Zeitschrift: Divus Thomas

Band: 9 (1922)

Artikel: Die Einsteinische Relativitätstheorie und ihre philosophische Beleuchtung nach thomistischen Prinzipien

Autor: Schneider, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-762446

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

DIE EINSTEINSCHE RELATIVITÄTSTHEORIE UND IHRE PHILOSOPHISCHE BELEUCHTUNG NACH THOMISTISCHEN PRINZIPIEN.

Theologische und philosophische Kreise beschäftigen sich, von Ausnahmen abgesehen, nicht mehr viel mit physikalischen und mathematischen Experimenten, Gesetzen und Gleichungen. Ist es also nicht ein Wagnis, wenn der „Divus Thomas" im folgenden seinen verehrten Lesern solche Stoffe zum Studium vorlegt? Schon das aufmerksame Durchgehen des vorbereitenden Kapitels wird uns zur Überzeugung führen: die wissenschaftliche Ehre der wahren Philosophie und der katholischen Theologie, deren Bekenner und Vertreter wir sind, verlangt es, und unsere Pflicht, zweifelnden Seelen richtig zu raten, gefährdete sicher zu führen, nötigt uns, nicht zu sorglos an der Einsteinschen physikalischen Relativitätstheorie vorbeizugehen und nicht unbesehen über dieselbe zu urteilen.

Das vorbereitende Kapitel zeigt nämlich, wie stark sich verschiedenste Autoren mit dieser Relativitätstheorie beschäftigen; wie ungemein tief verschiedene ihrer Postulate, Thesen, Resultate und Konsequenzen das Geistesleben eines großen Teiles der Studierenden in bezug auf die Fragen der Erkenntniskraft und Erkenntnissicherheit aufwühlen müssen und bei unrichtiger Darbietung geeignet sind, das Seelenleben mancher zu erschüttern und den Glauben an gesicherte Wahrheiten zu unterwühlen. Das überlegende Lesen der verschiedenen Aussprachen soll aber nicht nur den Eindruck und die Erwartungen zum Bewußtsein bringen, den die Relativitätstheorie Einsteins als Ganzes oder durch einzelne Teile bei den betreffenden Verfassern hervorbrachte, sondern es soll zugleich das nicht mehr an Physikalisches und Mathematisches angepaßte oder gewöhnte Denken auf praktische Art fesseln und zu einiger Arbeit auf diesen Gebieten vorbereiten.

Im zweiten Kapitel stellen wir die Grundlagen und wichtigsten Gesetze der bisherigen sogenannten klassischen Mechanik zusammen.

Im dritten Kapitel legen wir zuerst das Relativitätsprinzip der klassischen Mathematik und daran anschließend die Veranlassung und Gestaltung der speziellen Relativitäts-

theorie von Einstein samt einer Reihe wichtigster Folgerungen dar.

Im vierten Kapitel folgt eine gedrängte Darstellung der allgemeinen Relativitätstheorie Einsteins ohne mathematischen Apparat, aber eingehenderer Ausführung solcher neuen Lehren und Konsequenzen, mit welchen die Philosophie sich zu beschäftigen hat.

Im fünften Kapitel besprechen wir die auffallendsten physikalischen Erfolge und Bestätigungen der Einsteinschen Relativitätstheorien.

Das sechste Kapitel wird der philosophischen Beleuchtung und Kritik gewidmet sein.

I.

Aussprachen verschiedener Autoren bezüglich der Einsteinschen Relativitätstheorien oder einzelner ihrer Sätze.

A) Wir beginnen mit Ausführungen von Dr. Otto Siebert, der durch ein Schulblatt-Referat einen Teil der deutschen Lehrerschaft mit den Postulaten und Lehren Einsteins bekannt machte. Seine separate Schrift[1] darüber war in wenigen Monaten vergriffen.

Dr. Siebert schreibt:

«Zu den bedeutendsten Forschern der Gegenwart auf physikalischem Gebiete gehört unstreitig der Berliner Gelehrte Albert Einstein. Einsteins Untersuchungen haben in allen Kreisen das größte Aufsehen erregt. Leider aber sind sie für viele viel zu schwierige Kapitel, als daß sie sich ohne Hilfsmittel in ihnen zurechtfinden könnten. Wenn sich Einsteins Theorien experimentell weiter erhärten lassen, würden seine Untersuchungen zu den bedeutendsten wissenschaftlichen Entdeckungen der Neuzeit gehören, so daß jeder Gebildete über ihre Hauptmomente unterrichtet sein muß. Diese kleine Einführung möchte manchem Suchenden dazu behilflich sein.

