Das Einsteinsche Relativitätsprinzip

Wolfgang Lange

25. Mai 2015

1 Über Einsteins Relativitätsverständnis

In seinem grundlegenden Aufsatz "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" [1] hat Einstein die spezielle (unverständliche) Relativitätstheorie entwickelt. Mit einem Wortschwall über Stäbe und synchronisierte Uhren hat er über ein Jahrhundert die meisten Geister verwirrt.

Im § 2 heißt es:

> "2. Jeder Lichtstrahl bewegt sich im "ruhenden" Koordinatensystem mit der bestimmten Geschwindigkeit V, unabhängig davon, ob dieser Lichtstrahl von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert wird."

Einen Lichtstrahl hat er nicht als Strom von Partikeln oder Wellenabschnitten definiert. Abgeschwächt heißt es in seinem Buch "Grundzüge der Relativitätstheorie" über die Vortragsreihe 1921 in Princeton [3] S. 30:

> "Die Konsequenz der MAXWELL-LORENTZschen Gleichungen, daß – wenigstens bezüglich eines bestimmten Inertialsystems K – sich das Licht im leeren Raum mit der Geschwindigkeit c fortpflanze ("Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit"), muß uns also als gesichert gelten."

Dabei wird über Ruhe im Weltall scheinbar ohne Ergebnis gestritten. Die Unendlichkeit hat keine Mitte. Aber sei es drum. Jedenfalls kann jede nicht irgendwie abgeschirmte Lichtquelle als Kugelstrahler mit definiertem augenblicklichen Mittelpunkt angesehen werden. Anderenfalls gäbe es nicht den schönen Sternenhimmel. Wenn sich die Lichtquelle oder der Lichtempfänger oder beide bewegen, gibt es verzerrte Fotoaufnahmen, aber nur, weil das Licht über einen längeren Zeitabschnitt beobachtet wird. Eine ultraschnelle Aufnahme liefert nur Lichtpunkte.

Von zwei sogenannten Inertialsystemen, die sich ohne Rotation gegeneinander bewegen, kann jedes als "ruhend" angesehen werden.

2 Das Gedankenexperiment

2.1 Beschreibung

Ein Stab AB mit der Länge r_{AB} kann sich nur bewegen, wenn es dazu ein "ruhendes" System gibt. Dazu nehmen wir EINSTEINs geliebte Eisenbahnschienen als das ruhende System an, in dem zwei ausgezeichnete fixe Punkte A_0 und B_0 mit dem Abstand r_{AB} existieren. Das markiert den ruhenden Stab aber auch den ruhenden Impulsgeber am rande des Gleises. Zur Zeit t_0 wird von A_0 ein Lichtimpuls (kein Lichtstrahl) in Richtung B_0 ausgesendet. Das ist der Zeitaugenblick, an dem A bei A_0 und B bei B_0 liegt.

Jetzt fragen wir uns, wo sich der Punkt B befindet, wenn sich der Stab mit der Geschwindigkeit v bewegt. D.h., das Licht braucht eine Strecke $V\,(t_1 - t_0)$ und der Punkt B liegt bei B_1 im Abstand von A_0 mit der Koordinate $r_{AB} + v\,(t_1 - t_0)$, also ist

$$\overrightarrow{A_0B_1} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BB_1} = V\,(t_1 - t_0) = r_{AB} + v\,(t_1 - t_0) \tag{2.1}$$

oder

$$(V - v)\,(t_1 - t_0) = r_{AB}, \tag{2.2}$$

$$t_1 - t_0 = \frac{r_{AB}}{V - v} \qquad \equiv \qquad t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{V - v}. \tag{2.3}$$

An diesem ausgerechneten Punkt wird ein ruhender Spiegel im ruhenden System aufgestellt, der den Lichtimpuls reflektiert. Der Stab bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit weiter und erreicht zum Zeitpunkt t_2 den Punkt B_2. Von dem Punkt B_1 gesehen ist jetzt

$$\overrightarrow{B_1 A_2} = -V\,(t_2 - t_1) = -r_{AB} + v\,(t_2 - t_1) \tag{2.4}$$

oder

$$(V + v)\,(t_2 - t_1) = r_{AB}, \tag{2.5}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{r_{AB}}{V + v} \qquad \equiv \qquad t'_A - t_B = \frac{r_{AB}}{V + v}. \tag{2.6}$$

