

Vom Experten 3. Klasse am Patentamt zum Nobelpreisträger – Albert Einstein und seine revolutionären Erkenntnisse

Kompetenzprofil

- Niveau: Mittel-/Oberstufe, grundlegend
- Fachlicher Bezug: Geschichte
- Kommunikation: Physikalische Texte erfassen, diskutieren und präsentieren
- Problemlösen: –
- Modellierung: –
- Medien: Internet
- Methode: Schülerreferat
- Inhalt in Stichworten: Albert Einsteins Biografie; Quantisierung des Lichts, fotoelektrischer Effekt, spezielle Relativitätstheorie, Zeitdilatation, Längenkontraktion; allgemeine Relativitätstheorie

Autor: Wolfgang Vogg

Er gilt als der bedeutendste Naturwissenschaftler des 20. Jahrhunderts – **Albert Einstein** (1879-1955), anfangs von einigen Kollegen massiv kritisiertes und von vielen Menschen bis heute unverstandenes Genie. Nur seine Wissenschaft im Kopf verfolgte er zielstrebig seine Ideen und revolutionierte wie kein anderer das Weltbild der Physik. Von 1901 bis 1954 veröffentlichte Einstein insgesamt über 300 wissenschaftliche Arbeiten.

Wir nutzen heute im Alltag mit großer Selbstverständlichkeit zahlreiche Erfindungen, die ohne seine bahnbrechenden physikalischen Theorien nie zustande gekommen wären.

Der folgende Beitrag soll neben einem kurzen Überblick zu seinen wichtigsten Lebensstationen vor allem seine bedeutendsten physikalischen Erkenntnisse so anschaulich wie möglich erläutern.

Seine Kurzbiografie

Albert Einstein stammte aus einer alteingesessenen jüdischen Familie und wuchs ab 1880 in München auf, wo sein Vater und sein Onkel eine eigene Fabrik für elektrische Geräte gründeten.

Einsteins extreme Begabung für komplexe physikalische Zusammenhänge war in seiner Jugend nicht abzusehen. Vielmehr wirkte er etwas zurückgeblieben, begann erst mit drei Jahren zu sprechen, überzeugte in der Schule aber mit guten bis sehr guten Leistungen, insbesondere in den Naturwissenschaften.

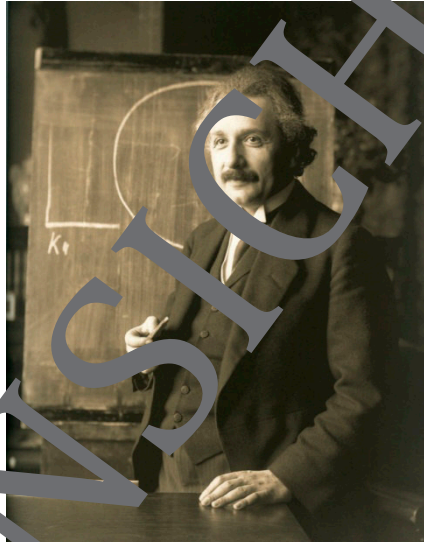


Foto: Wikimedia Commons/ Ferdinand Schmutze

Albert Einstein 1921

Der aufgeweckte, bisweilen sogar aufrührerische Schüler, kam immer wieder in Konflikt mit einem von Zucht und Ordnung geprägten Schulsystem, das er im Jahr 1894 schließlich ohne Abschluss verließ. Diesen konnte er erst nachholen, nachdem ihn der Physiker Heinrich Weber an die liberal geführte Kantonschule inarau in der Schweiz geholt hatte. Im Jahr 1896 bewarb sich Einstein um einen Studienplatz am Züricher Polytechnikum, der heutigen Eidgenössischen Technischen Hochschule, wo er ein mathematisch-physikalisches Studium absolvierte.

Schon während des Studiums hatte er es abgelehnt, nur formales Wissen zu erlernen; vielmehr legten ihn theoretisch-physikalische Denkprojekte aller Art an. Absakte mathematische Formulierungen waren ihm stets ein Dorn im Auge, so dass er zum Glück reden konnte, in Marcel Grossmann einen Studienkollegen gefunden zu haben, der ihm während des Studiums und auch später – vor allem bei der mathematisch höchst anspruchsvollen Formulierung der Allgemeinen Relativitätstheorie – eine große Hilfe war. Mit einem Diplom als Fachlehrer für Mathematik und Physik verließ er im Jahr 1900 die Hochschule.

