

Dr. Albrecht Fölsing

München, 26. Juni 2005

Sehr geehrter Herr Dr. Fölsing,

als ich kürzlich in einer Buchhandlung am derzeit reich bestückten „Einstein-Regal“ vorbeiging, fiel mir auch Ihr Buch aus dem Jahre 1993 in die Hände. Ihr Name war mir durch Ihr hervorragend recherchiertes Galilei-Buch in Erinnerung geblieben, welches ich vor Jahren mit dem größten Gewinn gelesen hatte. Also schlug ich Ihre Einstein-Biographie auf und stellte mit großer Befriedigung fest, dass Sie tatsächlich die Originalarbeiten studiert hatten, was man nur von wenigen Autoren, die über Einstein schreiben, sagen kann. Ich habe das Buch gekauft und bisher nur das wichtige Kapitel 5. gelesen, in dem Sie die Arbeit *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* besprechen. Dort machen Sie die richtige Bemerkung, dass sich Einstein an die Lorentz-Transformation ziemlich gewaltsam „heranrechnet“ und schließen daraus, dass er „wenigstens partiell gewusst haben muss, was er deduzieren wollte.“ Ich glaube, Sie haben damit sehr Recht und, wenn Sie gestatten, möchte ich im Folgenden ein wenig zur Detaillierung Ihrer Vermutung beitragen.

Auf Seite 251 erwähnen Sie Voigts „verfrühte“ Entdeckung *U e b e r d a s D o p p l e r'sche P r i n c i p*, die 1887 in den Göttinger Nachrichten erschienen war, und den „mathematischen Kern der Relativitätstheorie ausmacht“; aber Sie gehen nicht der Frage nach, ob Einstein diese Arbeit vielleicht vorgelegen haben könnte. Ich denke, dass ein so renommiertes Journal wie die Göttinger Nachrichten in Bern verfügbar war und dass Einstein auch darin gelesen hat. Dafür gibt es einen ziemlich eindeutigen Hinweis.

Gerald Holton ist in seinem Artikel *Einstein and the "Crucial" Experiment* (American Journal of Physics **37** (1969) 968) der Frage nachgegangen, weshalb Einstein stets abgestritten hat, dass das Michelson-Experiment für seine Version der Relativitätstheorie irgendeine Bedeutung gehabt habe. Zwar spricht Einstein 1905 von den „mißlungenen Versuchen, eine Bewegung der Erde relativ zum 'Lichtmedium' zu konstatieren“, aber den Michelson-Versuch kann er dabei nach seiner eigenen Aussage nicht gemeint haben. Holton vermutet, dass damals die Theoretiker das Michelson-Experiment nicht verstanden haben und die Experimentatoren nicht die neue Theorie. Beide seien dann eine Symbiose zur wechselseitigen Bestätigung eingegangen, so

dass heute die irrige Meinung vorherrscht, das Michelson-Experiment habe die experimentelle Basis für die Relativitätstheorie geliefert.

Einstein selbst hat es vermutlich besser gewusst: Zwei Monate nach Erscheinen des Artikels *Ueber das Doppler'sche Princip* publizierte Voigt im Mai 1887 – ebenfalls in den Göttinger Nachrichten – einen umfangreichen Aufsatz mit dem interessanten Titel: *Theorie des Lichts für bewegte Medien*. Dort findet man auf Seite 233 eine Analyse des Michelson-Versuchs auf der Grundlage der Äthertheorie, die in der Schlussfolgerung endet: „Hieraus folgt, daß die Beobachtungsergebnisse bei der Anordnung des Experimentes, wie sie Herr Michelson gewählt hat, von der Translation völlig unabhängig sind, daß also Herr Michelson die negativen Resultate, die er factisch erhalten hat, erhalten mußte, gleichviel, ob sich der Aether mit der Erde bewegt oder nicht.“ (Sperrdruck im Original).

Was liegt also näher als anzunehmen, dass Einstein beide Arbeiten Voigts kannte, aus der ersten die „Lorentz“- Transformation entnommen hat, und aus der zweiten die Erkenntnis, dass das Michelson-Experiment keine Beweiskraft für die Richtigkeit der SRT besitzt. In Kenntnis dieses Sachverhalts wäre es für Einstein nicht gerade opportun gewesen, sich auf Michelson's Ergebnisse zu berufen. Voigts zweite Arbeit habe ich per Zufall bei der Suche nach der ersten gefunden. Eine Zitierung dieser Arbeit ist mir bisher noch nicht untergekommen. (Falls Sie an den Originaltexten interessiert sind, können Sie sich an das Göttinger Digitalisierungs-Zentrum im Internet wenden. Einstweilen lege ich eine Kopie der wichtigen Passage bei.)