Das sind die beiden Einsteinschen Formeln aus § 2. Jetzt eliminieren wir

$$t_1 = \frac{r_{AB}}{V - v} + t_0 \tag{2.7}$$

und setzen das Zwischenergebnis ein

$$t_2 - t_1 = t_2 - \frac{r_{AB}}{V - v} - t_0 = \frac{r_{AB}}{V + v}, \tag{2.8}$$

$$t_2 - t_0 = \frac{r_{AB}}{V + v} + \frac{r_{AB}}{V - v} = \frac{r_{AB}\,(V - v) + r_{AB}\,(V + v)}{V^2 - v^2} = \frac{2 r_{AB} V}{V^2 - v^2}. \tag{2.9}$$

Was habn wir eigentlich berechnet? Der Stab hat seine Länge nicht verändert, aber unser Ergebnis ist die zeitdauer, die der Lichtimpuls in dem ruhenden system braucht, wenn sich der Stab wie angenommen bewegt.

Frei nach der Feuerzangenbowle stellen wir uns ganz dumm, und berechnen den Weg des Lichtes

$$V\,(t_2 - t_0) = \frac{2 r_{AB}}{V^2 - v^2} = \frac{2 r_{AB}}{\left(\sqrt{V^2 - v^2}\right)^2}, \tag{2.10}$$

aber in gesteigerter Dummheit (Cleverness) multiplizieren wir die Gleichung mit

$$\sqrt{V^2 - v^2} = \frac{1}{V}\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}} \tag{2.11}$$

und kürzen beidseitig $\frac{1}{V}$

$$V\,(t_2 - t_0)\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}} = \frac{2 r_{AB}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}. \tag{2.12}$$

Schließlich behaupten wir "Stock und steif", die Zeiten haben sich verlängert von

$$V\,(t_2 - t_0) \Longrightarrow V\,(t_2 - t_0)\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}} \tag{2.13}$$

und die Längen haben sich verkürzt von

$$r_{AB} \Longrightarrow \frac{r_{AB}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}}. \tag{2.14}$$

Die Schlüsselworte sind *Zeitdilatation* und *Längenkontraktion*. Obendrein wird noch $t_0 = 0$, $r_{AB} = x_1$ und $V t_2 = x_4$. Ist das etwa nichts? Es gibt so viele Wege, die LORENTZ-Transformation zu beweisen, aber sie bleibt eine Transformation, und dazu braucht man einen *Transformator* wie das bekannte elektrische Gerät oder das Zahnradgetriebe. Die Hauptsache ist die Invarianz

$$Leistung = Spannung\;mal\;Strom$$

bzw.

$$Leistung = Drehmoment\;mal\;Winkelgeschwindigkeit.$$

2.2 Diagramm

Wir legen die Zeit in die x-Achse und die zurückgelegten Wege in die y-Achse. So enthält ein Punkt die Koordinaten Zeit und Abstand vom Ausgangspunkt $A_0(t_0 = 0, y_0 = 0) = A'_0$. Der Punkt $B_0\,(t_0 = 0, y_{B0} = r_{AB}) = B'_0$ bildet den Endpunkt des Stabes zur Zeit $t = t_0 = 0$.

Weiter folgen

$$A'_1(t = t_1, y = v * (t_1 - t_0)) \tag{2.15}$$

$$B'_1 = (t = t_1, y = v * (t_1 - t_0) + r_{AB}). \tag{2.16}$$

Der Stab wird im Diagramm parallel verschoben, weil sich die Zeit ändert. Nun soll ein Lichtsignal den Punkt B'_1 treffen, d.h.

