

Semantische Schwierigkeiten mit einfachen Erklärungen der Relativitätstheorie

I.

Da, was ich ausführen möchte, manchem provokativ oder gar abseitig erscheinen könnte, will ich ganz subjektiv beginnen.

Kürzlich haben die ersten >Fotografien< von Schwarzen Löchern Aufsehen erregt. Ich habe daran als Zeitung lesender Zeitgenosse teilgenommen, hatte aber Schwierigkeiten zu verstehen, was mir erklärt wurde. Eine unmittelbare Schwierigkeit war, wie etwas, was eine Darstellung von Informationen aus Radiowellen ist – nach normalem Verständnis etwas Hörbares – , ein anschauliches Bild werden kann – nach normalem Verständnis etwas Sichtbares.¹

Ich habe mein Unverständnis dem Umstand zugeschrieben, dass ich von Beruf Philosoph bin² und, anders als meine Kollegen, die Wissenschaftstheorie betreiben, physikalisch und mathematisch völliger Laie bzw. auf Oberschulniveau stehen geblieben bin.

Meine einzige Beziehung zur Wissenschaftstheorie der exakten Wissenschaften bestand darin, dass ich Anfang der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts ein Semester lang der Betreuer eines damals Berühmtheit erlangenden amerikanischen Wissenschaftstheoretikers war, Joseph D. Sneeds. Der hatte in einem Buch über die mathematische Struktur der theoretischen Physik³ den *non-statement view* wissenschaftlicher Theorien vorgeschlagen, demzufolge Theorien keine Aussagen sind, sondern mengentheoretisch charakterisierbar als geordnete Paare begrifflicher Kerne und Mengen intendierter Anwendungen.

Um eine ungefähre Idee zu geben: In den begrifflichen Kern der Mechanik Newtons, {K},

-
- 1 Dieser Schwierigkeit wird in dem Buch von Heino Falcke (Nachweis Anm.4) in Teil III 5 Kap. abgeholfen. Aber auch nach der Erklärung, wie „aus Rauschen ein Bild wird“, bleibt die Schwierigkeit, dass es strenggenommen keinen natürlichen Punkt im Raum gibt, von dem aus irgendjemand das auf dem Bild Dargestellte *sehen* könnte – auch der best-positionierte Beobachter könnte nur *hören* – und nicht einmal die *Verteilung* der Radiostrahlung, die das visuelle Bild zeigt. Unser Hörsinn ist, was die räumliche Verteilung von Reizen angeht, viel unschärfer als der Gesichtssinn.
 - 2 Vgl. mein >Philosophie als Beruf<, auf: www.emilange.de, Register *online-Originale*, Abschnitt >Versuche<. >Meine< Philosophie ist eine Version der sprachanalytischen >nach Wittgenstein<, vgl. >After Wittgenstein<, auf der website, Register *Über Wittgenstein*. - Es gibt auf der website auch eine kurze Darstellung meiner Überlegungen mit dem schlichten Titel >Philosophie< (Register *online-Originale*, Abschnitt >Ergebnisse<).
 - 3 Dordrecht 1971.

gehören das Trägheitsprinzip (*lex inertiae*), das Kraftgesetz [$\Delta(m \cdot v) = F$] und das Gesetz über die gegenseitige Einwirkung zweier Körper (*actio-reactio*). In die Menge der intendierten Anwendungen, {I}, gehören z.B. das Sonnensystem, das Verhalten von Billard- Kugeln unter Stoßeinwirkung und Fallbewegungen von Körpern nahe der Erdoberfläche. Für die überwiegend naturwissenschaftlichen Laien unter seinen Hörern exemplifizierte Sneed seine Auffassungen an John Rawls' *Theory of Justice* und mit ihr konkurrierenden Konzeptionen.

