

Rezension und Anmerkungen zu dem Buch „Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie für Physiker und Philosophen“

J. Brandes*, T. Plasa[†]

*Danziger Str. 65, 76307 Karlsbad, e-mail: jg-brandes@t-online.de;

[†]Didaktik der Physik, Universität Kassel, FB 10, e-mail: Tim Plasa <plasa@physik.uni-kassel.de>

Kurzfassung

Das Buch Brandes, J., Czerniawski, J. (2010): *Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie für Physiker und Philosophen – Einstein- und Lorentz-Interpretation, Paradoxien, Raum und Zeit, Experimente* wird von T. Plasa rezensiert.

- Die wesentlichen Aussagen des obigen Buches zu den beiden Interpretationen lauten:
- Die experimentell bestätigten, physikalischen Aussagen der Relativitätstheorie können ernsthaft nicht bezweifelt werden, für die philosophischen Aussagen gilt das nicht.
- Die Lorentz-Interpretation hat didaktische Vorzüge.
- Bei hohen Energien ist die Lorentz-Interpretation der Allgemeinen Relativitätstheorie experimentell überprüfbar.

Zu Punkt b) enthält dieser Beitrag je ein Beispiel aus der Speziellen und Allgemeinen Relativitätstheorie.

1. Vorbemerkung

Im Gegensatz zur Einstein-Interpretation (EI) ist die Lorentz-Interpretation (LI) der Relativitätstheorie nicht allgemein anerkannte Physik (keine sog. 'main stream physics'). Darin liegt ein wirkungsvolles, aber kein wissenschaftliches Argument gegen die LI. Es geht im Folgenden darum, der Leserin/dem Leser ein eigenes Urteil zu dieser Frage zu ermöglichen.

2. Ziele des Buches [1]

Exakt und allgemeinverständlich, auf Basis der Fachliteratur, werden diskutiert: Die experimentellen Beweise der Relativitätstheorie, die Lösungen der Paradoxien, die Thesen zum vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum der Speziellen Relativitätstheorie, sowie die Thesen zum gekrümmten, expandierenden und geschlossenen Raum der Allgemeinen Relativitätstheorie. Enthalten sind die allgemeinrelativistische Lösungsvariante der Zwillingsparadoxie und die Paradoxien von BELL, EHRENFEST und SAGNAC.

Alle Themen werden für die EINSTEIN- und LORENTZ-Interpretation gesondert behandelt. Die sogenannte LORENTZ-Interpretation wurde von LORENTZ, POINCARÉ, BELL, SEXL und vielen Anderen initiiert. Sie zeigt, wie gut die Vorstellung eines dreidimensionalen Raumes und einer eindimensionalen Zeit mit dem EINSTEIN'schen Relativitätsprinzip harmoniert und wie auf dieser Basis Paradoxien besonders einfach zu lösen sind.

Beide Interpretationen unterscheiden sich auch physikalisch: In der NEWTON'schen Theorie gibt es ein negatives Gravitationspotential, wegen $E=mc^2$ bedeutet das negative Masse. Negative Massen gibt

es nicht. Weder die NEWTON'sche Theorie noch die EINSTEIN-Interpretation können erklären, was z. B. für ein im Feld ruhendes Teilchen ($E_{kin}=0$) seine negative Energie und die zugehörige negative Masse bedeuten. Die LORENTZ-Interpretation gibt eine klare, experimentell überprüfbare Antwort.

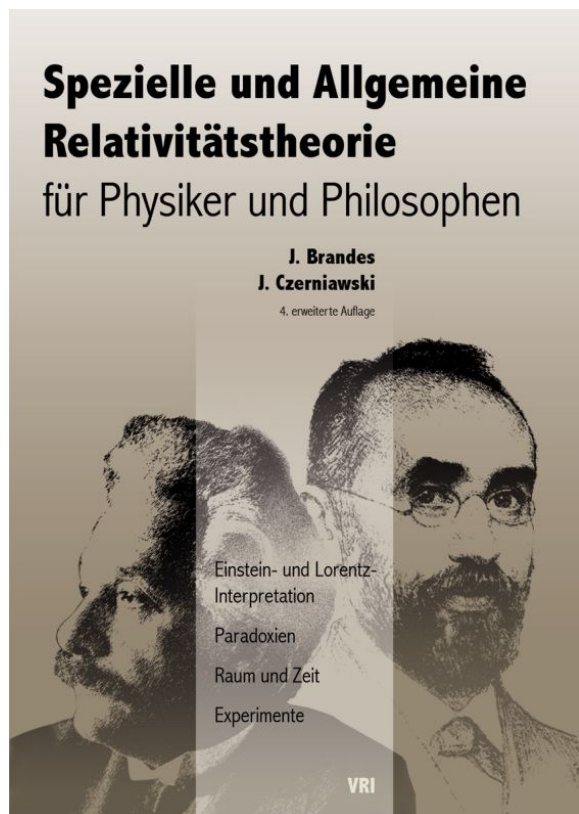


Abb.1: Titelblatt von [1]