Nach Aushilfstätigkeiten als Lehrer in Winterthur und Schaffhausen erhielt Einstein seine erste feste Anstellung als Experte 3. Klasse beim Schweizer Patentamt in Bern, wo er genügend Zeit fand, seinen naturwissenschaftlichen Theorien und Überlegungen verstärkt nachzugehen. In Bern heiratete er am 6. Januar 1903 seine aus Serbien stammende Geliebte Milena Marić, mit der er bereits die ein Jahr alte Tochter Lieserl hatte. 1904 und 1920 sollten die Söhne Hans Albert und Eduard folgen.

Das Jahr 1905 wurde Einsteins so genanntes Wunderjahr, auch „annus mirabilis“ genannt. Innerhalb eines Jahres legte er vier zukunftsweisende Arbeiten vor, von denen jede für sich die Physik auf ganz unterschiedlichen Gebieten revolutionieren sollte.

Den Anfang machte im März eine Arbeit mit dem Titel **„Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“**. In dieser Arbeit deutet Einstein den photoelektrischen Effekt durch die Annahme einzelner Energiequanten. Für diesen Beitrag erhielt er 1921 den Nobelpreis für Physik.

Ende April legte Einstein seine Doktorarbeit **„Über eine neue Bestimmung der Moleküldimension“** vor. Er beschäftigt sich darin mit der Frage nach der Realität von Atomen und – falls sie denn gibt – mit deren Anzahl und Größe. Im Rahmen dieser Arbeit schaffte es Einstein, die Avogadro-Konstante N_A in der richtigen Dimension abzuleiten.

Gerade mal zwei Wochen später legt Einstein die nächste Arbeit bei den „Annalen der Physik“ ein. Der englische Botaniker Robert Brown (1783-1858) hatte bereits 1827 entdeckt, dass winzige Partikel wie etwa Pollen oder Raucheilchen mit dem Mikroskop sichtbare Zitterbewegungen ausführen. Seine Erklärung der **„Brown'schen Molekularbewegung“** im Mai und die daraus resultierenden Experimente bestätigen die molekularkinetische Wärmetheorie sowie die Realität von Atomen. Einstein wird mit dieser Arbeit zum Begründer der statistischen Physik.

Im Juli folgte schließlich seine vermutlich berühmteste Arbeit zur **„Elektrodynamik bewegter Körper“**, in der er die physikalischen Grundgesetze von Raum, Zeit, Geschwindigkeit und Gleichzeitigkeit vollständig neu definiert. Diese Arbeit wird heute als Spezielle Relativitätstheorie

bezeichnet. Nur kurze Zeit später, im September 1905, formulierte Einstein in einem Nachtrag zur „Elektrodynamik bewegter Körper“ die wohl bekannteste physikalische Formel, die „**Masse-Energie-Äquivalenz: $E = m \cdot c^2$** “, mit der er den Grundstein zur Nutzung der Kernenergie legte.

Im Jahr 1908 habilitierte sich Einstein an der Universität Bern, bevor er im Jahr 1909 eine außerordentliche Professur für theoretische Physik an der Universität Zürich übernahm. Anfang 1914 gelang es Max Planck, Einstein für die Preußische Akademie der Wissenschaften in Berlin zu gewinnen.

Am dortigen Kaiser-Wilhelm-Institut wurde er 1917 Direktor, wo er – von allen Lehrtätigkeiten befreit – seine berühmte „**Allgemeine Relativitätstheorie**“ zu Ende bringen konnte. Seine darin getroffene Vorhersage, dass das Schwerefeld der Sonne das Licht ablenkt, wurde am 29. Mai 1919 während einer Sonnenfinsternis in Brasilien experimentell bestätigt – Einstein erlangte schlagartig Weltruhm!