Wenn ich Sneed richtig verstanden habe, würde er nicht gesagt haben wollen, was die Erklärer der Relativitätstheorie gerne über Gesetze dieser Theorie sagen: dass sie die Wirklichkeit *beschreiben*. Vielmehr beschreiben nach seiner Auffassung nur die aus Gesetzen und Randbedingungen abgeleiteten Prognosen einer Theorie (die in den exakten Wissenschaften experimentell überprüfbar zu sein haben) die Wirklichkeit. Sneeds Wissenschaftstheorie ist schwach instrumentalistisch.

Ich habe daher nach weiterer Aufklärung gesucht und bin dabei auf den im folgenden Abschnitt (II) mit seinem Textteil wiedergegebenen Artikel der Zeitschrift CHIP gestoßen.⁴ Der hat meinem Verständnis in einigem aufgeholfen, aber mir auch neue Schwierigkeiten gemacht, von denen ich einige in den Abschnitten (III-IV) ausbreiten möchte.

II.

>> Relativitätstheorie einfach erklärt

Die Relativitätstheorie befasst sich mit Raum, Zeit sowie Gravitation und war ein wahrer Meilenstein in der Physik. Viele Dinge wie Warp-Antrieb und Zeitreisen rückten durch sie ein Stück mehr ins Mögliche. Sie setzt sich aus zwei Theorien zusammen.

1. Die spezielle Relativitätstheorie. Sie erklärt das Verhalten von Zeit und Raum aus der Sicht von Beobachtern.
2. Die allgemeine Relativitätstheorie. Sie beschreibt die Schwerkraft als Krümmung von Zeit und Raum, die z.B. durch große Massen wie Sterne erzeugt wird.

⁴ Ich habe auch das Buch von Heino Falcke (mit Jörg Römer) *>Licht im Dunkeln<*, Stuttgart o.J. (2020), konsultiert. – Prof. Falcke leitete den Wissenschaftlichen Beirat des *Event-Horizon-Telescope* Projektes, das am 10. April 2019 das erste Bild eines Schwarzen Loches präsentierte (des Schwarzen Loches im Zentrum der 55 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie M 87).

1. Erklärung

3. In der Physik nennt man ein Bezugssystem ein raum-zeitliches Gebilde, welches benötigt wird, um ortsabhängige Vorgänge genau zu beschreiben. Ein Inertialsystem ist ein Bezugssystem, in dem kräftefreie Teilchen ruhen oder mit konstanter Geschwindigkeit gerade Bahnen durchlaufen. Beispielsweise vergeht die Zeit in einem Inertialsystem langsamer, als in einem anderen.

4. Laut Einsteins spezieller Relativitätstheorie sind alle Inertialsysteme in der Natur gleichberechtigt. Wenn die Zeit in einem System schneller vergeht als in einem anderen, so treffen beide Eigenschaften zu. Die Zeit vergeht also schneller und gleichzeitig auch normal.

5. Hierbei muss man jedoch beachten, dass kein System beziehungsweise kein Objekt oder Teilchen schneller als Licht sein kann. Die Lichtgeschwindigkeit (c) ist mit 299792,458 km/s eine Obergrenze für Geschwindigkeiten. Der Flug eines Raumschiffes mit "doppelter Lichtgeschwindigkeit" in manchen Sci-Fi-Filmen ist also leider nicht möglich.

$E = mc^2$ - Das bedeutet die Formel

6. Fast jeder kennt sie, doch niemand weiß, wie man sie wirklich anwendet: Die Rede ist von der berühmten Formel $E = mc^2$. Mit dieser lässt sich die Energie abhängig von der relativen Masse berechnen.

7. Laut Einstein sind Energie und Masse (z.B. bei Teilchen) gleichwertig.

Die Gesamtenergie (E) lässt sich mit der Formel $E = mc^2$ mit $m = m' : \sqrt{1 - v^2 : c^2}$ berechnen. In diesem Fall ist m' die Masse in Ruhelage. Die Formel lässt sich jedoch nicht auf die "klassische" Physik übertragen, sondern gilt nur in der relativistischen Physik.

