

Die didaktische Bedeutung der Lorentz-Interpretation der Allgemeinen Relativitätstheorie

J. Brandes

Hannover 2016

25.02.16 last update: 26.02.16

Vorbemerkungen

Die didaktische Bedeutung der Lorentz-Interpretation (LI) der Allgemeinen Relativitätstheorie liegt vor allem in zwei Argumenten:

- 1.) Die Formeln der relativistischen Experimente lassen sich aus grundlegend verschiedenen Ansätzen (gekrümmte Raumzeit, Raum und Zeit sind euklidisch) herleiten. Deshalb sind die philosophischen Aussagen zu Raum und Zeit der GRT nicht als bewiesen anzusehen und darauf sollte im Unterricht hingewiesen werden.
- 2.) Da es gegen die Widerspruchsfreiheit und Vollständigkeit der GRT, nicht gegen deren experimentelle Vorhersagen, *einfach zu verstehende* Einwände gibt [2], sollten auch sie im Unterricht behandelt werden.

Punkt 1. wird ausführlich in meinem Buch [1] diskutiert und ist deshalb nicht Teil dieses Vortrages. Punkt 2. erfordert einige Vorbemerkungen.

Die GRT ist experimentell gut bestätigt, hieran darf die LI keine Abstriche machen. Das ist auch nicht der Fall, denn GRT und LI sagen relativistische Experimente in gleicher Weise voraus. Das ist aus der Literatur bekannt und wird von anerkannten Gravitationsphysikern wie R. U: Sexl [1], Seiten 77ff und vor allem Kip S. Thorne [2], Kap. 10, 11 bestätigt.

Dazu ein Zitat von Kip S. Thorne in *Gekrümmter Raum und verbogene Zeit. Einsteins Vermächtnis*. München 4. Auflage 1994, Seite 457, 460 (Anm.: Die flache Raumzeit bedeutet Lorentz-Interpretation):

„Ist die Raumzeit *wirklich* gekrümmt? Kann man sich nicht auch vorstellen, die Raumzeit sei flach, während unsere Uhren und Maßstäbe ... in Wirklichkeit gummiartig verformbar sind?“ „Die Antwort lautet: ja.“ Und später: „Doch wie verhält es sich nun wirklich? Ist die Raumzeit flach, wie es in den vorigen Abschnitten angenommen wurde, oder ist sie gekrümmt? Für mich als Physiker ist diese Frage ohne Belang ... Beide Sichtweisen ... führen zu denselben Vorhersagen und Messungen ... Die beiden Beschreibungen unterscheiden sich nur in der Frage, ob die gemessene Distanz der ‚Wirklichkeit‘ entspricht, doch ist dies keine physikalische, sondern eine philosophische Frage. ... Darüber sollen sich die Philosophen Gedanken machen.“

Ein gutes Beispiel dafür, dass LI und GRT die relativistischen Experimente in gleicher Weise voraussagen, sind die kürzlich nachgewiesenen Gravitationswellen (GW). Dazu wieder ein Zitat von Kip S. Thorne in *Gekrümmter Raum und verbogene Zeit. Einsteins Vermächtnis*. München 4. Auflage 1994, Seite 457ff:

„Zu den Anwendungsbeispielen für das Paradigma der flachen Raumzeit (Anm.: LI) gehört die Berechnung der Massenänderung von Schwarzen Löchern und anderen Körpern, wenn Gravitationswellen von ihnen absorbiert werden. Dazu gehören auch die Rechnungen von Clifford Will, Thibault Damour und anderen Autoren, die gezeigt haben, wie einander umkreisende Neutronensterne Gravitationswellen erzeugen „Wenn man auf dem Gebiet der Relativitätstheorie arbeitet, ist es extrem nützlich, beide Paradigmen parat zu haben“

Aus diesen beiden Zitaten sieht man erneut: GRT und Lorentz-Interpretation sind fachlich gleichwertig, es steht jedem frei, welche Variante er anwenden will. Das Zitat „Wenn man auf dem Gebiet der Relativitätstheorie arbeitet, ist es extrem nützlich, beide Paradigmen parat zu haben“ belegt die didaktische Bedeutung der Lorentz-Interpretation für Kip S. Thorne.

Eine weitere Vorbemerkung: Für Physiker ist in der Regel eine Theorie dann richtig, wenn die Experimente richtig vorhergesagt werden. Das genügt aber nicht. Eine Theorie muss darüber hinaus 1.) widerspruchsfrei und 2.) vollständig sein. Vollständigkeit heißt für die GRT, dass sie die Vorgängertheorie, die newtonsche Gravitationstheorie, in allen Punkten entweder verbessern oder mindestens übernehmen muss. Wie gezeigt wird, ist weder 1.) noch 2.) erfüllt. Die didaktische Bedeutung der LI für den Unterricht folgt, wenn diese Überlegungen *einfach zu verstehen sind*.

Widersprüchliche Formeln zur Gesamtenergie eines ruhenden Teilchens und die Lösung durch die LI

Die widersprüchlichen Formeln zur Gesamtenergie eines ruhenden Teilchens und die Lösung durch die LI sind ausführlich in dem Vortrag [Cosmology and Lorentz-Interpretation \(LI\) of GRT](#)

[1] auf dieser Website <http://www.grt-li.de/>

behandelt worden, deshalb kann ich hier, allerdings nicht beim mündlichen Vortrag, auf die Wiederholung der Argumente verzichten.

Die didaktischen Schlussfolgerungen aus der behaupteten Widersprüchlichkeit der GRT finden sich in [Further Counterarguments since 2013](#) insbesondere unter 4.) und unter 1.)

