

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der
Relativitätstheorie II

Folgearbeiten

Wissenschaftliche Arbeiten von Joachim Stiller

Alle Rechte vorbehalten

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der
Relativitätstheorie II

Zeitdilatation
und Gleichzeitigkeit

Wissenschaftliche Arbeit von Joachim Stiller,
geschrieben am 31.01.2009

Alle Rechte vorbehalten

Folgearbeit zur Neubegründung der Relativitätstheorie – Zeitdilatation und Gleichzeitigkeit

Die Relativitätstheorie, wie sie von mir in Anlehnung an Albert Einstein angelegt wurde, macht grundsätzlich zwei Voraussetzungen, die in den beiden Fundamentalsätzen ausgedrückt werden:

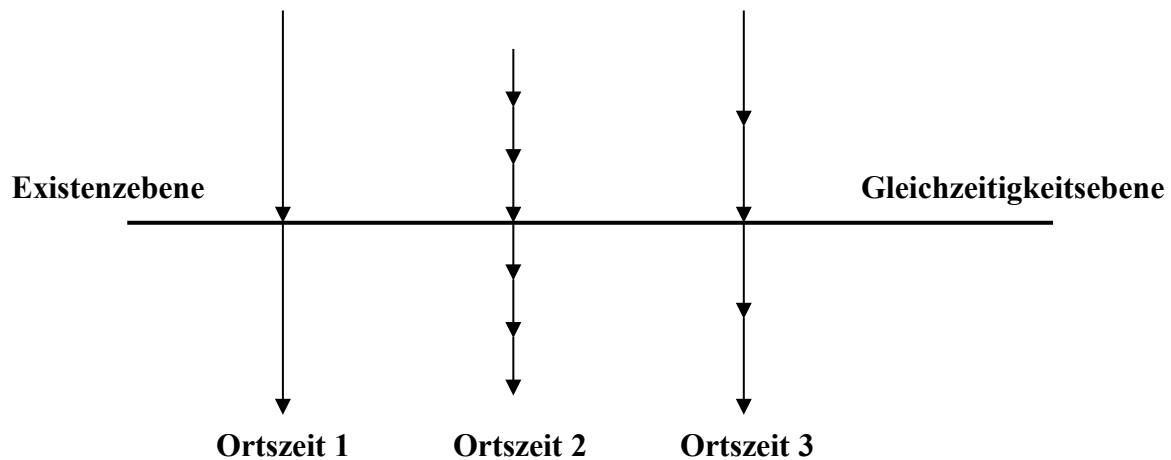
- 1. Hauptsatz: Raum und Zeit sind relativ.**
- 2. Hauptsatz: Alle Geschwindigkeiten sind relativ, mit Ausnahme der drei absoluten Geschwindigkeiten:**
 - a) der absoluten Ruhe,**
 - b) der absoluten Lichtgeschwindigkeit,**
 - c) der absoluten Echtzeitgeschwindigkeit.**

Wenn die Lichtgeschwindigkeit konstant ist, so müssen Zeit und Raum grundsätzlich relativ sein. Nichts anderes besagt die Relativitätstheorie. Bewegte Bezugssysteme unterliegen somit der „Zeitdilatation“, die Zeit vergeht bei größerer Geschwindigkeit immer langsamer. Für einen Beobachter, der sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, bleibt die Zeit praktisch stehen. Die Zeitdilatation entsteht aber auch für einen Betrachter in einem Gravitationsfeld. Dies besagt die allgemeine Relativitätstheorie. Für einen Betrachter in der Nähe eines schwarzen Loches bleibt die Zeit ebenfalls stehen. Daraus folgerte Einstein zu Recht, dass es schwierig wird, von „Gleichzeitigkeit“ der Ereignisse zu sprechen. Jeder Ort, bzw. Jedes Bezugssystem hat seine eigenen „Ortszeit“.

- 1. Satz: Am schnellsten vergeht die Zeit für ein ruhendes Bezugssystem außerhalb jeder Gravitation. Diese „Ruhezeit“ ist eine absolute Zeit.**
- 2. Satz: Die Zeit vergeht für ein Bezugssystem immer langsamer, wenn es sich**
 - a) immer schneller bewegt (relativ zum Licht und zum Raum), oder**
 - b) wenn der Einfluss der Gravitation immer größer wird, bis sie mitunter ganz stehenbleibt.**

Das wirft das Problem der Gleichzeitigkeit auf. Dieses Problem ist nur dann zu lösen, wenn wir uns von unserer Alltagserfahrung lösen. Wir glauben üblicherweise, Gleichzeitigkeit hinge davon ab, dass zwei Ereignisse zur selben Zeit stattfinden. Da jeder Ort aber seine eigene Ortszeit hat, müssen wir an dieser Stelle umdenken. Die „Gleichzeitigkeit“ wird, relativistisch betrachtet, unabhängig von der Zeit. Die Gleichzeitigkeit stellt sich uns also als eine Art Zeitebene dar, eine Existenzebene, die sich genau, bzw. im Höchstdfall mit der absoluten Ruhezeit durch die Dimensionen bewegt. Wir können diese Gleichzeitigkeitsebene tatsächlich die „Existenzebene“ nennen, die selber eigentlich nur „zeitdurchflossen“ ist. Die Zeit kommt dann, wenn wir in diesem Bild bleiben wollen, aus der Zukunft, und fließt durch die Existenzebene (Gleichzeitigkeitsebene) hindurch in die Vergangenheit. Wir bewegen uns also nur scheinbar vorwärts in der Zeit. In Wirklichkeit stehen wir still, und die Zeit bewegt sich durch uns in die Vergangenheit. Dabei ist die größte Geschwindigkeit, mit der Zeit dies tut, die der absoluten Ruhezeit. Für jeden anderen Ort und jedes andere Bezugssystem vergeht die Zeit langsamer. Hierbei ist wichtig, dass verstanden wird, dass an keinem Ort und für kein Bezugssystem die Existenzebene (Gleichzeitigkeitsebene) jemals verlassen werden kann, auch wenn jeder Ort und jede Zeit eine Eigenzeit, eine eigene Ortszeit, hat. Das ist mir ein sehr wichtiger Punkt.

Wir sind nun sogar in der Lage, das Verhältnis der Eigenzeiten, also der unterschiedlichen Ortszeiten im Verhältnis zur Existenzebene, also zur Gleichzeitigkeitsebene, graphisch darzustellen:



Die einzelnen Pfeile stellen die Dauer von je einer Stunde für drei unterschiedliche Ortszeiten dar. Dabei soll Ortszeit 2 einmal die „absolute Ruhezeit“ sein.

Anhand der obigen Darstellung kann, vielleicht verstanden werden, warum die absolute Ruhezeit die am schnellsten vergehende Zeit ist. Eine mögliche Betrachtung ist nun die folgende: Die Existenzebene (Gleichzeitigkeitsebene) bewegt sich überhaupt nicht, sie ist fix, und die Zeit fließt nur unterschiedlich schnell durch die Ebene hindurch, je nach den in den Sätzen 1 und 2 beschriebenen äußeren Bedingungen. Man könnte diese Eben auch die Echtzeitebene nennen, denn könnten wir und mit Echtzeitgeschwindigkeit bewegen, so würden wir jeden Ort innerhalb der Existenzebene zur Orts- oder Lokalzeit antreffen. Das würde bedeuten, dass wir beliebig in die Zukunft reisen könnten, aber niemals in die Vergangenheit. Wir müssten uns nur selber eine Zeit lang einer größeren Zeitdilatation aussetzen, und dann daraus an einen Ort mit absoluter Zeit zurückkehren.

Ich glaube, mit diesen Ausführungen das Thema erschöpfend behandelt zu haben.

Joachim Stiller

Münster, den 31.01.2009

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der
Relativitätstheorie II

Masse und Gravitation

Wissenschaftliche Arbeit von Joachim Stiller,
geschrieben am 04.04.2009

Alle Rechte vorbehalten

Masse

Masse, genauer **träge Masse** (Formelzeichen m) ist eine Eigenschaft der Materie. Wir gewinnen den Massebegriff durch Abstraktion und genaue Ableitung. Die Masse ist eine Basisgröße des SI-Systems und wird gemessen in Kilogramm (Einheitszeichen kg). Das Kilogramm ist die Einheit der Masse.

Streng zu unterscheiden von der Masse ist das Gewicht, oder die **schwere Masse** eines Körpers. Das Gewicht eines Körpers entsteht durch die gegenseitige Gravitationskraft (Gewichtskraft) zwischen zwei Massen. Das Gewicht zweier Körper mit der gleichen trägen Masse unter dem Einfluss unterschiedlicher Gravitationskräfte ist verschieden.

Massen werden gemessen durch Vergleich mit geeichten Massen. Das dafür benutzte Messinstrument heißt „Waage“. Sehr große und sehr kleine Massen werden indirekt bestimmt.

Masse hat die seltsame Eigenschaft, sich mit ihrer Geschwindigkeit zu ändern. Es gilt:

$$m' = m^0 / \sqrt{1 - v^2 / c^2} \quad (\text{Relativistische Masse})$$

mit: m^0 = Ruhemasse, d.h. Masse für $v = 0$ und c = Lichtgeschwindigkeit

So lange $v \ll c$, ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse vernachlässigbar. Das **Gesetz von der Erhaltung der Massen** ist nur eingeschränkt gültig. Das **Gesetz von der Erhaltung der Energie** gilt hingegen immer.

Nach der Relativitätstheorie gilt: **$E = m c^2$ (Relativistische Energie)**

mit: E = Energie, m = Masse und c = Lichtgeschwindigkeit.

Masse ist also Energie durch Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat:

$$m = E / c^2$$

Gravitation

Alle Massen ziehen sich gegenseitig an. Diese Aussage ist universell. Die zwischen den Massen herrschende, anziehende Kraft heißt „Massenanziehungskraft“ oder **Gravitation**. Diese Kraft ist proportional den beteiligten Massen und umgekehrt proportional den Quadraten ihrer Abstände. Isaac Newton formulierte 1667 das **Gravitationsgesetz** in seiner auch noch heute gültigen Form: Der Betrag F_g der Anziehungskraft zwischen zwei Massen m_1 und m_2 ist:

$$F_g = G m_1 m_2 / r^2 \quad (\text{Gravitationsgesetz})$$

Mit: G = Gravitationskonstante = $6,672 \times 10^{-11}$ Nm Quadrat/kg Quadrat

Eigentlich gilt das Gravitationsgesetz nur für Massepunkte, doch können ausgedehnte Körper durch ihre Schwerpunkte ersetzt werden.

Nach der allgemeinen Relativitätstheorie hängt F_g auch von der Geschwindigkeit der Masse ab. Diese Abhängigkeit ist außerordentlich klein, kann jedoch, z.B. an der Planetenbahnen gemessen werden.

Die Gravitationskraft beherrscht unser tägliches Leben. Im Vergleich mit anderen Kräften in der Natur ist sie jedoch sehr klein. Zum Vergleich: Gravitationskraft zu Coulombkraft verhält sich wie 1 zu $8,4 \times 10^{37}$.