Die Relativitätstheorie: Was sind Zeitdilatation und Längenkontraktion?

Je nach Geschwindigkeit (eines Objektes) kann die Zeit (die bei dem Objekt relativ zum Beobachter vergeht) oder Länge (des Objektes) beeinflusst werden. Zeit und Länge sind also abhängig von der Geschwindigkeit.

- Je schneller sich ein Objekt im Raum bewegt, desto langsamer vergeht die Zeit relativ zu einem ruhenden Beobachter. Auch in der Nähe von großen Massen vergeht die Zeit langsamer. Genaueres dazu finden Sie auch in unserem Artikel zum Thema "[Zeitdilatation](#)".
- Wenn sich ein Objekt im Raum mit hoher Geschwindigkeit bewegt, wird auch dessen Länge (in Richtung der Geschwindigkeit) gestaucht. Auch hierzu finden Sie einen gesonderten Artikel, der sich mit der [Längenkontraktion](#) befasst.

Krümmung von Raum und Zeit: Große Massen im Raum

Zuletzt möchten wir uns noch den großen Massen im Raum (wie zum Beispiel einem Planeten) widmen.

- Wie Sie bereits aus unserem [Artikel zur Zeitdilatation](#) wissen, vergeht die Zeit in der Nähe von großen Massen langsamer.
- Große Massen, wie beispielsweise ein Stern, krümmen den Raum (und die Zeit). Sie können sich dieses Phänomen wie ein großes Stofftuch vorstellen, welches sich nach unten "krümmt" wenn man etwas schweres, wie zum Beispiel eine [Wassermelone](#) auf dieses legt. Ähnlich wird auch die Raumzeit gekrümmt. Somit wird auch Licht durch große Massen abgelenkt.

Einsteins Relativitätstheorie: Diese Formeln sollten Sie können

In der relativistischen Physik werden viele verschiedene Formeln verwendet. Wir zeigen Ihnen die wichtigsten, die Sie kennen sollten.

- Die Formel für die relative Zeit lautet $\Delta t' = \Delta t : \sqrt{(1 - v^2 : c^2)}$. In diesem Beispiel möchten wir nun ausrechnen, wie viele Sekunden in einem System vergehen, das sich mit 200000 km/s bewegt: $\Delta t' = 5s : \sqrt{(1 - (200000000 \text{ m/s})^2 : (299792458 \text{ m/s})^2)} \approx 6,712$ s. Das bedeutet, dass während in einem beschleunigten System 5 Sekunden vergehen, vergehen in einem ruhenden System rund 7 Sekunden! Bei Lichtgeschwindigkeit stünde im Nenner eine 0. Es käme also ∞ heraus.
- Die Formel der [Längenkontraktion](#) lautet $l = l' \cdot \sqrt{(1 - v^2 : c^2)}$. Hierbei hängt die relative Länge von der Grundlänge, sowie von der Geschwindigkeit ab. Bei Lichtgeschwindigkeit wäre die Länge also 0!
- Außerdem kennen Sie ja aus diesem Artikel noch die Formel $E = mc^2$ mit $m = m' : \sqrt{(1 - v^2 : c^2)}$.
- Schließlich gibt es noch (für Profis) die Formel des relativistischen Dopplereffektes. Den Dopplereffekt nehmen Sie wahr, wenn beispielsweise ein Polizeiauto mit Sirene an Ihnen vorbeifährt. Dieses Phänomen lässt sich analog auf die relativistische Physik übertragen: Die Frequenz ist abhängig von der Geschwindigkeit. Wenn sich Sender und Empfänger elektromagnetischer Wellen (z.B. Licht) voneinander entfernen, wird die Frequenz verändert. Es gilt: $f' = f \cdot \sqrt{((1 - v : c) : (1 + v : c))}$
- Wenn Sie diese Grundformeln beherrschen, können Sie bereits viele relativistische Problemstellungen lösen. <<

III.