Im selben Jahr ließ er sich von seiner ersten Frau scheiden und heiratete seine Cousine Elsa Löwenthal. Einstein nutzte neben seiner Bekanntheit für zahlreiche Reisen. Er hielt Vorlesungen auf der ganzen Welt, wurde mit Ehrendoktorwürden überhäuft, und wurde von der Universität in Princeton (New Jersey), wo er später lehren sollte. Von einer im Dezember 1932 angetretenen USA-Reise kehrte Einstein wegen Hitlers Machtübernahme im Januar 1933 nicht mehr zurück. Seine jüdische Abstammung wäre ihm im Nazi-Deutschland sicher zum Verhängnis geworden. So brach er sämtliche Kontakte nach Deutschland ab und sollte sein Geburtsland nie wieder betreten.

1933 wurde Einstein Mitglied beim „Institute of Advanced Studies“ in der Nähe von Princeton, wo er auch bis zu seinem Tode lebte. Einstein befasste sich mit einer einheitlichen Welttheorie, versuchte durch Vereinigung der Allgemeinen Relativitätstheorie mit der Theorie des Elektromagnetismus eine Weltformel zu finden – ein vergebliches Unterfangen bis zu seinem Tode.

1940 erhielt Einstein neben seiner schweizerischen Staatsbürgerschaft auch die der USA. Ein Jahr zuvor hatte er nach der Entdeckung der Kernspaltung (1938) dem damaligen amerikanischen Präsidenten Franklin D. Roosevelt vor der Gefahr eines neuen Bombentyps gewarnt, der eventuell in Deutschland gebaut werden könnte. Dies hatte dazu geführt, die Entwicklung der Atombombe in den USA mit allen Mitteln voran zu treiben – mit den bekannten Folgen. Unter diesen hatte Einstein sehr gelitten, da er zeitlebens von seiner pazifistischen

Seine bekanntesten wissenschaftlichen Arbeiten

1. Die Quantisierung des Lichts und der fotoelektrische Effekt (März 1905)

Im Jahr 1888 bestrahlte der deutsche Physiker **Wilhelm Hallwachs** (1859-1938) eine elektrisch negativ geladene Metallplatte und entdeckte dabei, dass sich diese entlädt. Dieser Versuch – heute als *Fotoeffekt* bekannt – wurde erst durch Einsteins völlig neue Interpretation, dass Wellen auch ein Teilchenverhalten zeigen müssen, erklärbar.

Einstein fand nach intensiven Berechnungen mittels den von den deutschen Physikern **Max Planck** (1858-1947) und **Wilhelm Wien** (1864-1928) aufgestellten Strahlungsgesetzen heraus, dass monochromatische Strahlung sich in wärmetheoretischer Beziehung so verhält, als wenn sie aus voneinander unabhängigen Energieportionen bestünde.

Ausgehend von diesen Berechnungen verknüpfte er seine Erkenntnisse mit den Schwierigkeiten bei der wellentheoretischen Behandlung des Fotoeffektes. Er erkannte, dass dieser Effekt nur erklärt werden kann, wenn man annimmt, dass das Licht aus einzelnen Portionen auf dem Metall auftrifft. Er nannte sie „Lichtteilchen“, später wurden diese durch den Begriff „Photonen“ ersetzt. Dabei bestimmt die Wellenlänge jedes einzelnen Photons, wie energiereich es ist!

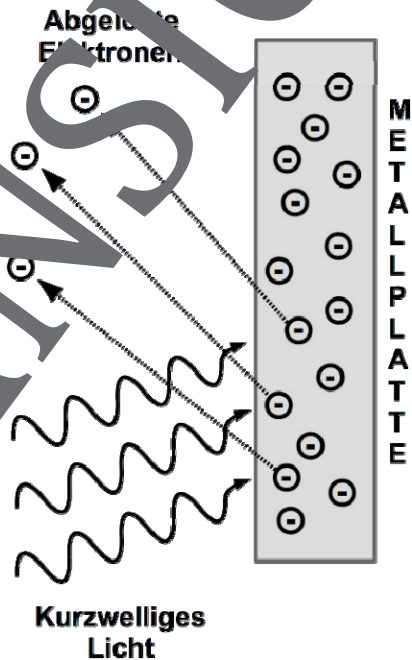


Abb. 1

Trifft ein Photon auf die Metallplatte, wird seine Energie auf ein Elektron übertragen (Abb. 1). Allerdings wird erst ab einer bestimmten Wellenlänge ausreichend Energie übertragen, um die Ablösearbeit des Elektrons aus dem Metall zu überwinden und das Elektron aus der Metallplatte herauszulösen.

