zeit und auch relativen Gleichzeitigkeit gelegt. Dies mag kein physikalischer oder mathematischer Grundstein sein, durchaus; doch hat uns die Geschichte eines gelehrt: nämlich das alle Menschen Kinder ihrer Zeit sind und Ideen sich nur dann entfalten können, wenn es die Umstände zulassen, dass diese Ideen überhaupt geboren werden!

Somit war es vielleicht ein Glücksfall, dass ein physikalisches Genie wie Einstein gerade in einer solchen Zeit geboren wurde, welche den Gedanken an einen flexibleren Umgang mit der Zeit gewährleisten konnte.

B. 6, Einsteins Relativität und der apriorische Zeitbegriff Kants

„Kant hingegen leugnete die Realität von Raum und Zeit und hielt diese beiden Begriffssysteme für Anschauungsformen, d.h. für Konstruktionen des menschlichen Geistes, mit deren Hilfe der menschliche Beobachter seine Wahrnehmung verknüpft, um sie in einem geordneten System zu sammeln.“⁹⁵

Die kritische Philosophie Immanuel Kants ist eine Synthese der Metaphysik und des Empirismus seiner Zeit. So beruft sich Kant u.a. in seinen Schriften der Naturphilosophie auf die Lehren Isaac Newtons.⁹⁶

Newton prägte die Naturwissenschaften mit seinen Erkenntnissen über den absoluten Raum, die absolute Zeit und seine Gravitationsgesetze, also absolute Kraft.

Schon aus diesem Zusammenhang heraus bietet es sich an, die Konzepte Kants, welcher dem newtonschen Weltbild und dessen Physik so zugeneigt ist, mit denen von Einstein, welcher das newtonsche System weitgehend erneuerte, zu vergleichen.

Doch dies ist nicht meine eigentliche Motivation gewesen. Viel mehr stechen die wichtigen Konzepte Kants als recht widersprüchlich zu denen Einsteins ins Auge.

Bei Kant ist die Zeit eine allen Wahrnehmungen vorausgesetzte reine Anschauungsform, also a priori gegeben. Wir Menschen können die Zeit somit nicht aus unserer Erfahrung wegdenken. Die Zeit zählt weder zu den Phänomenen (Erscheinungen) welche uns umgeben, noch zu den Noumena („das Gedachte“). Die Zeit ist eine „Form der Anschauung“. Sowohl Noumena als auch Formen der Anschauung sind zwar Voraussetzungen jeder empirischen

⁹⁵ Reichenbach, Hans, in: Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1955, S.: 199

⁹⁶ Kant, Immanuel, *Schriften zur Naturphilosophie – zweite Abteilung: Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, S.: 251, 299

Anschauung, aber die Noumena sind der "grenzbegrifflich" bloß gedachte „materiale Grund“ der Erscheinungen, während die Zeit (sowie der Raum) nach Kant durchaus eine „empirisch reale“ Form ihres zur Erscheinung-Kommens ist. Zeit und der Raum sind als Anschauungsformen bei Kant deshalb empirisch real, weil sie die einzigen Formen sind, durch die uns Erscheinungen gegeben sind.⁹⁷

Die Zeit ist also Ermöglichungsgrund unserer Wahrnehmung und somit a priori; zugleich ist bei Kant Zeit etwas durch uns Hergestelltes. Keine Zeit ist außerhalb von uns.⁹⁸

Man könnte nun den Fehler begehen und, mit unserem Wissen über die Relativitätstheorie, den Schluss ziehen, dass die relative Zeit bei Einstein den apriorischen Zeitbegriff ablöst. Immerhin gibt es bei Einstein keine absolute Zeit mehr; kein Konzept, welches unabhängig unserer Beobachtung a priori existiert.

Man muss zugeben, dass dies einleuchtend klingt, doch stimmen diese Darstellungen wirklich?

Das kantsche System der Zeit mit dem Einsteins zu vergleichen oder in Beziehung zu setzen ist ein komplexes Verfahren. Einerseits nämlich widerspricht das einsteinsche Verständnis von Zeit dem von Kant. Andererseits aber beinhalten sie sich gegenseitig.

Dies werde ich nun kurz demonstrieren.

B. 6.1, Wie die Relativitätstheorie dem kantschen Zeit–A priori widerspricht

„Begriffe beziehen sich auf Sinneserlebnisse, aber sie sind niemals in logischem Sinne aus diesen Ableitbar. Aus diesem Grunde habe ich die Frage nach dem Apriori im Sinne Kant's niemals begreifen können.“

Albert Einstein⁹⁹

Betrachten wir noch einmal genau, was die spezielle Relativitätstheorie uns über die Zeit lehrt. Es stimmt, Zeit ist relativ.

Die Zeit ist in jedem Inertialsystem A gegenüber jedem anderen, relativ dazu bewegten, System B verändert. Die Uhren, in einem solchen Inertialsystem (A), wirken für ein anderes (B) schneller oder langsamer. Da die Uhren, also die Zeitmessung, in der Relativitätstheorie

⁹⁷ Vgl. Kant, Immanuel, *KdrV* §§ 6 und 7

⁹⁸ Vgl. Kant, Immanuel, *KdrV*, A 31 ff. A 37

⁹⁹ Aichelburg, Peter Christian (Hg.), *Zeit im Wandel der Zeit*, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1988, S.: 124

mit der Zeit per se untrennbar verbunden sind, kann man diese Aussage damit gleich setzen, dass in System A aus Sicht des System B die *Zeit* schneller oder langsamer vergeht. Diese Behauptungen sind untermauert durch die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit – Da die Lichtgeschwindigkeit c konstant ist, ist die Zeit wiederum nicht konstant, sondern, eben, relativ.

Jeder Beobachter (genauer: jedes Inertialsystem) hat also seine eigene Zeit; die sogenannte Eigenzeit.

Das Konzept der Zeit ist in der Relativitätstheorie somit ein sehr individuelles, Beobachter gebundenes, in welchen Aussagen über die Gleichzeitigkeit nur Sinn machen, wenn sie an ein bestimmtes Inertialsystem gebunden sind.

Dieses Konzept steht im Widerspruch zu der Vorstellung einer apriorischen Zeit bei Kant; da die Zeit hier eine Form der Anschauung ist, losgelöst von menschlichen Interpretationen und Wahrnehmungen a priori.

Dass die einsteinsche Idee von der relativistischen Zeit, das alte Konzept Kants aus der gut geebneten philosophischen Bahn wirft, meinte auch Hans Reichenbach. Er schreibt dazu:
„Ihre (Platons und Kant'. Anm. d. Autorin) Grundlagen werden erschüttert, wenn Raum und Zeit nicht Offenbarungen sind, die aus der Vision einer Ideenwelt oder aus reiner Vernunft stammen, deren Existenz ein philosophischer Apriorismus bewiesen zu haben behauptete. Die Analyse der Erkenntnis ist immer der grundsätzliche Ausgangspunkt der Philosophie gewesen. Und wenn die Erkenntnis auf einem so fundamentalen Bereich wie dem von Raum und Zeit überprüft werden muß, so werden sich die Folgen einer solchen Kritik auf die ganze Philosophie erstrecken.“¹⁰⁰

Kant und Einstein widersprechen sich also in ihren Grundaussagen. Kants Bild der Zeit passt sich gut dem newtonschen Verständnis der Natur an. Es ist ein absolutes, a priori gegebenes System, außerhalb dem wir nicht denken können. Dies steht im Kontrast zur einsteinschen Vorstellung einer relativen Zeit. In einem relativistischen System ist Zeit immer ein empirischer Begriff, da sie beobachtet und erfahren werden muss. Erst diese Beobachtung und jener Beobachter, welcher Systeme in Bezug zueinander setzen kann, ermöglichen ein Verständnis von relativer Zeit. Zugleich bedarf es für jedes System, sofern es keinen direkten Vergleich zu einem anderen System hat, eine gewisse Grunderfahrung, damit man um die Relativität der Zeit weiß.

¹⁰⁰ Reichenbach, Hans, in: Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1955, S.: 189

Bei Kant allerdings ist Zeit „(...) *kein empirischer Begriff, der irgend von einer Erfahrung abgezogen worden (ist)*.“¹⁰¹

Für Kant ist Zeit eine Anschauungsform, also eine Konstruktion des menschlichen Geistes.¹⁰² Genau das ist es, was dem einsteinschen Zeitbegriff widerspricht. Nicht unbedingt von der philosophischen Grundidee der Zeit per se, aber wohl in einem globalen, physikalischen Rahmen. Denn Zeit widersetzt sich dem Geiste des Menschen in der relativistischen Vorstellung so stark, dass man kaum von einer, dem menschlichen Geiste entsprungenen Anschauungsform, wie es Kant gemeint hätte, sprechen kann. Was der Mensch hierbei wahrnimmt, was er im eigenen Inertialsystem als Zeit beschreiben würde und jenes was Zeit universal gesehen ist, sind zwei völlig verschiedene Aspekte. Zeit ist bei Einstein mehr als das, worin wir denken, mehr als das, was wir wahrnehmen und beschreiben. Nicht, dass dies ein besseres System wäre; aber es ist doch ein sehr verschiedenes.

Auf den ersten Blick erscheinen also die beiden Systeme Kants und Einsteins völlig konträr. Doch ist es tatsächlich so einfach: Kant hat ein absolutes Verständnis von Zeit, Einstein ein relatives, darum unterschieden sie sich?

Wir wollen uns damit noch nicht zufrieden geben und forschen etwas tiefer.

B. 6.2, Die Inkludierung der a priori Zeit im relativistischen Weltbild

*„Ähnlich scheint Einsteins Relativierung der Zeit mit dem Zeiterlebnis des einzelnen nicht in Übereinstimmung zu sein; denn das Gefühl des „Jetzt“ erstreckt sich schrankenlos über die Welt.“*¹⁰³

*„Wenn ich aber selbst oder ein anderes Wesen mich, ohne diese Bedingung der Sinnlichkeit, anschauen könnte, so würden eben dieselben Bestimmungen, die wir uns jetzt als Veränderungen vorstellen, eine Erkenntnis geben, in welcher die Vorstellung der Zeit, mithin auch der Veränderung gar nicht vorkäme.“*¹⁰⁴

Immanuel Kant

¹⁰¹ Kant, Immanuel, *KdrV*, A 31

¹⁰² Reichenbach, Hans, in: Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1955, S.: 199

¹⁰³ Born, Max, *Die Relativitätstheorie Einsteins*, 4. Auflage, Heidelberg Taschenbücher, Springer Verlag, 1964, S.: 226

¹⁰⁴ Kant, Immanuel, *KdrV*, A 37

Man muss das Konzept Kants selbst in der modernen Physik nicht ganz abschreiben. Es mag zuerst vielleicht unwahrscheinlich klingen, diese Konzepte vereinen zu können, wo sich doch ihre Grundfesten widersprüchlich gegenüber stehen, wie oben gezeigt wurde.

Es stimmt, *global* gesehen sind wohl a priori- und relative Zeit nicht vereinbar, doch *lokal* sieht es anders aus.

Gerade jenes Argument, welches man als Anlass nehmen könnte um Kant zu verneinen, nämlich, dass Zeit Beobachter gebunden ist, gibt den kantschen Argumenten Rückenwind: in jedem dieser Inertialsysteme wirkt die eigene, erlebte Zeit. Für den Beobachter im System wirkt diese wie eine absolute unveränderliche Zeit. Dies untermauert auch, was wir über den Begriff der Gleichzeitigkeit im einsteinschen System gelernt haben: zwei Ereignisse können in ein und demselben Inertialsystem tatsächlich „gleichzeitig“ sein. Dieses Prinzip würde nicht funktionieren, wenn es nicht in jenem System eine einheitliche Zeit, eine a priori Zeit gebe, welche von vornherein Gleichzeitigkeit definieren kann. Gleichzeitigkeit ist in jedem Inertialsystem über die Lichtgeschwindigkeit definiert. Wenn das Lichtsignal zweier Ereignisse zeitgleich beim Beobachter (der von beiden gleich weit entfernt ist) eintrifft, so sind diese Ereignisse gleichzeitig geschehen.

Die Geschwindigkeiten, welche wir im Alltag erleben, sind von der Lichtgeschwindigkeit so weit entfernt, dass für uns die relativistischen Effekte gleich Null sind. Jeder Beobachter muss so ehrlich sein festzustellen, dass, gegen jegliches physikalische Wissen, die Zeit nicht relativ *wirkt*. Verdeutlicht wird dieses Konzept durch ein Beispiel aus der speziellen Relativitätstheorie selbst, das oben angesprochene Zwillingsparadoxon. Man weiß, dass der eine Zwilling auf der Erde im Vergleich zu seiner Schwester im All schneller altert und vielleicht schon tot sein wird wenn die Astronautin immer noch jung von ihrer Reise zurückkommt. Dennoch ist einleuchtend, dass keiner der beiden Zwillinge in seinem Inertialsystem (Erde bzw. Raumschiff) die Zeit als schneller oder langsamer *wahrnimmt* – die Schwester auf der Erde wird der anderen unterstellen diese sei „zu langsam“ gealtert und die andere wird ihrem Zwilling auf der Erde sagen, dass dieser eben „zu schnell“ gealtert sei – keiner wird auf die Idee kommen zu sagen „*ich* bin zu langsam gealtert; meine Zeit verging zu langsam.“. Nur in *Relation* zueinander wird den Schwestern überhaupt auffallen, dass Zeit relativ ist.

Man kann sich die Zeit bei Einstein so vorstellen: man hat diese unzählbar vielen Inertialsysteme, welche relativ zueinander bewegt sind. Diese Systeme haben alle ihre individuellen Maßstäbe, Uhren und Eigenzeiten, mit denen sie messen, agieren und leben.

Wenn man das Ganze allerdings global betrachtet, muss man sich das alles eingebettet in das Konzept der Raumzeit vorstellen. Man darf nicht zu weit gehen und sagen, dass jene Raumzeit *absolut* ist, denn damit würde man sich wiederum gegen die Relativitätstheorie stellen. Dennoch, in jedem einzelnen System genommen gelten die kantschen Vorstellungen einer apriorischen, von unserer Anschauung und Erfahrung gelösten Zeit. Ein „praktisches“ Beispiel hierfür ist wiederum das Zwillingenparadoxon. Betrachtet man das Gesamtsystem, so altert einer der beiden Zwillinge schneller, der andere langsamer; dies geschieht aufgrund der relativen Zeit, welche beide durch unterschiedlich schnelle Bewegung erfahren. Setzt man sich allerdings nur in jeweils eines der beiden Systeme und bleibt dort, ohne je wieder das andere zum Vergleich heran zu ziehen, so wird einem nichts seltsam oder relativ vorkommen, da beide Zwillinge, im je eigenen Inertialsystem normal schnell altern. Die Zwillinge erfahren ihre (Lebens-) Zeit als absolut, solange sie ihr System nicht in Relation zueinander setzen, denn erst dann tritt die Relativität voll in Kraft.

