



Seminarfacharbeit

Theorien zur Vorstellung der Zeit

Conrad Sonneck

Greselius-Gymnasium

Jahrgang 12 Astronomie

Herr Riemer

Abgabetermin: 14.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1) Einführung	2
2) Philosophische Theorien zur Zeit	3
2.1 Klassische Philosophie	3
2.1.1 Platon	3
2.1.2 Aristoteles	4
2.2 Neuzeitliche Philosophie	6
2.1.2 Isaac Newton	6
2.2.3 Gottfried Wilhelm Leibniz	7
3) Relativitätstheorie	9
3.1 Der Äther	9
3.2 Das Relativitäts- und Äquivalenzprinzip	10
3.3 Zeitdilatation	11
3.3.1 „Bewegte Uhren gehen langsamer“	11
3.3.2 Zeitdilatation durch die Gravitation	14
4) Resümee und kurzer Ausblick	16
5) Anhang	17
5.1 Verzeichnisse	17
5.1.1 Literaturverzeichnis	17
5.1.2 Internetquellenverzeichnis	18
5.1.3 Abbildungsverzeichnis	20
5.2 Erklärung	21

1) Einführung

Die Zeit beeinflusst unser tägliches Leben. Wir werden älter und es vergehen Stunden, Tage und sogar Jahre. Sie erscheint als etwas Selbstverständliches, etwas Normales und zugleich aber auch als etwas Mysteriöses, denn ihre Natur ist unklar und lässt sich nicht so leicht einheitlich definieren und erklären. Aus diesem Grund haben die Menschen schon seit tausenden von Jahren versucht, die Zeit zu erläutern und eine Antwort auf die Frage: „Was ist Zeit und wie kann man sich die Zeit vorstellen?“ zu finden.

Ein Kirchenlehrer mit dem Namen Augustinus (354-430 n. Chr.) schrieb in seinen Bekenntnissen: „*Quid est ergo tempus? Si nemo me quaerat, scio; si quaerenti explixare velim, nescio!* – Was also ist Zeit? Wenn mich niemand danach fragt, weiß ich es. Will ich es aber einem Frager erklären, so weiß ich es nicht.“¹

Die Komplexität der Zeit ist eine der fundamentalsten Schwierigkeiten in der Geschichte der Menschheit, der Physik und der Philosophie. Dabei entstanden unzählige Theorien, wie sich die Menschen die Zeit vorstellen und die bedeutendsten Theorien werde ich Ihnen in meiner Seminarfacharbeit präsentieren und miteinander vergleichen. In dem Hauptteil meiner Arbeit befasse ich mich zunächst mit den alten Griechen und der klassischen Philosophie, wobei ich mich auf Platon und Aristoteles beschränke, da sie die bedeutsamsten Beiträge zur Zeit überliefert haben. Im weiteren Verlauf beschäftige ich mich mit der neuzeitlichen Philosophie und den Ansichten von Isaac Newton und seinem Kontrahenten Wilhelm Gottfried Leibniz. Schlussendlich erläutere ich das Wesen der Zeit in der von Albert Einstein veröffentlichten Relativitätstheorie und Belege seine Überlegungen mathematisch und beleuchte sie durch Experimente.

Machen Sie es sich gemütlich und stellen Sie Ihren Verstand darauf ein, durch die Kuriosität und Komplexität der Zeit an seine Grenzen gebracht zu werden.

¹ Augustinus Zitat aus: DAS KOSMOS HIMMELSAHR 1997 (S. 191)

2) Philosophische Theorien zur Zeit

2.1 Klassische Philosophie

Die klassische Philosophie der Antike hat unser heutiges Verständnis der Astronomie und von Raum und Zeit maßgeblich geprägt. Dafür sind besonders die Philosophen Platon und sein Schüler Aristoteles verantwortlich, die im 4. Und 5. Jahrhundert v. Chr. lebten. Sie veröffentlichten ihre ersten Überlegungen zu komplexen Konzepten des Universums und haben damit bedeutsamen Eindruck auf die Vorstellung der Zeit hinterlassen.²

2.1.1 Platon

Platon verfasste während seiner Lebzeit den Timaios. Dies ist ein Dialog zwischen ihm, seinem Lehrer Sokrates, Kritias, Timaios von Lokroi und Hermokrates von Syrakus, welcher inhaltlich die Kosmologie und die Entstehung der Welt, aber auch seine Vorstellung von der Natur der Zeit thematisiert.³

Im Timaios erklärte er, dass Gott die Welt, den Himmel und die Zeit schuf. Er versuchte die gesamte Welt zu etwas Unvergänglichem zu kreieren, jedoch erwies sich dies als eine Sache der Unmöglichkeit und daher erzeugte er eine Zeit, die wie eine Art von Bewegung anzusehen war. Dabei beschrieb Platon sie als ein „*bewegtes Bild der Unvergänglichkeit*“ beziehungsweise als ein „*in Zahlen fortstreitende unvergängliche Bilde der [...] Unendlichkeit*“⁴. Somit besteht die Zeit aus einer kontinuierlichen und unendlichen Abfolge von Bildern des Seins.

