

# Kritische Betrachtungen zur Relativitätstheorie.

Von Dr.-Ing. F. Spielmann in Leipzig.

Im folgenden soll unter der einfachen Bezeichnung „Relativitätstheorie“ zunächst die sogenannte spezielle Relativitätstheorie Einsteins verstanden werden. Diese lehrt, dass Längen- und Zeitgrößen verschiedene Masszahlen beizulegen sind, je nachdem sie auf das eine oder das andere von zwei in Bewegung gegeneinander befindlichen Raumsystemen bezogen werden. Um den Sinn dieses Grundsatzes und seinen Wahrheitsgehalt besser zu erkennen, ist eine nähere Betrachtung der erkenntnistheoretischen Grundlagen der Längen- und Zeitmessung von Vorteil.

## I.

Die Bestimmung von Längen- und Zeitgrößen durch eine Masseinheit setzt voraus, dass die Gleichheit zweier Längen und zweier Zeiträume festgestellt werden kann.

Für Längengrößen geschieht dies durch Aneinanderlegen. Dabei wird gewöhnlich stillschweigend vorausgesetzt, dass eine Strecke in unveränderter Länge von einer Lage im Raume in eine beliebige andere Lage übertragen werden kann. Wenn diese Voraussetzung auch nicht selbstverständlich ist, so erscheint sie uns doch durchaus natürlich. Sie ist aber nicht notwendig. Wir können die Gleichheit zweier Strecken definieren, indem wir als gleich solche Strecken bezeichnen, die sich vollständig zur Deckung bringen lassen. Dabei bleibt aber die Annahme zulässig, dass eine Strecke je nach ihrer Lage im Raume verschiedene Länge hat, d. h. dass zwischen den Lagen, die irgend ein Punkt der Strecke bei verschiedener Lage der Strecke im Raume auf der durch die Strecke bestimmten Geraden einnimmt, weitere Punkte gedacht werden können. Wenn eine andere Definition der Gleichheit zweier Strecken möglich sein sollte, so müsste bei Annahme derselben freilich die angedeutete Voraussetzung gemacht werden, da sonst der Begriff der Gleichheit von Strecken, die sich in verschiedener Lage befinden, keinen Sinn hätte.

Größere Schwierigkeiten bietet der Begriff gleicher Zeiten. Ein unmittelbares Vergleichen zweier Zeiträume ist nicht möglich, weil sie ihrem Begriffe nach nicht zusammenfallen können. Man versucht also, den Begriff der Gleichheit von Zeiten auf den der Gleichheit von Strecken zurückzuführen. Dies ist ohne weiteres möglich, sobald eine mathematische Beziehung zwischen Zeit- und Längengrößen bekannt ist. Die Kenntnis

einer solchen Beziehung setzt aber schon voraus, dass die Zeit gemessen, d. h. die Gleichheit von Zeiträumen erkannt werden kann.

Es bleibt also nichts anderes übrig, als den Begriff gleicher Zeiten, so, dass die dem Begriffe entsprechende Uebereinstimmung von Zeiträumen mit genügender Genauigkeit durch Längenmessungen festgestellt werden kann, im übrigen aber willkürlich festzusetzen. Wie dies geschieht, ist an sich völlig gleichgültig. Man wird aber zweckmässig dabei sowohl auf die Gewinnung einfacher mathematischer Ausdrücke für die Gesetze der in der Natur auftretenden oder möglichen Bewegungen wie auf die Bequemlichkeit der Zeitmessung und nicht zuletzt auch auf unser Zeitgefühl Rücksicht nehmen.

Für den praktischen Gebrauch in der Wissenschaft und im täglichen Leben hat es sich, wie bekannt ist, bewährt, als gleich diejenigen Zeitabschnitte anzusehen, in denen die Erde, wenigstens nach früheren Beobachtungen, bei ihrer Achsendrehung gleiche Winkel durchläuft. Dass nach neueren Messungen bei Zugrundelegung des ursprünglich aus der Erdbewegung abgeleiteten Zeitmasses sich eine nicht völlig gleichförmige Drehung der Erde zu ergeben scheint, ist ohne Bedeutung, da das Prinzip unserer Zeitmessung, wie noch zu besprechen ist, eine allgemeinere Grundlage als die Drehung der Erde hat. Man könnte aber ebensogut Zeitabschnitten gleiche Dauer zuschreiben, die wir als ganz verschieden lang zu betrachten pflegen, und würde dadurch sogar für gewisse Naturgesetze einfachere Formen als mit Hilfe der gebräuchlichen Art der Zeitmessung erhalten, wenn auch ein allgemeiner Vorteil damit nicht verbunden wäre.