Eine Anmerkung sei noch beigefügt: Die oben angeführten Überlegungen könnten noch weiter gesponnen werden, ja man könnte sogar global gesehen, wieder die newtonsche absolute Zeit einführen. Den Schlüssel hierzu könnte der Urknall¹⁰⁵ liefern. Vorausgesetzt man könnte zurück bis zum Urknall selber sehen (und nicht nur wie zur Zeit bis 300.000 Jahre vor den Urknall¹⁰⁶), dann könnte man den Ursprung des universalen Raumzeit-Koordinatensystems, mathematisch exakt in den Urknall legen und somit eine absolute Raumzeit erstellen. Damit könnte man auch das Problem umgehen, dass die moderne Physik von einem *affinen* Raum ausgeht; also einem Raum ohne ausgezeichneten Ursprung. Man darf zur Zeit keinen solchen Ursprung setzen, da man von keinem ausgehen kann; könnte man den Urknall in der Raumzeit exakt bestimmen, könnte man ihn als solchen Koordinaten-Nullpunkt benutzen.

Allerdings wird dies physikalisch noch dauern, da man, um bis zum Urknall zu sehen, z-B.: Neutrinos verwenden müsste, welche man aber noch nicht gut genug messen kann.

Allein aber, wenn man seine Messmethoden verbessert, diesen Ursprung des universalen Koordinatensystems finden könnte, allein, dass hier die Möglichkeit *gegeben ist*, zeigt, dass

¹⁰⁵ Vgl. Scheipers, Paul, *Naturwissenschaft und die Frage nach Gott – Neue Erkenntnisse über einen alten Konflikt*, Kreuz, Stuttgart, 2005, S.: 65

¹⁰⁶ Jeitler, Manfred, *Astroteilchenphysik*, autorisierte Mitschrift aus dem SoSe 2010, Universität Wien

die kantsche Vorstellung im einsteinschen Weltbild (und auch danach) noch erhalten bleibt und keineswegs veraltet ist.

Diese Einbettung des einsteinschen Zeitbegriffs in eine Art apriorischen, absoluten Zeitbegriff in den einzelnen Inertialsystemen, beantwortet nun auch endlich, die zu Beginn¹⁰⁷ gestellte Frage: „in welcher Zeit messen wir Zeit?“. Denn in einem rein relativistischen Zeitkonzept, welches keinerlei absolute Zeitstrukturen zuließe, könnte man keine Zeit messen. Zumindest keine sinnvolle, aussagekräftige Zeit. Doch mit dem Einsehen, dass es in den einzelnen Inertialsystemen, nach wie vor etwas gibt, das man, mit etwas Bauchweh, „absolute Zeit“ nennen kann, ist es einem nun auch gestattet, von sinnvoll messbarer Zeit (in einem Inertialsystem) zu sprechen. Komplexer wird das ganze also erst, wenn man Zeitmessung als globales Konzept ansetzen will. Denn es scheint unmöglich, im gängigen physikalischen System von einer absoluten, und dadurch messbaren, Zeit zu reden.

¹⁰⁷ Vgl. Abschnitt B. 3, „Die Importanz der Lichtgeschwindigkeit“

C, Aristoteles und die Suche nach dem Wesen des Jetzt

Aristoteles lebte und lehrte in Griechenland von 384–322 v. Chr.

Seine Texte sind vor allem beeinflusst durch die Vorsokratiker: Parmenides, Zenon von Elea, sowie den Atomismus von Leukippos und dessen Schüler Demokrit. Nicht zu verachten ist ebenso der Einfluss Platons auf Aristoteles Gesamtwerk, sowie dessen übermittelnde und überliefernde Funktion der vorsokratischen Ideen.

Wenn man Aristoteles und seine Lehren verstehen will, darf man nicht vergessen, dass Aristoteles selber, in seinen Fragestellungen und Definitionen, beachten musste, was die großen Köpfe vor ihm gesagt haben. Er musste dazu Stellung nehmen und argumentieren, wieso er etwas behauptet oder negiert.

Wenn Aristoteles von Sein oder Existenz spricht, so ist er in Gedanken bei Parmenides; wenn er über die Zeit als Kontinuum schreibt, so ist dies ein bewusster Schlag gegen die Atomisten; wenn er über die Natur nachdenkt, hat er die Elementenlehre des Empedokles im Hinterkopf. Und ebenso, wie Aristoteles selbst, darf ein Leser der aristotelischen Texte all dies nicht vernachlässigen. Es würde hier nun natürlich den Rahmen sprengen, all diese Lehren und ihre Verbindung zum Weltbild des Aristoteles aufzuzeigen dennoch ist es mir ein Anliegen explizit auf deren Einfluss hinzuweisen welcher sich auch auf seine Abhandlung über die Zeit erstreckt.

Der aristotelische Begriff von „Jetzt“, nimmt vor allem Rücksicht auf die Lehren des Atomismus und die Seins -Lehre des Parmenides. Ist jedes Jetzt das gleiche oder verändert es sich? Kann es zeitliche Veränderung geben oder ist alles Stillstand?

Weiters: ist die Zeit unendlich teilbar oder doch atomistisch zu betrachten?

All diese Fragen kommen nicht von ungefähr, sondern sind ein deutliches Zeichen der Prägung des Aristoteles durch seine Vorgänger.

Man muss die aristotelische (oder allgemein die antike) Philosophie und Physik stark von der Physik der Neuzeit unterscheiden. Vergleicht man allein die physikalischen Lehren von Isaac Newton mit denen des Aristoteles, so fallen einem sofort prägnante Differenzen auf. So z.B.: beim Begriff der Bewegung – für Aristoteles war Ruhe die ausgezeichnete Bewegung. Alles was nicht in Ruhe ist, brauchte einen Grund dafür. Newton setzte die geradlinige,

gleichförmige Bewegung als ausgezeichnete Bewegung; alles was sich nicht geradlinig, gleichförmig bewegte, wurde von einer Kraft abgelenkt.¹⁰⁸

Auch das Konzept der natürlichen Orte, welches Aristoteles beschreibt, fehlt in der neuzeitlichen Physik. Dort wird es durch Gravitation und Massengesetze ersetzt.

Die Unterteilung der Himmelsphären in sub- und superlunare Zonen wird in der Physik nach Aristoteles nicht mehr verwendet.

Ebenso ist das heliozentrische Weltbild in der Neuzeit längst etabliert. Zwar war es schon um 300 v. Chr. für einige Philosophen kein Geheimnis mehr, dass sich die Erde um die Sonne dreht¹⁰⁹, doch das Nusschalen-Universum des Aristoteles ist eindeutig ein geozentrisches Weltbild; was wohl einer der Gründe ist, wieso Aristoteles im stark theologischen Mittelalter so populär war.

Da die heutigen physikalischen Grundgedanken immer noch auf der neuzeitlichen Physik aufbauen oder zumindest deren Kanon tragen, finde ich es essentiell darauf hinzuweisen, dass der Umgang mit der Natur zu Zeiten Aristoteles ein völlig anderer war, als in den darauffolgenden Epochen.

Dies zieht sich durch viele Aspekte, einer davon ist, dass Aristoteles viel Wert auf die Aussagekraft von Phänomenen legte und darauf „Wissenschaften“ basieren ließ während modernere Wissenschaft eher rein rational herleitet, oder davon ausgeht, dass Phänomene täuschen können (wie z.B.: in der Quantenmechanik). Aristoteles setzte die Ruhe als absolute Bewegung und die Kreisbewegung als vollendete Form; Isaac Newton drehte dieses Konzept später um, indem er Kraft als stärksten Indikator seiner Physik deklarierte.

Somit ist die aristotelische Physik aus heutiger Sicht nicht mehr ganz so intuitiv zu verstehen, wie sie es damals wahrscheinlich war; ein Grund mehr seine Lehren ganzheitlich zu betrachten, um einen guten Einblick in die aristotelische Gedankenwelt zu erhalten.

¹⁰⁸ Durch dieses Gedankenschema war es Newton auch möglich zu erklären, warum der Mond sich um die Erde dreht. Nämlich aufgrund der Gravitationskraft, welche den Mond zur Erde hin zieht und ihn dadurch aus seiner geradlinig, gleichförmigen Bewegung ablenkt. Mit der aristotelischen Physik konnte dies niemals so erklärt werden. Anm. d. Autorin

¹⁰⁹ So gab es diverse Hypothesen für ein heliozentrisches oder teil-heliozentrisches Weltbild. Unter anderem sprachen Herakleides von Pontos, Aristarch von Samos oder auch die Pythagoreer von einem Feuer bzw. der Sonne im Mittelpunkt. Für die Pythagoreer war Feuer essentieller als Erde, darum meinten sie, dass die Sonne und andere Planeten den Mittelpunkt besetzen müssten. Aristarch von Samos behalf sich mit Geometrie um zu zeigen, dass die Erde nicht im Mittelpunkt sein konnte. Vgl. Mühlöcker, Hofstetter, *Philosophie und Physik*, Skriptum aus dem SoSe 2009, Universität Wien

C. 1, Das aristotelische Konzept der Zeit

Die aristotelische Zeit ist konstant gleich schnell. Sie kann weder schneller noch langsamer vergehen, da diese Begriffe („schnell“ und „langsam“) erst durch die Zeit und somit durch ein konstantes Maß definiert werden.

C. 1.1, Zeit als Kontinuum

Die Zeit ist bei Aristoteles kontinuierlich.¹¹⁰

Er widersetzt sich hiermit der Vorstellung des antiken Atomismus (deren Begründer Leukippos und Demokrit waren). Dessen Hauptthese besagt, dass die Welt, wie wir sie kennen, aus kleinsten, unteilbaren Bausteinen aufgebaut ist, den Atomen (vom griechischen *ατομος*, das Unteilbare).

Aristoteles war einer der ersten Gegner des Atomismus und vertrat die Idee des Kontinuums. Er war der Ansicht, dass es kein Kleinstes, beziehungsweise Unteilbares geben kann. Dies vertrat Aristoteles gleich aus mehreren Gründen; einerseits missfiel ihm die Idee der Atome, als unteilbare, kleinste Einheiten. Weiters trennt das aristotelische Weltbild das Universum in die Sub- und die Superlunare Zone, der Atomismus des Leukippos vereinheitlichte diese Sphären. Aristoteles war davon überzeugt, dass die Welt ein geordneter, kontrollierter Ort mit bestimmten Abläufen ist; diese Abläufe werden durch die vier Ursachen (formale-, materielle, wirkungs- und finale- Ursache) gesteuert. Die Atomisten hingegen waren der Ansicht, dass die Substanz der Welt, die Atome, sich frei und völlig willkürlich bewegen. In den aristotelischen Vorstellungen von Form und Materie ist es so, dass Materie (*υλη*) erhalten bleibt, Form (*ειδος*) aber nicht; die Atomisten waren der gegenteiligen Ansicht, dass die Form der Atome erhalten bleibt.

Aristoteles konzipiert seine Idee des Kontinuums sehr speziell:

„Zusammenhängend“ ist einerseits ein besonderer Fall von „anschließend“, ich sage aber dagegen, „zusammenhängend“ liege dann vor, wenn die Grenze beider, da wo sie sich berühren, eine und dieselbe geworden ist und, wie der Name ja schon sagt, zusammengehalten wird.“¹¹¹

Aristoteles legt hierbei, wie wir später auch bei dem Problem der zwei Jetztte sehen werden, Wert darauf, dass es nur *eine* gemeinsame Grenze geben darf, wenn etwas kontinuierlich ist. Die Zeit war für Aristoteles ein Kontinuum; also ein Durchgängiges, ins unendlich Teilbare. Der Grundgedanke, der sich eben dem Atomismus widersetzt, ist der, dass ein Kontinuum

¹¹⁰ Aristoteles, P IV 12.

¹¹¹ Aristoteles, P V 3. 227a 13 ff

nicht aus unteilbaren Stücken zusammengesetzt werden kann; doch die Zeit ist ganz offenbar ein Kontinuum und nichts bloß endlich Teilbares.

„Daß also die Zeit Zahlmoment an der Bewegung hinsichtlich des „davor“ und „danach“, und daß die zusammenhängend ist – denn die ist bezogen aus ein Zusammenhängendes -, ist offenkundig.“¹¹²

C. 1.2, Zeit und Bewegung

Die Zeit ist bei Aristoteles nicht nur, dem Atomismus des Leukippos und Demokrit zum Trotz, als Kontinuum zu sehen, sie steht abgesehen davon in vielen Verhältnissen zu anderen Entitäten. So hat die Zeit eine gegenseitige Abhängigkeit zum menschlichen Geist, zum Raum und auch zur Bewegung. Diese Abhängigkeit der Zeit von u.a. der Bewegung, macht es auch so schwer, die Zeit zu greifen, sie zu erklären, da sie immer in Wechselwirkung mit einer anderen komplexen Einheit steht.

Um sich der Zeit des Aristoteles zu nähern, muss man das Pferd von hinten aufzäumen und die Verbindung zwischen der Zeit und der Bewegung erörtern.

Es ist eine Verbindung, welche entsteht, wenn man der Frage nachgeht „In welcher Zeit misst man Zeit?“ oder auch „Anhand von was misst man Zeit?“. Denn Zeit selbst bewegt sich nicht. Oder doch?

Es sei vorweggeschickt, dass Aristoteles die Ruhe als ausgezeichnete Bewegung deklarierte, im Gegensatz zu „bewegter Bewegung“. Der Grundzug dieser Bewegungen ist ein Umschlag, eine Wandlung von etwas zu etwas anderem, eine *Metabolé*.

Aristoteles unterteilt diese bewegte Bewegung in vier verschiedene Arten; in vier seiner insgesamt 10 Kategorien¹¹³, hat die Bewegung eine direkte Relevanz.