² (15) Nach: Wikipedia: Philosophie der Antike. (https://de.wikipedia.org/wiki/Philosophie_der_Antike)

³ (17) Nach: Wikipedia: Timaios. (<https://de.wikipedia.org/wiki/Timaios>)

⁴ (4) Nach: PLATON/SCHLEIERMACHER, FRIEDRICH/MÜLLER, HIERONYMUS: Timaios. (10. Kapitel, 37d). (http://www.alenck.de/pdf/Platon/26_Platon_Timaios.pdf)

Des Weiteren sind „das War und Wird sein“ Formen der Zeit und die Tage, Nächte, Monate und Jahre sind Bestandteile der Zeit. Außerdem thematisierte er, wie über Zeit gesprochen wird und erläutert, dass die Ausdrücke: „Es war und wird sein“ mit Bedacht Verwendung finden sollten, da diese auf eine zeitliche Veränderung und somit auf eine Bewegung hindeuten. Im Kontrast dazu steht das „Ist“, was in Platons Augen nur für beispielsweise Konzepte des Unvergänglichen verwendet werden sollte, somit für Sachen, die sich in der Zeit nicht verändern.

Der Himmel entstand mit der Zeit und wenn das eine aufgelöst werden würde, würde das andere nicht existieren können und sich ebenfalls auflösen. Zudem erschuf Gott, damit die Zeit überhaupt entstehen kann die Sonne, den Mond und fünf Planeten. Dabei bildet die Erde das Zentrum und alle sieben bekommen eine Bahn zugeordnet, auf welcher sie um die Erde kreisen. Dazu besitzen sie alle unterschiedlich Geschwindigkeiten und die Sonne wurde durch Gott erleuchtet. Dadurch gibt es auf der Erde Tag, Nacht, Monat und Jahr.⁵

2.1.2 Aristoteles

Aristoteles ist, wie bereits erwähnt, ein Schüler von Platon gewesen, jedoch ist er nicht der gleichen Ansicht wie Platon. Aristoteles hatte seine eigene Vorstellung von Zeit und Raum. Er versuchte die Lösung nach der Frage der Zeit auf der Erde selbst zu finden und nicht wie Platon in transzendenten Realitäten. Des Weiteren begründet er argumentativ, wie er auf seine Erkenntnisse gekommen ist und vergleicht mehrere Ansichten miteinander und entscheidet sich dann aufgrund von Überlegungen und durch Belege für eine jeweilige. Um 347 v. Chr. Veröffentlichte er die „Physik“. Dies ist eine Buchreihe, in welcher er sich mit der Erklärung und Definition komplexer Begriffe der Natur befasst. Dabei sind für uns die wichtigsten Ausdrücke: der Raum, die Zeit und die Bewegung.

⁵ (4) Nach: PLATON/SCHLEIERMACHER, FRIEDRICH/MÜLLER, HIERONYMUS: Timaios. (10.-11. Kapitel). (http://www.alenck.de/pdf/Platon/26_Platon_Timaios.pdf)

Um die Zeit zu erklären, befasst er sich zunächst mit dem Wesen der Zeit. Er teilt die Zeit in einen vergangenen und einen kommenden Teil auf. Somit spricht er von der Vergangenheit und der Zukunft und daraus besteht grundlegend die Zeit, jedoch zeigt sich noch ein dritter Teil, den er aber nicht zur Zeit rechnet. Gemeint ist hier das „Jetzt“. Das Jetzt ist der besondere Moment, der zwischen Vergangenheit und Zukunft liegt. Dabei bildet das Jetzt nicht einen gewissen Punkt, sondern ist eine Art Übergang der beiden Teile und verbindet sie somit. Dabei kommt er aber nicht auf eine klare Antwort, was die Zeit nun genau ist.

Daher untersucht er als Nächstes den Zusammenhang zwischen Zeit und der Bewegung, da er in diesem Zusammenhang eine Verbindung sieht. Er schreibt, dass eine Bewegung nur dort stattfindet, wo sich das Etwas verändert, während die Zeit überall und ebenso bei allen Dingen zu sein scheint. Des Weiteren kann eine Bewegung schnell beziehungsweise langsam erfolgen und dies kann durch die Zeit gemessen werden, aber die Zeit kann nicht schnell oder langsam ablaufen und Zeit kann sich auch nicht selbst messen. Somit entsteht ein Widerspruch und er kommt zur Erkenntnis, dass Zeit nicht gleich Bewegung ist, aber beide Konstrukte eng miteinander verbunden sein müssen. Zudem dient die Zeit als Messorgan, um Bewegungen zu beschreiben. Gleichzeitig existiert aber ohne Bewegung auch keine Zeit, denn wenn sich nichts verändert beziehungsweise bewegt oder wir dies nicht wahrnehmen, dann scheint es, als würde keine Zeit vergehen.⁶ Um sich dies noch genauer vorstellen zu können, nutze ich ein Gedankenexperiment:

Stellen Sie sich vor, Sie verbringen ihren Alltag wie sonst auch und nun bewegt sich um Sie herum nichts mehr. Sie spüren keinen Wind, die Menschen und die Tiere wirken, als wären sie eingefroren. Es wirkt, als würde die Zeit stillstehen, da es keine Bewegung gibt beziehungsweise wir keine Veränderung wahrnehmen. So hat sich Aristoteles den Zusammenhang zwischen Bewegung und Zeit vorgestellt.