Es wäre z. B. möglich, denjenigen Zeiten gleiche Dauer beizulegen, in denen ein (im leeren Raume) frei fallender Körper gleiche Wege zurücklegt. Bezeichnet  $t'$  die unter Zugrundelegung dieses Prinzips gemessene Zeit,  $s$  den in der Zeit  $t'$  zurückgelegten Weg,  $g$  die Fallbeschleunigung, so ist zu setzen  $s = gt'$ .

Nach dem gebräuchlichen Masssysteme, in dem die Zeit mit  $t$  bezeichnet werden möge, ist  $s = \frac{g}{2}t^2$ , woraus folgt  $t^2 = 2t'$ .

Für die Fallgeschwindigkeit  $v$  gilt  $v = gt = g\sqrt{2t'}$ .

Bei Einführung der Zeit  $t'$  fällt also die Gleichung für  $s$  einfacher, der Ausdruck für  $v$  dagegen weniger einfach aus als bei Benutzung der aus der Drehung der Erde abgeleiteten Zeit. Was in der überlieferten Mechanik gleichförmig beschleunigte Bewegung genannt wird, wird dann zur gleichförmigen Bewegung.

Die Zeitmessung mit Hilfe des der Fallbewegung entnommenen Masssystemes würde freilich zu wenig mit unserer Schätzung der Gleichheit von Zeiträumen übereinstimmen. Vielleicht würde sich aber ein Zeitmass finden lassen, das auf ganz anderer Grundlage als das tatsächlich benutzte beruhte, aber den praktischen Bedürfnissen ebenso gut wie dieses genüge.

Bedienen wir uns der aus der Erdbewegung abgeleiteten Art der Zeitmessung, so führt die Beobachtung der Natur uns zu dem Trägheitsgesetze. Dieses Gesetz fassen wir als allgemeines Prinzip auf, nach dem die Erde eine gleichförmige Drehung ausführen muss bezw. eine etwa beobachtete Abweichung von derselben als Wirkung einer Kraft zu erklären ist.

Nachdem wir zu diesem Standpunkte gelangt sind, können wir als eigentliche Grundlage für die Definition der Gleichheit von Zeiträumen nicht die Achsendrehung der Erde annehmen, mögen wir auch aus dieser die praktisch benutzte Zeiteinheit entnehmen, denn die einem allgemeinen Naturgesetze zugrunde liegende Art der Zeitmessung kann nicht aus einem besonderen Falle dieses Gesetzes abgeleitet werden, sondern muss von demselben völlig unabhängig sein.

Es bieten sich nun für die Gewinnung eines Zeitmasses und die Benutzung desselben unter Verwertung des Trägheitsgesetzes zwei Wege dar. Man kann entweder ein Zeitmass so festsetzen, dass es das Trägheitsgesetz nicht voraussetzt, aber zu ihm passt, oder das Trägheitsgesetz selbst, anstatt es aus der Erfahrung herzuleiten, als Definition betrachten. Beide Wege sind eingeschlagen worden, und es besteht noch keine Uebereinstimmung darüber, welcher von ihnen den Vorzug verdient.

Die Definition der Gleichheit von Zeitabschnitten durch die Trägheitsbewegung findet sich z. B. bei Maxwell<sup>1)</sup>, der für gleich solche Zeiten erklärt, in denen von zwei in Beziehung aufeinander in Bewegung befindlichen Körpern, die nicht aufeinander wirken und auf welche auch kein anderer Körper wirkt, der eine gegen den anderen um gleiche Strecken verschoben wird.

Gebräuchlicher ist es, die Zeitmessung auf die auch bei den Instrumenten zur Zeitmessung benutzte Annahme zu gründen, dass identische Vorgänge an Körpern in gleichen Zeiten verlaufen. Diese Methode wird im Anschlusse an d'Alembert und Poisson eingehend von Streintz<sup>2)</sup> besprochen.