Einstein unterscheidet bei seinen Untersuchungen die spezielle von der allgemeinen Relativitätstheorie .....

[1] Einsteins Relativitätstheorie und ihre kosmologischen und philosophischen Konsequenzen, von Dr. Otto Siebert, zweite unveränderte Auflage, Langensalza 1921. (Fried. Manns Pädagogisches Magazin, Nr. 823.)

Wir halten uns bei unserer Darstellung vor allem an die in Viewegs Sammlung „Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik“ von Einstein verfaßte Schrift „Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie“, von der er selbst im Vorwort sagt, daß ihr Studium etwa „Maturitätsbildung“ voraussetze, dabei freilich auch „viel Geduld und Willenskraft beim Leser“ verlange. Letzteres ist unzweifelhaft richtig, ersteres eine etwas kühne Behauptung. Ich habe Einsteins Buch einem Superintendenten, einem Gymnasialdirektor, einem Sanitätsrat, einem „gewöhnlichen“ Arzt, einem Oberingenieur und einem (keineswegs „neupreußischen“) höheren Verwaltungsbeamten zum Studium gegeben und sie um ihr Urteil gebeten; sie gaben mir das Buch zurück mit einem „Ignoramus“: „Das verstehen wir nicht!“ Jedenfalls bleibt ohne eine entsprechende Einführung das Studium der Einsteinschen Werke unfruchtbar (p. 7 f.).

Wir haben gesehen, daß die Einsteinschen Untersuchungen, über deren Richtigkeit im einzelnen zu entscheiden wir der weiteren Arbeit der physikalischen Naturforschung überlassen müssen, ihre weitestgehende Bedeutung haben. Die enge Verknüpfung von Raum und Zeit und beider mit der Materie sowie der Nachweis der Undarstellbarkeit des Weltbildes durch die euklidische Geometrie sind nicht bloß für die Physik, sondern auch für die Philosophie von Wert und Wichtigkeit. Wenn wir darum auch nicht in das Horn derer stoßen, die Einsteins Relativitätslehre die größte Entdeckung des menschlichen Geistes seit Jahrhunderten nennen, so daß alle Grundprinzipien von Kepler bis Newton über den Haufen geworfen wären, so ist doch nicht zu leugnen, daß wir in Einstein heute einen Forscher ersten Ranges besitzen. Seine mühselige Arbeit bleibt eine wissenschaftliche Tat auch dann, wenn das Experiment seinen Untersuchungen nicht folgen, ihnen möglicherweise gar hier und da widersprechen sollte. Daneben hat Einsteins Arbeit auch noch eine zweite Bedeutung. Die naturalistische Weltauffassung ist immer im Brustton höchster Unfehlbarkeit aufgetreten und ganz besonders ist das in der Neuzeit der Fall gewesen — man denke nur an Ernst Häckel! — und wehe dem, der es wagte, diese Unfehlbarkeit anzuzweifeln. Er kam gewöhnlich unter die Dunkelmänner oder wohl

gar Idioten. Was hätte man noch vor wenig Zeit einem Menschen gesagt, der das kopernikanische Weltsystem bezweifelt hätte! Einstein hat mit dazu beigetragen, diesen Dogmatismus der modernen Zeit zu überwinden. Wenn Einstein nichts weiter erreicht haben würde, als daß er gezeigt hätte, wie schließlich alles nur relativ, d. h. verhältnismäßig gültig ist, so daß alles auf den Standpunkt des Beobachters und auf den Vergleich mit anderem ankommt, daß es aber absolute Erkenntnisse, d. h. Erkenntnisse, an denen nicht zu rütteln und zu rühren ist, nicht gibt, dann hätte Einstein der Forschungsarbeit den größten Dienst erwiesen, den es gibt. Unser Wissen ist Stückwerk und unser Weissagen ist Stückwerk! Hier schauen wir immer „durch einen Spiegel in einem dunklen Wort". Um so mehr aber sollen wir ringen und streben, um das Dunkel zu erhellen und der Wahrheit, wenn wir sie mit unserem Menschenverstande auch niemals ganz erkennen werden, doch mehr und mehr nahe zu kommen. Die Naturwissenschaft forsche in dem ihr zugewiesenen Gebiete, das Zeit und Raum nach Einsteins Auffassung begrenzt und sie wird auch in Zukunft Großes leisten; die Spekulation aber überlasse sie getrost der Philosophie, die sich der Schranken menschlicher Erkenntnis immer bewußt war und auch weiter bewußt bleiben wird» (p. 43 f.).