⁶ (1) Nach: FILK, THOMAS: Modelle von Raum und Zeit. (3.2 Aristoteles)
(http://www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/Skripte/Texte/Raumzeit.pdf)

Insgesamt ist also zu sagen, dass Aristoteles die Zeit als Messung für eine Bewegung ansieht und dass sie nicht gleichzusetzten, aber eng miteinander verbunden sein müssen. Somit existiert sie nicht unabhängig von unserer Realität, sondern im Bezug auf eine Veränderung von Sachen.

2.2 Neuzeitliche Philosophie

Wenn man von der neuzeitlichen Philosophie spricht, betrachtet man den Zeitraum von ca. 1400 bis 1800 und dort stachen besonders zwei Denker heraus, die mit ihren Überlegungen und Werken diese Zeit und das Verständnis der Zeit geprägt hatten. Dies waren Issac Newton und Gottfried Wilhelm Leibniz.⁷

2.1.2 Isaac Newton

Isaac Newton ist einer der bedeutendsten und bekanntesten Wissenschaftler der Geschichte. Er war ein englischer Physiker, Mathematiker und Astronom und seine Beiträge in diesen Bereichen haben unser Weltbild und unser Verständnis stark verändert. Er lebte im 17. Und 18. Jahrhundert und entwickelte eine Theorie zur Vorstellung von Raum und Zeit, die bis heute als absolute Zeit und absoluten Raum bekannt sind. Die Schaffung dieser Konzepte war ein entscheidendes Ereignis in der Wissenschaft und bildeten die Grundlage für seine klassische Mechanik.⁸

1678 veröffentlichte Isaac Newton im Alter von 35 Jahren seine mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie die „Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica“. Dort beschreibt er erstmals seine Auffassungen von Raum und Zeit und diese sind laut ihm sogenannte „absolute Größen“, doch was bedeutet dies?

Der Raum ist in seinen Vorstellungen etwas, das die Menschen, die Planeten und die Sterne in sich enthält. Des Weiteren spielt die Art, wie wir uns in

⁷ (16) Nach: Wikipedia: Philosophie der Neuzeit.
(https://de.wikipedia.org/wiki/Philosophie_der_Neuzeit)

⁸ (14) Nach: Wikipedia: Isaac Newton. (https://de.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)

diesem Raum bewegen und welche Geschwindigkeit wir besitzen, keine Rolle, da die Wahrnehmung für jeden dieselbe ist. Außerdem ist der Raum überall gleich in Länge, Breite und Höhe und die Perspektive, wie wir den Raum betrachten, ist ebenfalls nicht entscheidend. Somit ist der absolute Raum unveränderlich und dieser ist nicht abhängig von seinem Beobachter oder der Materie, die in ihm ist.

Die Zeit betrachtet Newton wie den Raum. Er erklärt, dass die absolute Zeit kontinuierlich ist und sie egal ob für die Menschen oder die Planeten im Universum gleich gelten würde. Dabei spielt die Position eines Körpers oder der Ort, an dem sich dieser befindet, keine Rolle und es ist nicht von Bedeutung, mit welcher Geschwindigkeit wir uns bewegen. Es ist also egal, ob wir schnell oder langsam sind, die Zeit bleibt gleich und dies liegt an ihrer Unabhängigkeit. Die Zeit ist dementsprechend in den Augen von Newton etwas nicht von äußeren Faktoren Abhängiges und Gleichförmiges. Sie ist etwas Selbstständiges und Eigenes wie der absolute Raum. Außerdem diente sie ebenso weitgehend als Messinstrument, um die Dauer von Ereignissen, wie beispielsweise die Bewegung von Planeten, zu bestimmen.⁹

Zusammenführend entsteht die absolute Raum-Zeit, die überall gleich verläuft und unabhängig vom Beobachter, von physikalischen Vorgängen und voneinander ist. Damit hat Newton einen Grundstein für die Physik der nächsten 200 Jahre gelegt.

2.2.3 Gottfried Wilhelm Leibniz

Gottfried Wilhelm Leibniz spiegelt einen sogenannten Gegenspieler von Isaac Newton wider, da er nicht an eine absolute Raum-Zeit glaubt, sondern das Konzept der relationalen Raum-Zeit vertritt. Dies macht er in einem Briefwechsel zwischen ihm und Samuel Clarke 1715/1716 deutlich. Dieser war ein englischer Philosoph und wollte eigentlich nur die auf Französisch

⁹ (1) Nach: FILK, THOMAS: Modelle von Raum und Zeit. (5. Isaac Newton)
(http://www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/Skripte/Texte/Raumzeit.pdf)

geschriebene Theodizee von Leibniz ins Englische übersetzen. Leibniz wollte das aber nicht, weil Clarke eine sehr gute Freundschaft zu Newton pflegte und Leibniz ihn verachtete. Grund für diese Feindschaft war der sogenannte „Prioritätenstreit“¹⁰, der negativ für Leibniz ausgegangen war. Somit antwortete er Clarke auf seine Anfrage mit keineswegs positiven Äußerungen gegenüber Newton und dadurch kam es letztendlich zum literarischen „Kampf“ der Ansichten: „Relationale versus absolute Raumzeit“. Clarke antwortete nämlich nicht allein auf die Briefe von Leibniz, sondern schrieb diese mit Newton zusammen.