Die Wahrheit des Grundsatzes, dass völlig gleiche physikalische Vorgänge sich in gleichen Zeiten abspielen, ist nicht in Zweifel zu ziehen, aber der Satz erscheint deswegen ungeeignet zur Gewinnung einer Definition gleicher Zeiträume, weil zum Begriffe identischer Naturvorgänge schon gehört, dass sie gleiche Zeit in Anspruch nehmen. Zwei Vorgänge, die verschiedene Dauer haben, im übrigen aber völlig gleich sind, können nicht als identisch bezeichnet werden. Aufeinanderfolgende Bewegungen eines frei fallenden Körpers durch gleiche Strecken sind nach unserer Auffassung verschiedene Vorgänge, aber wir müssten sie als identisch be-

<sup>1)</sup> Substanz und Bewegung. Uebersetzt von Fleischl (Braunschweig 1879) 35.

<sup>2)</sup> Die physikalischen Grundlagen der Mechanik (Leipzig 1883) 83 ff.

trachten, wenn wir nicht Grund hätten, die Zeiten, in denen die gleichen Strecken durchlaufen werden, als ungleich anzusehen.

Die Definition der Gleichheit von Zeitabschnitten mit Hilfe der Trägheitsbewegung verdient also den Vorzug. Sie steht auch in Uebereinstimmung mit unserem Zeitbewusstsein. Zwar können wir, wie die Erfahrung lehrt, im allgemeinen das Verhältnis zweier Zeiträume durch Schätzung allein nicht mit genügender Sicherheit beurteilen. Es ist aber nicht richtig, wie Poincaré<sup>1)</sup> es tut, unser Bewusstsein als Hilfsmittel überhaupt zu verwerfen. Wir können vielmehr kleine Zeiträume mit ziemlich grosser Genauigkeit abschätzen, wie z. B. die Möglichkeit des Takthaltens beim Musizieren lehrt. Dies könnte dazu führen, als identische zur Bestimmung gleicher Zeiten geeignete Vorgänge solche anzusehen, die nach unserer Schätzung in gleichen Zeiten zu verlaufen scheinen und im übrigen völlig übereinstimmen. Dieser Weg erscheint als Mittel zur praktischen Zeitmessung brauchbar, liefert aber keine exakte Bestimmung des Begriffes gleicher Zeiten.

Die Relativitätstheorie kann, wenn sie auch den Zeiträumen keine absolute Grösse zuschreibt, doch den Begriff gleicher Zeiten nicht entbehren. Sie muss auch die relativ gemessene Zeit in eine Reihe gleicher Zeitabschnitte zerlegen.

Die aus der Trägheit hergeleitete Definition der Zeitgleichheit kann nun nach der Relativitätstheorie zunächst nur für eine Trägheitsbewegung selbst, und zwar nur für aufeinanderfolgende Teile derselben Bewegung gelten. Es ist scheinbar leicht, sie auf einen beliebigen anderen Vorgang zu übertragen, indem Zeiten, in denen Teile dieses Vorganges verlaufen, als gleich angenommen werden, wenn zwischen Zeitpunkten, die mit ihren Anfangs- und Endpunkten zusammenfallen, einer von zwei sich selbst überlassenen Körpern gegen den anderen gleiche Wege zurücklegt. Dies ist aber nach der Relativitätstheorie nicht ohne weiteres möglich, weil nach ihr von einer absoluten Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse, die an verschiedenen Körpern geschehen, nicht gesprochen werden kann, sondern zwei Ereignisse gleichzeitig oder nicht gleichzeitig sein können, je nachdem sie auf den einen oder anderen Körper bezogen werden.

Nun liegt es nahe, die Einteilung der Dauer eines beliebigen Vorganges in gleiche Abschnitte mit Hilfe einer Trägheitsbewegung vorzunehmen, die ein Körper gegen das System, auf das der einzuteilende Vorgang bezogen wird, ausführt. Auf diese Weise würde man zu einer eindeutigen Bestimmung zusammenfallender Zeitpunkte der beiden Vorgänge gelangen können. Diese Methode versagt aber, da im allgemeinen nicht angenommen werden kann, dass das benutzte Bezugssystem den Bedingungen einer

---

<sup>1)</sup> Der Wert der Wissenschaft, übersetzt von E. Weber (2. Aufl. Leipzig 1909) 28.

Trägheitsbewegung genügt, die in der existierenden Welt in voller Strenge überhaupt nicht erfüllt sind<sup>1)</sup>. Man müsste also, wenn es nicht möglich ist, das gleiche Bezugssystem zu benutzen, die Geschwindigkeit der beiden Bezugssysteme gegen einander in Rechnung ziehen.

Nun kann aber eine Geschwindigkeit nur durch Benutzung des Begriffes gleicher Zeiten bestimmt werden. Die durch die Trägheit gebotene Definition der Gleichheit von Zeiten müsste also nach der Relativitätstheorie den zu definierenden Begriff voraussetzen.