Die mathematischen Ableitungen sind bewusst einfach, um dem Leser ein eigenes, umfassendes Urteil zu den Paradoxien und zu beiden Interpretationen zu ermöglichen.

3.Rezension zum Buch „Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie“ von T. Plasa

Das Buch „Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie für Physiker und Philosophen“ [1] beschäftigt sich intensiv mit der Einstein- und der Lorentzinterpretation. Dabei beleuchten die beiden Autoren die Vorzüge und Nachteile der beiden Theorien. Gerade die Vorstellung der Lorentzinterpretation ist dabei ungewöhnlich, da sie in den meisten Lehrbüchern nicht oder nur spärlich behandelt wird. Für viele Physiker gilt die u.a. von Poincaré mitentwickelte Theorie als überholt und gängige Lehrwerke beschränken sich meist auf die Einsteininterpretation. Die Philosophie kommt bei dem Vergleich insofern zu tragen, weil (bisher) beide Theorien experimentell nicht unterscheidbar sind und äquivalente mathematische Resultate hervorbringen. Es handelt sich also insbesondere um Fragen der Deutung, wenn es um die Gegenüberstellung der beiden Interpretationen geht. Dies wird insbesondere bei den speziellen Kapiteln „Paradoxien“ und „Gedankenexperimente“ deutlich. Einen Rahmen erhält das Buch durch die Herleitung der Lorentz-Transformation sowie eine Darstellung experimenteller Beweise der speziellen Relativitätstheorie. Abgeschlossen wird das Buch mit einem Ausflug in die Kosmologie und die Robertson-Walker-Metrik.

Das vorliegende Buch vermeidet sehr komplizierte mathematische Abhandlungen und verlangt in diesem Bereich kein großes Vorwissen. Durch die frequentierte Benutzung von Konzepten und Begriffen aus der Relativitätstheorie ist es jedoch empfehlenswert, bereits einmal ein zusammenfassendes Lehrwerk zu diesem Thema gelesen zu haben. Der Hauptautor versucht möglichst objektiv – zumindest an den meisten Stellen - dem/r Leser/in die Entscheidung zu überlassen, welche Interpretation ihm /ihr eher zusagt. Positiv fällt auf, dass viele Beispiele und Beispielrechnungen helfen, dem Gedankengang des Autors zu folgen.

Insgesamt ist das Buch m.E. für interessierte Leser/innen zum Thema Relativitätstheorie geeignet. Zum Probelesen vor einem evtl. Kauf eignet sich insbesondere das Kapitel „Drei Gründe, dieses Buch (nicht) zu lesen“. Trotz oder gerade weil viele Inhaltspunkte Anlass für Diskussionen ermöglichen, hilft das Buch seine eigenen Gedanken über die Relativitätstheorie auf die Probe zu stellen und gemeinsam mit dem Autorenteam auf die Suche nach der philosophisch sinnvolleren Interpretation zu gehen.

4.Beispiel für die LI der Speziellen Relativitätstheorie (Kreisverkehr)

Zu dem folgenden Gedankenexperiment der Speziellen Relativitätstheorie lauten die Thesen:

- a) Es ist nur mit der Lorentz-Interpretation (LI) wirklich zu verstehen.
- b) Mindestens: Die Lösung ist mit der LI aber nicht mit der Einstein-Interpretation (EI) schnell und einfach zu finden.

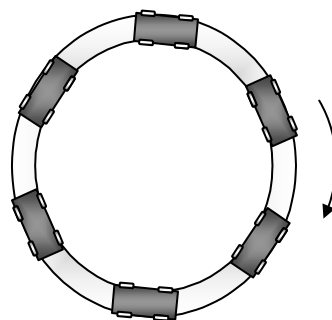


Abb.2: Schienenfahrzeuge auf einer Kreisbahn
Im Anfangszustand haben die Lücken und Fahrzeuge in S denselben Abstand.