B. Manches zusammenfassend bringt folgende Stelle von Dr. Ilse Schneider aus einer ebenfalls neuesten Schrift[1], die Kant für Einstein retten will.

«Der Michelsonsche Versuch wird mit Recht der Fundamentalversuch der Relativitätstheorie genannt, denn er wurde mit außerordentlicher Gewissenhaftigkeit und in sehr großen Dimensionen ausgeführt, so daß sich eine ganz erhebliche Verschiebung hätte ergeben müssen (durch eingeschaltete reflektierende Spiegel wurde der zurückzulegende Weg für die Lichtstrahlen erheblich verlängert). Durch die Kontraktionshypothese ist das negative Ergebnis des Versuches zwar erklärt, aber durch eine ad hoc erfundene Hypothese, die den substantiellen Äther rettet, ohne eine Methode anzugeben, wie dies rätselhafte Medium nachweisbar sei.

[1] Das Raum-Zeit-Problem bei Kant und Einstein, von Dr. Ilse Schneider, Berlin (Verlag Springer) 1921.

„Was man messen kann, das existiert auch", sagt Plank, er meint für den Physiker. Die Umkehrung dieses Kriteriums ergibt für den Äther keine physikalische Existenzmöglichkeit.

Schon 1887 sagte Poincaré, daß der Äther eines Tages als unnütz verworfen werden würde, aber auch an diesem Tage die Gesetze der Optik und die Gleichungen, welche sie in die Sprache der Analysis übertragen, richtig bleiben würden, wenigstens als erste Annäherungen. Dieser Tag kam. Es war der 30. Juni 1905, an dem Einstein seine epochemachende Arbeit „Zur Elektrodynamik bewegter Körper" veröffentlichte. Er führt darin eine ganz neue Art der Zeitbestimmungen ein, eine Definition der Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse, durch die alle in Frage kommenden Experimente im Sinne des Relativitätsprinzips gedeutet werden. Erkenntnistheoretisch ist die kritische Untersuchung des Zeitbegriffs und der Nachweis seiner Abhängigkeit vom Raumbegriff von der allergrößten Bedeutung. „Absolute Gleichzeitigkeit" gibt es nicht mehr, durch Einsteins Analyse ist dieser Begriff — von falschen Vorurteilen gereinigt — ein für allemal aus der Physik verbannt.

Die Voraussetzungen, die Einstein macht, sind das Gesetz der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, das heißt die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers (auf Grund des Michelsonschen Versuches) und das Relativitätsprinzip als Forderung der Gültigkeit der elektromagnetischen und optischen Gesetze für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten. Die daraus entwickelte Theorie, die Einsteinsche Kinematik, erweist die Lorentzkontraktion als Ergebnis eines Beobachters, der von einem bewegten Bezugssystem aus betrachtet, für einen „mitbewegten", das heißt also im System des bewegten Körpers ruhenden Beobachter besteht keine Kontraktion.

Die so oft angezweifelte und doch unabweisbare Konsequenz der Relativitätstheorie ist, daß es für den Physiker keinen Sinn mehr hat, von der absoluten Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse zu sprechen. Zwei Uhren, die synchron sind, das heißt gleichbeschaffen im Gang und in der Zeigerstellung, in einem (berechtigten) System für

einen in diesem System ruhenden Beobachter, sind für einen zum System bewegten Beobachter nicht synchron. Ist das zweite System k' gegen das erste k mit der Geschwindigkeit v geradlinig in Richtung der positiven x-Achse bewegt, so gilt zwischen den Koordinaten dieser Systeme x, y, z, t und x', y', z', t' die sogenannte Lorentztransformation. Wie wir sehen, sind (bei dieser Wahl der Achsenrichtungen) nur die x-Koordinate und die Zeitkoordinate t von ihr betroffen, die übrigen gehen identisch in die gestrichenen Koordinaten über. In der x-Richtung und für die Zeitkoordinate ergeben sich andere Koordinatenlängen. Diese Transformation gilt für die Gesetze der Elektrodynamik und der Mechanik.