Ohne Schwierigkeit gelingt die Definition gleicher Teile eines beliebigen Zeitraumes unter Annahme der Relativitätstheorie, wenn man Vorgänge, die in Bezug auf das System, auf das der zu teilende Zeitraum bezogen wird, identisch sind, zu Hilfe nimmt. Dieser Art der Definition gleicher Zeiten stehen aber, wie schon hervorgehoben wurde, grundsätzliche Bedenken entgegen.

Die Relativitätstheorie ist also jedenfalls mit logischen Schwierigkeiten behaftet, deren Beseitigung sie versuchen muss, wenn sie sich behaupten will.

Die Messung von Längengrößen bietet nach der Relativitätstheorie keine Schwierigkeit, da die Definition gleicher Längen, nicht wie die gleicher Zeitgrößen, auf einer Bewegung, sondern auf einem Ruhezustande beruht, und die bei der Messung als gleich festzustellenden Längen stets auf das gleiche System bezogen werden können.

## II.

Die Relativitätstheorie lehrt, dass der Zeit, die zwischen zwei Ereignissen liegt, nicht eine bestimmte Grösse beizulegen ist, sondern ihr Wert von dem räumlichen Systeme, auf das die Ereignisse bezogen werden, abhängt, und zwar für zwei Bezugssysteme, zwischen denen eine Bewegung stattfindet, verschieden ist, und Entsprechendes soll für den räumlichen Abstand zweier Punkte gelten. Diese Behauptung kann einen zweifachen Sinn haben.

<sup>1)</sup> Hieraus folgt keineswegs, dass diese Bewegung als Grundlage für die Bestimmung der Zeit unbrauchbar ist. Man muss wohl zwischen den Schwierigkeiten praktischer Anwendung eines Zeitmessungsprinzips und begrifflicher Unzulänglichkeit desselben unterscheiden. Man kann durch sich wechselseitig ergänzende theoretische Erwägungen und Beobachtungen der Natur zu einer Art der Zeitmessung gelangen, die mit genügender Annäherung der Definition gleicher Zeiten durch die nur in einer idealen Welt zu verwirklichende Trägheitsbewegung entspricht. Praktisch brauchbar ist auch die vom logischen Standpunkt aus nicht einwandfreie Methode, welche von identischen Vorgängen ausgeht. Man kann ausreichende Gründe haben, zwei Vorgänge als völlig übereinstimmend anzusehen, auch ohne dass man vorher mit Hilfe eines von ihnen unabhängigen Zeitmasses feststellen konnte, dass sie von gleicher Dauer sind.

Sie kann bedeuten, dass die Punkte einer Strecke stets die gleiche Lage in Bezug aufeinander haben und die zwischen den Zeitpunkten zweier verschiedenen Ereignisse liegenden Zeitpunkte in jeder Beziehung um dieselben Zeiträume von einander entfernt sind, wie es vor Begründung der Relativitätslehre stets angenommen wurde, aber die Zahl der in einer gewissen Längen- oder Zeitgrösse enthaltenen Masseinheiten je nach der angewendeten Betrachtungsweise verschieden angenommen werden muss. Dies ist aber, wie aus den vorliegenden Darstellungen der Relativitätstheorie zu schliessen ist, nicht die von den Anhängern dieser Theorie vertretene Auffassung. Es ist auch nicht einzusehen, wie beispielsweise eine Vergrösserung des Gesamtmasses einer Strecke durch Verkleinerung der Masseinheit denkbar sein sollte, da doch auch die Masseinheit als gemessene Grösse aufgefasst werden kann und deshalb ihr Wert sich nur in gleichem Sinne wie der der Gesamtstrecke ändern könnte, also mit diesem vergrössert werden müsste.

Man muss also die Relativitätstheorie in dem Sinne verstehen, dass die Punkte einer als Ganzes nicht bewegten Strecke ihre Lage im Raume ändern, wenn man von einem Raumsysteme, auf das die Strecke bezogen ist, zu einem anderen Bezugssysteme übergeht, welches sich gegen das erstere bewegt, und dass unter gleichen Bedingungen eine entsprechende Aenderung in der Grösse der Teile eines Zeitabschnittes stattfindet.