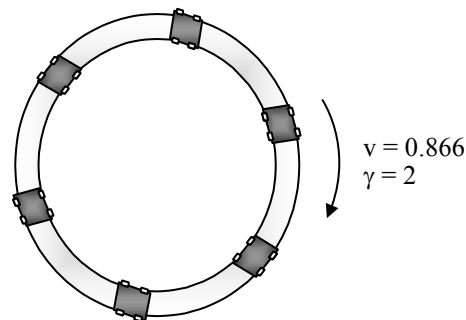


Abb.3: Schienenfahrzeuge auf einer Kreisbahn
Im Endzustand haben die Fahrzeuge relativ zu S die halbe Länge, die Lücken haben sich um die Hälfte vergrößert.

Das Gedankenexperiment besagt, s. Abb. (2) und (3): Ein Kreisring (Schienen) ruht im Inertialsystem S . Im Anfangszustand der Abb. 2 ruhen die Schienenfahrzeuge. Die Längen der Schienenfahrzeuge und die Lücken sind gleich groß. Nun werden Anfangs- und Endpunkte der Schienenfahrzeuge (bzw. der Lücken) relativ zu S gleichzeitig um denselben Betrag beschleunigt. (Dazu stelle man sich an den Anfangs- und Endpunkten der Schienenfahrzeuge Raketen vor, die zum Zeitpunkt $t = t_0$ gezündet werden. Die Endgeschwindigkeit ist $v = 0.866c$ d. h. der Lorentzfaktor ist 0.5.)

Frage: Wie ändern sich Lücken und Längen?

Antwort der LI, s. Abb. 3: Die Schienenfahrzeuge erfahren eine Lorentzkontraktion, die Lücken nicht. Letztere werden sogar größer. In Formeln (mit $v = 0.866c$):

$$l' = l\sqrt{1 - v^2 / c^2} = 0.5 \times l \quad \{1\}$$

$$\begin{aligned} l'_{Lücke} &= l_{Lücke} + l - l' \\ &= 1.5 \times l_{Lücke} \end{aligned} \quad \{2\}$$

Begründung: Die Formeln sind für die LI selbstverständlich, wenn S das ausgezeichnete Inertialsystem ist, denn dann ist die Lorentzkontraktion in Bewegungsrichtung eine der Voraussetzungen. Die Zentrifugalkräfte bewirken keine relativistischen Effekte. Wenn S ein beliebiges Inertialsystem ist, werden die zu erwartenden Messergebnisse auf Grund derselben Formeln vorhergesagt – andernfalls hätte man ein Verfahren, das ausgezeichnete Inertialsystem experimentell zu ermitteln, was dem Relativitätsprinzip der LI widerspricht.

Wie löst die EI das Problem?

Das Problem der EI besteht darin, dass alle Inertialsysteme physikalisch vollständig gleichwertig sind. Es ist zunächst völlig unverständlich, warum sich Lücken und Längen beim Übergang in ein bewegtes Koordinatensystem unterschiedlich ändern sollen. Es ist völlig unverständlich, warum sich die Längen verkleinern, die Lücken aber vergrößern sollen.

Natürlich gibt es genügend Physiker, die das Problem ohne LI richtig lösen, aber:

- Der Autor hat noch nie zwei Physiker erlebt, deren Lösungen übereinstimmen.
- Ein in der Relativitätstheorie erfahrener Physiker hat es abgelehnt, überhaupt eine Lösung mit Hilfe der EI zu liefern. Seine Begründung dafür: Es handele sich um ein zweidimensionales relativistisches Problem und er habe sich bislang nur mit eindimensionalen räumlichen Lorentztransformationen befasst, [2].

Der Vorschlag des Autors zur Lösung auf Basis der EI: Man betrachte zunächst das zugehörige lineare Problem (Raketenproblem von Bell, Kap. 10.6 in [1]): Alle Schienenfahrzeuge befinden sich auf einer Geraden, die Zwischenräume sind gleich der Wagenlänge, wie in Abb. 2. Nun werden die Schienenfahrzeuge gleichzeitig linear beschleunigt (man zündet Raketen mit konstanter Beschleunigung). Dann ein kleiner Zusatz: Man lasse den Schienenstrang in einen Kreis mit geeignetem Radius enden und ganz von selbst bewegen sich die Schienenfahrzeuge schließlich auf einer Kreisbahn mit konstanter Geschwindigkeit. Da im Kreis nur radiale Kräfte auftreten, können sich weder die Zwischenräume noch die Wagenlängen ändern, denn dazu wären tangential Kräfte notwendig ... und man erhält dieselbe Lösung wie mit der LI, s. Abb. 3.