Ich konzentriere mich zunächst auf das, was nach der in (II) zitierten einfachen Erklärung der Relativitätstheorie Gegenstand der speziellen Relativitätstheorie ist: das veränderte

Verständnis von Raum und Zeit.

Ein grundsätzlicher pragmatischer Mangel der Erklärung ist, dass der *terminus a quo* der Erklärung, das unterstellte normale Verständnis von Raum und Zeit, nicht spezifiziert wird. Es wird freilich gesagt, dass das Verständnis von Raum und Zeit gegenüber dem in der klassischen Mechanik Newtons verändert ist. Aber mit einem Namen oder einer Kennzeichnung wie „klassische Mechanik Newtons“ ist noch nichts *spezifiziert*, d.h. noch nicht gesagt, worin dieses klassische Verständnis besteht. Man kann jedoch die Erklärung einer Veränderung nur verstehen, wenn einem genau gesagt wird, was wohin oder worein verändert worden ist. Wenn man aber dem grundsätzlichen pragmatischen Mangel abzuhelfen und den *terminus a quo* zu spezifizieren versucht, wird eine semantische Naivität erkennbar, die einige Auskünfte der einfachen Erklärung einfach Unsinn = unverständlich sein lassen.

Ich will zunächst dafür ein Beispiel anführen. Im Buch von Falcke (mit Römer) heißt es (86 f.):

„Nichts kann sich schneller bewegen als Licht, denn nichts kann weniger träge sein. ... Wenn wir hier über >Licht< reden, dann schließen wir damit oft stillschweigend auch andere Prozesse ein, die lichtgleich Informationen wellenhaft übertragen.“

Aber irgendetwas muss sich ändern, wenn man sich relativ zum Licht bewegt? Zeit und Raum ändern sich, behauptete Einstein. Bestehen Zeit und Raum unabhängig von allem anderen? Ich würde sagen: nein. Anders als Energie und Materie sind Raum und Zeit nur abstrakte Größen in einer Beschreibung der Welt. Raum und Zeit kann man nicht anfassen. Sie werden letztlich erst dadurch zu einer physikalischen Realität, dass man sie misst ...“

Zum letzten Satz des Zitats kann man nur sagen: Unsinn. Nichts wird gemessen (an einen Maßstab gehalten – man denke an das Anlegen eines Längenmaßes an ein ausgedehntes Objekt), wenn es erst durch die Messung >real<, sei es auch: >physikalisch real< wird. Wenn das Gemessene durch die Messung erst real würde, würde allenfalls etwas – wunderbarer Weise – projiziert.

Die Auskünfte ferner, die man dem Zitat immerhin entnehmen kann – Raum und Zeit seien „abstrakte Größen in einer Beschreibung der Welt“ – verraten semantische Naivität. Sie unterstellen, Raum und Zeit seien >Vorhandenheiten< oder Züge an Vorhandenem. Das aber beruht auf einer Fehlauflassung des logischen Charakter der Ausdrücke >Raum< und >Zeit<, die ja zunächst als in unserer Sprache gebrauchte Ausdrücke Begriffe ausdrücken. Die semantische Naivität liegt in der impliziten Unterstellung, alle Begriffe ausdrückenden Wörter

(Begriffswörter) drückten denselben Typ von Begriff aus, der etwa in den einfachsten Prädikationen ein jeweils Gegebenes durch ein Merkmal charakterisierte [Beispiel: >Der Ball (das Gegebene) / ist rot (Merkmal vom Typ Farbeigenschaft<)]. Nennen wir Begriffe dieses Typs >materiale Begriffe<. Dann ist zu sagen: >Raum< und >Zeit< drücken keine *materialen* Begriffe aus. Was dann? Nun, der naheliegende Kontrast zu >material< ist >formal<. Ich sage also: >Raum< und >Zeit< drücken *formale* Begriffe aus.