Die Folgerungen, die sich in bezug auf Raum und Zeit aus dieser Theorie ergeben, sind allerdings für den Augenblick befremdlich. Die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse auszusagen, ist nur sinnvoll, wenn wir auch über den Bewegungszustand der Systeme Bescheid wissen. Ja noch auffälliger: wenn von zwei Uhren, die gleich gerichtet waren, die eine in gleichförmiger Translation fortbewegt wird und dann ebenso zurückkehrt, so geht sie bei ihrer Ankunft im Anfangspunkt gegen die in Ruhe gebliebene nach. Die Abhängigkeit der physikalisch meßbaren Zeit vom Ort und dessen Bewegungszustand tritt hierin klar zutage. So und in keinem anderen Sinne sollte der so oft mißverstandene Satz Minkowskis: „Raum für sich und Zeit für sich sinken zu Schatten herab und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren", aufgefaßt werden. Diese Union ist notwendig, um einer Aussage über die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse physikalisch irgendeinen Sinn beilegen zu können. Der Bewegungszustand des Beobachters muß bekannt sein, wenn Zeitangaben seinerseits irgendwelchen Wert haben sollen. In mathematisch außerordentlich elegante Form hat Minkowski die Einsteinsche Theorie gekleidet, das „Weltpostulat", in dem sich die Union von Raum und Zeit ausspricht. Er ahnte nicht, daß auch diese Union keine „Selbständigkeit" bewahren sollte, daß die allgemeine Relativitätstheorie die Aufnahme eines dritten Begriffes, der Gravitation, in diese Verbindung erforderte.

Alle diese merkwürdigen Konsequenzen sind von den Physikern in Kauf genommen worden, weil sich auf

dem Boden der Relativitätstheorie alle physikalischen Erscheinungen ungezwungen deuten ließen. Außer den erwähnten Versuchen haben die Phänomene des Dopplereffektes, der Aberration und viele andere eine relativistische Erklärung gefunden, vor allem durch Planck, Sommerfeld, v. Laue und Einstein selbst. Die höchst bedeutsamen Konsequenzen für die theoretische und die Experimentalphysik, die sich aus den Einsteinschen Gedankengängen ergeben, sollen hier nicht erwähnt werden, es wäre dies doch nur in ganz beschränktem Maße möglich; auch würden sich daraus keine neuen Gesichtspunkte für die Lösung unserer Aufgabe ergeben» (p. 30 ff.).

C. Einen tiefen Blick in eine verwirrende Auffassung der Einsteinschen Lehren und in eine bedenkliche Geistesverfassung eines Unvorsichtigen gewährt folgender Passus. Er ist entnommen aus: „Die Naturwissenschaften. Wochenschrift für die Fortschritte der Naturwissenschaft, der Medizin und der Technik“ (Berlin, Springer. Heft vom 23. Dezember 1921) Er ist ein Teil aus der Antrittsvorlesung an der Universität Wien von Dr. Hans Thirring:

«Was zunächst die spezielle Relativitätstheorie anlangt, so erinnert sie in vieler Hinsicht eigentlich am meisten an die Thermodynamik. Hier und dort werden ein paar Erfahrungstatsachen in die Denkmaschine der Logik und Mathematik eingespannt und es werden die notwendigen Folgerungen aus den experimentell gegebenen Grundvoraussetzungen gezogen. Der Unterschied liegt nur darin, daß bei der Thermodynamik die Konsequenzen rein physikalischer Natur sind und innerhalb unserer alltäglichen Ideenwelt ohne weiteres verständlich sind. Die Relativitätstheorie ist hingegen revolutionär; die Folgerungen, die sich aus jenen Erfahrungstatsachen ergeben, die die Grundpfeiler dieser Theorie bilden, stoßen unsere geläufigen Denkgewohnheiten um. Der Sachverhalt ist kurz gesagt der folgende: Zwei Erfahrungstatsachen, die auf Grund zahlreicher Experimente als gesichert gelten können (man nennt sie das Relativitätsprinzip und das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit), widersprechen einander, solange man an den herkömmlichen Begriffen von Raum und Zeit festhält. Einstein legte nun dar, daß wir ja keineswegs ver-

pflichtet sind, an dieser Raum-Zeit-Auffassung wie an einer göttlichen Offenbarung festzuhalten und er zeigte nun, wie man diese Anschauungen modifizieren müsse, damit die beiden genannten Erfahrungstatsachen miteinander verträglich werden. Insofern also die spezielle Relativitätstheorie nichts anderes ist als der Inbegriff aller logischen beziehungsweise mathematischen Folgerungen aus zwei Erfahrungstatsachen, ist sie eine Wissenschaft vom Typus der Thermodynamik. Immerhin scheint mir aber die Tatsache, daß diese Folgerungen sich nicht allein auf physikalische Erscheinungen, sondern auch auf erkenntnistheoretisch wichtige Ideen und Tatsachen beziehen, so wichtig, daß dieser Theorie eine Sonderstellung einzuräumen ist.