Um die Grösse einer solchen Aenderung auszudrücken, ist eine konstante Masseinheit erforderlich. Eine in gleichem Verhältnisse wie die zu messende Grösse veränderliche Masseinheit würde nicht verschiedene, sondern konstante Masszahlen ergeben. Wo aber sollen wir eine solche konstante Einheit finden? Nach der Relativitätstheorie gibt es keine absoluten Raum- und Zeitgrössen. Sie kennt nur Beziehungen zwischen den Werten, die einer dieser Grössen, wenn sie verschiedenen Bezugssystemen zugeordnet sind, beizulegen sind. Es ist sinnlos, wenn die Relativitätstheorie z. B. mit Sekunden rechnet. Wie die Zeit- und Längengrössen im allgemeinen müssen auch die Einheiten des Zeit- und Längenmasses veränderlich sein.

Nun könnte man daran denken, alle Zeit- und Längenangaben auf das gleiche Raumsystem zu beziehen, so grosse praktische Schwierigkeiten dies auch bieten möchte. Aber auch auf diese Weise kommt man nicht zum Ziele. Die Relativitätstheorie gibt wohl das Verhältnis der Zeit- und Längeneinheiten für zwei verschiedene Bezugssysteme an, aber sie bietet keine Definition der für ein bestimmtes Bezugssystem geltenden absoluten Masseinheiten.

### III.

Gegen die Relativitätslehre sprechen noch weitere Gründe, die, wenn sie auch vielleicht nicht alle unbedingt zur Ablehnung der Theorie nötigen, doch jedenfalls deren Geltung unwahrscheinlich machen.

Wenn je nach den Umständen zwei Ereignisse gleichzeitig oder nicht gleichzeitig sind und die Endpunkte zweier Strecken, die in einer geraden Linie liegen, zusammenfallen oder nicht, so heisst das nichts anderes, als dass wir der gleichen Grösse einmal den Wert Null, ein anderes Mal einen endlichen Wert beilegen müssen. Was wir, auf ein Raumsystem bezogen, als eine Linie von messbarer Ausdehnung ansehen, schrumpft in anderer Beziehung zu einem ausdehnungslosen Punkte zusammen. Ob dieses Ergebnis der Relativitätstheorie noch mit einer realistischen Weltauffassung vereinbar ist, erscheint doch fraglich. Geysler<sup>1)</sup> glaubt freilich zwischen der Leugnung einer standpunktfreien Wirklichkeit überhaupt und der Annahme der Unmöglichkeit, sie anders als relativ zu bestimmen, unterscheiden zu können, und findet nur die letztere in der Relativitätslehre ausgesprochen. Wenn man aber etwas in einer Beziehung als ein ausser uns existierendes Ding, in anderer Beziehung dagegen als ein Nichts betrachtet, so liegt darin doch wohl mehr als eine Annahme über die Grenzen unserer Naturerkenntnis. Unser messendes Verfolgen der Naturerscheinungen hat doch jedenfalls den Zweck, uns Kunde von objektiver Wirklichkeit zu geben, und wenn eine Messung nichts über das Dasein eines Objektes andeutet, das eine andere Messung erkennen lässt, nicht etwa weil die erstere Messung wegen der Verhältnisse, unter denen sie ausgeführt wird, erfolglos bleiben muss, wie die Beobachtung eines durch einen undurchsichtigen Körper verdeckten Gegenstandes durch das Auge, sondern weil für sie überhaupt kein Objekt vorhanden ist, so dürfte nicht mehr behauptet werden können, dass beide Messungen richtige Ergebnisse liefern, es sei denn, dass man vom Bewusstsein unabhängige Realitäten nicht gelten lassen will.

Die Relativitätstheorie sagt nur etwas aus über die Zeit, soweit sie in Beziehung zu Orten oder körperlichen Vorgängen steht, nicht aber über die Zeit, in der sich Bewusstseinsvorgänge abspielen. Inhalte des Bewusstseins können nicht auf ein Raumsystem bezogen werden, also kann auch für sie das Relativitätsprinzip nicht gelten. Wir ordnen aber das, was in unserem Bewusstsein vorgeht, und die Erscheinungen, die wir mit den Sinnen wahrnehmen, in dieselbe Zeit ein, und die Dauer von Bewusstseinsinhalten muss in Beziehung zur Dauer von Vorgängen in der Körperwelt gesetzt werden können. Wie aber soll dies möglich sein, wenn die Zeitdauer der an körperlichen Gegenständen beobachteten Erscheinungen von ihren räumlichen Beziehungen abhängt?

