

VOLKER THOMAS

Das Fizeau-Experiment

1. Vorgeschichte und Experiment

Als Fizeau-Experiment bezeichnet man die von Hippolyte Fizeau um 1851 durchgeführten Messungen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts, wenn sich das Licht in fließendem Wasser parallel zur Bewegungsrichtung des Wassers ausbreitet.

Fizeau griff damit die Beobachtungen von Augustin Jean Fresnel auf, der bereits 1818 erkannt hatte, dass sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in einem dispersiven Medium verändert, wenn sich das Medium bewegt. Fresnel nahm an, dass das Licht vom Medium teilweise mitgeführt wird, und zwar nach der Gleichung

$$(1): \quad c_M = c/n + v (1 - 1/n^2)$$

Dabei sind

c_M = die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts im dispersiven Medium relativ zum ruhenden Behältnis (z.B. Rohr), in dem das Medium fließt,

c = die Vakuumlichtgeschwindigkeit,

n = der Brechindex des Mediums (z.B. $n = 1,33$ für Wasser) und

v = die Geschwindigkeit des bewegten Mediums.

Im nicht bewegten Medium gilt für die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts Gleichung

$$(2): \quad c_M = c/n$$

Die Experimente von Fizeau bestätigten näherungsweise den von Fresnel postulierten und in Gleichung (1) enthaltenen Term $(1 - 1/n^2)$, den sogenannten Fresnel'schen Mitführungskoeffizienten.

1895 wurde die Gleichung (1) von Lorentz um einen zusätzlichen Term zur Berücksichtigung der Dispersion ergänzt.

1914 konnte Pieter Zeeman in noch genaueren Experimenten auch die um den Lorentz'schen Dispersionsterm ergänzte Gleichung in guter Annäherung bestätigen. Allerdings betrogen die

im Experiment erreichten Fließgeschwindigkeiten des Mediums Wasser nur knapp 20 km/h.

2. Relativistische Deutung

Die Gleichung (1) ist insoweit unbefriedigend, weil sie Überlichtgeschwindigkeiten rechnerisch zulässt.

Einstein griff die experimentellen Ergebnisse von Zeeman auf und behauptete, dass diese die Spezielle Relativitätstheorie bestätigten. So verwies er darauf, dass die Messungen von Zeeman das relativistische Additionstheorem für Geschwindigkeiten mit einer Abweichung von weniger als einem Prozent ¹ bestätigt hätten, so dass die Relativitätstheorie die Ergebnisse des Experiments ohne weitere Hypothese hätte liefern können ².

Abgesehen davon, dass sich die Zeeman'schen Messungen auf die von Lorentz erweiterte Gleichung (1) beziehen, ist einzuwenden, dass die im Experiment erreichte Fließgeschwindigkeit von knapp 20 km/h viel zu niedrig ist, um über die Richtigkeit des relativistischen Additionstheorems entscheiden zu können, weil die relativistischen Abweichungen erst bei sehr hohen Geschwindigkeiten signifikant werden.

Nach Einstein sollte für die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in bewegten dispersiven Medien nunmehr die Gleichung

$$(3): \quad c_M = c/n (1 + vn/c) : (1 + v/nc)$$

bzw. nach Umwandlung die Gleichung

$$(4): \quad c_M = (c + vn) : (n + v/c) \text{ gelten.}$$

¹ Albert Einstein, Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, 5. Auflage, Friedrich. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1920, S. 28.

² Albert Einstein, a.a.O., S. 35.

3. Vorschlag für eine Klassische Deutung

Die Tatsache, dass sich Licht in dispersiven Medien umso langsamer ausbreitet, je höher der Brechindex des Mediums ist, weist darauf hin, dass das Licht im Medium eine Abbremsung bzw. einen „Widerstand“ erfährt, gleich welcher physikalischen Art er auch sein mag.

Es ist dann leicht einzusehen, dass dieser „Widerstand“ sinkt, wenn sich das Medium in Richtung der Lichtausbreitung bewegt, also vor dem Licht, wenn auch mit geringerer Geschwindigkeit, zurückweicht. Umgekehrt wird der Widerstand steigen, wenn sich das Licht entgegen der Bewegungsrichtung des Mediums ausbreitet. Das wollen wir jetzt näher betrachten.

Gegeben sei ein Rohr, in dem sich unbewegtes Wasser befindet. Durch das Wasser senden wir einen Lichtpuls, den wir hinsichtlich seines Weges vom Rohrpunkt A bis zum Rohrpunkt B in der Abbildung 1 betrachten.