Die allgemeine Relativitätstheorie stellt nun schon einen Teil jener Reformphysik dar, von der ich früher gesprochen habe; sie verwendet Begriffe, die dem Mathematiker zwar schon lange geläufig waren, dem Physiker hingegen etwas Neues sind. Sie enthält Ideen von weltumspannender Tragweite im wörtlichen Sinne und ihre Aufstellung ist, als reine Geistesleistung gewertet, eine ganz überragende Tat. Es ist zwar sehr schwer, vollkommen heterogene Geistestaten, wie die eines Künstlers, eines Gelehrten und eines Staatsmannes, gegeneinander abzuschätzen — bei der Relativitätstheorie haben wir es aber mit einer Geistesleistung von solcher Größenordnung zu tun, daß der für einen Gelehrten ganz ungewöhnliche Weltruf, den Einstein genießt, vollauf berechtigt ist und neidlos anerkannt werden sollte.»

II.

Grundlagen und Grundgesetze der Mechanik Galileis und Newtons, d. h. der klassischen Mechanik[1].

1. Der absolute Raum bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen Körper immer gleich und unbeweglich.

[1] Für eingehendes Studium besonders empfehlenswert: Elementares Lehrbuch der Physik. Nach den neuesten Anschauungen von Ludwig Dressel S. J. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage besorgt von Prof. Josef Paffrath S. J., Freiburg i. Br. 1913.

2. Der absolute Raum ist unendlich.

3. Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und zufolge ihrer Natur gleichmäßig und ohne Rücksicht auf irgendeinen äußeren Gegenstand.

4. Jeder Körper ist eine Masse, welche träge ist und ein Gewicht hat oder schwer ist. Die träge und die schwere Masse ist die gleiche Masse.

5. Jeder Körper bleibt ruhig oder bleibt in geradliniger und gleichmäßiger (= stets gleich schneller) Bewegung, wenn keine äußere Kraft auf ihn einwirkt. — Dieser wichtige Satz ist das Trägheits- oder Beharrungsgesetz.

6. Die Änderung der Ruhe oder der Bewegung ist proportional der die Änderung bewirkenden Kraft und geschieht in der Richtung dieser einwirkenden Kraft.

7. Jeder Körper wirkt auch gegen die einwirkende Kraft, und zwar immer ihr gleich stark. Also: Wirkung und Gegenwirkung sind einander entgegengesetzt, aber gleich.

8. Jeder bewegende Körper hat den Widerstand des bewegten Körpers zu überwinden. Die dadurch geleistete Arbeit teilt dem bewegten Körper so viel Bewegungsenergie mit, daß dieser fähig ist, wieder ebensoviel Arbeit zu leisten. — Das ist das Gesetz der Erhaltung der Energie.

9. Die Summe aller Massen im Weltall bleibt bei allen physikalischen und chemischen Änderungen ungeändert.

III.

Einsteins spezielle Relativitätstheorie.

Einsteins Worte lauten[1]: „Ist K' ein in bezug auf K gleichförmig und drehungsfrei bewegtes Koordinatensystem, so verläuft das Naturgeschehen in bezug auf K' nach genau denselben Gesetzen wie in bezug auf K. Diese Aussage nennen wir Relativitätsprinzip (im engeren Sinne)“ (p. 9).

Der Physiker versteht das sofort. Mancher Leser des „Divus Thomas“ wird vielleicht eine anschauliche Übersetzung dafür wünschen. Man denke sich also einen Billardtisch auf vier geraden Füßen. Jede Tischecke bildet einen rechten Winkel; rechtwinklig abwärts steht unter jeder

[1] Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. Gemeinverständlich von A. Einstein. 12. Aufl. (51.—55. Tausend). Vieweg, Braunschweig 1921.