Für die Lösung des oben hergeleiteten Widerspruchs noch einmal kurz die Idee: LI und GRT sagen die Messergebnisse mit denselben Formeln voraus. Mit Lorentz *muss* ich die Messergebnisse umrechnen, mit Einstein *darf ich es nicht*, deshalb ist für Einstein die Messung auch das endgültige Ergebnis. Diesen Unterschied begreift jede(r) Schüler(in) und müsste bereits in Schulbüchern behandelt werden. Wie die weiteren Überlegungen unter [Cosmology and Lorentz-Interpretation \(LI\) of GRT](#) gezeigt haben, behält die LI Recht, sie stimmt mit dem newtonschen Grenzfall überein.

Zur Unvollständigkeit der GRT

Unvollständigkeit heißt hier, dass die GRT zwar die newtonsche Gravitationstheorie in vielen Punkten verbessert, aber trotzdem einige Erkenntnisse von Newtons Theorie in der GRT fehlen. Drei mögliche Punkte sind mir eingefallen, die ich erst einmal aufliste.

- 1.) Die Gesamtenergie eines im Gravitationsfeld ruhenden Teilchens lässt sich mit Newton genauer abschätzen als mit dem Messergebnis der GRT.
- 2.) Der Impulserhaltungssatz für den freien radialen Fall ist für die GRT nicht erfüllt.
- 3.) Beim freien radialen Fall ändert sich der Impuls des frei fallenden Teilchens. Bei der geodätischen Bewegung in der gekrümmten Raumzeit wirken aber keine Kräfte, die den Impuls ändern können.

Zu 1.) Das Messergebnis für die Energie eines im Gravitationsfeld ruhenden Teilchens ist Formel (3) des obigen Vortrags.

$$(3) \quad E_G = mc^2$$

Es ist bereits bewiesen worden, dass dies Formel (2) widerspricht, darum geht es hier nicht. Zusätzlich zu dem Widerspruch mit (2) ist es eine Unvollständigkeit der GRT, dass sich (3) nicht mit dem newtonschen Energieerhaltungssatz vereinen lässt. In der newtonschen Gravitationstheorie gilt der Energieerhaltungssatz: Die Gesamtenergie E_G - die Summe aus potentieller Energie und kinetischer Energie - ist konstant. Etwas anders formuliert bedeutet das für ein ruhendes Teilchen:

$$E_G = mc^2 + \text{neg. potentielle Energie} \\ < mc^2$$

Dies ist aus (3) nicht ableitbar, sondern nur aus Formel (2). Mit der LI löst sich diese Unvollständigkeit, denn sie berücksichtigt, dass Uhren im Gravitationsfeld langsamer gehen.

Zu 2.) Die Impulserhaltung beim freien Fall folgt aus Newtons Gravitationsgesetz und aus Newtons dritten Kraftgesetz (Kraft gleich Gegenkraft).

$$K\Delta t = \Delta(mv)$$

Die Impulsänderung für den frei fallenden Stein ist entgegengesetzt gleich der Impulsänderung der Erde (bzw. Sonne oder Stern). Da die geodätische Bewegung in der gekrümmten Raumzeit kräftefrei ist, kann die GRT die Impulsänderung nicht erklären.

Für die LI ersetzt die gekrümmte Raumzeit nicht Raum und Zeit. Die Raumzeit ist ein mathematisches Hilfsmittel, den freien Fall präziser zu beschreiben als Newtons Gravitationstheorie es kann. Die grundlegende Tatsache, dass hier ein Gravitationsfeld Kräfte ausübt, bleibt bestehen.

Zu 3.) Obwohl der Impuls beim freien Fall zunimmt, ist die geodätische Bewegung in der gekrümmten Raumzeit kräftefrei. Der Impuls müsste konstant bleiben, was der Messung widerspricht. Wie die Messung zeigt, hängt der Impuls von der Fallhöhe ab.

Die GRT hinterfragt nicht, ob die gekrümmte Raumzeit nichts weiter als ein mathematisches Hilfsmittel ist, Eigenschaften von Gravitationsfeldern genauer zu beschreiben - im Gegensatz zu anderen Teilgebieten der Physik. So sagt z. B. niemand, der unendlich dimensionale Hilbert-Raum der QM sei der Raum in dem wir

leben. In Hinblick auf die didaktische Bedeutung ist hier die Frage, ob diese Punkte leicht verständlich sind, wenn man elementare Kenntnisse der GRT besitzt, was ich bejahe.

(Möglicherweise sind die Argumente zu 1.) – 3.) nicht ganz korrekt. Danke für entsprechende Hinweise.)

Zusammenfassung

Neben der Verträglichkeit mit einer flachen Raumzeit liegt die Bedeutung der LI darin, Widersprüche und Unvollständigkeiten der GRT zu beseitigen. Da diese Argumente leicht verständlich sind, haben sie auch didaktische Bedeutung für den Unterricht.

[1] J. Brandes, J. Czerniawski: *Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie für Physiker und Philosophen - Einstein- und Lorentz-Interpretation, Paradoxien, Raum und Zeit, Experimente*, 2010 Karlsbad: VRI, 4. erweiterte Auflage, 404 Seiten, 100 Abbildungen, ISBN 978-3-930879-08-3 Näheres: www.buchhandel.de/ oder www.amazon.de/

[2] Thorne, Kip, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*, New York 1994, Reprint 1995, page 397, 400. Deutsche Ausgabe: *Gekrümmter Raum und verbogene Zeit. Einsteins Vermächtnis*. München 4. Auflage 1994, Seiten 457, 460.