Den materierespezifischen Brechindex n des Wassers, welcher Natur er auch immer sei, denken wir uns dabei als Summe aus drei hypothetischen Teilwirkungen rot, grün und blau, die jeweils wirkungsgleich sind und als Summe genau n ergeben.

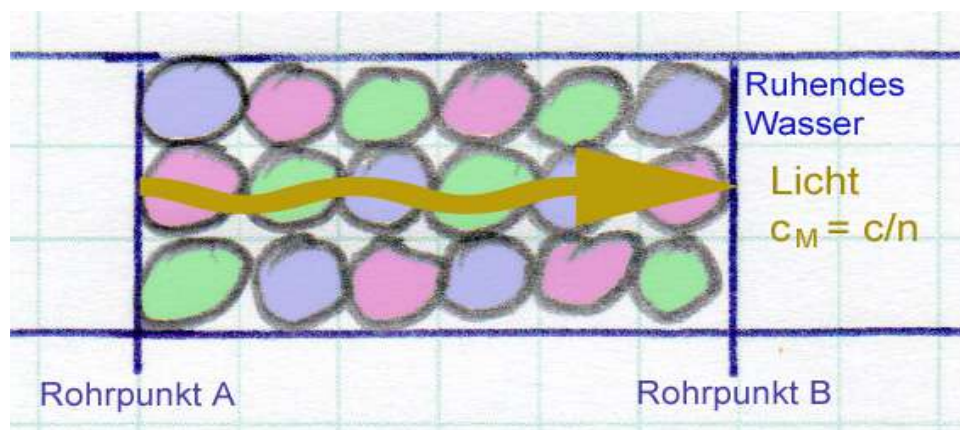


Abbildung 1

Für die nachfolgenden Betrachtungen ordnen wir die in der Abbildung 1 dargestellten hypothetischen Teilwirkungen zu einer additiven Abfolge über die Zeit.

Das Ergebnis, und zwar für ruhendes Wasser, zeigt die Abbildung 2.

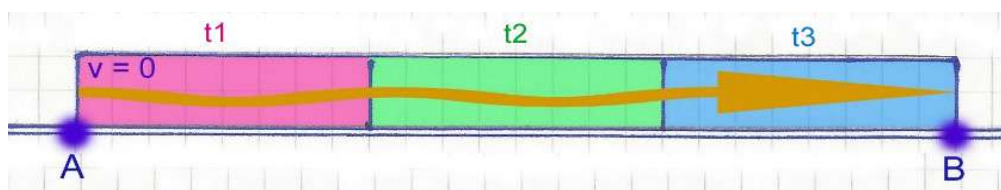


Abbildung 2

Im folgenden Gedankenschritt lassen wir das Wasser mit der Geschwindigkeit $v = 0,5 c$ von A nach B durch das Rohr fließen. Das Wasser und der Lichtpuls bewegen sich in dieselbe Richtung, so dass das Wasser dem Lichtpuls vorausseilt, wenn auch mit geringerer Geschwindigkeit.

Für diesen Fall zeigt die Abbildung 3, dass der Lichtpuls nur halb so viele „Widerstand“ leistende Teilwirkungen überwinden muss Als beim ruhenden Wasser.