Gravitation ist also eine grundlegende Eigenschaft der Materie. Die Gravitation ist proportional zu den sich anziehenden Massen und umgekehrt proportional zum Quadrat ihrer Entfernungen. Besonders interessant wird diese Überlegung bei einer genaueren Untersuchung von chaotischen Systemen, wie sie die Spiralgalaxien darstellen. Es zeigt sich nämlich bei

den Galaxien, dass sie sich in einer Art schwebendem Gleichgewichtszustand befinden, aber einem anderen, als die Sonnensysteme. Hier steckt die Wissenschaft, die bisher nur nach der Dunklen Materie (DM) gefragt hat, noch in den Kinderschuhen.

Polaräquivalenz von träger und schwerer Masse

Trägheitskraft und Schwerkraft hängen beide von der Masse des Objekts ab. Mit Hilfe dieser beiden Kräfte kann man eine träge und eine schwere Masse definieren.

Nach Newtons Aktionsprinzip gilt $F = m a$. Die **träge Masse** m wird als Proportionalitätskonstante zwischen der Kraft F und der Beschleunigung a eingeführt.

Im Newtonschen Gravitationsgesetz dagegen gilt $F = G m_1 m_2/r^2$. Die **schweren Massen** m_1 und m_2 führen zu einer gegenseitigen Kraft F .

Fallversuche mit sehr verschiedenen schweren Körpern durch Roland von Eötvös beweisen die Übereinstimmung von schwerer und träger Masse. Alle Körper fallen gleich schnell. Dieses Ergebnis gilt heute als gesichert. Die Gleichheit von schwerer und träger Masse führt zur universell geltenden, von Einstein gefundenen und von mir so genannten **Polaräquivalenz** von träger und schwerer Masse. Einstein formulierte das Äquivalenzprinzip wie folgt:

Ein beschleunigtes Bezugssystem ist einer Schwerebeschleunigung äquivalent. Es gibt also keine Möglichkeit, zu unterscheiden zwischen Beschleunigung und der Wirkung eines homogenen Schwerfeldes. Das brachte Einstein darauf, dass es sich bei der Gravitation um ein bloßes Scheinproblem handelt. Gravitation ist nichts anderes, als der gekrümmte Raum, das der Masse proportional ist. Man muss nur noch das **relativistische Gravitationsgesetz** durch die entsprechenden Feldgleichungen ausdrücken.

Mit diesen Ausführungen haben wir zwei wichtige Begriffe eindeutig geklärt:

1. **den Begriff der Masse, und**
2. **den Begriff der Gravitation.**

Es macht, das ist meine feste Überzeugung, keinen Sinn, an einer anderen Stelle, etwa in den Tiefen der Materie, nach dem Wesen der hier erklärten Begriffe zu suchen. Eine rein phänomenologische Lösung ist hier völlig ausreichend. Es gibt keine andere. Ich lehne somit jede Quantentheorie der Gravitation kategorisch ab. Allerdings könnte es sehr aufschlussreich sein,

1. die Gravitationskraft (bzw. die Trägheitskraft) in ein Verhältnis zur Kohäsionskraft und zur Wärmekraft zu setzen,
2. die Gravitationskraft (bzw. die Trägheitskraft) in ein Verhältnis zur elektrischen und zur magnetischen Kraft zu setzen, und
3. die elektrische und die magnetische Kraft in ein Verhältnis zu starken und zur schwachen Kernkraft zu setzen.

Literaturhinweise:

dtv-Atlas Physik, 2 Bände

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der
Relativitätstheorie II

Das Zwillingsparadox

Wissenschaftliche Arbeit von Joachim Stiller,
geschrieben am 30./31.08.2009

Alle Rechte vorbehalten

Das Zwillingsparadox

Auf Grund einer längeren Diskussion über meine Neubegründung der Relativitätstheorie in einem Physik-Forum im Internet erschien es mit notwendig, noch einmal zum wichtigsten Grundproblem meiner Arbeit gesondert Stellung zu beziehen, und zwar zu meiner eigenen Lösung des Zwillingsparadoxes.

Das klassische Zwillingsparadox unterstellt eine „Gleichwertigkeit“ der Initialsystem, die, so die Behauptung, bereits von Einstein im „Relativitätspostulat“ (heute gelegentlich, aber fälschlicher Weise auch „Äquivalenzprinzip“ genannt) angenommen worden wäre (Einstein unterscheidet in der Folge grundsätzlich zwischen Inertialsystemen (IS) – Systemen in Ruhe oder bei gleichförmiger, geradliniger Bewegung – und beschleunigten Bezugssystemen). Die Argumentation von Einstein bezüglich des Zwillingsparadoxes kann hier als bekannt vorausgesetzt werden: Der Astronaut im Raumschiff stellt als beschleunigtes System eben „kein“ Inertialsystem dar, daher sei die Symmetrie gebrochen.

Das stellt in meinen Augen aber nur eine Ausflucht dar, eine Flucht vor der Wahrheit. Der „wahre“ Grund für die „Wertigkeit der Bezugssysteme“ und damit für den Symmetriebruch ist ein ganz anderer: Es muss von vornherein und generell ein Symmetriebruch angenommen werden, womit das Zwillingsparadox genau so gut gelöst ist, ja, sogar viel einfacher und eleganter (siehe Okkhams Rasiermesser).

Warum muss von einem generellen Symmetriebruch ausgegangen werden? Aus einem einzigen Grund, auf Grund der Elektrodynamik, von der Einstein ja gerade ausging, und die einen solchen Symmetriebruch gerade als zwingend postuliert (Es besteht nämlich ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Ruhenden und bewegten Bezugssystemen: Ladungsträger in Ruhe evozieren ausschließlich elektrische Felder, Ladungsträger, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen, evozieren hingegen auch magnetische Felder, bei fließendem Übergang.). Die Elektrodynamik funktioniert praktisch nur unter der Annahme eines Symmetriebruchs. Eine gesonderte Untersuchung wird dies noch einmal gesondert darstellen müssen.

Daraus folgt, das grundsätzlich zwischen ruhenden und bewegten Bezugssystemen unterschieden werden muss. Die Symmetrie ist tatsächlich gebrochen, und zwar immer. Eine von der SRT postulierte Gleichwertigkeit der Inertialsysteme gibt es so nicht. Ja, es gibt überhaupt „nur“ Bezugssysteme, aber keine Inertialsysteme. Das führt zu einer geradezu absurden Konsequenz: Ausgerechnet das „Relativitätspostulat“ von Einstein ist grundsätzlich falsch. Einstein hat sich in diesem Punkt einfach geirrt. Die gesamte Relativitätstheorie steht auf einer völlig falschen Grundlage. Die Relativitätstheorie, die an sich natürlich ganz richtig ist, bedarf einer völlig neuen Interpretation.

Ein Experiment

Zur Bestätigung der SRT hat man einmal folgendes Experiment durchgeführt: Man flog mit einer Atomuhr in einem Verkehrsflugzeug um die Erde, einmal „mit“ der Erddrehung und einmal „gegen“ die Erddrehung (J. Hafele/R. Keating 1971). Dabei zeigte sich folgendes Ergebnis: Bei dem Flug „mit“ der Erddrehung verging die Zeit der Atomuhr im Flugzeug langsamer, als auf der Erde, und bei Flug „gegen“ die Erddrehung verging die Zeit überraschender Weise **schneller**, als auf der Erde. Die geringere Gravitation in der Flughöhe (ART) wurde dabei herausgerechnet. Einsteins Relativitätstheorie kann dieses Experiment so „nicht“ erklären, und zwar gar nicht. Der Befund ist aber eindeutig, das Experiment jeder Zeit wiederholbar.

Der Wahre Grund für die unterschiedlichen Zeitmessung, ist der, dass die Geschwindigkeit des Flugzeugs ein mal zur Erddrehung addiert werden muss, das andere mal muss sie von ihr

subtrahiert werden. Einsteins Relativitätstheorie macht einen solchen Unterschied hingegen „nicht“. Es gibt aber eine „objektive Geschwindigkeit“ die nicht vom Betrachter abhängt. Und, es gibt eine absolute Ruhe, wo immer die auch liegt, und auf was auch immer sie sich bezieht, denn messen werden wir sie niemals können. Somit gibt es aber eben auch ein absolutes Bezugssystem. Das Experiment von Hafele und Keating ist „nur“ durch die Annahme eines absoluten Bezugssystems zu erklären. Einstein hatte hingegen die Existenz eines solchen immer entschieden abgelehnt.

Die Symmetrie ist also „immer“ gebrochen. Es gibt keine gleichberechtigten Bezugssysteme, weil sie nicht gleichwertig sind. Die „Wertigkeit der Bezugssysteme“ hängt ausschließlich von der objektiven Geschwindigkeit ab.

Diese Grundüberlegung meiner Arbeit zur Relativitätstheorie steht aber im krassen Gegensatz zur SRT von Einstein. Dabei ist, wie ich bereits sagte, meine Lösung einfacher, und eleganter, und sie macht vorhersagen (die schneller laufende Zeit im Flugzeug beim Flug gegen die Erddrehung), die die RT von Einstein so „nicht“ macht.

Interessant ist, dass das Experiment von Hafele und Keating heute ganz allgemein im Sinne meiner Lösung interpretiert wird. Nur hat das eben mit Einstein nichts mehr zu tun. Warum dann nicht hingehen, und die generelle Notwendigkeit einer Neubegründung der Relativitätstheorie anerkennen? Die Gravitations-Blauverschiebung hat doch auch nichts mehr mit Einstein zu tun, und doch gilt sie heute als gesichert, und zwar mit denselben Argumenten, die auch ich ins Feld geführt habe.

Ich fasse es noch einmal zusammen: Das Experiment von Hafele und Keating ist „nur“ unter der Annahme eines absoluten Bezugssystems zu erklären, und damit unter der Annahme eines Momentes absoluter Ruhe. Es ist grundsätzlich zwischen ruhenden und bewegten Bezugssystemen zu unterscheiden, denn die Geschwindigkeiten haben objektiven Charakter. Auf genau dieselbe Weise löse ich aber nun auch das Zwillingsparadox. Auch beim Zwillingsparadox nehme ich einfach ein absolutes Bezugssystem an, und ich unterscheide zwischen Ruhenden und bewegten Bezugssystemen. Damit ist auch meine Lösung des Zwillingsparadoxes gültig, aber sie ist eben erheblich einfacher und eleganter, als die von Einstein.

Das wissenschaftliche Lausbubenstück von Hafele und Keating mit realen Uhren

„Physiker und Techniker überlegten sich um 1970, wie man mit genauen Uhren in Raketen oder Satelliten, die sich relativ zur Erdoberfläche bewegen, die Zeiteffekte der SRT nachprüfen könne, unter großem finanziellem Aufwand. Unbemerkt davon buchten J. Hafele und R. Keating 1971 mehrere Plätze in öffentlichen Verkehrsmaschinen. Diese belegten sie mit vier kommerziellen Atomuhren und flogen damit um die Erde, mal nach Ost, mal nach West. Sie hatten erkannt, dass Atomuhren so präzise geworden waren, dass man damit Einsteins Zeitdilatation prüfen konnte. Die überraschte Fachwelt bezeichnete dies als „wissenschaftliches Lausbubenstück“. Zum ersten Mal wurde nämlich die SRT mit kommerziellen Uhren, die Menschen mit sich führten und wieder zu ihrem Startplatz zurückbrachten, getestet, also durch unmittelbaren Vergleich mit dort zurückgelassenen Uhren gleicher Präzision.