Auf eine ähnliche Schwierigkeit stösst man beim Begriffe der Gleichzeitigkeit, der seinen Ursprung in der verschiedenen Art des Erlebens von einander getrennter Bewusstseinsinhalte hat. Was wir gleichzeitig wahrnehmen, sehen wir als gleichzeitig an, bis wir Gründe für die gegenteilige

<sup>1)</sup> Allgemeine Philosophie des Seins und der Natur (Münster 1915) 356.

Annahme haben. Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse ausserhalb unseres Bewusstseins bedeutet die Möglichkeit ihrer gleichzeitigen Wahrnehmung, aber nicht eine subjektive Möglichkeit, die beim Wahrnehmenden liegt, sondern eine durch die wahrzunehmenden Objekte selbst begründete Möglichkeit.

Der Gleichzeitigkeitsbegriff der Relativitätstheorie, der für Ereignisse in der Körperwelt ausschliesslich gelten soll, hat keine Beziehung zu dem Begriffe der Gleichzeitigkeit von Bewusstseinsinhalten. Wir kommen also nicht ohne den Begriff einer absoluten Gleichzeitigkeit, der auch für die Körperwelt Gültigkeit hat, aus, denn die objektive Möglichkeit gleichzeitiger Wahrnehmung kann nicht von der Benutzung des einen oder des anderen Bezugssystemes abhängen.

Auch die aus der Relativitätstheorie zu ziehende Folgerung, wonach für die Geschwindigkeit eines Körpers eine durch die Lichtgeschwindigkeit gegebene obere Grenze besteht, ist schwer annehmbar. Es erscheint bedenklich, daraus, dass gewisse mathematische Formeln, die eine noch nicht sichere physikalische Theorie darstellen, sinnlos werden, wenn das Verhältnis zweier in ihnen vorkommender Grössen gewisse Werte annimmt, zu schliessen, dass diese Werte in der Natur nicht vorkommen können, wenn keinerlei durch die Erfahrung gebotene Anzeichen dafür vorliegen, dass zwischen den betreffenden Grössen irgend welche Beziehungen bestehen.

Man könnte ebenso gut noch einen Schritt weitergehen und annehmen, dass, wenn ein Körper die Lichtgeschwindigkeit erreicht, die Kraft, die dem Körper die dazu notwendige Beschleunigung erteilen könnte, eine Vernichtung der Materie bewirke.

Weit näher läge es aber, daraus, dass keine aus physikalischen Beobachtungen oder Theorien über die Bewegung von Körpern geschöpften Gründe vorliegen, welche für eine Beziehung der Bewegung eines Körpers zur Lichtgeschwindigkeit sprechen, zu folgern, dass die Relativitätstheorie nicht zutreffe.

#### IV.

Alle Schwierigkeiten, die mit der Relativitätstheorie verbunden sind, verschwinden, sobald man sie als eine Konvention betrachtet, welche nur den Zweck hat, die mathematische Behandlung gewisser physikalischer Probleme zu erleichtern und zu vereinfachen.

Das Relativitätsprinzip ist aus der Forderung abgeleitet, dass die Lichtgeschwindigkeit dieselbe ist, mag sie auf ein mit der Lichtquelle fest verbundenes oder auf ein gegen diese gleichförmig bewegtes System bezogen werden. Wenn vorausgesetzt wird, dass das Licht eine Wellenbewegung des Aethers ist, und dass dieser an der Bewegung der Erde nicht teilnimmt, so wird man zu der Annahme genötigt, dass das Licht, während es sich von einem Punkte zu einem anderen fortpflanzt, inbezug auf die Lichtquelle einen anderen Weg zurücklegt als inbezug auf einen gegen die Lichtquelle gleichförmig bewegten Körper. Wenn man die Zeit



für die beiden gegen einander bewegten Bezugssysteme mit dem gleichen Masse misst, so ergeben sich verschiedene Geschwindigkeiten des Lichtes inbezug auf die beiden Systeme, weil für beide das Verhältnis der Masszahl des zurückgelegten Weges zur Masszahl der Zeit, in der der Weg zurückgelegt wird, verschieden ist. Nun kann man aber, da alle Zeitmessung auf Uebereinkunft beruht, gleiche Geschwindigkeiten für beide Bezugssysteme schaffen, indem man festsetzt, dass der Zeit, wenn die Geschwindigkeit des Lichtes inbezug auf das mit der Lichtquelle fest verbundene System bestimmt wird, eine andere Masszahl beigelegt werden soll als bei Angabe der Geschwindigkeit inbezug auf das gegen die Lichtquelle bewegte Raumsystem. Man kann dann beide Geschwindigkeiten ebenso gut wie bei der Wahl des gleichen Zeitmasses für beide Bezugssysteme mit einander vergleichen, wenn man das Verhältnis der beiden benutzten Masseinheiten kennt.