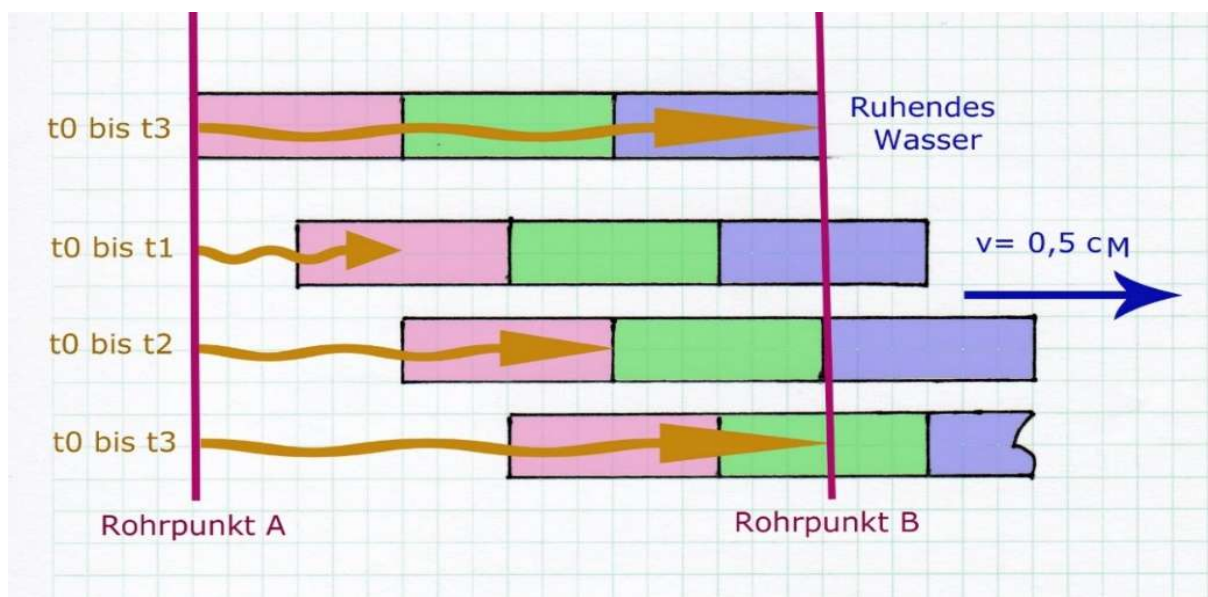


Abbildung 3

In der obersten Zeile ist der Lichtpuls im ruhenden Wasser und in den folgenden Zeilen im bewegten Wasser dargestellt.

Mit diesem Verständnis wenden wir uns jetzt dem entgegengesetzten Tatbestand zu und betrachten was geschieht, wenn sich

das Wasser im Rohr nicht in dieselbe Richtung wie das Licht, sondern in die entgegengesetzte Richtung bewegt.

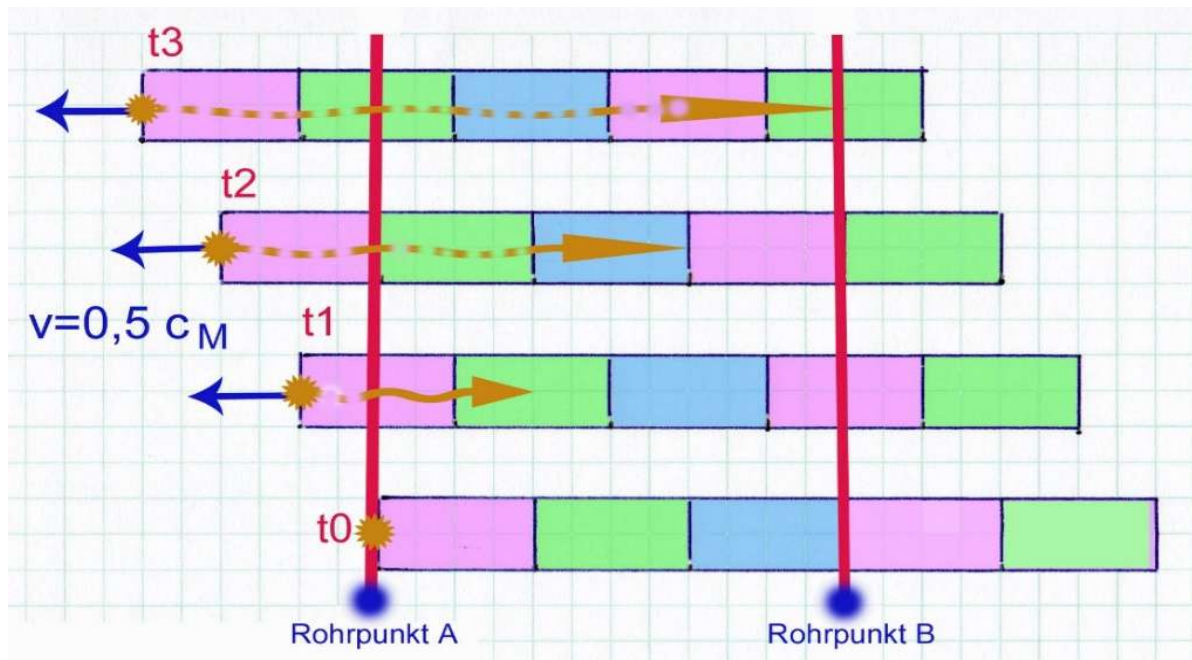


Abbildung 4

Die Abbildung 4 zeigt (im zeitlichen Ablauf von unten nach oben), dass das Licht in diesem Fall auf seinem Weg von A nach B in der Zeit von t_0 bis t_3 viereinhalb Widerstandseinheiten überwinden muss.