Hafele und Keating lieferten damit den 1. Test für das lange umstrittene Zwillingsparadox. Allerdings waren zwei Komplikationen zu beachten:

a) Das Flugzeuge in ca. $H = 10\,000$ m Höhe das Gravitationsfeld der Erde durchfliegen, muss auch die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) Einsteins beachtet werden. In der Höhe H gehen ruhende Uhren während der Zeit t um $\Delta t = g H t / c^2$ schneller. Wir können dies an

Photonen darlegen, die im Gravitationsfeld um H höher steigen. Dabei geben sie wegen ihrer Masse $m = \frac{V}{c^2} = \frac{h f}{c^2}$ die Höhenenergie

$$\Delta W = m g H = h f g \frac{H}{c^2} \quad \text{ab (h: Planckkonstante).}$$

Dies ist im sogenannten *Mößbauer-Effekt* experimentell bestätigt, und zwar durch die Frequenzabnahme $\Delta f = \frac{\Delta W}{h} = f g \frac{H}{c^2}$. (Weil Photonen immer Lichtgeschwindigkeit haben, können sie nicht langsamer werden. Δf wird beim *Mößbauer-Effekt* gemessen, indem man Δf durch Bewegung des Senders oder Empfängers, also durch Dopplereffekt kompensiert).

Da Radiowellen auch quantisiert sind, gilt: Steigen diese aus einem Sender mit der Frequenz f am Boden auf, so registriert ein Sender in der Höhe H eine um Δf kleinere Frequenz. Er stellt also fest, dass seine Eigenfrequenz um Δf höher ist, als die, welche die Photonen vom gleich gebauten Bodensender mitbringen.

Nun kann von der Frequenz, der Zahl der Schwingungen je Sekunde, unterwegs nichts abhanden kommen (genauso wenig wie beim Übergang des Lichts in ein anderes Medium). Also stimmen die beiden „Sekunden“ nicht überein. Betrachten wir nämlich die Sender als Uhren (Atomuhren sind präzise Frequenzerzeuger), dann muss man mit Einstein folgern:

Der Sender in der Höhe tickt schneller; dort vergeht die Zeit rascher; sein „Sekunde“ ist kürzer! Nun sind Frequenzen stets auf 1 s bezogen. Deshalb ist die relative Frequenzänderung $\frac{\Delta f}{f}$ gleich der relativen Zeitänderung $\frac{\Delta t}{t}$. Daraus folgt:

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta f}{f}, \quad \text{also} \quad \Delta t = t g \frac{H}{c^2}.$$

Da Hafele und Keating bei $v \approx 800$ km/h zu einer Erdumkreisung (40 000 km) etwas $t = 50$ h brauchten und in $H \approx 10$ 000 m Höhe flogen, gingen ihre Uhren allein gegen dieses Gravitationseffekts ($g \approx 9,8$ m/s²) gegenüber den Eruhren vor, und zwar um $\Delta t = t g \frac{H}{c^2} = 196$ ns.

Dies galt für die Ost- wie die Westumkreisung (die Geschwindigkeit v tritt hier noch nicht auf; auch bei den Atomuhren in Satteliten für das GPS-System muss man diesen Effekt peinlich beachten, andernfalls könnte man damit nicht die Position im Auto auf wenige Meter genau ablesen und aus dem Lautsprecher Fahrhinweise entgegennehmen).

b) Als zweite Komplikation hatten beide Forscher die Zeitdilatation der SRT zu beachten: Auch die am Boden zurückgebliebenen Vergleichsuhr bewegen sich. Zum einen fliegen alle Uhren wie der Erdmittelpunkt mit 30 km/s um die Sonne. Deshalb ernennen wir ein mit diesem verbundenes, nicht rotierendes System zu unserem S-System und denken uns dort eine präzise Uhr aufgestellt. Darauf beziehen wir alle Geschwindigkeiten; dort vergeht die Zeit t_0 . Dann müssen wir nur die Geschwindigkeiten in Rechnung setzen, die aus der Rotation der Erde folgen (bei dieser Beobachtungsweise spielt deshalb die Richtung keine Rolle):

Eine am Äquator (genähert in Washington) fest aufgestellte, mit der Erde rotierende Uhr A hat wegen der Erdrotation, also gegenüber der Vergleichsuhr im Erdmittelpunkt, die Geschwindigkeit $v_A = \frac{40\,000 \text{ km}}{24 \text{ h}} = 1667 \text{ km/h} = 463 \text{ m/s}$ (Erdumfang: 40 000 km). Sie tickt folglich statt um t_0 nur um

$$t_A = t_0 \sqrt{1 - \frac{v_A^2}{c^2}} \approx t_0 \left(1 - \frac{v_A^2}{2 c^2}\right) \quad \text{weiter.}$$

Dabei benutzen wir auch im Folgenden $\sqrt{1 - x} \approx 1 - \frac{x}{2}$ für $x = \frac{v_A^2}{c^2} \ll 1$.

Bei *Ostflug* umrundet das Flugzeug die Uhr im Erdmittelpunkt schneller als es die Vergleichsuhr am Boden macht. Deshalb ist bei obiger Festlegung die Fluggeschwindigkeit statt 800 km/h

$$v_{\text{Ost}} = v_A + 800 \text{ km/h} = 2467 \text{ km/h.} \quad \text{Dabei vergeht die Zeit}$$

$$t_{\text{Ost}} = t_0 \sqrt{1 - v_{\text{Ost}}^2/c^2} \approx t_0 (1 - v_{\text{Ost}}^2/2 c^2).$$

Bei *Westflug* ist dagegen die Geschwindigkeit kleiner als die der Vergleichsuhr am Boden. Sie beträgt

$$v_{\text{West}} = v_A - 800 \text{ km/h} = 867 \text{ km/h.} \quad \text{Hier vergeht die Zeit}$$

$$t_{\text{West}} = t_0 \sqrt{1 - v_{\text{West}}^2/c^2} \approx t_0 (1 - v_{\text{West}}^2/2 c^2).$$

Nach einer Umrundung ($t_0 \approx 50 \text{ h}$) sollten sich folglich die Anzeigen von Flugzeug und Bodenuhr unterscheiden:

$$\text{Beim Ostflug um} \quad \Delta t_{\text{Ost}} = t_{\text{Ost}} - t_A \approx t_0 (v_A^2 - v_{\text{Ost}}^2) / 2 c^2 \approx -255 \text{ ns.}$$

$$\text{Beim Westflug um} \quad \Delta t_{\text{West}} = t_{\text{West}} - t_A \approx t_0 (v_A^2 - v_{\text{West}}^2) / 2 c^2 \approx +156 \text{ ns.}$$

Wie in a) gezeigt, gingen wegen der Höhe im Gravitationsfeld die Flugzeughren bei beiden Flügen um 196 ns schneller. Also sollte die gesamte Differenz Δt nach der obigen groben Abschätzung folgende Werte haben (verglichen mit den Werten aufgrund der genauen Flugdaten und mit den tatsächlichen Uhrenangaben):

	Westflug Δt in ns	Ostflug Δt in ns
Δt in ns; grob abgeschätzt	$156 + 196 = 352$	$-255 + 196 = -59$
Δt in ns; theoretisch nach Flugdaten	275 ± 21	-40 ± 23
Δt in ns; experimentell an 4 Uhren	273 ± 7	-59 ± 10

Beim Westflug war die Übereinstimmung gut. Da auf dem Ostflug Gravitation und Zeitdilatation einander entgegen wirkten, war dort der relative Fehler größer.“ (Dorn Bader: Physik – Arbeitsheft Spezielle Relativitätstheorie, Sek II, S.45/46)

Die Tatsache, dass die Uhren bei Westflug schneller liefen, ist meines Erachtens nicht mit dem allgemeinen Relativitätsprinzip der ART vereinbar. Leider stehe ich mit dieser Ansicht ziemlich alleine da.

Joachim Stiller

Münster, 30./31.08.2009

Literaturhinweise:

- „Spezielle Relativitätstheorie – Dorn Bader, Physik – Arbeitsheft Spezielle Relativitätstheorie, Sek II“ (besonders sei hier auf den Anhang verwiesen, in dem das „Hafele-Keating-Experiment hervorragend dokumentiert ist)
- Beyvers/Krusch: „Kleines 1x1 der Relativitätstheorie“

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der Relativitätstheorie II

Das Relativitätsprinzip und das Zwillingsparadox

Wissenschaftliche Arbeit von Joachim Stiller,
geschrieben am 24./25.10.2009

Alle Rechte vorbehalten

Das Relativitätsprinzip

Relativität vor Einstein

„Die Relativitätstheorie umgibt bei Laien nach wie vor eine Aura des Unnahbaren und Unverstehbaren, ja geradezu des Mystischen – obwohl sie bereits fast hundert Jahre alt ist und schon lange zum selbstverständlichen Gedankengut des Forscher gehört. Sie ist auch kein exotischer Teilbereich der Physik, sondern sie bildet eines der Fundamente der Naturwissenschaften, entstanden aus dem Bemühen, die uns umgebende Welt zu begreifen und zu beschreiben. Wir können die neue Theorie in ihren Grundzügen verstehen, wenn wir bereit sind, selbstverständliche Denkgewohnheiten aus dem Alltag und der Schule über Bord zu werfen. Als besonders faszinierend erweist sich schließlich die Erkenntnis, dass die Struktur von Raum und Zeit die Gesetze des Universums bestimmt.

Heute ist der Begriff Relativität zwar untrennbar mit dem Namen Einstein verbunden, tatsächlich aber spielt er bereits seit dem 17. Jahrhundert eine entscheidende Rolle. Wir wollen deshalb zu Beginn einen Blick auf einige Aspekte der „klassischen Physik“ werfen. Sie erscheinen und alle geläufig und selbstverständlich, erweisen sich aber im Lichte der Relativitätstheorie als falsch.

Relativität beinhaltet zunächst einmal nichts weiter als die Frage, wie die Gesetze der Physik verschiedenen Beobachtern erscheinen, die sich relativ zueinander bewegen. Wir wissen heute, dass in gleichförmig bewegten Systemen alle Vorgänge unverändert ablaufen. Ein Stein wird stets senkrecht fallen, egal, ob wie unbewegt an einer Bahnstrecke stehen oder uns im vorbeifahrenden Zug mit 200 Stundenkilometern relativ zu ihr bewegen.