Soviel zur Prioritätsfrage, deren Beantwortung wegen Einsteins Vermeidung jeglichen Zitats äußerst erschwert ist. Drude hätte als damaliger Herausgeber der Annalen dergleichen nicht durchgehen lassen sollen, aber er war wohl schon überarbeitet und hat sich ein Jahr später erschossen. Wichtiger ist die inhaltliche Frage, ob man denn aus Einsteins beiden Prinzipien:

- 1) Gültigkeit des Relativitätsprinzips auch für elektrodynamische und optische Gesetze
- 2) Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (=Äther) von der Ausbreitungsrichtung und von der Bewegung der Quelle

tatsächlich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für jeden gleichförmig bewegten Beobachter herleiten kann, entsprechend der Annahme, die der Lorentz (Voigt) – Transformation zugrunde liegt. Wenn Einstein „Tricks“ angewandt hat, wie Sie sich ausdrücken, so heißt das ja, dass seine Beweisführung nicht schlüssig oder sogar falsch ist. Es könnte nun sein, dass man den Fehler ausmerzen kann, obwohl das bisher noch niemand gelungen ist, aber es könnte auch sein, dass beide Prinzipien nicht „scheinbar“, sondern tatsächlich unvereinbar sind. Ich neige der letzteren Ansicht zu und beziehe dabei meine Argumente direkt aus Einsteins Arbeit. Zunächst möchte ich aber die logischen Brüche, die Ihnen auch aufgefallen sind, noch etwas deutlicher herausarbeiten, wobei ich mich eng an die Reihenfolge Ihrer Darstellung der ersten drei Paragraphen anschließen werde.

In §1 setzt Einstein ein „ruhendes“ System voraus, wobei er nur das System des ruhenden Äthers gemeint haben kann, wie Sie richtig schreiben. In diesem System ist nämlich nach Prinzip 2) die Lichtgeschwindigkeit in alle Richtungen die gleiche, so dass sich die Laufzeit des Lichts vom Ort A nach Ort B nicht von der Laufzeit von B nach A unterscheidet. Die Uhren „gleicher Beschaffenheit“ laufen notwendig in A und B mit gleicher Frequenz, denn ihr Mechanismus beruht auf den Erhaltungssätzen von Energie bzw. Drehimpuls, welche Allgemeingültigkeit besitzen sollen, d.h. in A und B in gleicher Weise gelten. Bei der Synchronisierungsvorschrift kann es also nur darum gehen, die Uhren zu „stellen“, d.h. die Zeigerstellung der beiden Uhren zum gleichen Zeitpunkt zur Deckung zu bringen, denn sie ist a priori nicht festgelegt. Einstein verwendet in Übereinstimmung mit der Newton'schen Vorstellung die Beziehung  $t_B = t_A + \Delta t_{AB}$  und bezieht die zunächst noch unbekannte Laufzeit  $\Delta t_{AB}$  aus der Messung von  $\Delta t_{AB} + \Delta t_{BA}$  am Ort A unter der Annahme  $\Delta t_{AB} = \Delta t_{BA}$ . Würde man die Signalübertragung statt mit Licht durch Schallwellen bewerkstelligen, so würde das Verfahren nur bei Windstille funktionieren. Genau dies muss Einstein in analoger Weise im Falle von Licht voraussetzen. Damit gewinnt er lediglich die Newton'sche Zeit  $t_A$ , die im gesamten Äther gilt, und er erhält auch keine neue Definition von „Gleichzeitigkeit“.

Erst wenn man die Voigt'sche Annahme macht, dass sich in einem gegenüber dem ruhenden Äther bewegten System die Lichtgeschwindigkeit nicht ändern sollte, erhält man eine System-abhängige Zeit. Ob allerdings eine solche Annahme physikalisch gerechtfertigt ist, kann nur durch ein Experiment und nicht durch eine Definition entschieden werden. In Luft würde die entsprechende Annahme durch das Experiment offenbar widerlegt werden.