Tischecke ein Tischfuß. Die zwei Linien einer Tischecke mit dem genau von der spitzen Ecke senkrecht abwärts gehenden Fuß, oder besser gesagt Fußlinie, bilden ein Koordinatensystem. In der Regel zeichnet man aber statt der senkrecht abwärts gehenden Linie, eine vom gleichen Winkel aus senkrecht aufwärts gehende Linie. Mathematisch kommt das natürlich auf das Gleiche heraus. Die drei rechtwinklig zu einander stoßenden Linien nennt man Koordinaten und bezeichnet sie geometrisch mit x, y, z. Liegt eine Kugel auf dem Tisch, so kann man von ihrem untersten Punkte aus je eine Linie rechtwinklig zu den zwei liegenden Koordinaten ziehen und durch Angabe der Maße der dadurch abgegrenzten oder abgeschnittenen Linien den Ort der Kugel mathematisch bezeichnen, so daß man ihn jederzeit wieder sicher finden kann. Dasselbe kann man mit zwei, drei, zehn usw. anderen Kugeln tun und dadurch für immer den Ort jeder Kugel und damit auch ihre gegenseitige Lage und ihre Abstände untereinander mathematisch berechnen und fixieren. Wird dann eine Kugel gestoßen, so ist das ein Geschehnis und die Art, wie sie nachher läuft, ist ein (künstlich erwirktes) Naturgeschehen und vollzieht sich nach solchen bestimmten Naturgesetzen, welche dem Gebiete der Mechanik angehören.

Wenn wir ferner die Lage der Kugeln in bezug auf das Billardzimmer berechnen wollen, so können wir als Bezugslinien, als Koordinatensystem, den Fußboden mit zwei rechtwinklig zusammentreffenden Wänden benützen, auf die sich ohne weiteres von jeder Kugel aus rechtwinklig Linien ziehen lassen. Wir können indes auch die drei Linien als Koordinatensystem anwenden, welche in der von den betreffenden Wänden gebildeten Ecke als Grenzen der Wände rechtwinklig zusammentreffen.

Tisch und Zimmer sind nach allgemeinem Begriff ruhend und die genannten Koordinatensysteme können wir kurz mit dem Anfangsbuchstaben K bezeichnen.

Auf einem Ozeandampfer spaziert man, ißt man, spielt man Billard ganz so wie in einem Hotel. Denken wir uns also das Billardzimmer auf den Dampfer versetzt, welcher ganz gleichmäßig in gerader Richtung bei ganz ruhiger See dahinfährt. Man hat, ermüdet vom Spazieren und Schauen, etwas geschlafen und wacht auf. Es ist nun alles so ruhig, als ob der Dampfer stille läge. Tatsächlich kommt

es ja oft vor im Eisenbahnwagen wie im Salon eines Dampfers, daß man eigentlich nachstudieren und durch Betrachten außerhalb liegender Gegenstände sich vergewissern muß, ob der Zug beziehungsweise der Dampfer geht oder steht. Wir sehen also, daß vieles in bewegten Fahrzeugen sich ganz gleich vollzieht wie in der Ruhe und können folgerichtig sagen: relativ zum Gehen, Sitzen, Essen usw. in geschlossenem Zimmer verhält sich ein ruhig und gleichmäßig fahrender Zug oder Dampfer ganz so wie ein stille stehender; die genannten Vorgänge bleiben sich nach der mechanischen Seite vollständig gleich. Oben auf Deck besteht dagegen eine Verschiedenheit, weil die offene Luft nicht mit dem Fahrzeug geht, sondern stille steht und einen fühlbaren Widerstand mit seinen mechanischen Konsequenzen bildet. Im geschlossenen Fahrzeug oder Salon spielen also die Billardkugeln bei gleichmäßiger, gerader, ruhiger Fahrt ganz gleich wie im stillstehenden Fahrzeug. Den auf diese Weise fahrenden Zug oder Dampfer können wir für gewisse mechanische Vorgänge in demselben wie auch außerhalb desselben gleichfalls als Koordinatensystem benützen und bezeichnen es dann wieder mit dem ersten Buchstaben und einem Strichlein: K'.

Der Dampfer stößt auf eine Insel zu und gleichzeitig fährt ebenfalls geradlinig und gleichmäßig ein anderer Dampfer von der Insel weg und ein Zug von der Hafenstadt ebenso landeinwärts; zehn Kilometer entfernt stürzt aber ein Meteor unter starker Feuererscheinung und Explosionsdonner ins Meer. Von Stadttürmen, Zug und Dampfern aus wird das beobachtet. In der mathematischen Beschreibung sind die Türme je ein Bezugssystem K, der Zug und jeder Dampfer mit der genannten Bewegung je ein K'. Das Natureignis verläuft also in bezug auf K und K' nach den gleichen Gesetzen.