Dieses Relativitätsprinzip formulierte erstmals Galileo Galilei. In seinem 1632 gedruckten Werk „Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltssysteme“ erklärt Salviati, alias Galilei, seinem Freund Sagredo: „Schließt Euch in Gesellschaft eines Freundes in einem möglichst großen Raum unter Deck eines großen Schiffes ein ... Hängt oben einen kleinen Eimer auf, welcher tropfenweise Wasser in ein enghalsiges Gefäß träufeln lässt ... Nun lasst das Schiff mit jeder beliebigen Geschwindigkeit sich bewegen: Ihr werdet – wenn nur die Bewegung gleichförmig ist und nicht hier- und dorthin schwankend - ... nicht die geringste Veränderung eintreten sehen ... Die Tropfen werden wie zuvor in das untere Gefäß fallen, kein einziger wird nach dem Hinterteile zu fallen, obgleich das Schiff, während der Tropfen in der Luft ist, viele Spannen zurücklegt.“ Seine Folgerung: „Aus keiner (Erscheinung) werdet Ihr entnehmen können, ob das Schiff fährt oder still steht.“

Galilei verfolgte damals mit seiner Argumentation das Ziel, eines der wichtigsten Argumente zu entkräften, das viele Gelehrte gegen das heliozentrische Weltbild anführten. Diese hatten es nämlich stets als grotesk empfunden, dass die Erde mit atemberaubender Geschwindigkeit um die Sonne rasen sollte, wie es Nikolaus Kopernikus behauptet hatte. Wie, so fragten die Kritiker, könne diese Geschwindigkeit von uns unbemerkt bleiben? Müssten wir nicht in einem beständigen Sturm leben? Nein, sagte Galilei, denn auch diese enorme Geschwindigkeit ist gleichförmig und deshalb von uns nicht wahrnehmbar.

Heute ist uns das Relativitätsprinzip vertraut, auch wenn wir es uns fast nie klarmachen. Jeder hat wohl schon einmal folgende Situation erlebt: Man sitzt in einem Zug, der im Bahnhof hält. Auf dem Nachbargleis steht ebenfalls ein Zug. Plötzlich, so meinen wir, fahren wir langsam los, denn die anderen Waggons bewegen sich aus unserem Blickfeld hinaus. Schließlich sind sie gänzlich verschwunden, doch zu unserem Erstaunen haben nicht wir den Bahnhof verlassen, sondern der Zug gegenüber. Im Nachbarzug aber hatten einige Reisende vielleicht genau das Gegenteil empfinden und gemeint, sie selbst würden stehenbleiben und wir uns bewegen. Dieses Phänomen lässt sich nur dann beobachten, wenn die Beschleunigung des Zuges

zu gering ist, um von uns wahrgenommen zu werden, das heißt, wenn sich der Zug mit nahezu konstanter Geschwindigkeit bewegt.

Geschwindigkeiten sind demnach zwar relativ, dennoch lassen sie sich eindeutig messen, sofern man einen Bezugspunkt angibt.“ (Thomas Bürke: $E = mc^2$ - Einführung in die Relativitätstheorie, S.18-20)

Anmerkung 1:

Eben. Und genau das ist der entscheidende Punkt. Geschwindigkeiten, so hieß es gerade bei Thomas Bürke, sind zwar relativ, dennoch lassen sie sich eindeutig messen, sofern man einen Bezugspunkt angibt. Einen solchen Bezugspunkt können wir aber „immer“ angeben. Auch im Weltall. Dort ist es die „absolute Ruhe“ die sich in Bezug auf die kosmische Hintergrundstrahlung ergibt.

„Beispiel Autobahn: Nehmen wir an, in der einen Fahrtrichtung fahren zwei LKWs während eines Überholvorgangs mit jeweils 90 Stundenkilometern nebeneinander. Auf der Gegenseite kommt ihnen ein PKW mit 150 Stundenkilometern entgegen. Die beiden LKW-Fahrer bewegen sich nun relativ zueinander gar nicht, haben also die Relativgeschwindigkeit 0 Stundenkilometer, während von ihnen aus gesehen, der PKW mit 240 Stundenkilometern auf sie zurast. Alle Bezugssysteme, sowohl das der Autos als auch jenes im Radarwagen, sind aus physikalischer Sicht gleichberechtigt. Begibt man sich von einem System in das andere, so müssen die Geschwindigkeiten addiert oder subtrahiert werden. In der Physik nennt man das eine Galilei-Transformation.“ (Thomas Bürke: $E = mc^2$, S.20)

Anmerkung 2:

Wir werden noch sehen, dass dieser Zusammenhang für die Relativitätstheorie, aber auch für die Elektrodynamik „nicht“ gilt.

„Dieses unmittelbar einleuchtende Gesetz übernahm etwa ein halbes Jahrhundert später der britische Physiker Isaac Newton. In seinem fundamentalen Werk „Principia Mathematica“ formulierte er die Gesetze der Mechanik in einer exakten mathematischen Sprache. Hierin haben die Grundgleichungen eine Form, die beim Übergang von einem gleichförmig bewegten System in ein anderes unverändert bleiben. Dies gilt überall im Universum.

Newton übernahm noch eine weitere wesentliche Erkenntnis von Galilei: den Trägheitssatz. Er besagt, dass jeder Körper im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen, gradlinigen Bewegung bleibt, solange keine äußeren Kräfte auf ihn einwirken. Ein gutes Beispiel hierfür sind heute interplanetare Raumsonden. Ein Raketentriebwerk beschleunigt sie so lange, bis sie schnell genug sind, um das Schwerfeld der Erde zu verlassen. Dann wird das Triebwerk abgeschaltet, und die Sonde fliegt näherungsweise auf einer geraden Bahn weiter, sieht man einmal von den Schwerkrafteinflüssen der anderen Himmelskörper ab.

Newton musste sich aber die Frage stellen: Wie kann ich überhaupt feststellen, ob eine Bahn geradlinig verläuft oder nicht? Im All gibt es keine feste Markierungen, die man als Bezugspunkte nutzen könnte, keine natürlichen Geraden. Newton sah damals keinen anderen Ausweg, als einen absoluten Raum zu definieren. Er schrieb: „Der absolute Raum bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand stets gleich und unbeweglich.“ Damit hatte er eine Art imaginäres Koordinatenkreuz geschaffen, anhand dessen sich absolute Ruhe und absolute Bewegung festmachen ließen. Ja, er definierte sogar den Nullpunkt. Er nahm an, dass das Universum ein ruhendes Zentrum besitzt, und dieses identifizierte er als den Schwerpunkt des Sonnensystems, der etwas außerhalb des Sonnenzentrums liegt.

Um entscheiden zu können, ob eine geradlinige Bewegung auch mit konstanter Geschwindigkeit erfolgt, bedurfte es noch eines Zeitmaßes, denn Geschwindigkeit ist definiert als zurückgelegte Entfernung pro Zeitintervall. Hierzu legte Newton fest: „Die absolute, wahre und

mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand.“ Diese Feststellung ist deshalb so wichtig, weil die Zeitmessung bei der Definition nahezu aller physikalischen Größen der klassischen Physik, wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Impuls oder Energie, eine entscheidende Rolle spielt.

Der Raum bildete somit eine Art starren Rahmen, in dem sich ein unveränderlicher Maßstab festlegen lässt. Die Zeit fließt gleichförmig, wie ein Fluss, auf dem alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fortstreben. Das Konzept des absoluten Raumes und der absoluten Zeit wurde damals durchaus nicht von allen Kollegen akzeptiert. Newtons Physik vermochte jedoch die mechanischen Vorgänge, sowohl auf der Erde als auch im Sonnensystem, so gut zu beschreiben, dass niemand an ihr rührte.

Mitte des 19. Jahrhunderts begann indes eine schleichende Entwicklung, die schließlich zum Sturz der Newtonschen Mechanik führte. Zahlreiche Forscher hatten sich bis dahin zunehmend mit Phänomenen der Elektrizität und des Magnetismus befasst. Hierbei war zum einen klargeworden, dass elektrische und magnetische Felder dieselbe Ursache haben: elektrisch geladene Teilchen oder Körper. Befindet man sich relativ zu einer elektrisch geladenen Kugel in Ruhe, so registriert man nur ein elektrisches Feld. Bewegt man sich relativ zu ihr, so ist plötzlich ein zusätzliches Magnetfeld vorhanden. Es ist also lediglich eine Frage des Bezugssystems, ob das Magnetfeld existiert, oder nicht.

Dem schottischen Physiker James Clerk Maxwell gelang es um 1860 schließlich, sämtliche bis dahin bekannten elektromagnetischen Phänomene in einer geschlossenen mathematischen Theorie zu vereinigen. In seinem 1864 erschienenen Werk „A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field“ erklärte er, dass beispielsweise eine bewegte elektrische Ladung elektromagnetische Wellen abstrahlt. Hierbei handelt es sich um ein Feld, das periodisch zwischen einem elektrischen und einem magnetischen Feld oszilliert und sich dabei kugelschalenförmig ausbreitet. Maxwells Gleichungen ergeben darüber hinaus, dass diese Wellen sich mit einer Geschwindigkeit ausbreiten, die der damals bereits recht genau bekannten Lichtgeschwindigkeit entsprach. Maxwell schloss daraus, dass auch Licht eine elektromagnetische Welle ist. Im Jahre 1887 gelang dem deutschen Physiker Heinrich Hertz erstmals eine glänzende experimentelle Bestätigung der Maxwellschen Idee. Er erzeugte mit einem elektrischen Schwingkreis elektromagnetische Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiteten und auch alle anderen von Maxwell vorhergesagten Eigenschaften besaßen. Es waren Radiowellen, die ebenso elektromagnetische Wellen sind wie Licht, lediglich eine größere Wellenlänge besitzen. Damit hatten die Wissenschaftler zu Ende des 19. Jahrhunderts eine umfassende Naturbeschreibung erarbeitet: Newtons Theorie erklärte alle mechanischen Abläufe, Maxwells Theorie die elektrischen und magnetischen Vorgänge. Daneben gab es eine befriedigende Theorie für die Wärmelehre. Viele Physiker meinten, das Gebäude der theoretischen Physik sei soweit errichtet und der Rest bestünde in Detailarbeit. Bei genauem Hinsehen zeigten sich jedoch im Fundament hier und da schon die ersten Risse.

Erstens mussten die Physiker die Existenz einer Substanz annehmen, in der sich die elektromagnetischen Wellen ausbreiten konnten. Ähnlich wie sich Wellen in Luft oder Wasser fortbewegen, sollte der Äther das Medium der Licht- und Radiowellen sein. Berühmt wurde das Zitat von Heinrich Hertz: „Nehmt aus der Welt den lichttragenden Äther, und die elektrischen und magnetischen Kräfte können nicht mehr den Raum überschreiten.“ Dieser ominöse Stoff ließ sich jedoch in keinem Experiment nachweisen. Außerdem mussten ihm die Physiker aufgrund verschiedener Versuche teilweise sich widersprechende Eigenschaften zuschreiben.

Zweitens widersprach die Maxwellsche Theorie dem Galileisch-Newtonschen Grundsatz, wonach alle mechanischen Vorgänge gleich ablaufen, unabhängig davon, ob ein System ruht oder sich gleichförmig mit beliebiger Geschwindigkeit bewegt. Die Maxwellschen Gleichungen nahmen nämlich unterschiedliche Gestalt an, abhängig davon, ob man sie in einem ruhenden oder einem bewegten System betrachtete.“ (Thomas Bürke: $E = mc^2$, S.20-24)

Anmerkung 3:

Eben. Die Gleichungen der Elektrodynamik nehmen tatsächlich eine unterschiedliche Gestalt an, abhängig davon, ob man sie in einem ruhenden oder einem bewegten System betrachtet. Es besteht nämlich ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Ruhe und Bewegung. Die Symmetrie ist gebrochen.