Nach der Relativitätslehre werden also diejenigen Zeiten gleich genannt, in denen das Licht inbezug auf zwei gegeneinander bewegte räumliche Systeme gleiche Wege zurücklegt. Dies kann aber in verschiedener Weise durchgeführt werden.

Es kann das früher allen physikalischen Betrachtungen zugrundegelegte absolute Längenmass beibehalten und nur ein neues Zeitmass eingeführt werden, indem, wenn in üblicher Weise mit  $c$  die Lichtgeschwindigkeit, mit  $v$  die Geschwindigkeit der Bewegung des einen Bezugssystemes gegen die Lichtquelle, mit  $x, y, z$  die Koordinaten des fest mit der Lichtquelle verbunden gedachten Systems, mit  $x', y', z'$  die des anderen Systems, mit  $t$  und  $t'$  die entsprechenden Zeiten bezeichnet werden, gesetzt wird:

$$\begin{aligned} 1) \quad x' &= x - vt, \\ y' &= y, \\ z' &= z. \end{aligned}$$

Zwischen  $t'$  und  $t$  besteht dann die Beziehung

$$2) \quad t' = \sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2} - \frac{2vxt}{c^2}}.$$

Diese Gleichung drückt ebenso wie die Theorie von Einstein ein Relativitätsprinzip aus, das nur für die Physiker keinen Wert besitzt.

Man benutzt deshalb an seiner Stelle ein zweckmässigeres, nach welchem auch dem Abstände zwischen zwei Punkten ein je nach dem Bezugssysteme verschiedener Wert beigelegt wird, sodass die Gleichheit der vom Lichte inbezug auf zwei gegeneinander bewegte Raumsysteme zurückgelegten Wege, welche die Gleichheit von Zeiträumen inbezug auf die beiden Systeme bestimmt, ebenfalls als eine relative angenommen wird.

E. Becher<sup>1)</sup> will die Relativitätstheorie nicht als konventionell gelten lassen, weil eine echte Konvention der Erfahrung nicht widersprechen könne, die Relativitätslehre aber empirisch prüfbare Behauptungen über

<sup>1)</sup> Weltgebäude, Weltgesetze und Weltentwicklung (Berlin 1915) 202 ff.

Tatsachen aufstelle, indem sie fordere, dass das Licht einer relativ zur Erde ruhenden und dasjenige einer relativ zu ihr bewegten Lichtquelle sich relativ zur Erde gleich schnell fortpflanzen.

Diese Auffassung erscheint irrig. Wenn man die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit als erwiesen ansieht und das Licht als eine Wellenbewegung des Aethers betrachtet, so ist man dadurch noch keineswegs zur Annahme der Relativitätstheorie genötigt. Vor allem aber besteht kein Zwang, den Gleichungen, die Einstein für das Relativitätsprinzip aufgestellt hat, zuzustimmen. Man kann vielmehr den Gleichungen für die Koordinaten im „gestrichenen“ Systeme eine beliebige Form vorschreiben und dann aus der Bedingung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit die entsprechende Gleichung für  $t^1$  ableiten.

Nimmt man z. B. für die Koordinaten  $y, z, y'$  und  $z'$  mit Einstein die Beziehungen  $y = y'$  und  $z = z'$  an und verbindet die Koordinaten  $x$  und  $x'$  durch die Beziehung

$$3) x' = f(x, t, v),$$

worin  $f$  eine beliebige Funktion bezeichnet, die nur an die Bedingung geknüpft ist, dass sie für  $x'$  die Dimension einer Länge ergeben muss, so erhält man

$$4) t^1 = \frac{\sqrt{[f(x, t, v)]^2 - x^2 + c^2 t^2}}{c}$$

Dass die Formeln von Einstein sinnlos werden, wenn darin  $v > c$  gesetzt wird, beruht nicht auf einer physikalischen Notwendigkeit, sondern es ist rein zufällig, dass die Relativitätsgleichungen, die für die Physik am besten brauchbar sind, nur beschränkt anwendbar sind. Die Gleichungen 1) und 2) behalten ihre Geltung für beliebige Werte von  $v$ , und auch wenn man sie als Aussagen über allgemeine Beziehungen zwischen Zeit- und Längengrößen deuten wollte, könnte man aus ihnen nicht das Bestehen einer oberen Geschwindigkeitsgrenze herauslesen. Es ist aber leicht, Formeln für  $x'$  und  $t'$  aufzustellen, die schon für Werte von  $v$  versagen, welche nur einen Bruchteil der Lichtgeschwindigkeit betragen. Man könnte z. B.