Ist die einfache Beschreibung in bezug auf das ruhende Koordinatensystem, also K, vollendet, so braucht es nun bestimmte Umformungen, um die Resultate in bezug auf irgendeines der K' zu erhalten, weil jedes derselben bewegt ist. Für die Aufstellung der Rechnungen muß folgendes beachtet werden:

Jedes räumliche Koordinatensystem wird mit den drei Linien, die sich einander rechtwinklig treffen, gezeichnet, die man x, y, z nennt. Ein Ereignis findet zu einer Zeit

statt und jede Bewegung hat eine Geschwindigkeit. Für die Zeit schreibt man t, für die Geschwindigkeit v. Ist x, y, z das unbewegte, so ist x', y', z' das bewegte System. Die ausgleichende Umformung beim Übergang von K zu K' geschieht in der klassischen Mechanik mittels folgender Transformationsgleichungen:

$$\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t. \end{aligned}$$

Es erleidet hiebei also nur x' eine Veränderung gegenüber x. Besonders sei betont, daß t' und t sich gleich bleiben, d. h. die Zeit ändert sich nicht.

Dieses Übergangssystem hat oft den Namen: Galilei-Transformation. Jedes Koordinatensystem, bezüglich dessen Bewegung das Trägheitsgesetz gilt, heißt auch Galileisches Koordinatensystem. Einstein sagt also: Ist K ein Galileisches Koordinatensystem, so ist auch jedes K', das gegenüber K im Zustande gleichförmiger, geradliniger Bewegung ist, ein Galileisches. Die Gesetze der Galilei-Newtonschen Mechanik gelten ebenso für K' wie für K.

Das alles galt schon vor Einstein.

Nun aber lehrt Einstein, daß dem bisherigen, durch keinen mechanischen Vorgang widerlegten, also jedenfalls gültigen Relativitätsgesetz ein zweites, in neuester Zeit entdecktes, allgemein gültiges optisches Gesetz, nämlich „das Gesetz der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit“ unter Beibehaltung der bisher üblichen Begriffe eines absoluten, unveränderlichen Raumes und einer absoluten, unveränderlichen Zeit widerspreche. Er schreibt[1]: „Die bahnbrechenden, theoretischen Forschungen von H. A. Lorentz über die elektrodynamischen und optischen Vorgänge in bewegten Körpern zeigten nämlich, daß die Erfahrungen in diesen Gebieten mit zwingender Notwendigkeit zu einer Theorie der elektromagnetischen Vorgänge führen, welche das Gesetz der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zur unabweisbaren Konsequenz hat.“ Olaf Römer hat 1676 auf astronomischem Wege (Jupitermonde!), Fizeau (1849) und Foucault (1865) nach anderen

[1] A. a. O. p. 13.

Methoden festgestellt, daß das Licht[1] in 1 Sekunde rund 300.000 Kilometer zurücklegt. Weltberühmt in der Physik ist dann in neuester Zeit jenes Experiment geworden, durch welches Michelson und Morley und nachher andere unter Anwendung einer raffiniertesten Technik zu dem ganz ungewollten und unerwarteten Ergebnis kamen, daß die ungeheuer schnelle Bewegung der Erde auf den zeitlichen Verlauf des Lichtweges, „der Lichtgeschwindigkeit" nach Einstein etc. gar keinen Einfluß hat. Oben genannte Lichtgeschwindigkeit nennt man kurz *c*. Also ist *c* in der Luft (im Vakuum) immer und unter allen Umständen = 300.000 Kilometer in jeder Sekunde.

Einstein wie andere Physiker vor das „Dilemma", wie er es nennt, gestellt, entweder das eine oder das andere bewiesene Naturgesetz zu verwerfen, überlegte dann, ob sich nicht etwas machen ließe, um beide Gesetze doch als richtig zu behandeln und zu behalten. Er stieß hiebei auf merkwürdige Hypothesen, welche der oben genannte Forscher H. A. Lorentz zur Lösung von sonst unlösbar scheinenden Schwierigkeiten in der unermüdlich und erfolgreichst gepflegten Elektrodynamik aufgestellt hatte. Diese Hypothesen bestehen in den Lehren, daß seine Theorie von der absoluten Ätherruhe mit den Ergebnissen Michelsons sich vereinen lasse durch die Annahme: jeder Körper zieht sich in der Bewegung gegen den Äther zusammen in der Bewegungsrichtung und daß bei der Kontraktion der Elektronen in der Bewegung gegen den Äther und bei Annahme eines neuen Zeitmaßes für gleichförmig bewegte Systeme alle elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Systemen sich gleich vollziehen wie im Äther.