Wer dabei gründlich nachdenkt, hat alle Probleme der bellschen Paradoxie und der Ehrenfest-Paradoxie vor sich [2], was keinen Spaß macht, da man die Lösung sofort haben kann

Damit ist zumindest Punkt b) zu Beginn des Kapitels plausibel. (In [1] werden diese Fragen in den Kap. 9.4, 10.6 und 24.3 behandelt.)

5. Beispiel für die LI der Allgemeinen Relativitätstheorie (Energieerhaltung beim Freien Fall)

Dieses Beispiel ist Kap. 3.3 von [1], Energieerhaltung beim Freien Fall, entnommen.

Im Gegensatz zur Speziellen Relativitätstheorie und zur newtonschen Gravitationstheorie besitzt die Klassische Allgemeine Relativitätstheorie keinen universellen Energieerhaltungssatz. Betrachten wir dazu ein einfaches, anschauliches Beispiel, einen frei fallenden Stein. Lässt man ihn fallen, gewinnt er kinetische Energie und deshalb wächst die Gesamtenergie und wegen $E = mc^2$ auch die Gesamtmasse des Steins. Woher kommt der wachsende Anteil der Gesamtenergie ΔE ?

$$\Delta E = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad \{3\}$$

E : Energie, m : Masse, m_0 : Ruhemasse, v : Geschwindigkeit, h : Höhe des Steins, $\beta = v/c$.

In der newtonschen Gravitationstheorie entspricht der Energiezunahme ΔE eine Abnahme der potentiellen Energie um

$$mgh \text{ bzw. } \int Gm_0 M / r^2 dr \quad \{4\}$$

und der Energieerhaltungssatz ist gewahrt.

Auf Grund der Speziellen Relativitätstheorie muss dem positiven ΔE des Steins eine Abnahme der Gesamtmasse bzw. Gesamtenergie der Erde um denselben Betrag zugeordnet werden, denn die Gesamtenergie von Erde und Stein muss konstant bleiben. Für die Allgemeine Relativitätstheorie lässt sich das nicht erreichen, weil man nicht annehmen darf, dass das Gravitationsfeld Energie (und damit Masse) auf den fallenden Stein überträgt. RINDLER [3] beweist das für einen Spezialfall. „By slowly lowering a particle of rest mass m_0 to the horizon [of a black hole] we could extract from it all energy $m_0 c^2$. A fair question: have we really extracted this energy from the particle, using the field as a mere catalyst, or have we extracted it from the field?“ Seine Antwort: Keine Energie vom Feld. TOLMAN [4] stimmt zu und damit kann die Allgemeine Relativitätstheorie nicht erklären, woher ΔE genommen wird und weshalb die Gesamtenergie konstant bleibt.

Wie könnte die Lösung für ein frei fallendes Teilchen, unseren Stein aussehen? Ein vollständiger Lösungsvorschlag an dieser Stelle ist zu viel verlangt. Deshalb die Idee der Lorentz-Interpretation (LI) und einige Einwände der Einstein-Interpretation (EI) am Beispiel eines im Gravitationsfeld ruhenden oder bewegten Teilchens: Die LI nimmt an, dass die Zunahme der kinetischen Energie ΔE durch eine Abnahme der Ruhemasse eines freifallenden Teilchens kompensiert wird.

Für die Masse (= Gesamtenergie/ c^2) eines im Feld ruhenden Teilchens, bzw. für die Ruhemasse eines

jeden Teilchens im Gravitationsfeld $m_{0,Feld}$ gilt dabei quantitativ (für die LI):

$$m_{0,Feld} = m_0 \left(1 - \frac{2GM_{Stern}}{c^2 r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \{5\}$$

Die Ruhemasse nimmt ab mit abnehmendem r und hat für $r \rightarrow \infty$ den alten Wert.

M_{Stern} : Masse des Sterns (oder der Erde), G : Gravitationskonstante, r : Abstand vom Mittelpunkt des Sterns (oder der Erde).