Die allseits bekannte Ortsbewegung ist im aristotelischen Konzept nur eine Art des Umschlags von etwas zu etwas (in diesem Falle: von hier nach dort). Die drei anderen relevanten Kategorien der Bewegung sind: Qualität (aus rot wird gelb), Quantität (aus wenig wird viel) und Substanz (entstehen; vergehen).¹¹⁴ Dass der Bewegung mehr als „nur“ die Ortskategorie zugeordnet wird, steht im krassen Gegensatz zu den meisten der nachfolgenden Konzepte der Bewegung. So zum Beispiel dem von Newton für den die Ortsbewegung die

¹¹² Aristoteles, P IV 11. 220a 40 ff

¹¹³ Aristoteles, Cat. 4. 1b 25

¹¹⁴ Vgl. Pöltner, Günther, *Naturphilosophie*, Skriptum aus dem WS 2009/10, Universität Wien

einzig mögliche darstellte.¹¹⁵ Auch in der heutigen Alltagssprache findet man den Begriff „Bewegung“ eher nur in Bezug zu einer örtlichen.

Was hat nun aber Zeit im aristotelischen Kontext mit Bewegung zu tun?

Für Aristoteles gibt es einen krassen Unterschied zwischen Bewegung und Zeit; die Zeit ist sicher nicht mit Bewegung gleichzusetzen; allerdings ohne diese kann Zeit auch nicht sein.¹¹⁶ Sie bedingen sich gegenseitig. Durch Bewegung sehen wir, anhand von gewissen Veränderungen, dass Zeit vergangen ist. Ebenso zeigt uns die Bewegung der Sonne auf der Sonnenuhr die messbare Zeit an. Doch umgekehrt verhält es sich so, dass es eben jene Veränderung, jene Bewegung nur in der Zeit selbst geben kann, denn nichts geschieht, nichts *ist*, außerhalb der Zeit.

Aus diesen Überlegungen zieht Aristoteles den Schluss, dass Zeit etwas *an* dem Bewegungsverlauf sein muss. Bleibt nur noch die Frage, welchen Anteil an der Bewegung die Zeit darstellt.

Dieser Frage nachgehend, stößt Aristoteles darauf, dass wir Zeit nur durch das Ziehen von Grenzen wahrnehmen. Ohne eine Grenze, wie etwa „davor“ oder „danach“, kann es keine messbare, bzw. allgemein wahrnehmbare Zeit geben. Und genauso braucht Bewegung ein davor und danach, sei es nun im räumlichen oder zeitlichen Umschlag von etwas zu etwas anderem. Die Grenzziehung dient also hierbei als Verbindung von Bewegung und Zeit.

Aristoteles nennt dies die *Messzahl der Bewegung*.¹¹⁷

Diese Vorstellung ist eng verbunden mit dem aristotelischen *Jetzt* Begriff.

Mit dem Argument, dass Bewegung und Zeit miteinander verwobene Konzepte darstellen, macht Aristoteles es schlussendlich auch klarer, wieso Zeit ein Kontinuum sein muss. Er stellt fest, dass Bewegung anhand von einem davor und danach gemessen wird. Es bewegt sich „von etwas fort zu etwas hin“¹¹⁸. Da aber jede ausgedehnte Größe sicherlich etwas Zusammenhängendes sein muss, so muss auch die Bewegung ein Kontinuum bilden. Und schließlich, mit den oben angeführten Argumenten für die enge Verbindung von Bewegung und Zeit, schließt er, dass Zeit also kontinuierlich sein muss.

¹¹⁵ Ebenda.

¹¹⁶ Aristoteles, P IV 11. 218a 19 ff

¹¹⁷ Aristoteles, P IV 11. 219a ff

¹¹⁸ Aristoteles, P IV 11. 219a 11 ff

C. 2, Die aristotelische Problematik der zwei Jetztte

„ Würden die Jetztte überall gleichbleiben, gäbe es keinen „Zeitablauf“, ändert sich aber das Jetzt, wird die Zeit räumlich, und damit gibt es wiederum keinen Zeitablauf, weil es überhaupt keine Zeit gibt.“¹¹⁹

Der aristotelische Begriff des „Jetzt“ ist überaus komplex; nicht zuletzt dadurch, dass Aristoteles einerseits seine zahlreichen Paradoxien über die Zeit, im Kapitel der *Physik* welches die Zeit behandelt, nicht auflöst und man Hilfestellung in anderen Passagen suchen muss und andererseits da Aristoteles nirgends eine konkrete Antwort auf die von ihm aufgeworfenen Fragen gibt.

Doch gerade das, macht die Frage umso spannender.

Die Abhandlung über den Jetzt Begriff und die Thematik der Gegenwart bei Aristoteles rühren von der Grundfrage nach dem Jetzt, der Vergangenheit und der Zukunft her.

Diese drei Zeiten gliedern die Zeit in für den Menschen fassbare Einheiten. Dennoch werfen sie (die Teilstücke) wiederum neue Fragen auf. Das Dilemma um die Vergangenheit, die Gegenwart und die Zukunft zieht sich durch die meisten Texte, welche sich mit der Zeit befassen. Auch Aristoteles versuchte diese drei Anteile der Zeit gedanklich zu ordnen und stieß dabei auf weitere, geradezu unheimlich anmutende Eigenschaften der Zeit.

„ Daß sie (die Zeit. Anm. der Autorin) nun also entweder überhaupt nicht wirklich ist oder nur unter Anstrengung und auf dunkle Weise, das möchte man aus folgenden (Tatbeständen) vermuten: Das eine Teilstück von ihr ist vorübergegangen und ist (insoweit) nicht (mehr), das andere steht noch bevor und ist (insoweit) noch nicht. Aus diesen Stücken besteht sowohl die (ganze) unendliche, wie auch die jeweils genommene Zeit. Was nun aus Nichtseiendem zusammengesetzt ist, von dem scheint es doch wohl unmöglich zu sein, daß es am Sein teilhabe. Außerdem, von jedem teilbaren (Ding), falls es ist, müssen, solange es ist, entweder alle seine Teile sein oder (doch) einige. Von der Zeit dagegen sind die einen Teile schon vorüber, die anderen stehen noch bevor, es ist keiner, und das, wo sie doch teilbar ist. Das „Jetzt“ aber ist nicht Teil: der Teil mißt (das Ganze) aus, und das Ganze muß aus den Teilen bestehen; die Zeit besteht aber ganz offensichtlich nicht aus den „Jetztten“.“¹²⁰

¹¹⁹ Schwarz, Gerhard, *Philosophische Aspekte des Zeitproblems*, in: Horvat, Manfred (Hg.), *Das Phänomen Zeit*, 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984, S.: 10

¹²⁰ Aristoteles, P IV 9. 217 54 ff

Mit diesem Absatz leitet Aristoteles das Problem des „Jetzt“ ein. Man kann hierbei sehr schön die Verbindung zur Philosophie des Parmenides erkennen. War es doch dieser, der die Grundfragen nach der Existenz des Seins in einige paradoxe Grundsätze fasste und somit ad absurdum führte.¹²¹ Ähnliches geschieht hier mit dem Zeit-Konzept des Aristoteles. Man kann gut erkennen, wie die Beschäftigung mit der Zeit weiterführt zu den drei Anteilen der Zeit und in dem Dilemma um die fragliche Existenz des Jetztes und die Frage nach der Art des Jetztes mündet.

Das Hauptparadoxon des aristotelische Jetzt-Begriffes kann folgender Maßen zusammengefasst werden: Ist „Jetzt“ immer dasselbe oder ist „Jetzt“ ein sich stetig Wandelndes? Beides scheint unmöglich zu sein.

Aristoteles arbeitet heraus, dass „Jetzt“ ein Begriff ist, den man in jedem Moment neu bestimmen muss bzw. der jedem Moment neue Bestimmung gibt. Jedoch eines bleibt als Essenz bestehen: das Gleichzeitige. Denn Gleichzeitig ist nur, was dasselbe Jetzt teilt. So kann das „Jetzt“ sich wandeln, es bleibt einerseits immer das gleiche andererseits ist es immer ein Neues, nur durch die Stränge des Gleichzeitigen sind sie untereinander verbunden.

„Und wie der Bewegungsablauf je ein anderer und (wieder) anderer ist so auch die Zeit - nur jeder gleichzeitig genommene Zeitpunkt ist derselbe; das Jetzt (bleibt) ja dasselbe Was-es-einmal-war, nur sein begriffliches Sein ist unterschieden: das Jetzt setzt Grenzen in die Zeit gemäß „davor“ und „danach“. Das Jetzt ist in einem Sinn genommen (immer) dasselbe, in einem anderen (wieder ist es) nicht dasselbe: insofern es immer wieder an anderer (Stelle begegnet), ist es unterschieden – das war doch eben das „Jetzt-sein“ an ihm-; (bezogen auf das,) was das Jetzt zu irgendeinem Zeitpunkt eben ist, ist es das Selbe.“¹²²

C. 2.1, Das sich-wandelnde Jetzt

Das erste Jetzt, welches Aristoteles vorstellt ist ein recht intuitives, wie ich finde. Es ist ein Jetzt, welches ständig wechselt. Ein Jetzt, dem Begriff des Momentes sehr ähnlich, welches kommt und vergeht, kurz besteht und somit seinem Eindruck in der gesamten Zeit hinterlässt. Dieses Jetzt wird häufig verglichen (auch von Aristoteles selber) mit einem Punkt auf einer

¹²¹ Dawid, Richard, *Vom antiken Atomismus zu modernen Elementarteilchen*, Skriptum aus dem WS 2009/10, Universität Wien, S.: 7 ff

¹²² Aristoteles, P IV 10. 219b 12 ff

Linie.¹²³ Das Hauptproblem aber ist: wo fängt dieser Punkt an? Wo hört er auf? Wann *ist* er überhaupt?

Wenn das „Jetzt“ also immer ein anderes ist, dann tut sich die Frage auf, wann das Jetzt Nr. x denn *aufgehört* hat zu sein? Es kann ja nicht aufgehört haben zu sein, *bevor* es war, genauso wenig kann es erst aufhören, wenn *es nicht mehr ist*; da ja ein anderes schon *ist*, und es kann auch nicht aufhören zu sein *während* es *ist*, denn das geht schon aus der Wortdefinition als unmöglich hervor. Es kann also *nie* aufgehört haben. Das gleiche Paradox stellt sich, wenn man danach fragen will, wann es denn *begonnen* hat zu sein. Es kann nicht beginnen, bevor es ist, es kann nicht erst beginnen, wenn es schon ist und es kann nicht beginnen, wenn es vorbei ist.

Somit scheint es unmöglich, dass die „Jetztte“ immer andere sind. Schon allein sprachlich und logisch scheint dies unmöglich.

Allerdings lässt Aristoteles ein kleines Schlupfloch offen, welches vielleicht die Lösung in sich birgt, er schreibt:

„(...) – es soll dabei als unmöglich (vorausgesetzt) sein, daß die Jetztte miteinander zusammenhängend wären, so wie das ja auch im Verhältnis von Punkt zu Punkt gilt.“¹²⁴

Da der geometrische Punkt 0-dimensional ist, ist es mit Aristoteles unmöglich, dass die Punkte (einer Linie) miteinander zusammenhängen. Schließlich weiß man, dass etwas ausgedehnt sein muss um etwas anderes zu berühren. Ein Punkt ist ein rein gedachtes, mathematisches Konstrukt, er kann also nichts berühren. Allerdings tritt hier das Paradox auf, dass eben diese unausgedehnten Punkte, obgleich es unmöglich erscheint, eine, selbst sehr wohl ausgedehnte, Linie bilden. Für die Jetztte gilt offensichtlich das gleiche Paradox, denn sie *sind nicht* und bilden doch die Zeit.

Allerdings mutet dieser Ausspruch eigenartig an, schließlich ist Aristoteles ein starker Vertreter der Kontinuumshypothese. Zeit ist für Aristoteles ein Paradebeispiel für ein Kontinuum¹²⁵. Darum muss man dieses Zitat kritisch beleuchten. Man sollte denken, dass man mit Aristoteles davon ausgehen kann, dass die Jetztte, auch wenn sie immer ein anderes sind, in gewisser Art zusammenhängen und ein Kontinuum bilden. Dieser Gedanke würde sich nicht nur besser mit dem aristotelischen Bild der Zeit vereinbaren lassen, sondern würde auch das erste Paradox entschärfen; denn wo die Jetztte zusammenhängen, da gibt es einen Weg,

¹²³ Aristoteles, P IV 13. ff

¹²⁴ Aristoteles, P IV 10. 218a 27 ff

¹²⁵ Aristoteles, P IV 11. 219a ff, 11. 220a ff, 12. 222b ff

wie das eine Jetzt vergehen kann, ohne das nächste Jetzt damit zu belasten.¹²⁶ Allerdings sagt Aristoteles dies nirgends explizit. Man kann aber davon ausgehen, dass er sich dessen bewusst war.

Das Kontinuumsargument, welches augenscheinlich als die Rettung aus dem Dilemma gewirkt hat, liefert leider zugleich das nächste Problem: mit dem Anti-atomismus gesprochen, muss man davon ausgehen, dass es keine Atome gibt, also kein kleinstes, nicht mehr teilbares Stück (z.B.: der Zeit). Also können sich die Jetztte nicht berühren, denn die Teile zwischen ihnen können ins unendliche weiter geteilt werden ohne jemals zu einer Schnittstelle zu gelangen. Somit kommt man nie zu dem Punkt, wo das eine Jetzt das andere tatsächlich berührt. Der Historiker und Philosoph Richard Sorabji beschreibt dies so:

„Aristotle is right that instants are never next to each other. To see why, we can imagine trying to name the instant next to two o'clock. Will it occur a millionth of the way through the ensuing second? But there is an instant closer to two than that: the instant a two millionth of the way through the ensuing second. Nor is that latter instant immediately next to two, for we can take even smaller fractions ad infinitum.“¹²⁷

Das Entscheidende hierbei ist, dass es niemals einen *ersten* Moment geben kann. Denn man kann immer einen noch näheren bzw. „ersteren“ finden.

Diese Überlegungen wirken nun wie ein auswegloses Dilemma. Glauben wir, was Aristoteles schreibt, und Zeit ist kein Kontinuum; dann haben wir das Problem der Grenze des Jetzt. Gehen wir aber davon aus, dass Aristoteles auch weiterhin an seiner Kontinuumshypothese festhält, so gibt es gar keine Grenze, an der sich die Jetztte ablösen könnten.