Je energiereicher das Photon, umso mehr Energie erhält das Elektron, und umso schneller fliegt es von der Metallplatte weg. Eine stärkere Lichtintensität erhöht dabei zwar die Anzahl der Lichtteilchen und damit die Anzahl der Elektronen, die aus dem Metall abgelöst werden können – die Energie des einzelnen Elektrons wird dadurch aber nicht größer! Dies bedeutet, dass die Lichtintensität für die Ablösung der Elektronen keine Rolle spielt. Einsteins Formel, die später als **photoelektrische Gleichung** bezeichnete Formel, auf, die von vielen Physikern fast zwei Jahrzehnte lang massiv angezweifelt wurde:

$$\text{Photoelektrische Gleichung: } W_{\text{kin,e}} = \frac{R \cdot h \cdot f}{k \cdot N} - W_A$$

Darin bedeuten:

$W_{\text{kin,e}}$ (Kin. Energie der Fotoelektronen);

W_A (Ablösearbeit der Elektronen aus dem Metall);

$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{kmol}}$ (Allg. Gaskonstante);

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (Plancksches Wirkungsquantum)

f (Frequenz der auftreffenden Photonen);

$k = \frac{R}{N} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$ (Boltzmann-Konstante)

$N = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$ (Avogadro-Konstante)

Durch einfaches Kürzen wird Einsteins photoelektrische Gleichung zu der heute üblichen Gleichung des **Fotoeffektes**: $W_{\text{kin,e}} = h \cdot f - W_A$

Erst die Experimente des amerikanischen Physikers **Robert A. Millikan** (1868-1953) im Jahr 1916 konnten fast alle Zweifler unter seinen Physiker-Kollegen überzeugen, dass Einstein Recht hatte. Die Weiterentwicklung der zu dieser Zeit noch jungen Quantenphysik machte es schließlich möglich, dass der

scheinbare Widerspruch aus Wellen- und Teilcheneigenschaften der auftretenden Photonen restlos verstanden werden konnte.

Für seine Verdienste zur Erklärung des Photoeffektes erhielt Einstein im Jahr 1921 den Nobelpreis für Physik. Seiner prinzipiellen Deutung folgen heute Solarzellen, die für uns ganz selbstverständlich auf Hausdächern oder in Taschenrechnern Strom erzeugen. Ohne seine Erkenntnisse wären diese nicht denkbar gewesen.

2. Die spezielle Relativitätstheorie (Juni 1905)

In seiner Arbeit „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ begründete Einstein mit sehr einfach klingenden Prinzipien eine völlig neue Physik. So bestritt er zunächst die bis dahin vorherrschende Meinung über einen für Übertragung elektromagnetischer Wellen notwendigen Äther. Für Einstein gibt es keinen Äther!

Mit seinem Prinzip der Relativität stellt er fest, dass alle physikalischen Vorgänge – sowohl mechanische als auch elektrodynamische – in allen gleichförmig bewegten Systemen unverändert ablaufen. Zudem verallgemeinert er die schon in der Elektrodynamik als konstant festgelegte Lichtgeschwindigkeit dahingehend, dass diese in allen Bezugssystemen, unabhängig von der Relativbewegung zum Licht, gleich groß sein soll.

Die konsequente Anwendung seiner Theorie stellte die bis dahin ausschließlich als richtig angesehene Newton'sche Mechanik vollends in Frage und führte zu einer neuen Physik, deren Fundament Raum und Zeit bilden sollten. Eine besondere Stellung kommt in der Natur der Lichtgeschwindigkeit zu, da sie etwas Absolutes darstellt, was dem Newton'schen Gesetz der Addition von Geschwindigkeiten widerspricht.