Formel {5} rechtfertigt sich mit dem relativistischen Fallgesetz

$$\left(1 - \frac{2M}{r} \right) \frac{dct}{d\tau} = E_{gesamt} \quad \{6\}$$

wobei E_{gesamt} eine Konstante ist und die Energieerhaltung ausdrückt, s. Kap. 21.2. Sie ist bis auf den Faktor c^2 identisch mit Formel {5}.

Die EI macht Ansatz {5} nicht und da wegen TOLMAN und RINDLER die Alternative, eine Abnahme der gravitativen Masse des Sterns zu fordern, entfällt, bleibt für die EI die Energieerhaltung beim Freien Fall unerklärt.

Die Gravitationskraft ist in dieser neuartigen Vorstellung das Bestreben des Gravitationsfeldes, die Ruhemasse eines Teilchens zu verringern. Damit gilt z. B. für einen hüpfenden Ball – hüpfte der Ball nach oben, nimmt die Ruhemasse gemäß Formel {5} zu (NEWTON: die potentielle Energie nimmt zu, d. h. sie nähert sich null) und die Geschwindigkeit ab sowie umgekehrt beim Fallen und immer bleibt die Gesamtenergie des Teilchens konstant.

EI: Ein erster möglicher Einwand ist die Gravitationsrotverschiebung von Licht. Licht hat keine Ruhemasse, die abnehmen könnte und erfährt deshalb keine Gravitationskräfte, trotzdem soll die Frequenz und damit die Gesamtenergie in Gravitationsfeldern zu- oder abnehmen. Die Einzelheiten s. Kap. 21. Dort wird gezeigt, dass Licht seine Frequenz und damit seine Energie nicht ändert, wenn es sich im Gravitationsfeld fortpflanzt, sondern nur seine Geschwindigkeit und Wellenlänge, wie in optisch dichten Medien.

Die EI argumentiert widersprüchlich. Einerseits zu Recht: Der frei fallende Körper erfährt keine Kräfte, er bewegt sich auf einer Geodäten (das entspricht im gekrümmten Raum der Geraden), die Masse und Gesamtenergie bleiben konstant, denn es wirken ja keine Kräfte ... Andererseits ist das unverständlich, denn relativ zu allen ruhenden lokalen Inertialsystemen nimmt die kinetische Energie des frei fallenden

Körpers zu und man weiß nicht, woher diese Energie genommen wird. An anderer Stelle wiederum kennt die Klassische Allgemeine Relativitätstheorie zu Recht den Unterschied zwischen konstituierender und gravitativer Masse eines Sterns, s. Formel (22.18). In diesem Sinne wird gezeigt, s. Kap. 21, dass das Energiekonzept der LI dem der EI nicht widerspricht, sondern es erweitert.

Abschließend noch einmal die offene Frage: Die kinetische Energie eines frei fallenden Steins nimmt zu. Damit nimmt auch seine Gesamtenergie zu, denn die Ruhemasse ändert sich nach allgemeiner Auffassung nicht. Woher kommt der Zuwachs der Gesamtenergie, wenn RINDLER und TOLMAN Recht haben, dass sich das Gravitationsfeld nicht verändert und deshalb keine Energie an den Stein abgegeben werden kann?

6. Zusammenfassung und Danksagung

Das Buch [1] stellt die Relativitätstheorie nicht in Frage, aber es diskutiert gleichberechtigt zwei verschiedene Interpretationen. Die Lorentz-Interpretation

- kann nicht als unkritisch abgetan werden (Rezension Kap. 3),
- hat didaktische Vorzüge (Kap. 4 und 5),
- ist für hohe Energien experimentell überprüfbar.

Einer der Autoren (jb) dankt Herrn Tim Plasa für seine sympathische und sachverständige Rezension und Frau Prof. Dr. Rita Wodzinski, Didaktik der Physik, Universität Kassel für die dabei gewährte Unterstützung.

7. Literatur

- [1] Brandes, J.; Czerniawski, J. (2010): *Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie für Physiker und Philosophen – Einstein- und Lorentz-Interpretation, Paradoxien, Raum und Zeit, Experimente*. Karlsbad: VRI, 4. erweiterte Auflage, 404 Seiten, 100 Abbildungen, ISBN 978-3-930879-08-3 Näheres (Preis, Inhaltsverzeichnis etc.): <http://www.buchhandel.de/> oder <http://www.amazon.de/> Suchen mit 9783930879083
- [2] private Mitteilung
- [3] siehe [299] in [1]
- [4] siehe [367] in [1]