Was also wie eine Einbahnstraße aussieht, kann, so Sorabji, auch als partielle Lösung gesehen werden. Auf die Frage: wann hörte ein Moment auf zu existieren? Können wir nämlich in der Kontinuumshypothese antworten: Wann auch immer man will! Denn die beiden Momente (welche nacheinander „Jetzt“ sind) werden nie nebeneinander sein. Das bedeutet so viel wie, es ist eine Zeit lang „Jetzt Nr.: a“ dann eine unendlich lange und zugleich unendlich kleine

¹²⁶ Mit diesem Dilemma richtet sich Aristoteles offensichtlich an den Philosophen Zenon von Elea; welcher mit seinen Aporien der Zeit, des Raumes und der Bewegung für viel Diskussion sorgte. Die Grundaussage des Zenon war, dass es keine Bewegung geben kann, da man jede Zeiteinheit immer kleiner zerteilen kann und es somit nur Stillstand gibt. Seine Aporien konnten erst durch die Infinitesimalrechnung, gute 2000 Jahre später, gelöst werden.

¹²⁷ Sorabji, Richard, *time, creation and the continuum – theories in Antiquity and the Early Middle Ages*, Paperback edition, The University of Chicago Press, Chicago, 2006, S.: 9

Zeitspanne „nichts“ (was immer das bedeutet) und dann kommt „Jetzt Nr.: b“. Somit haben wir das Problem der Grenze gelöst; es ist nun egal, wo sie ist, denn sie ist irgendwo im unendlich kleinen Bereich zwischen Jetzt a und Jetzt b.

Sorabjis Lösungsvorschlag geht noch einen Schritt weiter: der zweite Teil der Lösung hierzu liegt in der Grammatik der Zeiten selbst. Man kann niemals sagen: „Ein Moment hört auf“ (Gegenwart), aber man kann wohl sagen: „Der Moment hat aufgehört“ (Perfekt).¹²⁸ Das heißt also, dass man, wie Aristoteles so richtig bemerkt hat, *in* einem Moment, *während* eines Jetzt nicht sagen kann, „dieses Jetzt ist nun vorbei“; sehr wohl aber kann man, sozusagen im Nachhinein bestimmend sagen, dass das vorherige Jetzt schon vorüber ist.

Problematisch ist nur, dass auch dieser Gedanke nicht das Dilemma auflöst, wie man sich aus einem gegenwärtigen Jetzt befreien kann. Denn der Mensch ist gefangen im aktuellen Jetzt. Wenn Zeit vergeht, kann ich, und hier hat Sorabji recht, im Perfekt vom Vortag reden. Doch wie komme ich jemals aus der sprachlichen Konstruktion der Gegenwart hinaus? Es wird mir niemals möglich sein, vom aktuellen Zustand, als Vergangenheit, als vorbeigegangenes Jetzt, zu reden. Somit bleibt dieses aristotelische Dilemma meiner Meinung nach weiterhin erhalten.

C. 2.2, Das beständige Jetzt

Aristoteles Problemstellung an das Jetzt geht noch weiter. Er schlägt eine zweite Möglichkeit des Jetztes vor: ein immer gleiches, alles bedeckendes, Zeiten überdauerndes Jetzt. Ein Jetzt, das alle Probleme des Jetzt, welches sich immer wandelt, umgeht. Es braucht keine Grenze zur Ablösung, da es ja ein großes ganzes Jetzt ist. Auch die Grammatik der Sprache ist bei ihm immer die gleiche, es ist einfach immer Jetzt, immer präsent und somit ist von ihm immer im Präsens zu reden.

Wie zu erwarten war wirft Aristoteles auch dieser Idee gleich ein berechtigtes Contra entgegen:

Wenn das Jetzt aber immer dasselbe bleibt, dann kommt ein neues, völlig anderes Problem der Grenzen auf: Aristoteles meint, kein teilbares, begrenztes Ding hat nur *eine* Grenze. Die Zeit ist ihrem Wesen nach teilbar und begrenzt (teilbar in Zeitabschnitte und begrenzt durch

¹²⁸ Ebenda S.: 10ff

natürliche Schranken¹²⁹). Das Jetzt stellt eine solche Grenze dar und dennoch kann man ein Zeitstück herausgreifen und separat betrachten. Damit hätte man dann zwei Grenzen, zwei „Jetzt“, eines zu Beginn und eines am Ende dieses zuvor separierten Zeitstückes. Dies ist das erste Paradox des andauernden, immer gleichen Jetzt; nämlich dass es zwar Eines ist, aber, durch seine Teilbarkeit, ohne weiteres in Mehrere zerlegt werden kann. Somit ist man hiermit wiederum bei der Problematik des ersten Jetzt (welches immer wechselt) angelangt.

Das zweite Paradox des beständigen Jetzt, besteht in der Konstanz des Jetzt und was dies für die Geschichtlichkeit bedeutet.

Wenn man davon ausgeht, dass das Jetzt immer ein- und dasselbe bleibt, dann müsste ja das, was gestern war, jenes, was vor tausenden Jahren war, das was in zehn Tagen sein wird und das, was heute ist, zusammenfallen, da jedes mögliche Ereignis vom selben „Jetzt“ beschrieben wird. Das ist empirisch gesehen Unsinn, wie wir wissen. Gäbe es nur ein Jetzt, dann säßen wir mit Julius Cäsar, unserer Urgroßmutter und Aristoteles zur selben Zeit (nämlich im selben Jetzt), am gleichen Tisch. Dies ist offensichtlich, aus rein empirischen sowie logischen Gründen, nicht der Fall.

Vielleicht wäre ein Lösungsansatz für das Jetzt, welches immer dasselbe bleibt, die Einführung von Metaebenen im sprachlichen Konstrukt. Wenn man dieses Jetzt als beständig und als Eins ansieht, ihm aber gewisse Eigenschaften zuspräche, könnte man dem Dilemma entkommen. So zum Beispiel wäre es hilfreich dem Jetzt Teilstücke zuzuschreiben. Es ist ein großes, ganzes Jetzt, doch man darf von vergangenen Teilen und zukünftigen Teilen des Jetzt sprechen.

Ähnlich, wie der grammatikalische Lösungsversuch, welchen Sorabji vorbrachte, würde dieses sprachliche Konstrukt nicht das gesamte philosophische Dilemma auflösen; doch es würde einen Lösungsansatz im Kleinen darstellen. Das Jetzt-Problem behindert sich schon rein sprachlich so stark, dass man zum wirklichen Lösen gar nicht heran kommt. Würde man nun zulassen, dass das beständige Jetzt Teilstücke besitzt, wäre man der Lösung vielleicht einen Schritt näher. Obgleich sich dann sofort wieder die Problematik der Grenzen zu Wort meldet.

Ich denke dieses Dilemma besteht nicht ohne Grund seit Jahrtausenden.

¹²⁹ Das Weltbild des Aristoteles und somit auch seine Vorstellung der Zeit ist vollkommen und nicht unendlich, begrenzt und in Ordnung. Anm. d. Autorin.

Somit bleibt die Causa der zwei Jetztte eine brennende philosophische Frage, da laut Aristoteles entweder Möglichkeit 1 oder Möglichkeit 2 richtig sein sollten, beide aber in sich widersprüchlich sind.

Aristoteles hat dieses Dilemma nie ganz aufgelöst, er hat den Denkern nach sich nur einige Lösungsvorschläge geliefert, die er selbst aber sogleich wieder verworfen hat, da er sie mit Rationalität ad absurdum führte.

Das Problem der zwei Jetzt ist ein bisher ungelöstes.

D, Erörterung des aristotelischen Zeit-Begriffes unter einsteinschen Parametern – ein Versuch des Vergleiches der Zeit in zwei Epochen

Ich habe in den letzten Kapiteln einige Konzepte Albert Einsteins und Aristoteles vorgestellt, die mir wesentlich für meine Arbeit erschienen. Nun werde ich versuchen, diese Konzepte zu vergleichen, sie in den Kontext der jeweiligen Epoche zu bringen und den Zusammenhang zu den verschiedenen Zeitmessmethoden herzustellen. Man sollte dabei beachten, dass mein Hauptaugenmerk die Begriffe *Jetzt*, *Gleichzeitigkeit* und das Thema der Zeitmessung sein wird.

Oftmals werde ich mich auf Themen beziehen, welche ich in den oben stehenden Kapiteln abgehandelt habe, darum empfiehlt es sich diese bei Bedarf nachzulesen.

D. 1, Der Zeitbegriff im Rahmen der Zeitmessung

Inwiefern wurden Einstein und Aristoteles von der Zeitmessung ihrer Epoche geprägt? Wo sieht man direkte Unterschiede in ihrem Denken, die sich auf die Art der Uhren, die es zu ihrer Zeit gab, zurückführen lassen?

Die Frage nach der Zeit im Allgemeinen scheint bei Aristoteles noch um einiges mystischer zu sein, als sie es bei Einstein ist.

Aristoteles' erste Fragen, als er in der *Physik* an die Zeit herantritt, sind die nach dem Wesen der Zeit und ob ihr per se Sein zukommt, oder ob sie ein Nicht-Seiendes ist.

„Anschließend an das Gesagte ist nun an die (Bestimmung) „Zeit“ heranzutreten. Zunächst ist es von Vorteil, hierüber Zweifelsfragen anzustellen, auch mittels äußerlich herbeigezogener Überlegungen, nämlich ob sie zum Seienden gehört oder zum Nichtseienden; sodann (ist danach zu fragen), was denn ihr wirkliches Wesen ist.“¹³⁰

Wenn man im Vergleich dazu in den Texten Einsteins liest, wirkt die Zeit sehr entmystifiziert. Einstein fragt weniger nach dem Wesen der Zeit, als nach ihrem Zusammenhang mit dem Raum und der Masse. Einstein zeigt sich hier eindeutig mehr von seiner physikalischen Seite. Zwar ist seine Theorie ebenso abstrakt, wie die des Aristoteles, dennoch wirken die Fragestellungen viel bodenständiger. Wenn Einstein über den Zeitbegriff schreibt, so befasst

¹³⁰ Aristoteles, P IV 10. ff

er sich nicht mit dem Wesen der Zeit, er geht gleich in physikalisches *medias res* und erläutert eine seiner beliebten Eisenbahn-Analogien.¹³¹

Ich behaupte, dass man sich hier auf die Zeitmessung berufen darf.

Zur Zeit des Aristoteles war Zeitmessung, und somit das Verständnis von Zeit, ein völlig anderes, als bei Einstein.

In der griechischen Antike sehe ich folgende Phänomene: einerseits ist Zeit, im Vergleich zur europäischen Moderne noch unwichtiger. Denn was hätte es für einen Nutzen Zeit wichtig zu nehmen, wenn man sie gar nicht genau bestimmen kann. Ich meine dies in einem sehr praktischen, Menschen-nahen, Sinn: wozu sich über Pünktlichkeit sorgen, wenn niemand Minuten messen kann? Wozu streiten, über die Anzahl der Arbeitsstunden, wenn man einfach solange arbeitet, bis die Sonne untergeht? Zeit war in diesem Sinne noch viel undefinierter und unwichtiger.

Dieser Umgang mit der Zeit sowie der Bezug zur Zeit zieht sich auch weiter durch, bis hin zum philosophischen Umgang mit derselben. Ein unerforschtes Thema verlangt nach Basis-naher Bearbeitung. Und wie so oft in der Geschichte der Menschheit, wenn wir etwas nicht verstehen bzw. nicht exakt erklären können, gesellen sich zu diesem Thema Fabeln und Mysterien. Götter werden erschaffen, um Rätsel zu erklären.¹³²

Der zweite Aspekt ist, dass Zeit in der Antike noch relativ frei war. Sonnen- und Wasseruhren sind stark abhängig von Umwelteinflüssen, sind bei weitem nicht so präzise, wie die mechanischen oder elektronischen Uhren der Moderne. Es gibt fast keine privaten Uhren, höchstens eine Uhr, die dem ganzen Dorf zugänglich ist; somit kann auch vom einzelnen Menschen nicht erwartet werden, dass er pünktlich um 15.34 in der Taverne (oder irgendwo anders) eintrifft.

Zeit wird in Stunden unterteilt; nicht in Millisekunden.

Somit ist Zeit einerseits nicht belastend für die Menschen und zugleich nicht belastet durch gesellschaftliche Konventionen wie Pünktlichkeit, „Zu spät kommen“ oder Stechuhren bei der Arbeit.

¹³¹ Einstein, Albert, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 24. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2009, S.: 13

¹³² Vgl.: Gloy, Karen, *Philosophiegeschichte der Zeit*, Wilhelm Fink Verlag, München, 2008, S.: 7 sowie S.: 17

Auch dieser Aspekt der antiken Zeit spiegelt sich in den Ideen wieder. Zeit als ungezwungenes, natürliches Phänomen und zugleich als nicht- zwingendes Konzept, Zeit als das, was Sonne und Mond uns vorgeben. Einerseits ist Zeit per se also noch sehr undefiniert, andererseits ist sie damit auch noch nicht so wichtig, wie sie später einmal sein wird. Es ist also kein Zufall, dass Aristoteles die Existenz-Frage an die Zeit richtet. Zeit ist eben unklar, frei und nicht klar definiert. Zeit ist somit ein Mysterium.

Der dritte Unterscheidungspunkt ist der, dass Zeit in der Antike noch eher etwas mit Natur, Naturgewalt und somit auch den Göttern zu tun hatte. Das ganze aristotelische Weltbild (man erinnert sich: Nusschalen-Universum, natürliche Orte, verschiedene Arten der Bewegung etc.) basiert auf sehr Natur-nahen Ideen und empirisch festgestellten Tatsachen (wie eben, dass geworfene Steine wieder gen Erde fallen). Auch die Zeit war sehr Natur nah, wie in Kapitel A, 3, (Die erste Uhr) beschrieben wurde. Man hatte vor allem die Sonne, welche den Tag/Nacht Rhythmus vorgibt. Auch die anderen, damals zugänglichen Uhren waren eher von natürlicher Art, wie z.B.: das Ausnützen der Gravitation (oder wie immer man es bezeichnen mag), um mit Hilfe eines Wassertropfens die Zeit zu messen. Das Weltbild des Aristoteles fügt sich also sehr gut in den Umgang mit der Zeit und Zeitmessung damals.

Albert Einstein lebte gute 2000 Jahre später als Aristoteles; die Weltbilder und die Arten der Zeitmessung haben sich stark verändert; so auch die Problematiken, mit denen Einstein sich auseinandersetzt. Einstein erlebt den Aufschwung der Industrie, er lebt in einem, durch Isaac Newton geprägten physikalischen Weltbild, er besaß gewiss eine mechanische Uhr.