In §2 diskutiert Einstein ein Gedankenexperiment, bei dem sich ein Stab mit gleichförmiger Geschwindigkeit relativ zu ruhenden, synchronisierten Uhren bewegt. Ich überspringe seine Überlegungen, ob die Länge eines bewegten Stabes – mit zwei unterschiedlichen Methoden bestimmt – verschieden herauskommt, denn Einstein führt an dieser Stelle (und wohl auch später nicht, wie Ihnen aufgefallen ist) keinen Beweis für seine Behauptung. Ich möchte allerdings, im Gegensatz zu Ihnen, bei Einsteins Definition von K, welches nach §1 das Äthersystem ist, bleiben. System K ist dann das ruhende und k das bewegte System, in dem der Stab ruht, entsprechend Einsteins Text.

Einstein schreibt (Sie zitieren ihn nahezu wörtlich): „Wir denken uns ferner an den beiden Stabenden (A und B) Uhren angebracht, welche mit den Uhren des ruhenden Systems synchron sind, d.h. deren Angaben jeweils der `Zeit des ruhenden Systems´ an den Orten, an welchen sie sich gerade befinden, entsprechen; diese Uhren sind also `synchron im ruhenden System´“. Dieser Satz ist im Lichte der noch abzuleitenden Lorentz-Transformation eine große Überraschung. Die bewegten Uhren weisen ja nach eben dieser Transformation eine Zeitdilatation auf und können gar nicht in ihren Angaben mit den Angaben der Uhren, an denen sie gerade vorbeifahren, auf Dauer übereinstimmen, außer zu einem Anfangszeitpunkt, als das System k noch ruhte. Man muss also festhalten, dass Einstein auf dem Wege zur Herleitung

der Lorentz-Transformation annimmt, dass es die von jener vorhergesagte Zeitdilatation gar nicht gibt. Diese Inkonsistenz scheint Ihnen nicht aufgefallen zu sein, jedenfalls machen Sie den Leser nicht darauf aufmerksam.

Die Sache wird noch verwirrender. Die bewegten Beobachter in A und B sollen nun auf ihre Uhren die Synchronisierungsvorschrift des §1 anwenden, obwohl diese doch nur für das ruhende System K definiert war. Ob sie auch im bewegten System k gilt, konnte man a priori nicht wissen, es sei denn man postuliert es entsprechend Voigt's Vorgang. Allerdings lässt sich Einstein nicht darüber aus, welche Konsequenzen es denn haben soll, wenn man die Synchronisierungsvorschrift entgegen der Festlegung in §1 nun auch auf das bewegte System k anwendet. Er rechnet lediglich die Zeitdifferenzen  $t_B - t_A$  und  $t'_A - t'_B$  aus, die sich im System K ergeben, wenn man die Bewegung des Stabes berücksichtigt. Die gleichen Zeitdifferenzen würde man natürlich auch im System k messen, denn die Angaben der bewegten Uhren stimmen ja nach Voraussetzung mit den Angaben der ruhenden Uhren überein.

Völlig unverständlich bleibt die überraschende „Schlussfolgerung“, dass die Uhren in k nun nicht mehr synchron laufen sollen, obwohl ihre Angaben doch mit denen der synchron laufenden Uhren in K zu jedem Zeitpunkt identisch sind. Diese Herleitung einer „relativen Gleichzeitigkeit“ kann nur aus einem „Rückwärtsschluss“ stammen, den man unter Voraussetzung der erst zu beweisenden Lorentz-Transformation zieht.

Man mag sich fragen, ob Einsteins Gedankenexperiment nicht eher dazu geeignet ist, die Voraussagen der Lorentz-Transformation zu widerlegen, als sie zu beweisen. Die relativistische Zeitdilatation besagt, dass eine bewegte Uhr im Vergleich zu einer ruhenden langsamer geht. Also müssten die Uhren in k, von K aus betrachtet, im Lauf der Zeit immer weiter zurückbleiben. Dies muss auch messbar sein und kann festgestellt werden, indem ein Beobachter in K sowohl seine eigene Uhr als auch die gerade vorbeifahrende Uhr in k bei geringem Abstand gleichzeitig abliest. Er wird z.B. finden, dass seine Uhr, die zum Anfangszeitpunkt noch mit jener in k übereinstimmte, jetzt nach langer Fahrzeit 2 Uhr anzeigt, während die in k erst auf 1 Uhr steht. Die gleiche Feststellung kann aber auch der bewegte Beobachter in k machen, denn beide Beobachter und beide Uhren befinden sich für die kurze Zeit, die die Ablesung benötigt, am gleichen Ort. Natürlich muss man für diese Überlegung voraussetzen, dass das System K über eine hinreichend lange Strecke mit synchron laufenden Uhren bestückt ist, an denen jeweils Beobachter postiert sind.