„Genaugenommen galten die Maxwell-Gleichungen in ihrer ursprünglichen Form nur in Systemen, die bezüglich des Äthers ruhen. Damit waren diese Systeme vor allen anderen ausgezeichnet.“ (Thomas Bürke: $E = mc^2$, S.24)

Anmerkung 4:

Ruhende System sind tatsächlich vor allen anderen Systemen ausgezeichnet. Und das nicht nur in der Elektrodynamik, wie wir noch sehen werden.

„Dies führte schließlich zu der Behauptung, der Äther wiederum ruhe in Newtons absolutem Raum: Äther und absoluter Raum waren praktisch identisch. Einsteins späterer Kommentar: „Eine solche Asymmetrie des Theoretischen Gebäudes, dem keine Asymmetrie des Systems der Erfahrungen entspricht, ist für einen Theoretiker unerträglich.“ (Thomas Bürke: $E = mc^2$, S.24)

Anmerkung 5:

Die Annahme des Äthers als Medium, in welchem sich das Licht ausbreitet, ist natürlich unbegründet. Der leere Raum reicht zur Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen absolut aus. Trotzdem ist die Annahme eines ruhenden Raumes richtig, denn die Eigenschaften des Lichtes sind von der Bewegung des eigenen Bezugssystems im „absoluten Ruheraum“ abhängig. Wenn Einstein nun sagt, eine solche Asymmetrie des theoretischen Gebäudes, dem keine Asymmetrie des Systems der Erfahrungen entspricht, sei für den Theoretiker unerträglich, so ist das allein „sein“ Problem. Es gibt eine absolute Ruhe, und diese ist vor jeder gleichförmigen Bewegung als einer absoluten Geschwindigkeit ausgezeichnet. Damit gibt es eine Wertigkeit der Geschwindigkeiten. Die Inertialsysteme sind somit nicht mehr gleichberechtigt, einfach, weil sie nicht mehr gleichwertig sind. Die Symmetrie ist tatsächlich gebrochen.

„Noch unerträglicher machte die Situation ein Experiment, das der aus Polen stammende amerikanische Physiker Albert A Michelson erstmals kurz vor der Jahrhundertwende ausführte. Michelson hatte in Messinstrument, ein sogenanntes Interferometer, entwickelt, mit dem er die Lichtgeschwindigkeit äußerst genau bestimmen konnte. Ziel seines Experiments war es, die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Bewegungsrichtungen relativ zum lichttragenden Medium, dem Äther, zu messen. Sein Bezugssystem war das Laboratorium, das mit der Erde um die Sonne herumwirbelte und sich somit auch durch den Äther pflügte. Zwar war weder bekannt, mit welcher Geschwindigkeit noch in welche Richtung sich die Erde relativ zum Äther bewegt. Auf jeden Fall aber mussten Richtung und Geschwindigkeit an verschiedenen Punkten der Erdbahn, beispielsweise bei Frühlings- und Sommeranfang, unterschiedlich sein. Michelson führte seine Messungen nun nicht an zwei Tagen im Jahr durch, sondern er spaltete eine Lichtstrahl in zwei auf, die sich anschließend senkrecht zueinander durch die Apparatur bewegten. Danach führte er sie wieder zusammen und maß im gemeinsamen Zielpunkt die Differenz der Geschwindigkeiten beider Lichtstrahlen. Ein erster Versuch im Jahre 1881, den Michelson bei einem Studienaufenthalt in Potsdam durchführte, erbrachte keinen Unterschied der Lichtgeschwindigkeit auf den beiden Lichtwegen. Daraufhin verfeinerte er seine Apparatur und wiederholte das Experiment sechs Jahre später in den USA mit seinem Kollegen Ed-

ward W. Morley. Wieder war das Ergebnis negativ. Das Licht schien stets dieselbe Geschwindigkeit aufzuweisen, egal, wie man sich relativ zum Äther, und damit auch zum Licht, bewegte. Zu dieser Unstimmigkeit gesellten sich noch weitere experimentelle Ergebnisse, die mit der Newtonschen Physik nicht erklärbar waren. Es gab einige Physiker, die sich dieser Probleme bewusst waren und sie mit unkonventionellen Ideen zu lösen versuchten. Dabei kamen einige wenige von ihnen bereits sehr nahe an die spätere Spezielle Relativitätstheorie heran, insbesondere der Niederländer Hendrik Anton Lorentz, der Ire George Fitzgerald und der Franzose Henry Poincaré.

Sie meinten, das Michelson-Morley-Experiment damit erklären zu können, dass sich die Messapparatur in Bewegungsrichtung verkürze. Dann nämlich würde ein Lichtstrahl auf dieser Strecke weniger Zeit benötigen als auf der senkrecht dazu verlaufenden Strecke. Lorentz konnte sogar eine Formel für den Schrumpfungsgrad angeben. Sie war so gewählt, dass die beiden senkrecht zueinander laufenden Lichtstrahlen ihren jeweiligen Weg in derselben Zeit zurücklegten und gemeinsam im Detektor ankommen. Demnach hätte man mit keinem Experiment jemals eine Relativbewegung des Lichts gegen den Äther messen können. Außerdem wäre es auch nicht möglich gewesen, die Verkürzung der Apparatur zu messen, da jeder angelegte Maßstab im selben Maße wie sie schrumpfen würde.

Lorentz' Theorie führte indes auf ein neues unbegreifliches Phänomen: Wie konnte es sein, dass zwei gleich schnelle Lichtstrahlen zwei unterschiedlich lange Wege in derselben Zeit zurücklegten? Lorentz war zu der Hypothese gezwungen, dass die beiden Strahlen tatsächlich verschiedene Zeitspannen benötigen. Je nach Bewegungsrichtung zum Äther ordnete er den Lichtstrahlen eine „lokale Zeit“ zu.

Dieser Ansatz kam, wie wir im nächsten Kapitel sehen werden, der Speziellen Relativitätstheorie schon recht nahe. Ja, selbst Lorentz' Gleichungen sollten sich als richtig erweisen. Aber die Forscher blieben in der Vorstellung der Existenz des Äthers und damit des absoluten Raumes verhaftet, und sie beschränkten sich bei ihren Lösungsansätzen ausschließlich auf die elektromagnetischen und optischen Vorgänge. Es war Albert Einstein, der aufbauend auf wenigen neuen Prinzipien ein gänzlich neues Konzept für Raum und Zeit und damit für die gesamte Physik entwarf und auf diese Weise nicht nur das Michelson-Morley-Experiment erklärte, sondern auch die Unverträglichkeit der Newtonschen und Maxwell'schen Theorien auflöste.

Lorentz, bekannt für seine Fairness im wissenschaftlichen Wettstreit, äußerte sich 1928 zu der Situation am Beginn des 20. Jahrhunderts so: „Daher führte ich das Konzept der lokalen Zeit ein, die für relativ zueinander bewegte Bezugssysteme verschieden ist. Ich dachte aber nie, dass sie etwas mit der wirklichen Zeit zu tun hat. Die wirkliche Zeit war für mich noch immer durch das Konzept einer absoluten Zeit gegeben, die unabhängig von jedem Koordinatensystem ist. Es gab für mich nur diese eine wahre Zeit. Ich betrachtete die Zeittransformation nur als heuristische Arbeitshypothese. So ist die Relativitätstheorie wirklich allein Einsteins Werk.“ (Thomas Bürke: $E = mc^2$, S24-27)

Die Spezielle Relativitätstheorie

„Zu Beginn des 20. Jahrhunderts musste sich ein kritischer Physiker die Frage stellen: Ist die Maxwell'sche Theorie falsch, weil sie in einem relativ zum Äther ruhenden System andere Ergebnisse liefert, als in einem gleichförmig bewegten? Oder ist vielleicht Galileis Geschwindigkeits-Additionstheorem und damit die Newtonsche Mechanik falsch? Oder müssen die Gesetze der Mechanik auf andere Weise von einem System ins andere übertragen werden als die der Elektrodynamik?“

Albert Einstein spürte intuitiv, dass die Maxwell'sche Theorie, von der er sich schon in seiner Studienzeit begeistern ließ, richtig sein müsse. In seiner Arbeit „Zur Elektrodynamik beweg-

ter Körper“, die am 30. Juni 1905 bei der renommierten Fachzeitschrift „Annalen der Physik“ einging und in Band 17 erschien, räumte er mit den überkommenen Vorstellungen auf und begründete mit nur zwei einfach klingenden Prinzipien eine gänzlich neue Physik. (In vielen Bibliotheken musste dieser Band später übrigens wegen Diebstahlgefahr verschossen aufbewahrt werden.) Einsteins Prämissen lauteten:

1. Alle physikalischen Vorgänge, sowohl die mechanischen, als auch die elektrodynamischen, bleiben in allen gleichförmig bewegten Systemen unverändert. Dies ist Einsteins „Prinzip der Relativität“.
2. Die Lichtgeschwindigkeit ist, unabhängig von der Relativbewegung zum Lichtstrahl, in allen Bezugssystemen gleich groß.

Sämtliche Probleme mit dem Äther löste Einstein, indem er die Existenz dieses fragwürdigen Substrats einfach bestritt: Es gibt keinen Äther.

Jeder Punkt für sich genommen erscheint auf den ersten Blick harmlos. Doch führt ihre konsequente Anwendung zum Sturz der Newtonschen Mechanik und zum Aufbau einer neuen Physik, deren Fundament Raum und Zeit bilden.“ (Thomas Bürke: $E = mc^2$, S.27-28)

Anmerkung 6:

Nun hatte Einstein den Äther über Bord geworfen, aber mit ihm auch die Ungültigkeit des Relativitätsprinzips. Einstein setzte sich damit einfach über die Erkenntnisse der Elektrodynamik hinweg, und setzte das Relativitätsprinzip an die Stelle der tatsächlich geforderten Wahrheit.

Zur Elektrodynamik bewegter Körper von Albert Einstein

Hier nun die erste Seite aus Einsteins Publikation, die zur Formulierung der Speziellen Relativitätstheorie geführt hat:

„Dass die Elektrodynamik Maxwells – wie dieselbe gegenwärtig aufgefasst zu werden pflegt – in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt. Man denke z.B. an die elektrodynamische Wechselwirkung zwischen einem Magneten und einem Leiter. Das beobachtbare Phänomen hängt hier nur ab von der Relativbewegung von Leiter und Magnet, während nach der üblichen Auffassung die beiden Fälle, dass der eine oder der andere dieser Körper der bewegte sei, streng voneinander zu trennen sind. Bewegt sich nämlich der Magnet und ruht der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten ein elektrisches Feld von gewissen Energiewerten, welches an den Orten, wo sich Teile des Leiters befinden, einen Strom erzeugt. Ruht aber der Magnet und bewegt sich der Leiter, so entsteht in der Umgebung des Magneten kein elektrisches Feld, dagegen im Leiter eine elektromotorische Kraft, welcher an sich keine Energie entspricht, die aber – Gleichheit der Relativbewegung bei den beiden ins Auge gefassten Fällen vorausgesetzt – zu elektrischen Strömen von derselben Größe und demselben Verlaufe Veranlassung gibt, wie im ersten Falle die elektrischen Kräfte.