Mit einem einfachen Gedankenversuch soll beispielhaft die Einstein'sche Relativität anhand der **Zeitdilatation und der Längenkontraktion** im Vergleich zur klassischen Newton'schen Mechanik gezeigt werden:

Zeitdilatation

Dabei soll in einem mit konstanter Geschwindigkeit v fahrenden Zug die Zeit Δt bestimmt werden, die ein Lichtteilchen braucht, um eine Strecke D von einem Ausgangspunkt A zu einem Endpunkt B zu durchfliegen. Die Zeit zwischen den beiden Ereignissen A und B soll sowohl von einem mitfahrenden Beobachter im Zug (Abb. 2) als auch von einem am Bahndamm stehenden Beobachter (Abb. 3 a.c) gemessen werden.

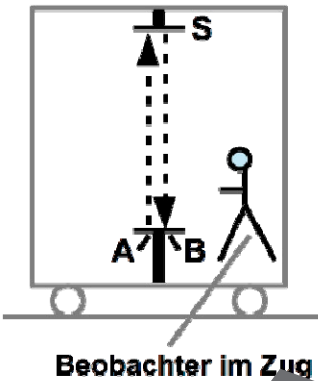


Abb. 2

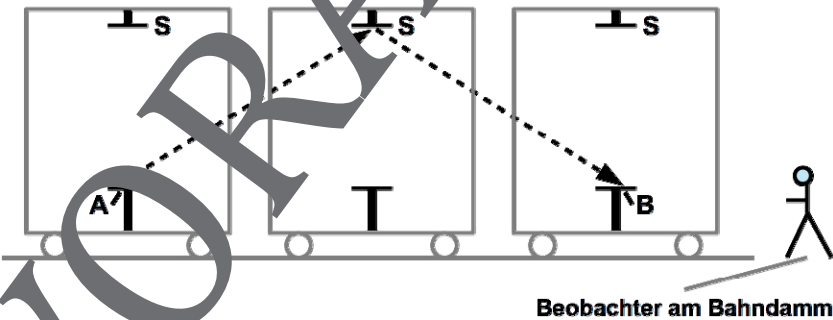


Abb. 3 a

Abb. 3 b

Abb. 3 c

Die Abbildungen zeigen, dass der im Zug mit der Geschwindigkeit v mitfahrende Beobachter den Lichtstrahl von A zum Spiegel S und zurück zu B als rein vertikale Linie wahrnimmt. Der Beobachter am Bahndamm hingegen ruht und sieht den Zug an sich vorbeifahren; dies bedeutet aber, dass für ihn der Lichtstrahl auf seinem Weg von A zum Spiegel S und anschließend zu B einen deutlich weiteren Weg zurücklegt als für den Beobachter im Zug.

Mithilfe der Abbildungen 4 a...c kann nun gezeigt werden, welche Ergebnisse die Berechnungen der Zeitdifferenz beim Lauf des Lichtteilchens von A nach B ergibt, wenn man einmal von der klassischen Mechanik Newtons ausgeht und zum anderen von der Einstein'schen Relativität.

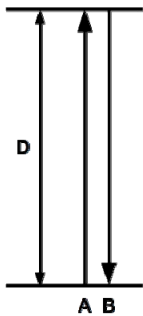


Abb. 4 a

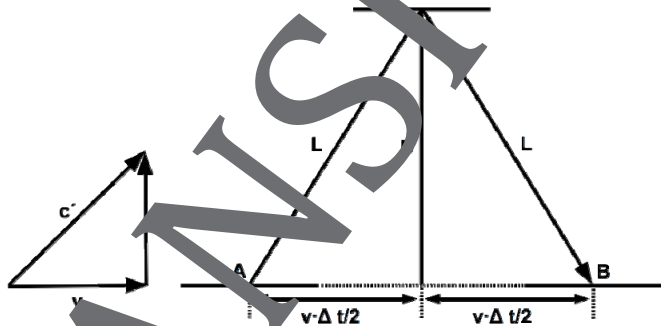


Abb. 4 b

Abb. 4 c

a) Klassische Berechnung gemäß der Newton'schen Mechanik

Für den Beobachter im Zug ergibt sich für die Laufzeit des Lichtteilchens (Abb. 4 a):

$$\Delta t = \frac{2 \cdot D}{c}$$

Für den Beobachter am Bahndamm ergibt sich aus der Addition der Geschwindigkeit v des Zuges und der Lichtgeschwindigkeit c eine zu berücksichtigende Geschwindigkeit c' (Abb. 4 b). Daraus folgt für die Laufzeit des Lichtteilchens (Abb. 4 c):

$$\Delta t_B = \frac{2 \cdot L}{c'} = \frac{2 \cdot \sqrt{D^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_B}{2}\right)^2}}{c'} = \frac{2 \cdot \sqrt{D^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_B}{2}\right)^2}}{\sqrt{v^2 + c^2}}$$