$$B'_1 = (t = t_1, y = V * (t_1 - t_0)), \tag{2.17}$$

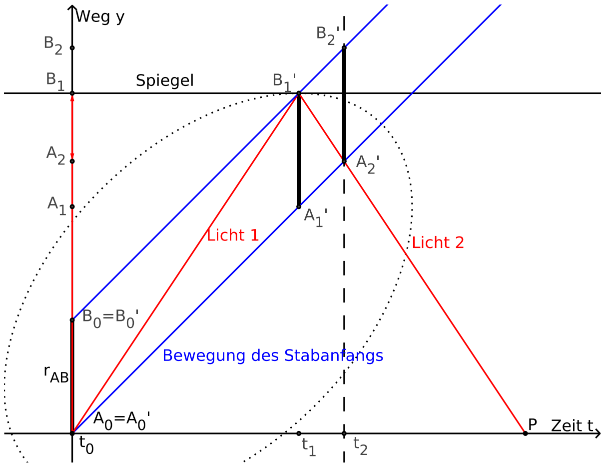

Abbildung 1: Einsteins Gedankenexperiment

d.h. die Strecke $\overline{A'_0 B'_1}$ hat den Endpunkt B'_1 mit der y-Koordinate

$$V * (t_1 - t_0) = v * (t_1 - t_0) + r_{AB}, \tag{2.18}$$

$$V = v + \frac{r_{AB}}{t_1 - t_0}. \tag{2.19}$$

In der Koordinate $y(B_1)$ befindet sich ein Spiegel, der den Lichtimpuls reflektiert. Der Anstieg der neuen Strecke in B'_1 muss $-V$ sein, also zu dem Punkt $P(t = 2(t_1 - t_0), y = 0)$ verlaufen. Der Stab ist in diesem Augenblick die Winkelhalbierende des Lichtsignalweges.

Der Punkt $A'_2(t = t_2, y = V * (t_2 - t_0)$ ist demnach der Schnittpunkt des Strahles $\overline{A'_0 A'_1}$ und der Strecke $\overline{B'_1 P}$. Das Lot auf die Zeitachse liefert die Zeit t_2, und der Schnittpunkt dieses Lotes mit der Bewegungslinie des Endpunktes B des Stabes ergibt den Punkt B_2'.

Die wesentlichen Punkte A'_0, A'_2 und B'_1 bilden ein Dreieck mit der Winkelhalbierenden $\overline{B'_1 A'_1}$. Nicht nur die Werte auf der Zeit- und der Weg-Achse beschreiben die Bewegung entlang der Weg-Achse, sondern selbst die genannten Punkte bilden eine Ellipse um die beiden Brennpunkte A'_0 und A'_2 mit dem Punkt B'_1 auf der Ellipse. Dort gelten dann die Reflektionsregeln der Lichtstrahlen $\overrightarrow{A'_0 B'_1}$ und $\overrightarrow{B'_1 A'_2}$. Das ist alles reine EUKLIDische Geometrie. Diese Abbildung findet man bereits bei WEYL [6], womit er allerdings die spezielle Relativitätstheorie erklären will.

3 Was heißt Relativität?

Das zweite Zitat lässt uns aufhorchen.

> "Die Konsequenz der MAXWELL-LORENTZschen Gleichungen, daß – wenigstens bezüglich eines bestimmten Inertialsystems K – sich das Licht im leeren Raum mit der Geschwindigkeit c fortpflanze ("Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit"), muß uns also als gesichert gelten."

Der Vortrag wurde nach der Veröffentlichung zur allgemeinen Relativitätstheorie [2] gehalten. EINSTEIN war wesentlich klüger geworden, und hatte einige Unzulänglichkeiten erkannt. Wenn das Prinzip in dem ruhenden System gesichert ist, kann man sich subjektiv auf den Standpunkt begeben, der Stab ruht und die Welt zieht an ihm vorbei. Das würde jeder Reisende bei einer langen Bahnfahrt nach einem Schläfchen erfahren haben. Wie will man den Energie-Impuls-Tensor ohne Impulse erklären können? Wenn Licht einen Impuls hat, muss sich zu der eigenen Lichterzeugung der mechanische Impuls der Lichtquelle addieren. Aber bereits das Wandern der Signalquelle oder des Empfängers verändern die Situation.

Also begeben wir uns in dunkler Umgebung in den bewegten Eisenbahnzug oder in ein anderes Verkehrsmittel, befestigen einen Stab mit Lichtquelle an dem einen Ende und Spiegel an dem anderen Ende. Da gibt es nun das Ergebnis aus § 1:

$$t_B - t_A = t'_A - t_B, \tag{3.1}$$

$$\frac{2\overline{AB}}{t'_A - t_A} = V \qquad \Longrightarrow \qquad \frac{2r_{AB}}{t_2 - t_0} = V, \tag{3.2}$$

also

$$V\,(t_2 - t_0) = 2r_{AB} \tag{3.3}$$

und nichts mit Zeitdilatation und Längenkontraktion.