Beispiele ähnlicher Art, sowie die misslungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum "Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, dass dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern dass vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche...“ (Stratis Karamanolis: Albert Einstein für Anfänger, S.33)

Anmerkung 7:

Bereits in den ersten Worten der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) schmeißt Einstein die absolute Ruhe über Bord, und das nur, weil eine solche in Bezug auf einen wie auch immer gearteten Äther nicht nachweisbar sei. Dass die absolute Ruhe hingegen in Bezug auf die Eigenschaften des Lichtes selber nachweisbar sein könnte, darauf kommt Einstein nicht. Und so setzt Einstein die Relativität als Postulat an die Stelle der absoluten Ruhe, statt die absolute Ruhe an die Stelle der Relativität zu setzen.

Vom Äther zur Relativitätstheorie

„Die Verbannung des Äthers aus dem Kreis der Grundbegriffe der Physik war ein kühner Schritt, war doch auch der Äther im Laufe der Jahrhunderte eine immer weitreichendere Bedeutung zugeschrieben worden. Die Physik musste nunmehr ohne Ätherbegriff völlig neu aufgebaut werden, wobei sich die Tragweite der neuen Konzepte erst erweisen musste. Grundlage der weiteren Entwicklung waren zwei Prinzipien, die Einstein an die Spitze seiner Theorie setzte.

Das Relativitätsprinzip

Wie Einstein in seinem Artikel „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ einleitend feststellt, waren alle Versuche gescheitert, die Bewegung der Erde im Äther zu ermitteln: „Die misslungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, dass dem Begriff der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen. ... Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben.“

Einstein vermutete also hinter dem Scheitern der Versuche, die Bewegung der Erde im Äther zu messen, ein allgemeines Naturprinzip. Wenn es keinen Äther gibt, wird der Begriff der „Absolutbewegung“ sinnlos, und nur die Relativbewegung eines Körpers in bezug auf einen anderen kann in der Physik von Bedeutung sein. Wie schnell sich beispielsweise die Erde relativ zur Sonne bewegt, lässt sich messen, nicht aber ihre absolute Geschwindigkeit.

Die Feststellung, dass es etwas – nämlich absolute Bewegungen – „nicht“ gibt, scheint sich zunächst recht wenig zum Aufbau eines neuen physikalischen Lehrgebäudes zu eignen. Doch erlaubt gerade diese Feststellung weitreichende Schlüsse.

Gibt es nämlich keinen absoluten Raum, so müssen sich „alle“ Inertialsysteme gleichermaßen zum Aufbau der Physik eignen. Denn würden die Naturgesetze ein Inertialsystem von den anderen bevorzugen, so wäre es möglich, absolute Bewegungen in bezug auf dieses System zu messen (Anm: oder doch wenigstens zu bestimmen). Einstein postulierte daher:

Das Relativitätsprinzip: Die Naturgesetze nehmen in allen Inertialsystemen die gleiche Form an.“ (R. Sexl/H.K. Schmidt: Relativitätstheorie, S.15-16)

Anmerkung 8:

Und eben genau das ist ein Irrtum. Unter den hier ins Feld geführten Bedingungen gelten die Naturgesetze eben „nicht“ in allen Inertialsystemen gleichermaßen. Die Inertialsysteme sind „nicht“ gleichberechtigt, weil sie nicht gleichwertig sind. Ein Inertialsystem in absoluter Ruhe ist vor allen anderen Inertialsystemen ausgezeichnet. Und: Es gibt eine absolute Ruhe. Das Relativitätsprinzip gilt ausschließlich für den Sonderfall der Mechanik, also für nicht-relativistische Geschwindigkeiten, nicht aber für die Elektrodynamik und die Relativitätstheorie selber.

Das Relativitätsprinzip (R)

„Wie wir aus Kapitel 2 erinnern, fiel der Michelson-Versuch negativ aus, d.h. es konnte keine Verschiebung der Interferenzstreifen beobachtet werden. Hier knüpft Einstein an und stellt fest, dass man anhand dieses „optischen“ Versuchs nicht feststellen kann, ob man sich in einem ruhenden oder in einem geradlinig gleichförmig bewegten Bezugssystem befindet.

Ähnliches ist uns aber schon aus der Oberstufenmechanik in Form des Newtonschen Relativitätsprinzips bekannt: **Es gibt kein mechanisches Experiment, das entscheidet, ob sich ein Inertialsystem in Ruhe oder in geradlinig gleichförmiger Bewegung befindet.**

Ein Inertialsystem ist bekanntlich ein Bezugssystem, in dem der Trägheitssatz gilt, und der Trägheitssatz sagt aus, dass ein Körper seine Geschwindigkeit nach Betrag und Richtung nicht ändert, wenn keine Kraft auf ihn einwirkt.

Einstein verallgemeinert nun das Newtonsche Relativitätsprinzip zum (allgemeinen) **Relativitätsprinzip (R): In Bezugssystemen, die sich gegeneinander mit konstanter Geschwindigkeit bewegen, gelten die gleichen Naturgesetze.**

Sehr wichtig ist hier festzustellen, dass es sich zwar anbietet, aufgrund des negativen Ausfalls des Michelson-Versuches das Relativitätsprinzip zu „postulieren“ dass aber andererseits das Relativitätsprinzip „keineswegs“ aus dem Michelson-Versuch „gefolgert“ werden kann. Es ist ja durchaus möglich, dass wir den Versuch, der die Entscheidung über Ruhe oder geradlinig gleichförmige Bewegung erlaubt, noch nicht gefunden haben.“ (Horst Schäflein: Einführung in die Relativitätstheorie, S.25)

Anmerkung 9:

Diese Feststellung ist auch für mich außerordentlich wichtig. Zwingend „gefolgert“ oder „abgeleitet“ werden kann das (allgemeine) Relativitätsprinzip eben nicht. Es gibt zwar keinen Äther, und das Licht, und genau so jede elektromagnetische Welle, bewegt sich im bloßen Raum, aber dennoch ist das Relativitätsprinzip nicht gültig, oder nur für den Sonderfall der Mechanik, also für nicht-relativistische Geschwindigkeiten.

Das Relativitätspostulat (R) wird auch folgendermaßen formuliert:

- 1. Es gibt keine absolute Ruhe, und**
- 2. Alle Inertialsysteme sind völlig gleichberechtigt.**

Es dürfte klargeworden sein, dass die Formulierung 2 unmittelbar aus der Formulierung 1 folgt, und umgekehrt. Allerdings haben beide keine Gültigkeit, zumindest im Rahmen der Relativitätstheorie. Das Relativitätsprinzip ist genau so falsch, wie der absolute Raum und die absolute Zeit. Wir wollen uns der Einfachheit halber den ganzen Sachverhalt kurz am sogenannten Zwillingsparadox klarmachen. Dort können wir das bisher gesagte gut überprüfen.

Das Zwillingsparadox

Ich möchte nun gerne ein kurzes Zitat aus dem Werk „Einführung in die Relativitätstheorie“ von Thomas Bühke folgen lassen, ein Werk, das ich hier besonders empfehlen möchte. Auf S.50–52 lesen wir folgende Überlegungen zum Zwillingsparadox:

„Gerade die Gleichberechtigung der Bezugssysteme und die daraus resultierende bemerkenswerte Symmetrie brachte Kritiker der speziellen Relativitätstheorie auf ein Gedankenexperiment, das sie als schlagfertigen Gegenbeweis gegen die Einsteinsche Theorie ins Feld führten. Es ist als Zwillingsparadox berühmt geworden.

Stellen wir uns vor, in ferner Zukunft sei es möglich, Raumschiffe zu bauen, die nahezu mit Lichtgeschwindigkeit fliegen können. Im Jahre 2100 begibt sich der Astronaut Neil Armstrong jr. Auf eine Reise zum 25 Lichtjahre entfernten Stern Wega. Zufällig ist am Starttag sein dreißigster Geburtstag, den er zusammen mit seinem Zwillingsbruder feiert. Um die folgende Betrachtung zu vereinfachen, nehmen wir an, die Rakete würde nahezu ohne Zeitverlust auf 98 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und würde mit dieser Geschwindigkeit die Reise fortsetzen. Bei der Wega nimmt Armstrong jr. Vom Raumschiff aus einige Messungen vor, dreht dann ohne Aufenthalt um und kehrt mit derselben Geschwindigkeit wie auf dem Hinweg zur Erde zurück. Auf dem Heimatplaneten angekommen begrüßen sich die beiden Brüder, aber sie müssen feststellen, dass sie, die Zwillinge, nicht mehr gleich alt sind. Nach Neils Borduhr sind seit seinem Start zehn Jahre vergangen, er ist also vierzig Jahre alt. Sein Bruder feiert hingegen bereits seinen achtzigsten Geburtstag, hat demnach also fünfzig Jahre auf Neils Rückkehr gewartet.

Zu einem Paradox, also einem in sich widersprüchlich erscheinenden Zustand, wird dieses Beispiel erst durch den Grundsatz, dass alle Inertialsysteme (Bezugssysteme) gleichberechtigt sind. Das heißt, die Behauptung des Bruders, er habe sich auf der Erde in Ruhe befunden und Neil habe sich schnell bewegt, lässt sich ebenso umkehren in die Behauptung, Neil sei unbewegt geblieben und der Bruder habe sich mit der Erde von ihm entfernt. Wem diese Anschauung immer noch befremdlich vorkommt, kann sich den Bruder auch in einem Raumschiff vorstellen, das irgendwo im Weltraum so stationiert ist, dass es bezüglich der Erde in Ruhe ist. Nun hat man also zwei Brüder in zwei Raumschiffen, die sich gegenseitig voneinander entfernen. Betrachtet sich Neil als ruhend, so muss er annehmen, dass die Uhr seines Bruders auf der Erde oder im anderen Raumschiff langsamer geht. Bei ihrem Wiedersehen müsste nun Neil schneller gealtert sein als sein Zwilling. Eine von beiden Schlussfolgerungen muss aber falsch sein, denn einer der beiden Brüder kann beim Wiedersehen nicht gleichzeitig älter und jünger sein als der andere. Gibt es das Phänomen der Zeitdilatation also doch nicht? Und ist die Relativitätstheorie falsch?

So haben es Kritiker immer wieder sehen wollen. Tatsächlich hat aber schon Einstein dieses Problem geklärt. Des Rätsels Lösung liegt darin, dass die völlig symmetrische Betrachtung, „Neil in Ruhe und der Bruder bewegt“ oder „der Bruder in Ruhe und Neil bewegt nicht zutrifft. Es gibt einen entscheidenden Unterschied zwischen beiden: Während sich der Bruder tatsächlich die ganze Zeit über in einem Inertialsystem befindet, ist dies bei Neil nicht der Fall. Sein Raumschiff muss selbst unter Berücksichtigung aller denkbarer Vereinfachungen mindestens einmal stark beschleunigt werden, und zwar bei der Umkehr an der Wega. Sein Raumschiff bildet daher (entweder) kein Inertialsystem (oder aber Neil steigt von einem Inertialsystem in ein anderes um, wie manche Argumentieren), so dass auf dieses die Spezielle Relativitätstheorie nicht angewendet werden darf. Es wird manchmal vermutet, dass die bei der Beschleunigung auftretenden Kräfte den wesentlichen Einfluss auf den Gang der Uhr ausübt. Das ist aber so nicht der Fall. Man kann unser Gedankenexperiment so anlegen, dass der Moment der Beschleunigung gegenüber den beiden „langen“ Strecken nicht ins Gewicht fällt.“ (Thomas Bühke: $E = mc^2$, S.50-52)

Anmerkung 10: Die Beschleunigung hat im Prinzip keinerlei Einfluss, sie stellt nur sicher, dass sich Neil „schneller“ bewegt, als sein Bruder. Und genau darum ist die Spezielle Relativitätstheorie sehr wohl anwendbar, ja, sie „muss“ sogar angewendet werden. Ob Neils Reisegeschwindigkeit unter dem Strich immer größer ist, und damit immer Zeitdilatation vorliegt, auch wenn Neil zunächst abbremst, und dann erst um so stärker in Gegenrichtung beschleunigt, müsste eine gesonderte Untersuchung zeigen.