Pünktlichkeit, Fragen wie „Welche Uhrzeit haben wir?“, „Wann genau kommst du?“ und „Wieso bist du zu spät?“ gehören zum Alltag. Ebenso die „Gewissheit“, dass sich der Mensch die Natur, spätestens seit der Neuzeit, Untertan gemacht hat, sie bestimmt, berechnen und beherrschen kann (zumindest ist dieser Kanon gängig).

Und dann wiederum erlebt Einstein, dass etwas so simples, wie korrekte Zugfahrpläne die Menschen völlig aus dem Konzept werfen können¹³³.

Zeit ist hier einerseits eingesperrter als in der Antike, eingesperrt in Uhren mit Sekundenzeiger, eingesperrt in der naiven menschlichen Annahme, man könne die Natur der Zeit beherrschen.

¹³³ Vgl. Kapitel: B, 5, Uhren und Bahndämme

Andererseits beherrscht die Zeit immer mehr die Menschen, indem sie das Werkzeug der Unterdrückung per se geworden ist.

Wie zu erwarten, finden wir all diese Merkmale des Umganges mit der Zeit auch in den einsteinschen Konzepten wieder. Einiges davon habe ich in den vorherigen Kapiteln (ab Kapitel B) schon erläutert.

Im Gegensatz zu Aristoteles Umgang mit der Zeit, stellt sich Albert Einstein ganz andere Fragen; Zeit wird nicht als philosophisches Konstrukt befragt, sondern im Hinblick auf physikalische Tatsachen. Was Zeit, aus rein realistischen Blickpunkten ist, ist unwichtig. Es stellt sich hier nicht die Frage, ob das Befragen der Zeit im Sinne einer Realismusdebatte erfolgen soll oder ob sie rein sprachliche Implikationen hat, also als nominalistisches Problem gesehen werden soll.

Wie schon erwähnt liefert auch die Individualisierung der Uhren, und damit die Individualisierung der Zeit, einen Anhaltspunkt für die einsteinschen Konzepte. Individuelle Zeitzonen, unterschiedliche Inertialsysteme, Eigenzeiten. Einstein ist merklich geprägt von seiner Zeit und so wundert es nicht, dass sein philosophisches und physikalisches Verständnis von Zeit sich vom aristotelischen sehr absetzt.

D. 1.1, Eine Annäherung an Einstein

So sehr sich Einstein und Aristoteles auch unterscheiden mögen, auf Grund ihrer Lebensumstände und der damit verbundenen Art ihres Denkens, so gibt es doch durchaus verbindende Elemente in ihren Theorien der Zeit.

In einem Abschnitt der *Physik*¹³⁴ kommt Aristoteles interessanterweise der Problematik der speziellen Relativitätstheorie Einsteins nahe.

Aristoteles befasst sich gerade mit den verschiedenen Problemen des Jetzt und beschreibt Lösungsvorschläge anderer Denker. Unter anderem bespricht er die Theorien von Archytas, der gesagt haben soll, dass die Zeit „die Ausdehnung der gesamten Natur“ ist¹³⁵ und die These des Pythagoras, welcher die Zeit als „die Kugel des Umfassenden“ beschreibt¹³⁶. Aristoteles kombiniert dies dazu, dass Zeit hier gleichbedeutend ist mit der Weltkugel. Daraufhin erwidert er selbst:

¹³⁴ Vgl. Aristoteles, P IV 10. 218b 14 ff

¹³⁵ Zekl in: Aristoteles, *Physik*, Bücher I (A) – IV (Δ), Zekl, H.G. (Übers.), Felix Meiner Verlag, Hamburg, 1987, S.: 266

¹³⁶ Ebenda.

„Weiter, wenn es mehrere Himmelskugeln gäbe, dann wäre ja wohl entsprechend die Zeit die Bewegung einer jeden von ihnen; so gäbe es denn viele Zeiten neben einander her.“¹³⁷

Der Zusammenhang zur Relativitätstheorie liegt auf der Hand. Man kann die verschiedenen Himmelskugeln gleich setzen mit den verschiedenen Inertial- bzw. Bezugssystemen, in denen je eine eigene Zeit vorliegt. Bei Einstein gibt es tatsächlich diese, an Bezugssysteme/ Himmelskugeln, gebundene Zeiten. Dies ist uns schon in Kapitel B, 6.2, erschienen, als ich den Zusammenhang mit dem eher absoluten Zeitbegriff Kants zu Einsteins Eigenzeiten erläuterte. Es ist interessant zu erkennen, dass es schon in der Epoche des Aristoteles möglich war, einen solch relativistischen Gedanken, die Zeit betreffend, zu fassen.

Leider geht Aristoteles diesem Gedanken nicht weiter nach. Es scheint sogar so, als würde er die Vorstellung, dass es verschiedene Zeiten gäbe, als absurden Gedanken abtun und ihn dazu verwenden die Theorie, der an-die-Welten-gebundenen-Zeiten, zu verwerfen.

„Aber diese Behauptung ist doch wohl zu einfältig, als daß man die damit sich ergebenden Unmöglichkeiten durchprüfen müßte.“¹³⁸

Dies wiederum kann uns lehren, dass Aristoteles ganz anders mit der Zeit umging, als Einstein. Für Aristoteles war offenbar der Gedanke an mehrere Zeiten einfach obskur; was nicht weiter verwunderlich ist; schließlich glaubte Aristoteles an ein System, in dem sich der Mensch und die Erde im Mittelpunkt des Universums befanden. In diesem Weltbild ist kein Platz für gleichrangige Neben-Welten. Die Kugel hat genau einen Mittelpunkt und nicht etwa zwei.

Für Einstein hingegen war dieser Gedanke keineswegs abwegig.

Auch dies ist rein geschichtlich sehr gut nachzuvollziehen, schließlich ist zu Einsteins Zeit die kopernikanische Wende längst vorbei, das heliozentrische Weltbild etabliert, man weiß um die Existenz anderer Galaxien und Planeten und man weiß, dass die Erde keinen ausgezeichneten Punkt im Universum einnimmt. Dadurch war es für Einstein eher möglich der Idee mehrerer Zeiten Platz zu schaffen; schließlich war in der Physik und dem Weltbild der damaligen Menschen auch Platz für mehrere Planeten und man wusste um die große Unwissenheit, die wir dem Universum gegenüber besitzen.

Will man versuchen einen Zusammenhang zur Zeitmessung zu schaffen, muss man sich wieder einmal die Zeitmessinstrumente der jeweiligen Epoche vor Augen führen.

¹³⁷ Aristoteles, P IV 10. 218b 6 ff

¹³⁸ Aristoteles, P IV 10. 218b 6 ff

Bei Aristoteles gab es Sonnen- und Wasseruhren so wie die großflächige Zeitmessung anhand der Gestirne. Dies alles folgt einem gemeinsamen Konzept: der Natur. Man hat z.B.: bei der Sonnenuhr eine einzige Kausalität, nämlich, dass die Sonne sich um die Erde dreht und ihr Licht zu uns schickt. Die Wasseruhr folgt dem aristotelischen Konzept der natürlichen Orte: Wasser strebt dem Boden zu, deshalb fließt es von einem Topf oberhalb in den darunter und man kann mit klugen Überlegungen daraus ein Zeitmessinstrument machen¹³⁹.

Es ist verständlich, warum Aristoteles den Gedanken an mehrere Zeiten gar nicht weiter verfolgt; es gibt immer nur eine Zeitquelle und alle Zeitmessinstrumente folgen dieser gleichermaßen.

Zur Lebenszeit Einsteins war dies schon ganz anders. Jeder Mensch konnte seine Zeit, in Form einer Taschenuhr, bei sich tragen und man konnte zumindest in fast jedem Heim eine Uhr finden. Diese Uhren basierten auf – mehr oder weniger – komplexer Mechanik oder Elektronik. Diese Uhren konnten durchaus falsch gehen. Das ist ein entscheidender Unterschied zur Sonnen- oder Wasseruhr. Wenn bei diesen Uhren die Zeit nicht mehr angezeigt wurde, dann war der Stab der Sonnenuhr umgefallen, oder das Wasser war ausgegangen, doch es lag nie am zeitanzeigenden Mittel selbst (es war nie die Sonne implodiert oder Wasser folgte nicht mehr den Gesetzen der Schwerkraft). Auch war die Sonne, also der Treibstoff der Zeit gewisser Maßen, auf der ganzen Welt die gleiche. Immer konstant, verlässlich und regelmäßig, und das überall. Hier wäre es tatsächlich schwer gewesen, sich vorzustellen, dass es verschiedene Zeiten gibt. Denn es wurden einfach keine verschiedenen Zeiten gebraucht.

Eine elektronische Uhr ist um einiges komplexer und mitunter merkt man gar nicht, dass die Anzeige etwas Unrichtiges anzeigt. Dazu kommt der starke Einfluss, den die Synchronisation der Uhren auf Einstein hatte. Als mit der Industrialisierung Züge populär wurden, ergab sich das Problem, dass jeder Ort eine andere Zeit benutzte. Es war ein langwieriger Prozess, die Uhren und Zeitzonen mit der Greenwich-Zeit gleichzuschalten.

Mit diesem Hintergrund war der Gedanke an die Relativität der Zeit für Einstein weit weniger problematisch, als es für Aristoteles je hätte sein können.

¹³⁹ Beide Beispiele beschrieben im Wortlaut des aristotelischen Weltbildes. Anm. der Autorin.

D. 2, Raum und Zeit - Raumzeit

Die Physik des Albert Einstein prägte den Begriff der Raumzeit¹⁴⁰. Ein mathematisch-physikalisches Konstrukt, welches die drei Raumdimensionen (x, y, z) um eine vierte, die Zeitdimension (t) erweitert. Raum und Zeit sind hier keine voneinander abgekoppelten Konzepte mehr, sondern sind miteinander verwoben. Dies hat auch geometrische und konzeptuelle Auswirkungen, wie in Kapitel B, 4.2, gezeigt wurde.

Doch Raum und Zeit waren schon lange vor der Physik Einsteins verwobene Entitäten.

So wird bei Aristoteles das Jetzt indirekt darüber definiert, dass es zwischen einem „Davor“ und einem „Danach“ in einem (Bewegungs-)Ablauf steht.

Die Begriffe „davor“ und „danach“ wiederum kommen, so Aristoteles, ursprünglich aus dem Raumbegriff, in dem es eine logische Anordnung von „vor“ und „hinter“ gibt, insofern, dass man sich von „hier“ nach „dort“ bewegt und somit „zuvor hier“ war und „danach dort“ ist.

Das dies ein räumliches Konzept ist, scheint logisch und entspricht den Erfahrungstatsachen, welche sich in unserer Alltagssprache wiederfinden lassen. Aristoteles bedenkt weiters, dass dieser Umschlag „von hier nach dort“, diese Bewegung, in einer gewissen Zeit erfolgt; somit sind diese Begriffe auch zeitlich zu sehen.

„Aber auch die Zeit erfassen wir, indem wir Bewegungsabläufe abgrenzen, und dies tun wir mittels des „davor“ und „danach“. Und wir sagen dann, daß Zeit vergangen sei, wenn wir von einem „davor“ und einem „danach“ bei der Bewegung Wahrnehmung gewinnen.“¹⁴¹

Was ist allerdings dazwischen passiert? Räumlich gesehen ist das *Dazwischen* der Weg der zwischen den Orten liegt. Zeitlich gesehen ist es das Jetzt oder die Jetztte. Und alles zusammen nennt Aristoteles die Zeit.

„Wenn wir nämlich die Enden als von der Mitte verschieden begreifen und das Bewußtsein zwei Jetztte anspricht, das eine davor, das andere danach, dann sprechen wir davon, dies sei

Zeit: Was nämlich begrenzt ist durch ein Jetzt, das ist offenbar Zeit.“¹⁴²

Aristoteles definiert also das Jetzt und sogar die Zeit per se, über Umwege, mit Hilfe von räumlichen Begriffen und dem Begriff der Bewegung.¹⁴³

Dieses Konzept der Verbindung, von räumlichen- und zeitlichen Begriffen, erinnert an die Raumzeit bei Einstein.

¹⁴⁰ Genauer gesagt, handelt es sich hier um die so genannte „Minkowski- Raumzeit“, nach dem Mathematiker Hermann Minkowski (1864-1909), der diese mathematische Raumzeit, sowie das dazugehörige Koordinatensystem als Erster konstruierte. Anm. der Autorin.

¹⁴¹ Aristoteles, P IV 11. 219a 30 ff

¹⁴² Ebenda.

¹⁴³ Ebenda.

Einstein geht noch einen Schritt weiter. In seinem Konzept der allgemeinen Relativitätstheorie sind Raum und Zeit (und Masse) untrennbare Konzepte geworden. Diese sind nicht durch rein sprachliche Hilfskonstruktionen miteinander verbunden, sondern erlangen im physikalischen und mathematischen Raum grundlegend neue Bedeutung als ein Ganzes.

Aristoteles formuliert dies zwar nie so aus, wie es Einstein getan hat, man sieht dennoch die ähnliche Gedankenstruktur: Ohne Bewegung im Raum gibt es, bei Aristoteles, kein logisches Konzept der Zeit oder des Jetzt. Somit sind Raum und Zeit schon bei Aristoteles verwoben.

D. 3, Bezugssysteme und Bewegung

Obwohl Aristoteles sich nicht damit anfreunden konnte, dass es mehrere Zeiten geben könnte, ist es doch so, dass seine Zeit-Theorie und sein Verständnis von „Jetzt“ auf Bewegung und somit subjektiver Beobachtung beruht.

„Wenn wir also das Jetzt als ein einziges wahrnehmen und nicht entweder als „davor“ und „danach“ beim Bewegungsablauf oder als die (eine und) selbe (Grenze) zwischen einem vorherigen und einem nachherigen (Ablauf), dann scheint keinerlei Zeit vergangen zu sein, weil ja auch keine Bewegung (abließ). Wenn dagegen ein „davor“ und „danach“ (wahrgenommen wird), dann nennen wir es Zeit. Denn eben das ist Zeit: die Maßzahl von Bewegung hinsichtlich des „davor“ und „danach“.“¹⁴⁴

Ohne Bewegung, ohne Veränderung also kein Zeit-Empfinden.