Der Begriff eines >formalen Begriffs< ist in Logik und Philosophie schon eingeführt – durch Wittgensteins *Logisch-Philosophische Abhandlung* (4.112-4.128). Nach seiner Erklärung sind formale Begriffe Variable, die mit jeder ihrer Instanzen schon gegeben sind. So sind mit dem Ausdruck zur Bezeichnung eines materiellen Objekts (z.B. >der Ball<) neben der Charakterisierbarkeit durch ein deskriptives Prädikat (im Beispiel: >... ist rot<) schon die Möglichkeiten der Angabe seines Ortes (Lokalisierung) und seiner Größe/Ausdehnung (Dimensionierung) gegeben. Ebenso sind mit dem Ausdruck für eine Ereignis (z.B. >Einsteins Geburt<) die Möglichkeit der Angabe seines Zeitpunkts (in diesem Fall: 14. März 1879) und mit dem Ausdruck für einen Prozess (z.B. >die Moderne<) schon die Möglichkeit der Angabe seiner Dauer (Andauern) gegeben.

Man kann die Erläuterungen im vorigen Absatz als Explikation von Falcke/Römers Ausdruck >abstrakte Größen in einer Beschreibung der Welt< ansehen, wenn man vernachlässigt, dass diese Formulierung sich nicht verhält zum Problem eines Unterschiedes und Verhältnisses von >Welt< zu >Wirklichkeit< und die Einzigkeit der Welt mit dem Gebrauch des bestimmten Artikel nur unterstellt (denn grammatisch ist der Ausdruck >Welt< pluralisierbar).⁵

IV.

Wenn zutrifft, dass bei Falcke/Römer und in der in (II) angeführten einfachen Erklärung der Relativitätstheorie unsere normalen, formalen Begriffe von >Raum< und >Zeit< als materiale unterstellt sind, dann erklärt das Redeweisen wie 'die Zeit vergeht in der Nachbarschaft großer Massen langsamer als sie im Bezugssystem des Beobachters vergeht' – erklärt also, warum einer Variablen wie >Zeit< Realcharaktere wie >langsam/schnell verlaufen/vergehen< oder

5 Vgl. >Philosophie< l.c., Abschnitt 5.

einer Variable wie >Raum< Realcharaktere wie >sich ausdehnen/schrumpfen< oder >dilatiert/gestaucht werden< zugesprochen werden. Gemessen an den Normen des Sinns, die unseren gewöhnlichen Sprachgebrauch regieren, sind auch diese Redeweisen Unsinn = unverständlich. Denn Variablen wie >Raum< und >Zeit< nach normalem Verständnis sind nur Möglichkeiten (nämlich Möglichkeiten der Einsetzung von Instanzen für sie): Möglichkeiten aber haben keine Realcharaktere.

Wenn jemandem etwas unverständlich ist, hat er das Recht, um eine Erklärung zu bitten. Dieses Recht gründet sich auf das Interesse an gemeinsamem, teilbarem Verständnis, auf das sich auch Einsteins Relativitätstheorie nach ihren einfachen Erklärungen beruft, wenn sie als motiviert aus dem Interesse an der „universalen Gültigkeit physikalische Gesetze“⁶ erklärt wird. Denn der Anspruch auf universale Gültigkeit impliziert den, dass die physikalischen Gesetze von jedermann anzuerkennen sind.

V.

Ist die Art von logischer und semantischer Beckmesserei, die in den Abschnitten (III, IV) geübt wird, gegenüber einer *auch* empirischen Theorie⁷, die z.B. durch Eddingtons Nachweis der Lichtablenkung durch massereiche Objekte anhand einer Sonnenfinsternis, durch die Schließung der Lücke in der Newton'schen Erklärung der Perihelbewegung des Merkur und durch die erfolgreiche technische Anwendung von relativistisch begründeter Korrekturfaktoren in der Eichung des *General Positioning Systems* (GPS) gut bestätigt ist, überhaupt sinnvoll? Ist sie berechtigt, oder können Physiker sie einfach als Ignoranz abtun?