$$5) t' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

und dementsprechend

$$6) t^1 = \frac{(t - \frac{v^2}{c^2} x)^2 - \frac{1}{2}(t^2 - \frac{x^2}{c^2})}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

setzen. Man kann für alle Naturgesetze ganz beliebige Ausdrücke erhalten, wenn man für die Angabe von Längen- und Zeitgrößen entsprechende Formen festsetzt. Alle diese willkürlich gewählten Formen sind aber nur Hilfsmittel für die Darstellung eines einzelnen Naturgesetzes, die allerdings möglicherweise auch für die Wiedergabe anderer Naturgesetze zweckmässig

sind, dürfen indessen nicht als Quelle von Erkenntnissen über solche Naturerscheinungen behandelt werden, über deren Zusammenhang mit dem Naturgesetze, für welches die gewählten Darstellungsformen bestimmt sind, wir aus der Erfahrung noch nichts wissen. Es bedeutet eine Verkennung des Verhältnisses zwischen Naturbetrachtung und Wirklichkeit, wenn man, anstatt das Verhalten der Formeln der Relativitätstheorie als eine natürliche Folge der Willkür ihrer Aufstellung hinzunehmen, die durch die Theorie ausgedrückten Beziehungen als allgemein gültige Wahrheiten betrachtet.

## V.

Die allgemeine Relativitätstheorie Einsteins bedeutet insofern eine Weiterentwicklung der speziellen Relativitätslehre, als sie ebenfalls absolute Zeit- und Raumgrössen nicht anerkennt, sagt aber nichts Bestimmtes über die Beziehungen dieser Grössen aus. Einstein<sup>1)</sup> spricht, um ein anschauliches Bild seiner Theorie zu geben, von einem nicht starren Bezugskörper, der während seiner Bewegung beliebige Gestaltsänderungen erleidet, und einer Zeit, zu deren Definition Uhren mit ganz beliebigem unregelmässigem Ganggesetze dienen, welche an je einem Punkte des nicht starren Bezugskörpers befestigt zu denken sind und nur die eine Bedingung zu erfüllen brauchen, dass die gleichzeitig wahrnehmbaren Angaben örtlich benachbarter Uhren unendlich wenig voneinander abweichen, bezeichnet aber die formale Wahrung der Sonderexistenz der Zeitkoordinate als eigentlich unberechtigt.

Unter den vier „Koordinaten“ der allgemeinen Relativitätstheorie braucht sich zwar nicht die Zeit zu befinden, aber wenigstens eine der Koordinaten muss eine Funktion der Zeit sein, wenn die mit Hilfe der Koordinaten gegebene Darstellung als Bild der von uns erkannten Wirklichkeit gelten soll. Dies kann nur dann bestritten werden, wenn man die Realität der Zeit leugnet.

Der allgemeinen Relativitätstheorie entspricht die Annahme, dass für Raumteile und Zeiten von begrenzter (unendlich kleiner) Ausdehnung die spezielle Relativitätstheorie, d. h. das Relativitätsprinzip von Einstein oder ein ähnliches gilt. Die Bedenken, welche sich gegen die spezielle Relativitätstheorie erheben, lassen sich also auf die allgemeine ausdehnen.

Die Relativitätstheorie hat sich wohl zweifellos als ein wertvolles Hilfsmittel der mathematischen Physik erwiesen. Als solches ist sie etwa auf eine Stufe mit gewissen für einzelne Rechnungen besonders geeigneten Koordinatensystemen oder unendlichen Reihen zu stellen. Ueber ihre Brauchbarkeit zu diesem Zwecke haben, ebenso wie über die Tauglichkeit eines physikalischen Beobachtungsinstrumentes, ausschliesslich die Physiker zu entscheiden. Dies gilt aber nicht, soweit die Relativitätstheorie allgemeine Wahrheiten über Raum und Zeit darbieten will. Letzteres kann nur Aufgabe der philosophischen Betrachtung sein, die allerdings bei der physikalischen Forschung wertvolle Unterstützung finden kann, aber gegenüber dieser ihre Selbständigkeit wahren muss.

<sup>1)</sup> Ueber die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (Braunschweig 1917) 66 f.