Leibniz stellt die Ansicht von ihm und die von Newton gegenüber und erläutert Schwierigkeiten, die die absolute Raumzeit mit sich bringt. Laut Leibniz stellt der Raum die Ordnung beziehungsweise die Beziehung zwischen den Körpern dar. Des Weiteren beschreibt er, dass es ohne Körper keinen Raum gäbe und dass ein Punkt im leeren absoluten Raum sich nicht von einem Punkt in einem nicht absoluten Raum unterscheiden würde. Außerdem erwähnt er, dass sich in der Welt nichts ereignet, ohne einen hinreichenden Grund. Somit schließt er Zufälle aus und für Gott gäbe es keinen Grund, die Körper so anzuordnen, wie er es tat. Zudem verfasste er in seinem Brief, dass die Zeit sich ähnlich verhält wie der Raum. Um die Problematik der Zeit zu verdeutlichen, stellte er die Frage, warum Gott nicht alles früher schuf. Wieder argumentiert er mit dem Prinzip des Grundes. Es gäbe keinen Grund, warum Ereignisse an bestimmten Zeitpunkten geschehen. Er beschreibt, dass die Zeit eine Abfolge von Geschehnissen ist.¹¹

Leibniz versucht argumentativ die absolute Raumzeitvorstellung durch Beweise zu widerlegen, jedoch starb er, nachdem beide sowohl Clarke als auch er fünf Briefe verfasst haben und der Dialog konnte somit nie zu Ende gebracht werden.

¹⁰ Prioritätenstreit: Bezog sich auf die Frage, wer zuerst das Konzept der Infinitesimalrechnung erfunden hat.

¹¹ (1) Nach: FILK, THOMAS: Modelle von Raum und Zeit. (6.2.1 Relationale versus absolute Raumzeit)
(http://www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/Skripte/Texte/Raumzeit.pdf)

3) Relativitätstheorie

1905 das sogenannte „annus mirabilis“ (Wunderjahr) ist das wohl erfolgreichste Jahr im Leben von Albert Einstein. Er veröffentlichte in diesem Jahr mehrere Ausarbeitungen zu völlig verschiedenen Bereichen der Physik. Besonders für das Verständnis des Wesens der Zeit war die Publizierung der speziellen Relativitätstheorie, in der er beschreibt, dass Raum und Zeit untrennbar miteinander verbunden sein müssen. Dies ist revolutionär, da das Konzept der absoluten Zeit und des absoluten Raumes zuvor noch von den Menschen als wahr angesehen wurde.¹²

Im Folgenden werde ich beschreiben, wie sich die Zeit in der Relativitätstheorie verhält und sie sowohl durch Experimente als auch durch mathematische Gleichungen erklären.

3.1 Der Äther

Rene Descartes war ein französischer Philosoph des 17. Jahrhunderts und einer der einflussreichsten Denker seiner Zeit. Er soll die Idee gehabt haben, dass der Raum von einem Material ausgefüllt sein musste: dem sogenannten **Äther**.

Der Äther ist eine Art Substanz, die den Raum im gesamten Universum ausfüllt. Er ist ein hauchdünnes Medium und dient als Träger für verschiedene Wellen wie beispielsweise die elektromagnetischen Wellen. Jede Welle benötigt nämlich ein Medium, um sich auszubreiten. Ein Beispiel wäre hierfür der Schall, der die Luft benötigt, um sich auszubreiten. Daher ging man davon aus, dass der Äther überall im Universum vorhanden sein muss, da das Licht als Welle betrachtet wurde und sie sich problemlos durch das Weltall bewegt. Dieser Äther wurde zu einer der grundlegendsten Ansichten in der Wissenschaft und beeinflusste diese die nächsten Jahrhunderte, jedoch konnte er nie nachgewiesen werden.

¹² (20) Nach: YouTube, Simpleclub: Albert Einstein - "Gott würfelt nicht."
(<https://www.youtube.com/watch?v=tMccjyUf76o&t=1s>)

Eines der berühmtesten Experimente war das Michelson-Morley-Experiment. Das Ziel dieses Versuches war die Bewegung der Erde im Äther zu bestimmen, doch man konnte nichts messen. Obwohl das Experiment mehrfach wiederholt wurde, kam es immer zum selben fehlgeschlagenen Ergebnis. Albert Einstein fasste aufgrund des Scheiterns dieses Experiments in seiner speziellen Relativitätstheorie auf, dass der Äther nicht existieren würde und man deswegen keine Erdbewegung im Äther messen könne. Dies war bahnbrechend, da der Äther einer der Grundbegriff der Physik gewesen war.¹³

3.2 Das Relativitäts- und Äquivalenzprinzip

Den Ätherbegriff gibt es nun nicht mehr in der Physik und daraus schlussfolgerte Albert Einstein, dass der Begriff der „Absolutbewegung“ nicht von Bedeutung ist. Nur die Relativbewegung eines Objektes in Bezug auf ein anderes Objekt erscheint ihm als sinnvoll. Des Weiteren beschreibt er, dass, wenn es keinen absoluten Raum gibt, „die Naturgesetze in allen Inertialsystemen die gleiche Form annehmen“ und dies besagt das **Relativitätsprinzip**.¹⁴