„Entscheidend ist die Tatsache, dass man an dem Wendepunkt beim Stern Wega das Inertialsystem wechseln muss. ...“ (Thomas Bürke: „Einführung in die Relativitätstheorie“, S.50-52)

Anmerkung 11: Wie, und dann gilt die Zeitdilatation nicht mehr, oder es gibt sie nicht mehr? Oder jetzt unter sich umkehrenden Vorzeichen, die sich auch noch gegenseitig aufheben. Unter diesen Gesichtspunkten wäre das Zwillingsparadox allerdings absolut korrekt.

Noch einmal zur Ausgangsfrage oben zurück: ...Und ist die Relativitätstheorie falsch? Antwort: Nein, die Relativitätstheorie ist nicht grundsätzlich falsch, aber das Prinzip, dass alle Bezugssysteme gleichberechtigt sind, gilt so nicht. Die Bezugssysteme sind nämlich „nicht“ gleichberechtigt. Es geht natürlich nicht an, dass Einstein hier behauptete, im Gegensatz zum Raumschiff des Bruders sei das Raumschiff von Neil „kein“ Inertialsystem, oder er steige von einem Inertialsystem in ein anderes um, nur weil es beschleunigt wäre und die spezielle Relativitätstheorie darauf nicht anwendbar sei. Er hatte doch gerade diese Voraussetzung bei dem Gedankenexperiment gemacht. Natürlich ist die Spezielle Relativitätstheorie voll und ganz anwendbar, und sie muss auch angewendet werden denn sonst können wir die Zeitdilatation ja nicht erklären, die aber ausschließlich durch die SRT beschrieben wird. Es gibt aber eine ansteigende Wertigkeit der Inertialsysteme (Bezugssysteme) von der absoluten Ruhe bis hinauf zur absoluten Lichtgeschwindigkeit. Die Symmetrie ist nämlich tatsächlich gebrochen. Jedes Inertialsystem bewegt sich relativ zum Raum, und damit zu den grundlegenden „Eigenschaften“ des Lichts und dem kosmischen Hintergrund. Das bedeutet, dass grundsätzlich ein Unterschied besteht, zwischen ruhenden Bezugssystemen und bewegten. Dass Einstein statt einer gebrochenen Symmetrie von Anfang an einen Isomorphismus gleichberechtigter Bezugssysteme annimmt, ist um so erstaunlicher, weil etwa die Elektrodynamik, von der Einstein ja seinen Ausgang nimmt, „gerade“ zwischen ruhenden und bewegten Systemen unterscheidet, und dies auch tun „muss“, denn so ist ja die gebrochene Symmetrie in der Struktur von elektrischem und magnetischem Feld definiert. In bezug auf die Elektrodynamik müsste das noch einmal gesondert dargestellt werden.

Um es noch einmal deutlich zu sagen: Auf das Zwillingsparadox ist das Relativitätsprinzip grundsätzlich „nicht“ anwendbar, aber nicht, weil Neil als beschleunigtes Bezugssystem kein Inertialsystem darstellt, oder er bei der Wega in ein anderes Inertialsystem umstieg (wobei die Beträge hier gleich bleiben und sich nur das Vorzeichen ändert), sondern weil das Relativitätsprinzip generell nicht gilt. Das Zwillingsparadox ist also ein möglicher Beweis für die Ungültigkeit des (allgemeinen formulierten) Relativitätsprinzips. Die Zeitdilatation ist somit niemals symmetrisch. Sie hängt unbedingt und ausschließlich von der objektiven Geschwindigkeit ab, die wir aber bestimmen können, da wir über den kosmischen Hintergrund eine absolute Ruhelage als Bezugspunkt im Weltall festlegen können, und somit ein absolutes Bezugssystem. Die Zeitdilatation ist ausschließlich mit einer gebrochenen Symmetrie vereinbar. Das Relativitätsprinzip hat im Rahmen der Relativitätstheorie keinerlei Gültigkeit.

Literaturhinweise:

- Benzinger, Schnyder, Bürke: $E = mc^2$ - Einführung in die Relativitätstheorie
- Stratis Karamanolis: Albert Einstein für Anfänger
- Roman Sperl/Herbert Kurt Schmidt: Relativitätstheorie
- Horst Schäflein: Einführung in die spezielle Relativitätstheorie

Es wurde aus allen vier Werken zitiert.

Joachim Stiller

Münster, 24./25.10.2009

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der
Relativitätstheorie II

Die Zeitdilatation

Wissenschaftliche Arbeit von Joachim Stiller,
geschrieben am 27.10.2009

Alle Rechte vorbehalten

Die Zeitdilatation

„Bei der Zeitdilatation handelt es sich um ein Phänomen der Relativitätstheorie. Befindet sich ein Beobachter im Zustand der gleichförmigen Bewegung bzw. ruht in einem Inertialsystem, geht nach der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) jede relativ zu ihm bewegte Uhr aus seiner Sicht langsamer. Diesem Phänomen unterliegen allerdings nicht nur Uhren, sondern jeder beliebige Vorgang und damit die Zeit im bewegten System selbst. Dabei ist die Zeitdilatation um so stärker, je größer die Relativgeschwindigkeit der Uhr ist, woraus folgt, dass sie nicht im alltäglichen Leben, sondern erst bei Geschwindigkeiten beobachtbar ist, die im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit nicht vernachlässigbar klein sind. Die Tatsache, dass für alle Beobachter die Zeit des jeweils anderen langsamer verstreicht, stellt jedoch keinen Widerspruch dar wie eine nähere Betrachtung der Relativität der Gleichzeitigkeit aufzeigt.

Ein solcher Effekt wurde zuerst von Joseph Larmor (1897) und Hendrik Antoon Lorentz (1899) im Rahmen einer inzwischen überholten Äthertheorie abgeleitet. Albert Einstein (1905) gelang es jedoch im Rahmen der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) zu zeigen, dass der veränderte Uhrgang nicht mit einer Beeinflussung durch den Äther, sondern mit einer radikalen Neuinterpretation der Konzepte von Raum und Zeit zusammenhängt.

Bei der gravitativen Zeitdilatation handelt es sich um ein Phänomen der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART). Mit der gravitativen Zeitdilatation bezeichnet man den Effekt, dass eine Uhr, und auch jeder physikalische Prozess, in einem Gravitationsfeld langsamer geht, als außerhalb desselben. So läuft die Zeit auf der Erdoberfläche um rund 9,7 Nanosekunden langsamer ab, als im fernen, näherungsweise gravitationsfreien Weltraum. Genauer gesagt misst jeder gegenüber dem Gravitationsfeld eine längere bzw. kürzere Ablaufzeit von Vorgängen, die in identischer Weise im bzw. außerhalb des Gravitationsfeldes ausgelöst werden (wie z.B. eine Oszillation des elektrischen Feldstärkevektors eines Lichtstrahls, welche als Zeitbasis verwendet werden kann). Anders als bei der Zeitdilatation durch Bewegung ist die gravitative Zeitdilatation nicht gegenseitig. Während der im Gravitationsfeld weiter oben befindliche Beobachter die Zeit des weiter unten befindlichen Beobachters langsamer ablaufen sieht, sieht der untere Beobachter die Zeit des oberen Beobachters entsprechend schneller ablaufen.“ (Wikipedia: Stichwort Zeitdilatation)

Zeitdilatation bei konstanter Bewegung

Die Zeitdilatation in einem Inertialsystem, welches sich relativ zu einem anderen Inertialsystem mit der konstante Geschwindigkeit v bewegt, ist:

$$\Delta t' = \Delta t \quad (\text{mechanistisch})$$

$$\Delta t' = \gamma \Delta t \quad (\text{relativistisch})$$

mit $\alpha = \sqrt{1 - \beta^2}$ und $\beta = v / c$ (dem Lorentzfaktor)

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - (v / c)^2}$$

Die Lichtuhr

„Für eine einfache Erklärung dieses Faktors kann das Konzept der Lichtuhr herangezogen werden. Eine Lichtuhr besteht aus zwei Spiegeln im Abstand d , die einen kurzen Lichtblitz hin und her reflektiert – wobei dieses Gedankenexperiment erstmals 1909 von Gilbert Newton Lewis und Richard Tolman besprochen wurde.

Wenn eine Lichtuhr A gegeben ist, wird aus der Sicht eines mit ihr mitbewegten Beobachters ein Blitz für den Weg zwischen den Spiegeln die Zeit $t = d / c$ benötigen. An einem der beiden Spiegel wird jedes Auftreffen des Lichtblitzes registriert und dabei jedes Mal die Lichtuhr um eine Zeiteinheit weitergestellt, die der Gesamlaufzeit des Blitzes $2t$ entspricht.

Wird nur eine zweite Lichtuhr senkrecht zur Verbindungslinie der Spiegel mit der Geschwindigkeit v bewegt, so muss das Licht aus Sicht des A-Beobachters zwischen den Spiegeln eine größere Strecke zurücklegen, als bei der Uhr A. Unter der Annahme der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit geht für den A-Beobachter Uhr B daher langsamer. Die Zeit $t' = d' / c$, die der Lichtblitz für den längeren Weg d' zwischen den Spiegeln benötigt, ergibt sich über den Satz des Pythagoras $d'^2 = d^2 + (v t')^2$.

Durch Einsetzen der Ausdrücke für d und d' und Auflösen nach t' erhält man schließlich:

$$t'(b) = t(a) \sqrt{1 - (v / c)^2}$$

Hingegen ein mit Uhr B mitbewegter Beobachter kann gemäß Relativitätstheorie ebenfalls von sich behaupten, sich in Ruhe zu befinden. Das heißt, seine bei ihm befindliche Uhr B wird eine einfach Laufzeit von $2t'$ für den Lichtblitz anzeigen. Hingegen der Lichtblitz aus der aus seiner Sicht „bewegten“ Uhr A wird für ihn einen größeren Weg zurücklegen und benötigt folgende Zeit ...“ (Wikipedia: Stichwort Zeitdilatation)

$$t'(a) = t(b) \sqrt{1 - (v / c)^2}$$

Wir sehen aber sofort, dass diese mathematische Umformung so nicht gültig ist. Bei korrekter Umstellung des 1. Gesetzes der Zeitdilatation für $t'(b)$ nach $t'(a)$ erhalten wir in Wirklichkeit das folgende Gesetz:

$$t'(a) = t(b) / \sqrt{1 - (v / c)^2}$$

Die Zeit $t(b)$ muss also durch den Zeitdehnungsfaktor geteilt, und nicht mit ihm multipliziert werden. Wir erhalten das logische Gegenteil der ursprünglichen Ableitung. Die Zeitdilatation ist somit „nicht“ symmetrisch, weder die Formel, noch die Richtung der Betrachtung sind umkehrbar. Die Symmetrie ist in Wahrheit gebrochen. Bei dem Beispiel mit den Lichtuhren handelt es sich im Grunde um ein Zwillingparadox, nur ohne Zwillingparadox. q.e.d.