Ausgehend von dem, was uns das Gedankenexperiment gezeigt hat, überlegen wir jetzt, wie das Geschehen mathematisch so gefasst werden kann, dass eine Überschreitung der Lichtgeschwindigkeit rechnerisch ausgeschlossen ist.

Wir betrachten die für das ruhende Medium geltende Gleichung

$$(2): \quad c_M = c/n$$

und entdecken, dass sich diese Gleichung ohne Wertveränderung in eine interessante Bruttodarstellung umwandeln lässt, und zwar in die Gleichung

$$(5): \quad c_M = c - (c - c/n)$$

Der Term $(c - c/n)$ ist dabei der Geschwindigkeitsbetrag, um

den sich die Vakuumlichtgeschwindigkeit c im Falle der Ausbreitung im ruhenden Medium verringert.

Für den Wert des Terms $(c - c/n)$ fordern wir,

- dass er unverändert bleibt, wenn das Medium ruht,
- dass er sich geschwindigkeitsabhängig verringert, wenn sich Licht und Medium in dieselbe Richtung bewegen, und zwar bis auf null für den Fall $v = c$,
- dass er sich geschwindigkeitsabhängig erhöht, wenn sich Licht und Medium in entgegengesetzte Richtungen bewegen, und zwar bis auf maximal c für den Fall $v = c$.

Um dieses Ziel zu erreichen, ergänzen wir zunächst die Gleichung (5) um einen noch unbestimmten Faktor F und erhalten

$$(6): \quad c_M = c - (c - c/n) \cdot F$$

Dieser Faktor F muss nun so gewählt werden, dass er die geforderten Werte für den Term $(c - c/n)$ liefert.

Das ist dann der Fall, wenn für den Faktor F

- bei gleichgerichteter Ausbreitung die Gleichung
(7): $F = (c - v) / c$ gilt und
- bei entgegengesetzter Ausbreitung die Gleichung
(8): $F = v \cdot n/c + (c - v) / c$ gilt.

Nach Einsetzen der Gleichung (7) bzw. (8) in die Gleichung (6) erhalten wir

- für den Fall gleichgerichteter Ausbreitung die Gleichung
(9): $C_M = v + (c - v) / n$ und
- für den Fall entgegengesetzter Ausbreitung die Gleichung
(10): $C_M = (c - v) / n$

Für die Gleichungen (9) und (10) spricht, dass sie aus einer sinnvollen Interpretation der physikalischen Gegebenheiten des Fizeau-Experiments abgeleitet sind, und zwar im Rahmen der Klassischen Physik.

Dagegen wurden die relativistischen Gleichungen (3) bzw. (4) nicht aus dem Experiment abgeleitet, sondern diesem ex cathedra übergestülpt ¹.

4. Unterschiedliche Ergebnisse für relativistische und klassische Deutung

Die vom Autor vorgeschlagene klassische Deutung des Fizeau-Experiments führt zu geringfügig anderen Ergebnissen als die von Einstein geforderte relativistische Deutung.

Die Anlage 1 zeigt das für den Fall gleichgerichteter Ausbreitung von Licht und Medium, wobei die Ausgangswerte gerundet wurden für die Vakuumlichtgeschwindigkeit auf $c = 300.000$ km/sec. und für den Brechindex für Wasser auf $n = 1,33$.

Die Anlage 2 zeigt die Ergebnisse für den Fall entgegengesetzter Ausbreitung von Licht und Medium.

In beiden Fällen stimmen die Ergebnisse für die Grenzfälle $v = 0$ und $v = c$ überein. Die Lichtgeschwindigkeit wird auch bei der klassischen Deutung als Obergrenze eingehalten.

5. Beweisen die Ergebnisse des Fizeau-Experiments die Richtigkeit der Speziellen Relativitätstheorie?

Einstein reklamierte die Ergebnisse als Bestätigung für seine Spezielle Relativitätstheorie, und zwar unter Verweis darauf, dass die Zeeman'schen Messergebnisse bis auf eine Abweichung von weniger als einem Prozent mit den Voraussagen seiner Theorie übereinstimmten.