Ein Inertialsystem ist eine besondere Art eines Bezugssystems und in diesen herrscht das erste newtonsche Axiom:

„Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe bzw. der geradlinig-gleichförmigen Bewegung, solange keine äußere Kraft auf ihn wirkt.“¹⁵

Dieses Prinzip gilt somit nur in Inertialsystemen, jedoch wollte Einstein dies für alle Bezugssysteme erweitern. Dabei nutzt er die Erkenntnis darüber aus, dass die Gravitation mit allem wechselwirkt und beschreibt in seinem Werk, dass man nicht zwischen der Beschleunigung und der Gravitation unterscheiden könne. Dementsprechend sind die träge und die schwere Masse eines Körpers äquivalente Größen und somit gleichwertig

¹³ (7) Nach: SEXL, ROMAN/SCHMIDT, KURT SCHMIDT: Raum Zeit Relativität (S.10-11)

¹⁴ (7) Nach: SEXL, ROMAN/SCHMIDT, KURT SCHMIDT: Raum Zeit Relativität (S.12)

¹⁵ (7) Nach: SEXL, ROMAN/SCHMIDT, KURT SCHMIDT: Raum Zeit Relativität (S.5)

zueinander. Stünde man als Beispiel in einer fensterlosen Rakete, die mit der mit der Erdbeschleunigung beschleunigt werden würde, und in einem fensterlosen Raum auf der Erde, könnte man nicht entscheiden, ob man sich auf der Erde oder in der Rakete befindet. Dies ist das **Äquivalenzprinzip**.¹⁶

3.3 Zeitdilatation

Wir nehmen an, dass für jeden die Zeit gleich lang erscheint. Trifft man sich mit jemandem zu einer bestimmten Uhrzeit, kann man davon ausgehen, dass die gewählte Uhrzeit für den anderen nicht ein anderer Zeitpunkt ist als für einen selbst. Die Relativitätstheorie widerspricht dem, aber wir selbst merken dies nicht, da die Zeitunterschiede für uns viel zu gering sind, damit wir sie wahrnehmen. Bei der Zeitdilatation handelt es sich um die Dehnung der Zeit und diese ist abhängig von der Geschwindigkeit und von der Gravitation.

3.3.1 „Bewegte Uhren gehen langsamer“

Eine Stunde ist somit laut der Relativitätstheorie nicht immer gleich eine Stunde. Uhren verlaufen somit unterschiedlich schnell, aber wir merken dies nicht. Um die Zeitdilatation zu messen und den Zusammenhang zwischen der Zeit und der Geschwindigkeit mathematisch zu bestimmen, nehmen wir das **Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit**¹⁷ zu Hilfe, welches besagt, dass die Lichtgeschwindigkeit in allen Inertialsystemen gleich schnell ist. Mit diesem Prinzip konstruieren wir nun eine Lichtuhr.

¹⁶ (13) Nach: WIKIPEDIA: Äquivalenzprinzip (Physik).
([https://de.wikipedia.org/wiki/Äquivalenzprinzip_\(Physik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Äquivalenzprinzip_(Physik)))

¹⁷ (7) Nach: SEXL, ROMAN/SCHMIDT, KURT SCHMIDT: Raum Zeit Relativität (S.31)

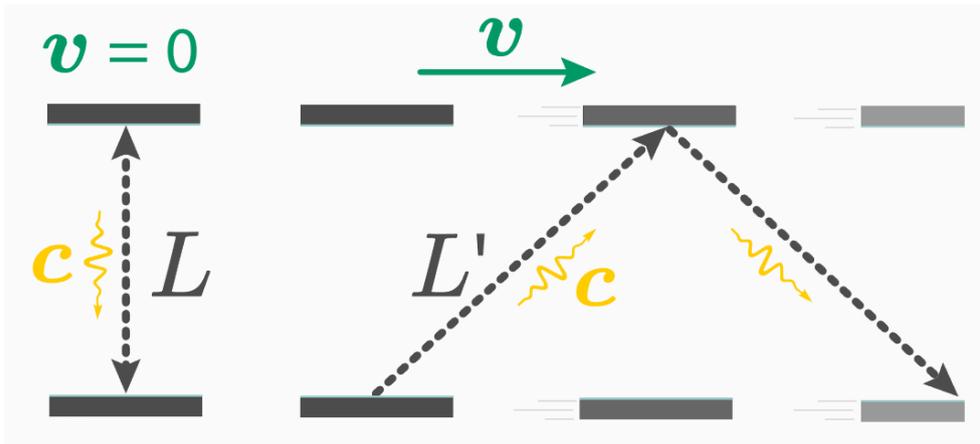


Abb. 1 Bewegte (links) und unbewegte (rechts) Lichtuhr: unterschiedliche Lichtwege