Hier legt Aristoteles, ohne sich dessen bewusst zu sein, den Grundstein für ein relativistisches Verständnis von Zeit. Zwar ist sein Ziel hier den Bezug zur Bewegung darzustellen und weniger darauf hinzuweisen, dass Bewegung etwas ist das von jemandem wahrgenommen werden muss; dennoch impliziert er dies. Wenn Aristoteles schon ein Verständnis für verschiedene Bezugssysteme gehabt hätte, wenn es schon Taschenuhren und Zeitzonen per se gegeben hätte, so hätte man hier anknüpfen und die Theorie der relativen, Beobachter-gebundenen Zeit einleiten können.

In Einsteins Theorie ist die Zeit, ebenso wie bei Aristoteles, an den Beobachter gebunden. Erst durch die Beobachtung anderer Bezugssysteme kann man erkennen, dass Gleichzeitigkeit nicht universell und Zeit relativ ist.

Dieser Schritt wäre im aristotelischen Weltbild ein recht unlogischer. Schließlich ist hier die Erde ein ausgezeichneter (Mittel-) Punkt. Die aristotelische Physik eignet sich schon allein

¹⁴⁴ Aristoteles, P IV 11. 219a 44 ff

daher nicht zur Entwicklung einer Theorie vieler gleichberechtigter Inertialsysteme mit Eigenzeiten, wie es sie bei Einstein gibt.

Diese Art des Denkens lässt sich eher mit dem newtonschen System in Übereinstimmung bringen. Hier gibt es nur ein einziges Inertialsystem, Zeit ist absolut und die Definition von „gleichzeitig“ macht niemandem Kopfzerbrechen. Aus so einem System heraus, kann eben nur durch äußere Umstände eine relativistische Physik entstehen. Einstein kamen die Züge und die Taschenuhren zu Gute; diesen Vorteil konnten Aristoteles, oder auch Newton, nicht ihr Eigen nennen.

Was in diesem Abschnitt hervorsteht, ist die Kombination von Zeitmessung und Bewegung. Wie gesagt, ein Beobachter kann Zeit dadurch wahrnehmen, dass sie sich in Bewegung bzw. Veränderung offenbart. Zeitmessung ihrerseits bedarf einem Instrument – also einer Uhr. Zeit misst Bewegung und Bewegung misst Zeit. Dadurch, dass die Sonne sich über den Himmel bewegt, wird von der Sonnenuhr die Zeit gemessen. Da sich die Zeiger im Kreis drehen, misst die mechanische Uhr die Zeit usw. Es bedarf also Bewegung. Nicht nur um Zeit zu messen, sondern auch, damit Zeit per se einen Sinn erhält. Denn was wäre Zeit, in einer Welt des Stillstandes? Wäre sie bemerkbar? Und wenn ja, von wem und wie?

Dieser essentielle Zusammenhang ist in den Werken Aristoteles ebenso zu erkennen, wie in der Physik Einsteins.

Die Bewegung ist also ein gemeinsamer Nenner, welcher die großen zeitlichen, technischen und historischen Diskrepanzen zwischen den beiden Denkern unbeschadet überstanden hat.

D. 4, Die Frage nach der Gleichzeitigkeit und dem Jetzt - Die Problematik der aristotelischen zwei Jetztte im einsteinschen Weltbild

Machen wir uns nun daran, das aristotelische Jetzt in den Kontext des einsteinschen Weltbildes zu setzen.

Die große Problematik des Aristoteles bezüglich der Implikationen des Jetzt und die Frage, ob es nun verschiedene, wechselnde Jetztte oder ein konstantes Jetzt gibt¹⁴⁵ rückt unter einsteinschen Bedingungen in ein völlig anderes Licht.

Dadurch, dass das Medium, in welchem wir die Zeit wahrnehmen durch Einstein relativiert wird, relativiert sich zugleich das Problem des in sich geschlossenen Jetzt-Begriffes. Das Jetzt ist bei Aristoteles eine Umschreibung des Kontinuumproblems, welches durch die

¹⁴⁵ Vgl. Abschnitt: C. 2,

Atomismus-Debatte sehr präsent war. Die Relativierung der Zeit löst auch die starren Grenzen eines Überganges des ersten Jetzt ins zweite Jetzt auf. Einstein macht *Jetzt* zu einem relativen Begriff. Wir leben im einsteinschen Weltbild wie in *einem* großen Jetzt, welches ein sehr Subjektives ist, man könnte somit Aristoteles erstem Jetzt-Vorschlag zustimmen, in welchem das Jetzt ein einziges, immer präsent ist. Allerdings, und auch dies wird durch die Relativitätstheorie gefördert, ist die Zeit und das Jetzt so relativ und subjektiv zu sehen, dass sich das Jetzt stetig ändert und in der Geschichte des Universums, also global gesehen, immer ein *anderes* ist. Einerseits hat jedes System eine eigene Zeit und somit ein eigenes Jetzt, andererseits gibt es in jedem System ein anderes Jetzt als im nächsten Inertialsystem. Dies beschreibt die Relativität per se. Nicht alles ist relativ, doch die Zeit ist es bestimmt. Durch die Relativität der Zeit wird der Jetzt-Begriff „schwammiger“, seine Grenzen verschmieren; dadurch kann man flexibler mit ihm umgehen, zumindest auf einer sprachlichen Ebene. In einem relativistischen System ist der Umgang mit zeitlichen Konzepten freier, als im aristotelischen.

Die Frage nach den zwei Jetztten, welche Aristoteles ausformulierte, wird von Einstein nicht nur mathematisch beantwortet. Auch philosophisch ist hier ein anderer Zugang möglich. Das Konzept der verschiedenen Inertialsysteme ohne ausgezeichneten Status, lässt verschiedene Jetztte erahnen. Die Frage, ob das Jetzt kontinuierlich ist, oder doch ein immer neues und wo dessen Grenzen sind, erscheint unter der Relativitätstheorie in einem anderen Licht. In einem relativistischen Set-up erscheint es nicht logisch, dass es ein beständiges Jetzt gibt. Allein die kosmologische Komponente gibt Anlass zur Annahme, dass sich das Jetzt wandeln muss. Die Entwicklung des Universums, wie wir es uns heute (und zu Einsteins Zeit) vorstellen, basiert darauf, dass die Welt seit dem Urknall im Wandel ist, das Universum expandiert. Dieses Universum hat, aufgrund mangelhafter Beobachtungsmöglichkeiten, keinen ausgezeichneten Ursprung. Deshalb kann man auf kein „ausgezeichnetes“ – und somit beständiges- Jetzt schließen. Eine Zeit, die an ein solches System gebunden ist, muss mit flexiblen Zeitbegriffen, unter die das Jetzt fällt, hantieren.

Allerdings erscheint dies schon bei Aristoteles als die unwahrscheinlichere der beiden Möglichkeiten.

Dieses Konstrukt mag seltsam anmuten, doch das ist nur dadurch bedingt, dass jeder Mensch als Individuum seine Eigenzeit immer miterlebt. Er ist in ihr gefangen und kann gar nicht

anders, als die Zeit absolut (oder *kantisch*¹⁴⁶) zu erfassen. Man muss sich im Klaren darüber sein, dass Zeit, wie wir sie erleben, nicht Zeit ist, wie sie global, physikalisch oder objektiv existiert.

Bei Einstein gibt es keine absolute Zeit mehr. Zeiträume sind nun immer individuell zu sehen, jedes Objekt hat seine Eigenzeit und somit seine eigene Weltlinie in der Raumzeit.

Dies beinhaltet auch, dass die Fragestellung von einem absoluten Jetzt nichtig wird. In der Relativitätstheorie wird die Raumzeit in die verschiedenen Bezugssysteme unterteilt. Dies schlägt sich nicht nur auf die gesamte Struktur der Zeit nieder, sondern auch explizit auf die Thematik des Jetzt. Was für Beobachter A schon vergangen ist, kann für einen Beobachter B gegenwärtig, für einen Beobachter C noch zukünftig und für den Beobachter D völlig irrelevant sein, da er sich mit seiner Weltlinie niemals an diesem Punkt in der Raumzeit befinden wird. Damit wird die Frage, ob es denn *ein* Jetzt gibt, oder ob es immer wechselt, insofern relativiert, dass man sagen kann: global gesehen, spielt das gar keine Rolle!

Sicher ist, dass jedes Inertialsystem eine andere Eigenzeit hat; dieses beinhaltet eine eigene Vergangenheit, eine eigene Zukunft und ein eigenes Jetzt bzw. Jetztte.

In den Inertialsystemen selbst bleibt das aristotelische Paradox der Jetztte allerdings weiterhin bestehen und muss separiert behandelt werden.

Die Problematik des Aristoteles wird also verschoben, in ein kleineres System.

Da es nicht mehr eine einzige, und somit gewissermaßen „absolute“, Zeit und damit absolute Zeitproblematik gibt, wird in der Relativitätstheorie auch das Problem der Jetztte relativiert.

D. 4. 1, Die Dimension der Gleichzeitigkeit

Ein weiterer Aspekt, in dem sich das aristotelische und das einsteinsche Weltbild unterscheiden, ist die Dimension, in der sie arbeiten.

Es fällt auf, dass das Zeitkonstrukt des Aristoteles auf einer zweidimensionalen Linie verläuft. Er selbst vergleicht den Fluss der Zeit immer wieder mit einer geometrischen Gerade und die Jetzt „Punkte“ mit mathematischen Punkten auf jener Linie.¹⁴⁷

In der Physik des Albert Einstein wird dieses System auf vier Dimensionen erweitert. Der dreidimensionale, physikalische Raum, der neuzeitlichen Physik fügt sich zusammen mit der Dimension der Zeit - es ergibt sich ein vierdimensionales Modell, genannt Raumzeit.

¹⁴⁶ Vgl. Abschnitt B, 6, 2.

¹⁴⁷ Vgl. Aristoteles 218a 18ff sowie 220a 25ff

In einem solchen Konstrukt, ist es leichter, die Problematik des Jetzt von „weiter weg“ zu betrachten. Ein Punkt, seines Zeichens nulldimensional, welcher auf einer zweidimensionalen Linie gewisse Probleme verursacht, erscheint unter vier dimensionaler Betrachtung nichtiger (solange es sich hierbei nicht um eine Singularität handelt). Einstein schrieb zu dieser Thematik:

„Das vierdimensionale Kontinuum zerfällt nun nicht mehr objektiv in Schnitte, welche alle gleichzeitigen events enthalten; das „Jetzt“ verliert für die räumlich ausgedehnte Welt seine objektive Bedeutung.“¹⁴⁸

Somit verschiebt sich dieses Problem in der Geometrie der Raumzeit um zwei Dimensionen nach oben.

Dies mag alles sehr abgehoben klingen, man jedoch darf die Relevanz der Geometrie in der Relativitätstheorie und im Gesamtkonzept Einsteins nicht vernachlässigen, wie das Beispiel des Lichtkegels zu Geltung brachte¹⁴⁹.

Ich behaupte nicht, dass das aristotelische Problem der zwei Jetztte völlig aufgelöst wird; aber es wird zumindest in einem anderen Licht dargestellt.

So wird das Jetzt-Problem durchaus relativiert, seine starren, zweidimensionalen Schranken gehen auf in der Vierdimensionalität der Raumzeit.

D. 5, Absolut relative Zeit?

Die Vorstellung einer absoluten Zeit entbehrt jeglichem geschichtlichen Kontext und ist ein rein philosophisches Konzept. Auch der einsteinsche Begriff der relativen Zeit und die Loslösung der Gleichzeitigkeit von einer universalen Gültigkeit konnten daran nichts ändern. In Kapitel B. 6.2, zeigte ich auf, dass die Vorstellung einer absoluten Zeit im relativistischen Rahmen durchaus erhalten bleibt. Die erlebte Zeit ist nicht gleich der physikalisch vorgestellten Zeit. Dies ist dadurch bedingt, dass relativistische Effekte erst ab annähernder Lichtgeschwindigkeit „erlebbar“ werden. Dadurch gibt uns die Lichtgeschwindigkeit die Grenze vor, an der die absolute Zeit endgültig zum Scheitern verurteilt ist. Wir werden uns, zumindest im Alltag, niemals mit c bewegen können.

Aristoteles konnte sich mit der Idee der relativen Zeit nicht anfreunden. Dies mag vor allem an der Epoche liegen, in der er lebte und an den damit verbundenen Vorstellungen über die

¹⁴⁸ Einstein, Albert, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 24. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2009, S.: 102

¹⁴⁹ Vgl. Abschnitt: B, 4. 2,

Natur und Naturgesetze. Einstein konnte sich, dank der Eisenbahnen, Taschenuhren und fortgeschrittener Technik seiner Periode, relative Zeit vorstellen und die Universalität der Gleichzeitigkeit in Frage stellen; doch erlebt hat Einstein die Relativität selbst nie.

Die Grundgedanken, die Einstein aufstellte, basieren auf philosophischen Gedankenexperimenten, welche durch mathematischen Formalismus abgedeckt wurden. Der Mensch ist insofern von seiner Epoche geprägt, dass er sich andere Zeitkonzepte denken kann; das reine Erleben der Zeit allerdings hat sich seit Aristoteles nicht (maßgeblich) verändert. Auch im 19. Jhdt. fallen die Säcke voll Mehl aus Kapitel B. 3.1.2, noch gleichzeitig um. Das konzeptuelle Denken über diese Säcke ist es, das sich geändert hat.

E, Konklusio

Es wurde gezeigt, dass Zeittheorien und Zeitmessung Hand in Hand gehen.

Anhand zweier sehr verschiedener Epochen wurde aufgeschlüsselt, in welchem Wechselspiel Theorie und Praxis, sowie einzelne Menschen und ihre Umgebung, stehen.

Nicht nur die Philosophie des Aristoteles, sondern auch sein Menschenbild, fügen sich in die Zeitvorgaben, welche eine Sonnenuhr bietet - nämlich die Ausgesetztheit der Menschen gegenüber den natürlichen Gegebenheiten.

Einstein, seines Zeichens Physiker der Moderne, entwickelte seine Relativitätstheorie und damit sein Verständnis der Gleichzeitigkeit, im Rahmen der fortgeschrittenen Technik der immer präziseren Uhren sowie des neu gewonnenen Verständnisses einer anderen Art der Unterlegenheit; nämlich der Unterlegenheit unter ein Konzept, welches der Mensch selbst geschaffen hat: genauere Zeitmessung und individuelle Zeitzonen.

Aristoteles verneint mit seinem Beispiel der verschiedenen Weltkugeln jede Koexistenz verschiedener Zeiten. Nichts desto trotz steckt in dieser Negation ein Gedanke, der sich bei Einstein zur speziellen Relativitätstheorie ausweitet. Jene Relativität der Zeit, welche Aristoteles so bewusst negierte, und bei Einstein zum Eckpfeiler der modernen Physik wurde, kann mit Kants Zeitverständnis in eine, zunächst unvermutete Deckung gebracht werden.