Ein Apercu:

**Subjektiv sind Raum und Zeit absolut,
aber objektiv sind sie relativ.**

**Subjektiv sind die Bewegungen relativ,
aber objektiv sind sie absolut.**

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der
Relativitätstheorie II

Formeln zur
Relativitätstheorie

Wissenschaftliche Arbeit von Joachim Stiller,
geschrieben am 26./27.10.2009

Alle Rechte vorbehalten

Formeln zur Relativitätstheorie

(1) Die Zeitdilatation

$$\Delta t' = \Delta t \quad (\text{mechanistisch})$$

$$\Delta t' = \gamma \Delta t \quad (\text{relativistisch})$$

mit $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ und $\beta = v / c$ (dem Lorentzfaktor)

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

(2) Die Längenkontraktion

$$\Delta l' = \Delta l \sqrt{1 - (v / c)^2}$$

(3) Die Massenzunahme

$$m' = m^0 \quad (\text{mechanistisch})$$

$$m' = m^0 / \sqrt{1 - (v / c)^2} \quad (\text{relativistisch})$$

(4) Der Impuls

$$p = m v \quad (\text{mechanistisch})$$

$$p_{\text{rel}} = m' v$$

$$p_{\text{rel}} = m^0 v / \sqrt{1 - (v / c)^2}$$

(5) Einsteins Additionstheorem der Geschwindigkeiten

$$v_{\text{gesamt}} = v_1 + v_2 \quad (\text{mechanistisch})$$

$$v_{\text{gesamt}} = \frac{v_1 + v_2}{1 + (v_1 \times v_2) / c^2} \quad (\text{relativistisch})$$

(6) Einsteins Energieformel

$$E^{\circ} = m^{\circ} c^2$$

$$E_{\text{rel}} = m' c^2$$

$$E_{\text{rel}} = m^{\circ} c^2 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

$$E_{\text{gesamt}} = E^{\circ} + E_{\text{kin}}$$

$$E_{\text{kin}} = E_{\text{gesamt}} - E^{\circ}$$

$$E_{\text{kin}} = m' c^2 - m^{\circ} c^2$$

(7) Die Galilei-Transformation

Ein bestimmtes Ereignis ist in einem Bezugssystem BS1 durch die Koordinaten x, y, z und t eindeutig bestimmt. In einem zweiten Bezugssystem BS2, das sich mit der Geschwindigkeit v in x -Richtung bewegt, gilt für die Koordinaten x', y', z' und t' desselben Ereignisses die Galilei-Transformation:

$$\begin{aligned}x' &= (x - v t) \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= t\end{aligned}$$

(8) Die Lorentz-Transformation

Im Rahmen der Speziellen Relativitätstheorie gilt hingegen die Lorentz-Transformation:

$$\begin{aligned}x' &= (x - v t) / \sqrt{1 - (v/c)^2} \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= (t - (v/c^2) x) / \sqrt{1 - (v/c)^2}\end{aligned}$$

Ich selber arbeite eigentlich überhaupt nicht mit der Lorentz-Transformation, oder gar mit einer vierdimensionalen Raumzeit. Für mich hat die Lorentz-Transformation lediglich einen theoretischen Wert. Für Vektorfelder gilt dann ganz allgemein die Lorentz-Invarianz.

Joachim Stiller

Zur Neubegründung der
Relativitätstheorie II

Minkowski-Diagramme und
das Zwillingsparadox

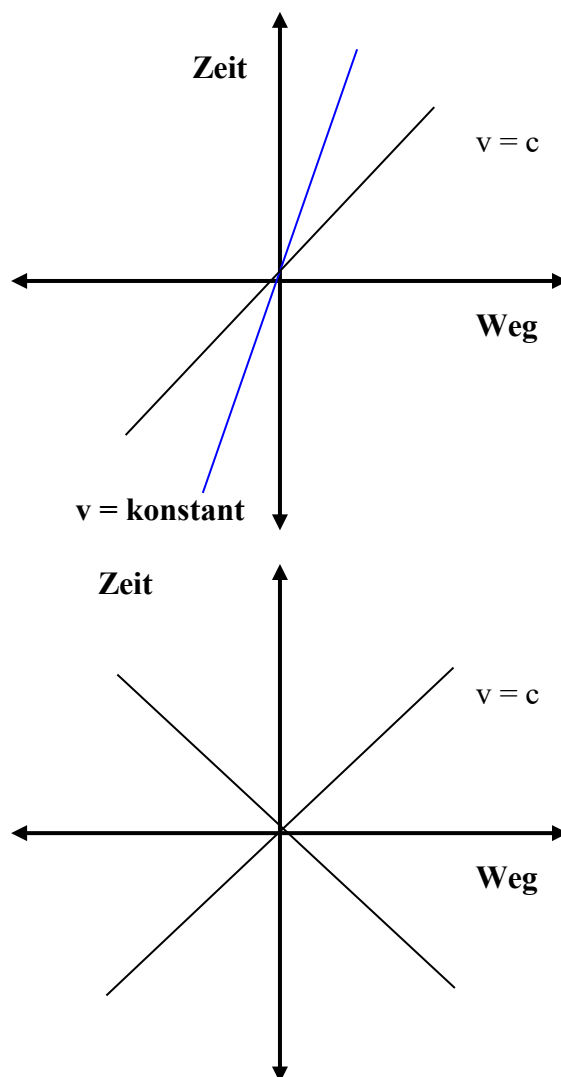
Wissenschaftliche Arbeit von Joachim Stiller,
geschrieben am 03.11.2009

Alle Rechte vorbehalten

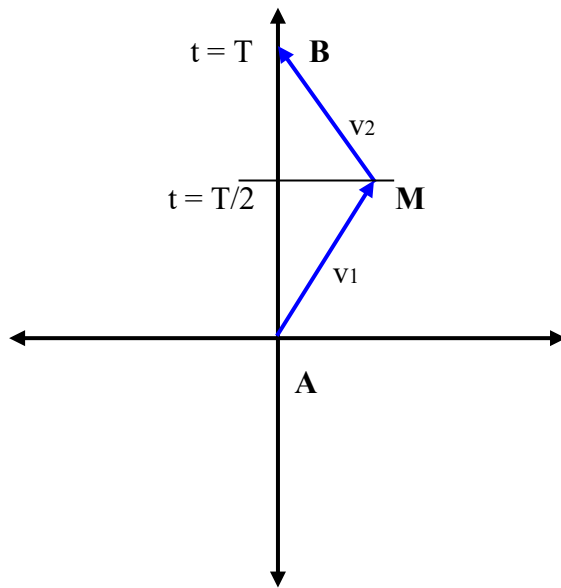
Minkowski-Diagramme und das Zwillingsparadox

„Eine geometrische Darstellung der Lorentz-Transformation erhält man in einer Koordinatendarstellung, dem sogenannten Minkowski-Diagramm...

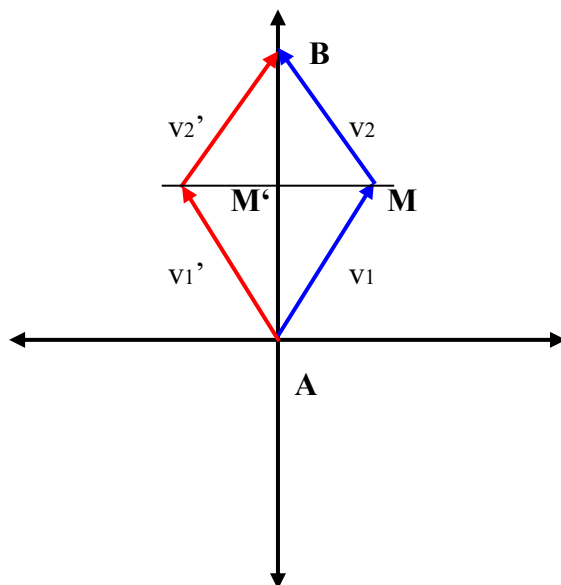
Die Grundidee ist sehr einfach: Wir stellen jedes Ereignis als Punkt in einem kartesischen Koordinatensystem dar, wobei eine Achse die Zeit darstellt. Geschehnisse, also Abfolgen von Ereignissen, sind dann durch Linien, sogenannte Weltlinien, dargestellt. Üblicherweise beschränkt man sich hierbei auf eine Achse im Raum, da sonst solche Darstellungen völlig unübersichtlich werden. Um beiden Achsen die Größe einer Länge zu geben, wird auf der Zeitachse ct aufgetragen. Bewegungen bei konstanter Geschwindigkeit sind Geraden und bei $v = 0$ stehen diese senkrecht. Ist $v = c$, so haben die Geraden einen Winkel von 45° .“ (Zitiert nach www.ep5.ruhr-uni-bochum.de/cz-physik1/Vorlesung29.pdf)



Nun wird üblicherweise an Minkowski-Diagrammen das Zwillingsparadox gelöst. Doch ein solcher Beweis ist so nicht gültig, da er immer von einem „absoluten Paradigma“ ausgeht. Das Zwillingsparadox basiert aber gerade auf einem „relativen Paradigma“ der Symmetrie der Zeitdilatation. Jedes Inertialsystem sei gleichberechtigt. Und eben genau das muss man auch im Minkowski-Diagramm darstellen, sonst genügt der Beweis nicht. Und genau das wollen wir einmal kurz tun.



Die Bewegung des Zwilling im Raumschiff, also von der Erde (A) bis zum Sirius (M) und wieder zurück (B), ist blau gezeichnet. Anhand dieser Darstellung kann man nun zeigen, dass nur für den Beobachter im Raumschiff eine Zeitdilatation vorliegt, nicht aber für den Bruder auf der Erde. Die Symmetrie ist scheinbar wirklich gebrochen. (Einen entsprechenden Beweis findet man etwa bei Wikipedia unter dem Stichwort „Zwillingsparadox“. Dort wird mit Lichtblitzen argumentiert, die beide in gleichen Zeitabständen aussenden, wobei dafür ihre jeweilige Relativzeit zugrunde liegt.) Das Problem ist einfach, dass dieser Beweis an einem „absoluten Paradigma“ geführt wird, der Beweis somit ungültig ist, denn wir haben ja ein „relatives Paradigma“ vorausgesetzt. Der Beweis müsste also an der nun folgen symmetrischen Darstellung geführt werden, und das ist eben unmöglich.



Es lässt sich leicht feststellen, dass für diese symmetrische Darstellung der Gegenbeweis zu genau dem gegenteiligen Ergebnis kommt, wie der Ausgangsbeweis am „absoluten Paradigma“. Damit wird deutlich, dass das Zwillingsparadox „nur“ und „ausschließlich“ mit einem absoluten Paradigma lösbar ist. Die Symmetrie ist eindeutig gebrochen, das Relativitätspostulat ungültig.

Ende

[Zurück zur Startseite](#)