Eine Lichtuhr besteht aus zwei gegenüberliegenden Spiegeln und diese besitzen sie einen festen Abstand L zueinander. Nun wird zwischen den beiden Spiegeln ein Lichtteilchen hin und her geschickt. Dabei bewegt sich das Lichtteilchen mit der Lichtgeschwindigkeit c fort. Des Weiteren gibt es einen Beobachter B , der im selben Inertialsystem ist wie die ruhende Lichtuhr. Dieser erkennt, dass sich der Lichtimpuls in der einen Lichtuhr auf und ab bewegt und als Weiteres wird nun die Zeit Δt gemessen, die das Teilchen benötigt, um einmal in der ruhenden Lichtuhr von dem einen Spiegel zum anderen zu gelangen. Die passende mathematische Formel dazu lautet:

$$\Delta t = \frac{L}{c}$$

Nun wird die bewegte Lichtuhr betrachtet und unser Beobachter sieht, dass die Lichtteilchen eine Zick-Zack Bewegung machen und sich nicht gerade nach oben bewegen. Die Strecke, die das Teilchen zurücklegt in der bewegten Uhr nennen wir L' und die ist länger als L . Die Geschwindigkeit c bleibt dabei konstant, jedoch muss es einen längeren Weg L' zurücklegen. Setzen wir nun wieder alles in die bekannte Formel ein, erkennen wir, dass, wenn die Strecke länger wird, auch die Zeit länger sein muss, da c konstant ist und diese Zeit nennen wir $\Delta t'$. Daher hört man oft zur Beschreibung der Zeitdilatation den knappen Ausdruck: „Bewegte Uhren gehen langsamer“. Fassen wir nun zusammen:

$$L' > L$$

$$\Delta t' > \Delta t$$

$$\Delta t' = \frac{L'}{c}$$

Jetzt müssen wir nur noch die Frage beantworten, um wie viel sich die Zeiten $\Delta t'$ und Δt unterscheiden.

Dazu nutzen wir nun den Satz des Pythagoras. Fassen wir nämlich die Beobachtungen von **B** zu den Lichtuhren zusammen, lässt sich ein rechtwinkliges Dreieck bilden mit den gegebenen Größen.

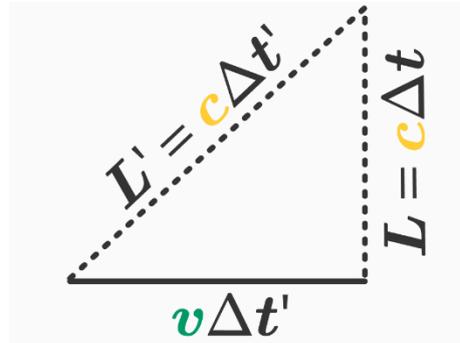


Abb. 2 Lichtuhr: Lichtwege im rechtwinkligen Dreieck

$$(c * \Delta t')^2 = (v * \Delta t')^2 + (c * \Delta t)^2$$

Durch geschicktes Umformen und Ausklammern nach $\Delta t'$ ergibt sich die Formel für die Zeitdilatation:

$$\Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} * \Delta t$$

Die Zeitdilatation lässt sich durch den sogenannten **Lorentzfaktor** beschreiben:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Dieser ist immer größer als 1 und wird immer größer, je höher die Geschwindigkeit ist.

Die Zeitdilatation beschreibt also zusammenfassend, dass die Zeit eines bewegten Körpers, der relativ zu einem ruhenden Beobachter ist, langsamer vergeht als die Zeit des ruhenden Beobachters. Des Weiteren lässt sie sich berechnen, jedoch spielt sie erst eine entscheidende Rolle bei extremen Geschwindigkeiten, welche nahe der Lichtgeschwindigkeit **c** sind.¹⁸

¹⁸ (10) Nach: **FUFAEV, ALEXANDER**: Herleitung Zeitdilatation: mittels einer Lichtuhr (<https://de.universaldenker.org/argumentationen/299>)

3.3.2 Zeitdilatation durch die Gravitation

Die Zeitdilatation entsteht sowohl durch Geschwindigkeit als auch durch Gravitation. Albert Einstein hat dies mathematisch bewiesen und berechnet. Um sich die Zeitdilatation besser zu erklären, nutze ich das geometrische Modell vom deutschen Mathematiker Hermann Minkowski zur bildlichen Veranschaulichung.

Er hat die Raumzeit entwickelt, in welcher er die Gravitation mit der Zeit verknüpft. Die Raumzeit bildet in seinem Modell ein Gitter, welches nach vorne und nach rechts verläuft. Die dritte Dimension, die nach oben und unten geht, muss man sich als jede Menge übereinandergestapelte Gitter vorstellen. Einstein hat sich zur Gravitationskraft überlegt, dass diese die Raumzeit verzerrt beziehungsweise krümmt. Somit wird das Gitter wie in Abb. 5 gezeigt nach unten gedrückt. Er hat gesagt, dass dort, wo sich die Raumzeit krümmt, die