Hans Reichenbach sah hier mit der speziellen Relativitätstheorie (SRT) die Grundlagen der bisherigen Philosophie wackeln, wenn er meinte, den kantschen Begriff von Raum und Zeit gegenüber der Relativitätstheorie als naive „apriorische Offenbarung“ degradieren zu können.

Aber kann man leugnen, dass Zeit oder auch der Raum für das Ich-Subjekt, für den Menschen, ja sogar für den Zwilling des gleichnamigen Paradoxons, einen apriorischen, also alle Wahrnehmung des Einzel-Individuums konstituierenden, Charakter haben? Selbst wenn „ich“ bzw. „meine Geschwindigkeit“ den Gesetzen der SRT folgen, kann ich dann deshalb abstreiten, dass meine Zeit, apriorische und mithin, meine Wahrnehmung aller erst ermöglichende Bedingung darstellt? Und wenn ja, wo besteht dann noch der Widerspruch zu mir als Zeit konstituierendem Moment und den verschiedenen Inertialsystemen der SRT?

Verschiedene Epochen des Zeitverständnisses lassen sich also, wenn auch nicht in Einklang, so doch in Deckung bringen. Antike philosophische Kontexte und moderne physikalische Konstrukte lassen sich auf Basis der Zeitmessung insofern verbinden, als dass gezeigt werden konnte: es ist nur wenig Umdeutung von Begriffen, mit unterschiedlichen gesellschaftlichen und technischen Voraussetzungen nötig, um auf ähnliche Schlüsse zu kommen; wie eben die Relativität der Zeit oder die Übereinkunft, dass *jetzt* oder *gleichzeitig* relative Begriffe sind.

Relativ, da sie einen Beobachter bzw. eine Art der Anschauung bedürfen, um überhaupt Bedeutung zu erlangen.

Die Zeitmessung spannt somit einen Bogen, nicht nur zwischen zwei Epochen, sondern auch zwischen zwei Formen der Wissenschaft, nämlich der Physik und der Philosophie.

Anhang: „Was ist Zeit für dich?“

Augustinus von Hippo war es der die bekannte Frage formulierte:

„Was ist also „Zeit? Wenn mich niemand danach fragt, weiß ich es; will ich einem Fragenden es erklären, weiß ich es nicht.“¹⁵⁰

Auch ich habe mich, während dem Schreiben dieser Arbeit intensiv mit der Frage nach einer allgemein gültigen Antwort auf den Zeitbegriff befasst – doch bin ich auch heute nicht schlauer. Wahrscheinlich muss man es mit Faust sehen, egal wie viel man studiert, die profansten Fragen, kann man nicht rational lösen¹⁵¹.

Als solch eine Profanität stellt sich die Frage nach dem Wesen der Zeit dar, obgleich sie ebenso unendlich komplex anmutet.

Diese Umfrage war mein persönlicher Versuch der Zeit und ihrem wahren Wesen ein Stück weit näher zu kommen.

Ich habe Freunde, Bekannte und Kollegen völlig spontan dazu aufgefordert, mir „aus dem Bauch heraus“ folgende Frage zu beantworten: „Was ist Zeit für Dich?“

Dies ist das Resultat.

„Ein Ablauf von Frames.Zeit ist das Wort, das wir verwenden, um diese Abläufe zu beschreiben.“ – Jascha, 27, Programmierer

„Pff..... allgegenwärtig.“ – Paul, 14, Schüler

„Ahm. Irgendwie unterscheide ich Zeit hier in meinem lokalen System oder Zeit in einem globalen System...Sachen bewegen sich über Orte... und über Zeit kann man halt definieren, wie sie sich bewegen.“ – Anonym, 24, Physikstudentin

„vergänglich“ – Christian, 50, Musiker

„Um Gottes Willen *lacht* pffff, ok, das ist schwer zu sagen. Zeit ist relativ, Zeit ist was relatives, manchmal erscheint es lang, manchmal erscheint es kurz, bei schönen Dingen erscheint es kurz, bei unangenehmen Dingen hätte man gern, dass die Zeit schnell vorbei

¹⁵⁰ Augustinus, Aurelius, *Bekenntnisse*, 1. Auflage, Insel, Frankfurt am Main, 1987, S.: 629

¹⁵¹ Vgl. Goethe, J. W., *Faust*, Harvard College Library, 1938, S.: 29

wäre. Zeit ist das was einem bleibt bevor man stirbt, man geht nicht immer gut mit ihr um. Verschleißt auch viel Zeit mit Dingen, die –hm- vielleicht nicht sinnig sind, weil einem fad ist, weil man mit der Zeit auch manchmal nichts anfangen kann. Das Gefühl der Zeit verändert sich. Wenn man jünger ist, hat man das Gefühl ewig Zeit zu haben, je älter man wird, desto schneller läuft die Zeit dahin. Äh.. die Zeit ist ein bisschen, wie ein Trichter, eben, am Anfang viel und je älter man wird, desto enger, weniger wird sie. Früher war ein Jahr „ewig“. Jetzt teile ich ein Jahr ein in Weihnachten, Ostern, Sommer, Nikolo – Zeitsprünge. Weil sie sich so verjüngt, die Zeit. Hm ..selbst nimmt man oft keine Veränderungen, die mit Zeit zu tun haben wahr – Menschen verändern sich in der Zeit. Wenn man jmd. länger nicht gesehen hat, fällt es auf, bei den Kindern merkt man die Zeit massiv, in dem sie sich verändern. Sprüche der Älteren, Verstorbenen fallen einem zur Zeit ein, die gemeint haben: „Zeit geht so schnell vorbei“. Diesen Spruch hat man als Kind nicht verstanden, oder als lästig abgetan – leider stimmt er.“ - Susanne, 51, Psychotherapeutin und Psychagogin

„*lacht* ... Keine Ahnung, zu wenig meistens! *lacht*“ –Matthias, 22, Mathematik und Linguistik Student

„Pfff...äh...“Was ist Zeit?“?! Zeit ist ein sehr komplizierter Begriff, der mit Introspektren und Bewusstsein zu tun hat. Vielleicht konzeptionell falsch in der Wissenschaft gesehen wird. Welche Wissenschaft hat recht? Introspektiv – die Zeit hat eine Richtung. Oder Physik bzw. Mathe – Zeit hat verschiedene Richtungen. -Wem vertraut man mehr: der Uhr oder dem Gefühl?“ – Peter, 24, Physik- und Cognitive Science Student

„Äh... Die Entwicklung von Prozessen.“ – Birgit, 22, Physik- Mathematik und Astronomie Studentin.

„Zeit...pfff....da! Die Zeit ist da.“ – Pauli, 22, Physikstudent

„Meter.“ – Mel, 21, Physikstudent

„Was ist für mich Zeit?...eine physikalische Größe. Da muss man viel mehr nachdenken, dass man das beantworten kann! Da muss man jedes Mal neu darüber nachdenken, ich hab mir schon oft Gedanken gemacht, hab’s aber nie dafür bereit.“ Michi, 23, Physikstudent

„Zeit...ähm...Zeit... Zeit ist ein 1-dimensionaler Parameter, der bei hinreichend großen Systemen eine ausgezeichnete Richtung hat.“ – Lukas, 26, Physikstudent

„Für mich Zeit...meinst du messbare Zeit oder Zeit als Begriff? Also Zeit, die wir messen können, oder des, was Uhren dazu bringt, dass sie ticken? Das Gegenüberstellen von periodischen Prozessen. A Bewegung sich mit einer anderen vergleichen – kann dir ja kana verbieten – und dann in Bezug auf etw. anderes Existierendes (z.B.: ein Teilchen). Ok, es vergeht dieses und es vergeht die Zeit. Aber wenn du mich fragst, was die Zeit ist, die dahinter steht – darüber kann man physikalisch keine Aussage machen. Also würd ich mich da auch zurück halten. Aber über Überbegriff Zeit – was Uhren zum Ticken bringt – kann man auch Aussagen machen im physikalischen Sinn – also im Sinn von Boltzmanns Zeitbegriff. Nämlich genau über Klassifikation irreversibler und reversibler Prozesse. Zeit hat eine Richtung, weil man sieht im Alltag keine Häferln sich wieder zusammenfügen {die zuvor zerbrochen waren . Anm. der Autorin}, daraus schließt man, dass Zeit a Richtung haben sollte. Aber was es genau ist, kann i dir a nit sagen.“ – Albert, 24, Physikstudent

„Das ganze Leben“ – Gerda, 89, Überlebenskünstlerin

„Was ist Zeit für mich...was ist Zeit für mich.... das ist eine gute Frage. Zeit ist für mich ein Abschnitt im Leben, den ich sinnvoll einteilen kann.“ – Gerda, 51, Sportlerin

„Ich kann nur nachplappern, was die Leute so sagen, aber so eine persönliche Zeit... höchstens dass die Zeit einem zwischen den Fingern zerrinnt und man dann sehr haushalten muss.“ – Walter, 83, Physiker

„Hm... aus dem Bauch heraus... naja Leben halt! Und sie verrinnt ja immer schneller je älter man wird; und im Prinzip ist Zeit ja alles – ohne Zeit wär' garnix, Sillstand; aber was ist das?!“ – Rita, 22, Biologiestudentin

„Oh Gott! ... da, wie war das, der heilige Augustinus hat gesagt: „Was also ist die Zeit? Wenn niemand mich danach fragt, weiß ich's, will ich's aber einem Fragenden erklären, weiß ich's nicht.“ Was ist Zeit? Ja, jetzt emotional oder wissenschaftlich?

Wissenschaftlich ist Zeit eine Maßeinheit für Veränderungen gemessen an Periodik; periodische Schwingung, gibt ein Maß für Veränderungen.

Rein Psychologisch, wui!, da tut sich was auf! Zeit ist verbunden mit Unendlichkeit, Existenz, Dasein. In der Wissenschaft ist Zeit nicht so hm.... äh... nicht so eine Dimension wie es in der Relativitätstheorie ist, da ist es sehr praktisch, als kompakte Form, in allen Bezugssystemen ist die Lichtgeschwindigkeit konstant. Wissenschaft ist lauter Zirkelschlüsse, denke ich; Zeit wird über Geschwindigkeit definiert und umgekehrt. Zirkelschlüsse sind zulässig, wenn sie brauchbar sind. Ich habe hier eine sehr schöne Swatch Uhr, da bewegt sich was.

Zeit steht für Veränderungen, Vergehen, der Mensch vergeht auch ich vergehe. Tod.

Je älter ich werde, desto mehr Bedeutung hat die Zeit! Und ich weiß nicht wohin, aber es gibt für mich ein wohin!

But I don't know.....“ – Reinhold, 65, Physiker

„Was ist Zeit..... Ein Geschenk!“ – Nora, 24, Musikerin

„Je mehr man über Zeit weiß, desto unwahrscheinlicher scheint es, jemals eine Antwort auf diese Frage finden zu können....“ – Karo, 24, Physikerin

„Zeit ist vieles. Zeit ist für mich die Zukunft. Jeden Tag ein neuer Tag.“ – Ernst, 81, Musiker

„Zeit....Zeit haben. Zeit ist relativ... Zeit ist ein Wort, wo man wirklich so ins philosophische gerät.“ – Lore, 59, Psychagogin

„.....Hab mir keine Gedanken drüber gemacht ... die is einfach da... aus... und meistens ist zu wenig da.“ - Martin, 25, Musiker

„Die Dauer von etwas.....kann ganz verschieden schnell vergehen; mit Freunden vielleicht schneller als sonst alleine. Wär jetzt sozusagen nicht wissenschaftlich meine Definition *lacht*“ – Gilo, 14, Schüler

„Leben.“ - Kurt, 57, Mensch

„Das was ich immer am wenigsten hab.“ – Gabi, 56, Physiotherapeutin

„Freude – Freude pur.“ – Carl, 60, Sozialpädagoge

„Ist das ein Test? Zeit ... ja Schönheit. Na, Schönheit is a Blödsinn.... hat mit Schönheit zu tun oder mit Schönem. Die Zeit ausnützen und das Beste daraus machen..... Je älter man wird, umso schneller verrinnt die Zeit. Darum muss man die Zeit nutzen, verstehst was ich mein?! Wenn man geh'n kann: hinaus, nur hinaus! Mit Freunden treffen....Nur nicht übertreiben! Nicht neidig sein und jedem das Beste wünschen. Und, das ist das Wichtigste: positiv denken! Damit schafft man alles! Weil der Seelenzustand der verändert sich, wenn man nur negativ denkt! So, jetzt hab ich dir genug gesagt! *lacht*“ – Edith, 84, Pensionistin

„Unglaublich wichtig.... Zeit haben ist unglaublich wichtig“ – Christine, 58, Volksschullehrerin

„Zeit ist wichtig, weil man dann die Uhrzeit hat, wann man z.B.: reiten oder Mittagessen kann.“ – Katharina, 7, Schülerin

„Zeit haben für spaßige Dinge ist wichtig. z.B.: in den Prater gehen.“ – Raffi, 7, Schüler

„Mit der Zeit weiß man wie spät es ist.“ Johanna, 8, Schülerin

„Dann weiß man welche Uhrzeit ist.“ – Nils, 7, Schüler

„Die Uhrzeit, Zeit zum Basteln, Zeit zum Üben.“ – Daniel, 7, Schüler

„Dass der Wecker die Zeit angibt, sonst kommt man zu spät zur Schule.“ Marei, 8, Schülerin

„Das man die Uhr lesen kann, dass man weiß wann die Schule aus ist, wann man nach Hause gehen kann.“ – Stella, 6, Schülerin