Der Autor hält dem entgegen, dass die Zeeman'schen Messergebnisse aus Experimenten folgten, bei denen sich das Medium

¹ Einstein schreibt dazu a.a.O. auf S. 35: „Analog liegen die Dinge ... bei dem Versuch von Fizeau, dessen Ergebnis die Relativitätstheorie lieferte, ohne dass Hypothesen über die physikalische Natur der Flüssigkeit gemacht werden mussten.“

mit einer Geschwindigkeit von nur knapp 20 km/h bewegte ¹.

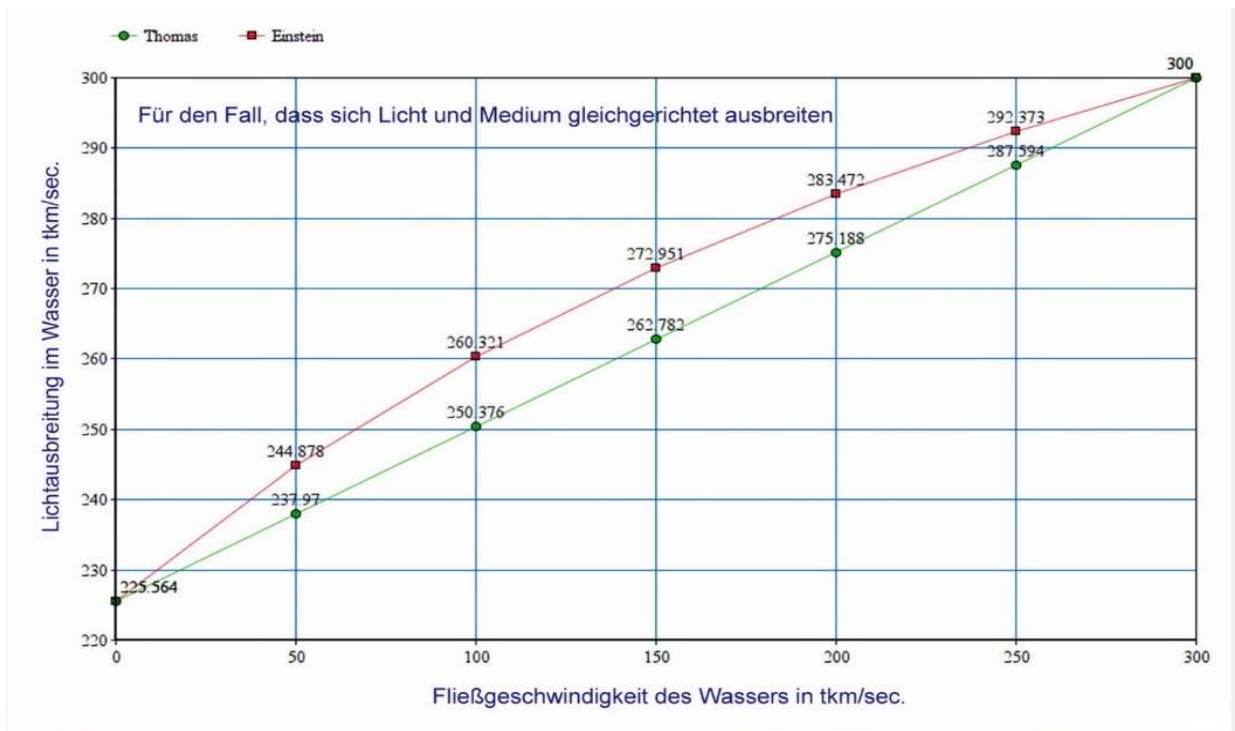
Bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h unterscheiden sich die Voraussagen nach den relativistischen Gleichungen (3) bzw. (4) einerseits und nach der klassischen Gleichung (10) andererseits nur um geringfügige 0,000 000 004%. Selbst bei einer Geschwindigkeit des Mediums von $v = 18.000$ km/h würde der Unterschied zwischen relativistischer und klassischer Deutung nur 0,000 004 % betragen.

Angesichts des äußerst geringen Unterschieds von 0,000 000 004% ist davon auszugehen, dass die Zeeman'schen Messergebnisse sowohl mit der relativistischen als auch mit der vorgeschlagenen klassischen Deutung gleichermaßen verträglich sind. Die Messergebnisse sind deshalb kein Beweis für die Richtigkeit der Speziellen Relativitätstheorie und damit auch kein Beweis für die Existenz der Zeitdilatation.