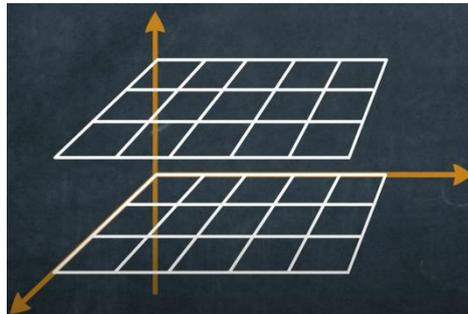


Abb. 1 Geometrisches Modell der Raumzeit

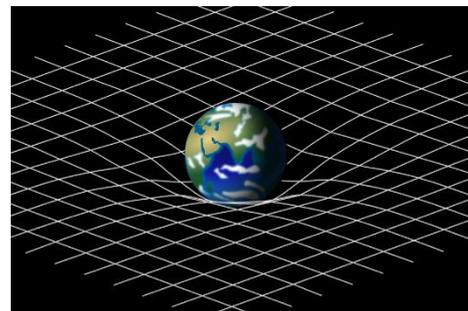


Abb. 4 Krümmung der Raumzeit durch die Erde

Zeit langsamer vergeht und je größer die Raumzeitkrümmung ist, desto langsamer vergeht die Zeit. Mathematisch hat Einstein dies durch die folgende Formel bewiesen:

$$\Delta t = \Delta t' * \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2 * G * M}{r * c^2}}}$$

Diese Formel beschreibt, dass die Zeit **t** an Orten mit starker Gravitation langsamer vergeht, relativ zu Orten mit kleinerer Gravitation und einer daher gehenden schnelleren Zeit **t'**. **G** ist hierbei die Gravitationskonstante, **M** die

Masse des Körpers, welcher die Gravitation erzeugt, c ist die Lichtgeschwindigkeit und r steht für die Entfernung zum Mittelpunkt des Gravitationsfeldes.

Ein Spezialfall bildet hierbei das **Schwarze Loch**. Dieses hat eine gewaltige Masse und verschlingt alles, sogar das Licht. Geometrisch betrachtet ist ein Schwarzes Loch in der Raumzeit ein nach unten hin offener Trichter, welcher in die unendliche geht. Die Raumzeit wird

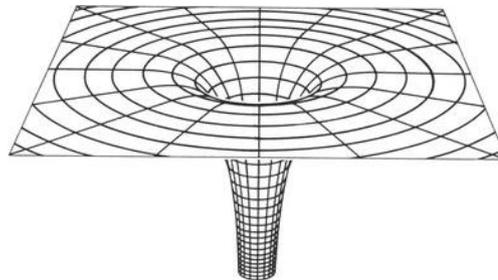


Abb. 5 Graphische Darstellung der Raumzeitkrümmung im Schwarzen Loch

nämlich so stark gekrümmt, sodass im Schwarzen Loch keine Raumzeit mehr herrscht. Die Gravitation ist nämlich so gewaltig, dass nicht einmal das Licht ihr entkommen kann. Die Zeit bleibt in einem solchen Schwarzen Loch sozusagen stehen. ¹⁹

¹⁹ (21) Nach: YOUTUBE/SIMPLECLUB: Allgemeine Relativitätstheorie (<https://www.youtube.com/watch?v=tMccjyUf76o&t=1s>)

4) Resümee und kurzer Ausblick

Obwohl es eine so große Anzahl an Theorien und modernen Konzepten der Physik gibt, müssen wir uns zunächst mit dem Gedanken abfinden, dass die Antwort auf die Frage des Wesens der Zeit noch nicht eindeutig gelöst ist und gewisse Aspekte offen und unklar bleiben. Es wird immer sein, dass neue Begrifflichkeiten dazukommen und Alte sich auflösen oder verändert werden. Die Zeit ist außerordentlich komplex und bildet eine unendlich breit gefächerte Thematik, welche nicht einmal durch die Relativitätstheorie allein erklärt werden konnte. Manchmal vergeht sie schneller und manchmal langsamer, manchmal bleibt sie auch in gewissen Fällen stehen.

So kehren wir wie am Anfang der Facharbeit auch am Ende wieder zur selben Frage zurück: „Was ist Zeit?“.

Das Mysterium der Zeit ist dementsprechend noch lange nicht beantwortet worden, jedoch erforschen Denker unserer heutigen Zeit weiterhin den Zeitbegriff und versuchen die Zeit in der Relativitätstheorie mit der Zeit aus der sogenannten „Quantenphysik“ zu verbinden, um daraus ein gemeinsames Konzept zu entwickeln. Die Quantenphysik an sich beschreibt hierbei aber keine neue Form der Zeit, wie man erwarten könnte. Erst die Vereinigung beider Theorien würde eine zuvor unbekannte Zeit hervorheben: „die quantisierte Zeit“. Dabei entstünde eine neue Natur der Zeit, die sowohl Gesetze der Quantenwelt als auch Bedingungen der relativistischen Welt miteinander verknüpft. Das Beweisen dieses Zusammenhanges wäre revolutionär und würde uns der Antwort nach der Frage der Zeit wieder ein Schritt näherbringen.

5) Anhang

5.1 Verzeichnisse

5.1.1 Literaturverzeichnis

- (1) **FILK, THOMAS:** Modelle von Raum und Zeit. Freiburg, 2011.
 - (1.1) http://www.mathphys.uni-freiburg.de/physik/filk/public_html/Skripte/Texte/Raumzeit.pdf
- (2) **HAWKING, STEPHEN/KOBER, HAINER:** Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Urkraft des Universums, Hamburg, 1988.
- (3) **KELLER, HANS-ULRICH:** DAS KOSMOS HIMMELSJAHR 1997. Unbekannt, 1996.
- (4) **PLATON/SCHLEIERMACHER, FRIEDRICH/MÜLLER, HIERONYMUS:** Timaios. Berlin, 1804.
 - (4.1) http://www.alenck.de/pdf/Platon/26_Platon_Timaios.pdf
- (5) **RINDLER, WOLFGANG:** Vom absoluten Raum und von absoluter Zeit zur dynamischen Raumzeit: Ein Überblick. Unbekannt, 2016.