Quellenverzeichnis

- .) Adam T. et al., *Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam*, <http://arxiv.org/pdf/1109.4897v1>
- .) Aichelburg, Peter Christian (Hg.), *Zeit im Wandel der Zeit*, Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1988
- .) Aristoteles, *Die Kategorien*, Rath, Ingo (Übers. u. Hg.), Reclam, Stuttgart, 2009
- .) Aristoteles, *Physik*, Bücher I(A) – IV(Δ), Zekl, H.G. (Übers. u. Hg.), Meiner, Hamburg, 1987
- .) Aristoteles, *Physik*, Bücher V(E) – VIII(Θ), Zekl, H.G. (Übers. u. Hg.), Meiner, Hamburg, 1988
- .) Augustinus, Aurelius, *Bekenntnisse*, 1. Auflage, Insel, Frankfurt am Main, 1987
- .) Berrens, Stephan, *Sonnenkult und Kaisertum von den Severern bis zu Constantin I. (193-337 n. Chr.)*, Historia Einzelzeitschriften 185, Stuttgart 2004
- .) Born, Max, *Die Relativitätstheorie Einsteins*, 4. Auflage, Heidelberg Taschenbücher, Springer Verlag, 1964
- .) Boorstin, Daniel J., *The Discoverers – a History of Man's search to know his World and Himself*, New York, Randomhouse, 1st Vintage Books Collection, 1985
- .) Buchheim, Thomas, *Aristoteles*, Herder Verlag, Freiburg im Breisgau, 2004
- .) Carrier, Martin, *Raum-Zeit*, Walter de Gruyter GmbH & Co, Berlin, 2009
- .) C.-W. Chou, D. B. Hume, J. C. J. Koelemeij, D. J. Wineland, T. Rosenband, *Frequency Comparison of Two High-Accuracy Al^+ Optical Clocks*, Phys. Rev. Lett. 104, 070802, 2010
- .) Cramer, Friedrich, *Der Zeitbaum – Grundlegung einer allgemeinen Zeittheorie*, 1. Auflage 1996, Insel Taschenbuch, Frankfurt am Main, 1993
- .) Davies, P. C. W., *The Physics of Time Asymmetry*, Surrey University Press, London, 1974
- .) Dawid, Richard, *Vom antiken Atomismus zu modernen Elementarteilchen*, Skriptum aus dem WS 2009/10, Universität Wien
- .) Deutsches Institut für Normung e. V. (Hg.), *Normen mit Umrechnungstabellen für die gesetzlichen Einheiten*, Beuth, Berlin, 1976
- .) Ecker, Gerhard, *Elektrodynamik, Theoretische Physik 3*, Skriptum aus dem WS 2005/06, Universität Wien
- .) Einstein, Albert, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 24. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2009
- .) A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen: *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, Phys. Rev. 47 (1935), S. 777 - 780

- .) Faustmann, Thirring, *Einstein entformelt, wie ihm ein Teenager auf die Schliche kam*, 1. Auflage, Seifert, Wien, 2007
- .) Feynman, Richard P., *Physikalische Fingerübungen für Fortgeschrittene*, 1. Auflage, Piper Verlag, München, 2005
- .) Fließbach, Torsten, *Allgemeine Relativitätstheorie*, 2. Auflage, Spektrum, Heidelberg u.a, 1995
- .) Fließbach, Torsten, *Elektrodynamik*, 2. Auflage, Spektrum, Heidelberg u.a, 1997
- .) Fließbach, Torsten, *Statistische Physik*, 3. Auflage, Spektrum, Heidelberg u.a, 1999
- .) Gardner, Martin, *Relativitätstheorie für alle*, DuMont Literatur und Kunst Verlag, Köln, 2005
- .) Genz, Henning, *Wie die Zeit in die Welt kam – Die Entstehung einer Illusion aus Ordnung und Chaos*, 2. Auflage, Rowolt Taschenbuch Verlag, 2002
- .) Geerlings, Wilhelm, *Augustinus*, Herder Verlag, Freiburg im Breisgau, 2004
- .) Geyer, C.F, *Die Vorsokratiker – eine Einführung*, Grosse Denker, Panorama, Wiesbaden, 2004
- .) Greene, Brian, *Der Stoff aus dem der Kosmos ist – Raum, Zeit und die Beschaffenheit der Wirklichkeit*, 3. Auflage, Siedler Verlag, München, 2007
- .) Gloy, Karen, *Philosophiegeschichte der Zeit*, Wilhelm Fink Verlag, München, 2008
- .) Hawking, Stephen, *Einsteins Traum - Expedition an die Grenzen der Raumzeit*, Sonderausgabe Mai 2005, Rowolt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2005
- .) Hawking, Stephen, *Das Universum in der Nussschale*, dtv, München, 2004
- .) Hawking, Stephen und Mlodinow, Leonard, *Die kürzeste Geschichte der Zeit*, 3. Auflage, Rowohl Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 2008
- .) Hawking, Stephen, *Eine kurze Geschichte der Zeit*, Spiegel Verlag, SPIEGEL – Edition 2006/2007
- .) Heisenberg, Werner, *Quantentheorie und Philosophie*, Reclam, Ditzingen, 2008
- .) Hörning, Ahrens, Gerhard, *Zeitpraktiken, Experimentierfelder der Spätmoderne*, 1. Auflage, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1997
- .) Horvat, Manfred (Hg.), *Das Phänomen Zeit*, 1. Auflage, Literas Verlag, Wien, 1984
- .) Horwich, Paul, *Asymmetries in Time – Problems in the Philosophy of Science*, 4. Auflage, Massachusetts, MIT Press Classic, 1992
- .) Jeitler, Manfred, *Astroteilchenphysik*, autorisierte Mitschrift aus dem SoSe 2010, Universität Wien

- .) Josza, Abrams, Dowling, Williams, *Quantum clock synchronization based on shared prior entanglement*, in: Phys. Rev. Lett. **85**, 2010-2013, (2000)
- .) Kant, Immanuel, *Kritik der reinen Vernunft*, Akademieausgabe
- .) Kant, Immanuel, *Schriften zur Naturphilosophie – Zweite Abteilung: Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, 3. Auflage, Meiner, Leipzig, 1922
- .) Kostelecky, A., *Perspectives on lorentz and cpt violation*, <http://arxiv.org/abs/0802.0581v1>
- .) Kusch, Martin, *Wittgenstein and Einstein's Clocks*, in: *Ungesellige Gesellschaft – Wittgensteins Umgang mit anderen Denkern*, Ramharter, Esther (Hg.), Parerga, Berlin, 2011
- .) Lauffer, Siegfried, *Kurze Geschichte der antiken Welt*, 2. Auflage, Dtv, München, 1983
- .) Levine, Paul, *Eine Landkarte der Zeit*, 15. Auflage, Piper, München, 2009
- .) Liebscher, Dierck-E., *Einsteins Relativitätstheorie und die Geometrien der Ebene*, B. G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, 1999
- .) Lightman, Alan, *Und immer wieder die Zeit*, Hamburg, 1994,
- .) Mainzer, Klaus, *Zeit – von der Urzeit zur Computerzeit*, München, 5. Auflage, C. H. Beck Verlag, 2005
- .) Lorenz, Edward N., *The Essence of Chaos*. Seattle, 1993
- .) Mellor, D.H., *Real Time II*, New York, Routledge, International Library of Philosophy, 2006
- .) Mühlöcker, Hofstetter, *Philosophie und Physik*, Skriptum aus dem SoSe 2009, Universität Wien
- .) Newton, Isaac, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Andrew Motte (Übers.), Prometheus Books, Great Minds Series, 1995
- .) Nowotny, Helga, *Eigenzeit – Entstehung und Strukturierung eines Zeitgefühls*, 1. Auflage, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1993
- .) Pagels, Heinz R., *Die Zeit vor der Zeit – Das Universum bis zum Urknall*, Ullstein, Berlin, 1987
- .) Parmenides, *Über das Sein*, Steuben (Hg.), Reclam, Stuttgart, 2009
- .) Pietschmann, Herbert, *Raum – Zeit in physikalischer und philosophischer Sicht*, in: PAN – Wissenschaftliches Zentrum der Polnischen Akademie der Wissenschaften in Wien: Vortragsreihe April – Juni 2006, Band 3, Wien, 2006
- .) Platon, *Theaitetos*, sämtliche Werke, Bd. 3, Schleiermacher (Übers.), Rowohlt, 2004
- .) Pöltner, Günther, *Naturphilosophie*, unautorisierte Mitschrift aus dem WS 2009/10, Universität Wien

- .) Pössel, Markus, *Das Einstein Fenster- Eine Reise in die Raumzeit*, 1. Auflage, Hoffmann und Campe, Hamburg, 2005
- .) Reichenbach, Hans, *The Philosophy of Space and Time*, Dover, New York, 1957
- .) Rindler, Wolfgang, *Introduction to Special Relativity*, 2nd Edition, Oxford Science Publications, 2003
- .) Rusterholz, Peter (Hg.) und Moser, Rupert (Hg.), *Zeit – Zeitverständnis in Wissenschaft und Lebenswelt*, Kulturhistorische Vorlesungen 1995/96, Universität Bern, Peter Lang AG, Europäischer Verlag der Wissenschaften, Bern, 1997
- .) Scheibe, Erhard, *Die Philosophie der Physiker*, 1. Überarbeitete Auflage, Beck'sche Reihe, Beck Verlag, München, 2007
- .) Scheipers, Paul, *Naturwissenschaft und die Frage nach Gott – Neue Erkenntnisse über einen alten Konflikt*, Kreuz, Stuttgart, 2005
- .) Schilpp, P.A. (Hg.), *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, Kohlhammer, Stuttgart, 1979
- .) Schwarz, Gerhard, *Raum und Zeit als naturphilosophisches Problem*, 2. Auflage, WUV-Universitätsverlag, Wien 1996
- .) Seggewiß, Wilhelm, *Kalenderkunst*, in: <http://www.astro.uni-bonn.de/~seggewis/kalender.pdf>
- .) Seife, Charles, *Zwilling der Unendlichkeit – Eine Biographie der Zahl Null*, 3. Auflage, Goldmann, 2002
- .) Sorabji, Richard, *time, creation and the continuum – theories in Antiquity and the Early Middle Ages*, Paperback edition, The University of Chicago Press, Chicago, 2006
- .) Wagner, H, *Aristoteles*, Akademie Verlag, Berlin, 2006
- .) Zeilinger, Anton, *Einsteins Schleier – die neue Welt der Quantenphysik*, 1. Auflage, Goldmann Verlag, München, 2005

Zeitschriftenverzeichnis

- .) 100 Fragen des Lebens – Antworten der Wissenschaft, in: Welt der Wunder – Kompakt, 1/09
- .) Einstein Spezial, in: P.M. – Welt des Wissens, Artur Wahl GmbH, München, Januar 2005
- .) Phänomen Zeit, in: Spektrum der Wissenschaft – Spezial, Heidelberg, 1/ 2007
- .) Zeit – das ewige Rätsel, in: GEO Wissen – die Welt verstehen, Hamburg, Nr. 36
- .) Einstein erklärt die Welt, in: Profil – das unabhängige Nachrichtenmagazin Österreichs, Nr. 19, 38. Jg, 7. Mai 2007

Bilderquellenverzeichnis

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Bild 1: www.goruma.de

Bild 2: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Antike_Sonnenuhr.jpg

Bild 3: <http://mysite.du.edu/~jcalvert/astro/gnomon.htm>

Bild 4: <http://de.wikipedia.org/wiki/Klepsydra>

Bild 5: <http://www.phaenomen.de/deutsch/uhren/html/feueruhren.html>

Bild 6: www.schulacc.de/Bilder/Goslar/Goslar.htm

Bild 7: http://de.academic.ru/pictures/dewiki/100/diego_velazquez_030b.jpg

Bild 8: <http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/SRT/Geometrie.html>

Bild 9-12: selbst erstellt.

Bild 13: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Michelson-Morley.svg&filetimestamp=20070715134048>

Bild 14: : <http://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/SRT/Geometrie.html>

Bild 15: http://de.wikipedia.org/wiki/Marco_Vecellio

Nutzung der Bilder 8, und 14, mit freundlicher Genehmigung von univ. Doz. Dr. Franz Embacher¹⁵².

Die Bilder 9, -12, sind selbsterstellt.

¹⁵² Kontakt: franz.embacher@univie.ac.at, univie.ac.at/franz.embacher/

Curriculum Vitae

Ich, Karoline Mühlbacher, wurde am 22. März 1986 als Tochter von Susanne Thauss und Christian Mühlbacher in Korneuburg, NÖ, geboren.

Ausbildung:

Von 1997 bis 2004 Besuch der AHS Rahlgasse, 1060 Wien
2004 Matura an der AHS Rahlgasse, mit gutem Erfolg
Seit 2005 Studium der Physik und des individuellen Diplomstudiums „Philosophische Grundlagen der Physik“ an der Universität Wien
2010 Beginn der Diplomarbeit im Individuellen Diplomstudium

Berufliche Erfahrung

Seit 2004 Kameraführung und Photographie bei diversen Live-Events in der Musikbranche, organisatorische Tätigkeiten bei Musikveranstaltungen, in Österreich und Deutschland, - sowie bei diversen künstlerischen Vernissagen in Österreich;
Sommer 2004 freiwillige Tätigkeit als Übersetzerin (Deutsch-Englisch-Französisch) bei der European Juggling Convention (EJC) in Carvin, Frankreich;
Seit 2008 als Servierkraft in der Gastronomie tätig;
Seit 2010 aktiv in der Forschung tätig, speziell im Bereich der Aerosolphysik;
mehrere Projekte im Bereich der Nano-Partikel-Konzentration in diversen Materialien, unter Leitung von Ao. Univ.-Prof. i.R. Dr. Georg Reischl.¹⁵³
Juli 2011 – November 2011 technische Assistentin im Allgemeinen Krankenhaus (AKH) Wien.
Seit November 2011 angestellt als Laborassistentin bei Ao. Univ.-Prof. i.R. Dr. Georg Reischl.

Wissenschaftliche Karriere:

Besuch mehrerer wissenschaftlicher Tagungen, Konferenzen und Workshops.
Mai 2011 Posterpräsentation auf der CEQUIP (Central European Quantum Information Progressing) in Znojmo (Tschechische Republik)
Mai 2011 Posterpräsentation auf der FPP6 (Foundations of Probability and Physics-6) in Växjö (Schweden)
September 2011 Posterpräsentation im Rahmen des RQI (Relativistic Quantum Information) Workshops in Madrid (Spanien)
September 2011 Vortrag beim COST Workshop Relativistic, Entanglement & High Energy Physics in London (UK)

Publikation:

"Heisenberg's Uncertainty Relation and Bell Inequalities in High Energy Physics"
Antonio Di Domenico, Andreas Gabriel, Beatrix C. Hiesmayr, Florian Hipp, Marcus Huber, Gerd Krizek, Karoline Mühlbacher, Sasa Radic, Christoph Spengler and Lukas Theussl
Submitted (2011) [arXiv:1101.4517](https://arxiv.org/abs/1101.4517), erschienen in Foundations of Physics (1 July 2011), FOOP2328R1

¹⁵³ Kontakt: georg.reischl@univie.ac.at