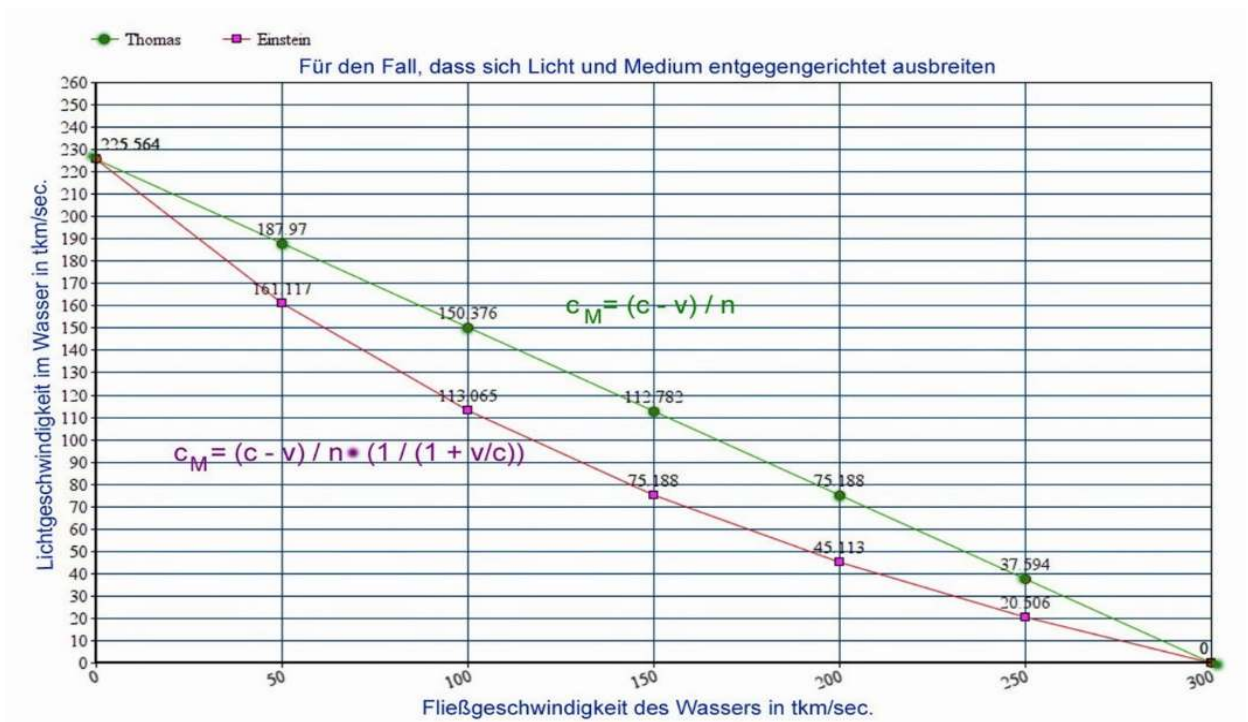
Im Übrigen erscheint auch der bauchige Verlauf der relativistischen Kurven in den Anlagen 1 und 2 wenig überzeugend.

¹ P. Zeeman, Coefficient for light of different colours, in: Proc. of the section of sciences, Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, Vol. XVIII, S. 403. Dort werden 553.6 cm/sec. genannt.

Anlage 1



Anlage 2



Vom selben Autor

DIE ZEIT BEWIRKT NICHTS – REIN GAR NICHTS

Was steckt hinter dem schillernden Phänomen Zeit? Kann die Zeit unterschiedlich schnell verrinnen oder sind es nur die Uhren, die langsamer oder schneller laufen? Der Autor kommt zu dem Ergebnis, dass das, was wir Zeit nennen, „nur“ das Ergebnis eines geistig-schöpferischen Aktes ist.

Zeit entsteht als hypothetisches Konstrukt, indem der Mensch zum Beispiel bestimmte Frequenzen in Bezug auf das Cäsium-nuklid beobachtet, die Anzahl der Schwingungen zählt und dann willkürlich festlegt, dass nach so und so vielen Schwingungen eine Sekunde vergangen ist.

Das, was wir Zeit nennen, ist keine wirkfähige Entität, sondern nur ein geistiges Konstrukt. Deshalb kann die Zeit nichts bewirken, rein gar nichts.

Uhren, die veränderten Gravitationskräften oder Geschwindigkeiten ausgesetzt werden, können schneller bzw. langsamer laufen, nicht aber die Zeit selbst.