Einstein kommentiert in S. 894 u.:

> "Wir setzen noch der Erfahrung gemäß fest, daß die Größe
>
> $$\frac{2\overline{AB}}{t'_A - t_A} = V$$
>
> eine universelle Konstante (die Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume) sei.
>
> Wesentlich ist, daß wir die Zeit mittels im ruhenden System ruhender Uhren definiert haben; wir nennen die eben definierte Zeit wegen dieser Zugehörigkeit zum ruhenden System "die Zeit des ruhenden Systems"."

Es gibt aber nur diese Zeit. Mit welchen Uhren reisen denn die vielen erfolgreichen Unternehmungen in unserem Sonnensystem? Der Zeitmaßstab ist in jedem Fall eine Vereinbarung mit nur einer angenommenen Zentraluhr. Alle anderen Uhren müssen synchronisiert sein und dürfen keine Gangunterschiede aufweisen.

4 Wo liegt der Fehler?

Im zweiten Fall (§ 1) wurde die Lichtgeschwindigkeit in einem Inertialsystem ohne Bezug zu einem anderen System gemessen.

Im ersten Fall (§ 2) wurde ebenfalls versucht, einen bewegten Stab von einem ruhenden System aus zu messen. Gegen das Ergebnis ist nichts zu sagen. Einstein hat richtig gerechnet. Es sind zwei unterschiedliche Fragestellungen, die man nicht vergleichen kann. Die von Einstein angenommene Argumentation ist nicht schlüssig. Sie gilt zwar für den Lichtimpuls, aber zwei Impulse in einem gewissen Zeitabstand liefern zwei äquivalente Bilder, und es wirkt der Doppler-Effekt nacheinander in zwei Richtungen, was zur Änderung der Impulslänge führen wird. Dadurch lässt sich der Stab selbst nicht beeinflussen.

Auch die Formel $V^2 - v^2$ entsteht nicht aus dem satz des Pythagoras sondern aus dem dritten binomischen Lehrsatz. Mandarf zwar die wurzel daraus ziehen, aber die beiden Faktoren sind nicht mehr $V + v$ und $V - v$ sondern $\sqrt{V^2 - v^2}$. Daraus neue physikalische Einheiten zu definieren ist reichlich gewagt.

Der im § 3 angestrebte (Schein-)Beweis hat den Mangel, dass die Zeit τ als abhängige Variable von der Zeit t eingeführt wurde. Wer so herangeht, zwingt gerade zur Einführung zweier unterschiedlicher Zeiten.

Eine erlaubte mathematische Substitution führt oft leichter auf zu berechnende Zwischenergebnisse, aber die vergessene Rücktransformation ist eine Lüge und damit ein Verbrechen eines wissenden Lehrers gegenüber seinem zu belehrenden Schüler.

Einstein hat erst Jahre nach seinem Erstlingswerk auf die Lorentz-Transformation bezug genommen, weil es ihm in den Kram passte. Wer Lorentz [4, 5] aufmersam studiert und nicht nur alte Kamellen nachplappert, wird sehen, dass an der speziellen Relativitätstheorie nichts dran ist. Für Lorentz scheint die beobachtete Verteilung der elektrischen Verschiebung ein elliptisches Feld zu geben, aber dieses Feld existiert außerhalb des erzeugenden Elektrons. Er gründete seine Untersuchungen auf dem Invarianzprinzip, hat aber die invarianten Größen nicht oder sehr versteckt angegeben.

Literatur

[1] Einstein, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. In: *Annalen der Physik* 17 (1905), S. 891–921

[2] Einstein, A.: Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. In: *Annalen der Physik* 49 (1916), S. 769–822

[3] Einstein, A.: *Grundzüge der Relativitätstheorie*. Springer-Verlag, 1922. – 7. Auflage 2009

[4] Lorentz, H.A.: *La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvmants*. E. J. BRILL, 1892

[5] Lorentz, H.A.: *Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*. E. J. BRILL, 1895(2005)

[6] Weyl, Hermann: *Raum - Zeit - Materie*. Springer-Verlag, 1988. – 348 S.