- (5.1) https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527411739_c01.pdf
- (6) **SCHWINGER, JULIAN:** Einsteins Erbe. Die Einheit von Raum und Zeit, Heidelberg, 1988.
- (7) **SEXL, ROMAN/SCHMIDT, KURT SCHMIDT:** Raum Zeit Relativität. Wiesbaden, 1991.
- (8) **THORNE, KIP S.:** Gekrümmter Raum und verborgene Zeit. Augsburg, 1999.

5.1.2 Internetquellenverzeichnis

- (9) **EMBACHER, FRANZ:** Spezielle Relativitätstheorie. Die Zeitdilatation. Aus:
<https://homepage.univie.ac.at/franz.embacher/SRT/Zeitdilatation.html>
Stand: 10.03.23
- (10) **FUFAEV, ALEXANDER:** Herleitung Zeitdilatation: mittels einer Lichtuhr. Aus:
<https://de.universaldenker.org/argumentationen/299>
Stand: 10.03.2023
- (11) **NEWTON, ISAAC/WOLFERS, JAKOB PHILIPP:** Mathematische Principien der Naturlehre. Aus:
https://de.wikisource.org/wiki/Mathematische_Principien_der_Naturlehre/Erkl%C3%A4rungen
Stand: 08.03.23
- (12) **PLATON/SUSEMIHL, FRANZ:** Timaios. Aus:
<http://www.zeno.org/Philosophie/M/Platon/Timaios>
Stand: 02.03.2023
- (13) **WIKIPEDIA:** Äquivalenzprinzip (Physik). Aus:
[https://de.wikipedia.org/wiki/Äquivalenzprinzip_\(Physik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Äquivalenzprinzip_(Physik))
Stand: 09.03.23

- (14) **WIKIPEDIA:** Isaac Newton. Aus:
https://de.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton
Stand: 07.03.2023
- (15) **WIKIPEDIA:** Philosophie der Antike. Aus:
https://de.wikipedia.org/wiki/Philosophie_der_Antike
Stand: 25.02.2023
- (16) **WIKIPEDIA:** Philosophie der Neuzeit. Aus:
https://de.wikipedia.org/wiki/Philosophie_der_Neuzeit
Stand: 28.02.23
- (17) **WIKIPEDIA:** Relativitätsprinzip. Aus:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Relativit%C3%A4tsprinzip>
Stand: 11.03.23
- (18) **WIKIPEDIA:** Timaios. Aus:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Timaios>
Stand: 27.02.2023
- (19) **WIKIPEDIA:** Zeit. Aus:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Zeit>
Stand: 28.02.2023
- (20) **YOUTUBE/SIMPLECLUB:** Albert Einstein - "Gott würfeln nicht." Aus:
<https://www.youtube.com/watch?v=BgnM5-noZ4E>
- (21) **YOUTUBE/SIMPLECLUB:** Allgemeine Relativitätstheorie
<https://www.youtube.com/watch?v=tMccjyUf76o&t=1s>
- (22) **YOUTUBE/SIMPLECLUB:** Spezielle Relativitätstheorie 1 – Was ist „relativ“?
<https://www.youtube.com/watch?v=1Z57k9TVU5k>
- (23) **YOUTUBE/SIMPLECLUB:** Zeitdilatation – Spezielle Relativitätstheorie 2
<https://www.youtube.com/watch?v=nLFJgqfjCA8&t=13s>

5.1.3 Abbildungsverzeichnis

Deckblatt:

- Logo des Greselius Gymnasiums Bramsche;
<https://www.greselius.de/wir-stellen-uns-vor/unsere-logo>

Abb. 1)

- Bewegte und unbewegte Lichtuhr: unterschiedliche Lichtwege.
Ersteller: Fufaev, Alexander. 2022.
<https://de.universaldenker.org/illustrationen/653>

Abb. 2)

- Lichtuhr: Lichtwege im rechtwinkligen Dreieck.
Ersteller: Fufaev, Alexander. 2022.
<https://de.universaldenker.org/illustrationen/654>

Abb. 3)

- Geometrisches Modell der Raumzeit.
Ersteller: Simpleclub. 2015.
Aus einem Lehrvideo entnommen (Minute 1:22).
<https://www.youtube.com/watch?v=tMccjyUf76o>

Abb. 4)

- Krümmung der Raumzeit durch die Erde.
Ersteller: Mysid. 2015.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spacetime_lattice_analogy.svg

Abb. 5)

- Graphische Darstellung der Raumzeitkrümmung im Schwarzen Loch
Ersteller: admin@lhc-facts.ch
https://www.lhc-facts.ch/index.php?page=schwarze_loecher

5.2 Erklärung

Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche, den

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den

Unterschrift der Schülerin / des Schülers