Einer affirmativen Antwort auf die erste Frage kommt die Darstellung bei Falcke (mit Römer) entgegen. Bevor ich das belege, möchte ich die Diskussionssituation aus meiner Perspektive als Übersetzungsproblem beschreiben. Mir wird eine einfache Erklärung der Relativitätstheorie angeboten. Damit diese effektiv wird, muss ich sie verstehen. Mein Verständnis hält sich im Rahmen der alltäglichen Sprache und in diese muss die Sprache der

⁶ Falcke (mit Römer), op.cit., 108.

⁷ Manche Unterstellungen der Relativitätstheorie sind nicht empirisch gestützt und, sogar nach ihren eigenen Schlussfolgerungen, nicht empirisch stützbar, z.B. die >Singularität< des Urknalls.

Physik durch die Erklärer übersetzt werden, wenn ihre Erklärung mir verständlich sein soll. Ich könnte natürlich die Sprache der Physik lernen oder gelernt haben, aber dann bräuchte ich die Erklärung (hoffentlich) nicht. Wenn ich sie aber brauche, muss sie für mein Verständnis den Normen (des Sinns = der Verständlichkeit) genügen, die es bestimmen. In meiner Kritik mache ich geltend, dass sie das nicht tun.

Unser gewöhnliches, sich in unserem Sprachgebrauch ausdrückendes Verständnis ist, wie ich gezeigt habe⁸, grundlegend über dem Dualismus der formalen Begriffe >Person< und >Gegenstand< aufgebaut. In den physikalischen Theorien gibt es keine Personen. Es gibt nur >matter in motion<.

Aber obwohl physikalische Theorien den Begriff einer Person nicht gebrauchen, setzen sie ihn doch voraus. Denn die Physiker brauchen ihn, um *sich* darüber zu verständigen was sie tun, wenn sie ihre Theorien formulieren, aus ihnen Prognosen ableiten und diese experimentell überprüfen. Sie brauchen ihn, *um sich in ihrem Tun zu verstehen*.⁹

D.h. aber, auch die Physiker selbst stützen sich auch auf das normale Verständnis, dass derjenige, dem sie eine Erklärung geben, gegen sie geltend macht, wenn die Erklärung ihm nicht verständlich ist.

Falckes Darstellung kommt diesem Desiderat insofern entgegen, als er sich, gewiss im Unterschied zu vielen seiner agnostischen Kollegen, in Teil IV seines Buches als gläubiger Christ bekennt und ausdrücklich die Freiheit des Menschen (403) und das Person-Sein Gottes verteidigt (406-421). Er stellt dort sogar die Frage nach dem >Wesen der Zeit< in augustinischer, nicht-physikalischer Weise (397-406) und verteidigt solch kindliches Fragen als durchaus nicht kindisch (406). Er also wird wohl meine >kindlichen< kritischen Fragen nicht konsistent als ignorant abtun können.

© E.M. Lange 2022

8 Vgl. >Philosophie<, a.a.O. Auch die übrigen begrifflichen Behauptungen, die ich hier nur verwende – über >Raum<, >Zeit<, >Welt<, >Wirklichkeit< etc. sind in diese Arbeit begründet.

9 Falckes Buch enthält auch dem korrespondierende bescheidene Formulierungen des Durchbruchs, den das Bild von M 87* bedeutet. z.B.: „Auf jeden Fall sehen wir einen Schatten – so wie man es von einem Schwarzen Loch erwartet. Niemals werden wir Schwarze Löcher beweisen können ... Wir werden immer nur sagen können, dass unsere Ergebnisse mit den Vorhersagen der Allgemeinen Relativitätstheorie übereinstimmen – aber das tun sie ganz beeindruckend.“ (340)