Durch Umformen erhält man:

$$\Delta t_B^2 = \frac{4 \cdot \left(D^2 + \frac{v^2 \cdot \Delta t_B^2}{4}\right)}{v^2 + c^2} = \frac{4 \cdot D^2 + v^2 \cdot \Delta t_B^2}{v^2 + c^2}$$

$$\Delta t_B = \frac{2 \cdot L}{c'} = \frac{2 \cdot \sqrt{D^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_B}{2}\right)^2}}{c'} = \frac{2 \cdot \sqrt{D^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_B}{2}\right)^2}}{\sqrt{v^2 + c^2}}$$

$$\Delta t_B^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{v^2 + c^2}\right) = \frac{4 \cdot D^2}{v^2 + c^2}$$

$$\Delta t_B^2 \cdot \frac{4 \cdot D^2}{v^2 + c^2} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{v^2 + c^2}\right)} \Rightarrow \Delta t_B^2 = \frac{4 \cdot D^2}{v^2 + c^2} \cdot \frac{1}{\frac{v^2 + c^2 - v^2}{v^2 + c^2}}$$

$$\Delta t_B^2 = \frac{4 \cdot D^2}{v^2 + c^2} \cdot \frac{1}{\frac{c^2}{v^2 + c^2}} \Rightarrow \Delta t_B^2 = \frac{4 \cdot D^2}{(v^2 + c^2)} \cdot \frac{(v^2 + c^2)}{c^2}$$

$$\Delta t_B = \frac{4 \cdot D^2}{c^2} \Rightarrow \Delta t_B = \frac{2 \cdot D}{c} = \Delta t_Z$$

Das Ergebnis der klassischen Berechnung zeigt, dass die Beobachter im Zug und auf dem Bahndamm die gleiche Zeitdifferenz messen!

- b) Berechnung gemäß der Voraussetzung, dass die Lichtgeschwindigkeit – unabhängig vom Bezugssystem – konstant ist: $c' = c$

$$\Delta t_B = \frac{2 \cdot L}{c} = \frac{2 \cdot \sqrt{D^2 + \left(\frac{v \cdot \Delta t_B}{2}\right)^2}}{c}$$

$$\Delta t_B^2 = \frac{4 \cdot \left(D^2 + \frac{v^2 \cdot \Delta t_B^2}{4}\right)}{c^2} = \frac{4 \cdot D^2 + v^2 \cdot \Delta t_B^2}{c^2}$$

$$\Delta t_B^2 = \frac{4 \cdot D^2}{c^2} + \frac{v^2}{c^2} \cdot \Delta t_B^2 \Rightarrow \Delta t_B^2 \cdot \frac{v^2}{c^2} = \frac{4 \cdot D^2}{c^2}$$

$$\Delta t_B^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = \frac{4 \cdot D^2}{c^2} \Rightarrow \Delta t_B^2 = \frac{4 \cdot D^2}{c^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$\Delta t_B = \frac{2 \cdot D}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow \Delta t_B = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \Delta t_z$$

Das Ergebnis unter Berücksichtigung der Einstein'schen Relativität zeigt, dass die Uhr im bewegten Zug langsamer geht. Man bezeichnet dieses natürliche Phänomen als **Zeitdilatation**. Die Verlangsamung der Zeit in einem bewegten System ist vielleicht die genialste Folgerung aus der Speziellen Relativitätstheorie. Über Jahrhunderte kam niemand auf den Gedanken, dass jedes System seine eigene Zeit haben sollte, die zudem umso langsamer vergeht, je schneller es sich bewegt.