Nun besagt aber das Relativitätsprinzip, dass man mit gleichem Recht das System k als das ruhende und das System K als das relativ dazu bewegte System ansehen kann. Also müsste aus Sicht des Beobachters in k die Uhr in K erst auf 1 Uhr zeigen, während seine eigene Uhr bereits auf 2 Uhr vorgerückt ist. Dies ist natürlich unvereinbar mit der ersten Beobachtung und illustriert die vieldiskutierte Problematik des Zwillingsparadoxons. Gewöhnlich wird es aufgelöst, indem man Zuflucht zu Beschleunigungen nimmt, aber die kommen in Einsteins Gedankenexperiment gar nicht vor. Um

die Sache zu entscheiden, muss man nur auf der Milchstraße genügend Uhren mit zugehörigen Beobachtern am Wegesrand aufstellen und dann mit einem Raketenauto daran vorbeirasen. Alsbald wird sich herausstellen, welche Uhr langsamer geht und welche schneller, weil ruhende und bewegte Beobachter an den gleichen Uhren die gleichen Beobachtungen beim rendez-vous machen können. Auf jeden Fall müssen beide Beobachter zum gleichen Ergebnis gelangen und das kann nur lauten: Die Uhr in K steht auf 2 Uhr, während die in k auf 1 Uhr steht, oder eben umgekehrt. Vielleicht stehen ja beide Uhren auch auf  $\frac{1}{2}$  2 Uhr.

Über §3 gibt es nun nicht mehr viel zu sagen, was Sie ja auch nicht getan haben. Hervorheben möchte ich jedoch, dass Einsteins Ergebnis auf der unscheinbaren Beziehung  $\frac{1}{2}(\tau_0 + \tau_2) = \tau_1$  auf S. 898 unten beruht. Sie impliziert, dass das, was noch bewiesen werden soll, nämlich dass die Lichtgeschwindigkeit auch im bewegten System c sei, an dieser Stelle in die Voraussetzung aufgenommen wird. Man nennt dies den klassischen Beweisfehler der *petitio principii*. Nach umständlichen Rechnungen findet Einstein die Lorentz-Transformation und anschließend „beweist“ er mit ihrer Hilfe, was Voigt zu ihrer Herleitung hineingesteckt hatte. Offenbar unwissentlich bediente er sich der gleichen Voraussetzung wie Voigt: Die Lichtgeschwindigkeit sei in allen Inertialsystemen konstant.

Wie Sie richtig schreiben hat Einstein seine Ableitung von 1905 nie mehr benützt, sondern seine beiden Prinzipien in das Voigt'sche Postulat zusammengezogen:  $c = \text{const}$  in allen Inertialsystemen. Den Nachdruck seiner Arbeit, den der Teubner-Verlag zusammen mit Arbeiten von Lorentz und Minkowski 1913 auf Betreiben Sommerfelds herausbrachte, hat er mit einer Fußnote versehen, ohne deren nachträgliche Einfügung kenntlich zu machen. Nach Ableitung der Lorentz-Transformation fügt er an, dass diese viel einfacher nach der Methode Voigt erhalten werden könne, ohne allerdings Voigts Namen zu nennen. Lorentz, der ein gentleman war, fügt auch eine Fußnote in den Nachdruck seiner Arbeit von 1904 ein. Er würdigt darin Einsteins Verdienst, das Relativitätsprinzip zuerst als allgemeines Gesetz ausgesprochen zu haben. Auch zitiert er endlich Voigt, dessen Transformation der seinigen äquivalent sei. Unterschrieben wird mit: H. A. Lorentz, 1912. Poincaré fehlt in der Reihe. Vielleicht war sein Beitrag politischen Bedenken kurz vor dem ersten Weltkrieg zum Opfer gefallen. Schließlich war er Vetter des Präsidenten der 3. Republik des „Erbfeindes“.

Ich hoffe, dass Ihnen meine Anmerkungen von Nutzen sind. Ob ihr Inhalt dem Genie Einsteins irgendeinen Abbruch tut, mag jeder für sich selbst beurteilen. Ich denke aber, dass sie im Interesse der historischen und der physikalischen Wahrheit ausgesprochen werden müssen.

Und nun werde ich mich Ihrem Buch von vorne zuwenden und hoffe, dasselbe geistige Vergnügen zu haben, das ich beim Lesen Ihres Galilei genoss. Haben Sie ganz herzlichen Dank für die immense Arbeit, die Sie für uns Leser auf sich genommen haben.

Mit freundlichen Grüßen

Wolfgang Engelhardt