Man sieht sofort, daß unter diesen Umständen Gewaltiges erreicht ist und das Michelsonsche Resultat selbstverständlich wird. Lorentz stellte auch die seiner Theorie entsprechenden Gleichungen auf.

Einstein wurde aber auf ganz andere Gedanken geführt. Er bemerkte, daß ein Beweis für die Gleichzeitigkeit zweier von einander entfernter Ereignisse nur bei Gültigkeit des Gesetzes der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit möglich sei, daß jedoch auch die so nachgewiesene Gleichzeitigkeit

[1] Im Vakuum, in Luft fast genau gleich.

keine absolute, sondern eine bloß relative sei, insofern Ruhe und Bewegung der Beobachter Gleichzeitiges ungleichzeitig und umgekehrt erscheinen lassen müssen. Die Gründe sind einleuchtend. Für Beobachtung von Ereignissen sind Lichtstrahlen und nicht die Uhren die ersten Zeitmesser. Die Uhren werden ja gerichtet nach dem Stand der Sonne, deren ankommendes oder verschwindendes Licht uns Tag oder Nacht bringt. Ist also die Schnelligkeit des Lichtes veränderlich, so kann eine Gleichzeitigkeit zweier weit auseinanderliegender Ereignisse niemals bewiesen werden. Wenn ferner der eine Beobachter sich bewegt, so haben die Lichtstrahlen zu ihm einen kürzeren oder längeren Weg zurückzulegen als bezüglich des ruhenden Beobachters, auch falls im Augenblicke der Geschehnisse beide Beobachter beisammen in der Mitte der Strecke sind. Denn der Lichtstrahl benötigt Zeit zum Eintreffen und während dieser Zeit hat sich der eine Beobachter bereits weiter bewegt, sei es vom kommenden Lichtstrahl weg und dann sieht er ihn später, oder ihm entgegen und dann sieht er ihn früher, aber in keinem dieser Fälle gleichzeitig mit dem Ruhenden. Demnach ist die Gleichzeitigkeit nach Einstein für den einen vorhanden und für den anderen nicht. Zwei Ereignisse können demzufolge zugleich gleichzeitig und ungleichzeitig sein, d. h. die Gleichzeitigkeit ist etwas Relatives.

Nun schließt Einstein[1] (Relativität der Gleichzeitigkeit): „Jeder Bezugskörper (Koordinatensystem) hat seine besondere Zeit; eine Zeitangabe hat nur dann einen Sinn, wenn der Bezugskörper angegeben ist, auf den sich die Zeitangabe bezieht. Die Physik hat nun vor der (speziellen) Relativitätstheorie stets stillschweigend angenommen, daß die Bedeutung der Zeitangaben eine absolute, d. h. vom Bewegungszustande des Bezugskörpers unabhängige sei. Daß diese Annahme aber mit der nächstliegenden Definition der Gleichzeitigkeit unvereinbar ist, haben wir soeben gesehen; läßt man sie fallen, so verschwindet der in § 7 entwickelte Konflikt des Gesetzes der Vakuumlichtausbreitung mit dem Relativitätsprinzip.“ Einstein benützt auch die Tatsache der Relativität der Gleichzeitigkeit als Beweis für die Relativität der Zeitdauer; also je nachdem etwas als ruhend oder bewegt

[1] A. a. O. p. 18.

beobachtet wird, je nachdem etwas für K oder K' berechnet wird, ist die Zeit des gleichen Ereignisses eine andere. In der Galilei-Transformation setzt man jedoch K-Zeit und K'-Zeit stets gleich, also $t' = t$. Das geht in Gleichungen nach der Einsteintheorie selbstverständlich nicht mehr. Die Zeit des Bewegten, von K aus betrachtet, verkürzt sich gemäß Einstein.

Ähnliche Gedankenoperationen macht Einstein bezüglich der „räumlichen Entfernung" und „bewegter Stäbe". Bewegte Stäbe sind verkürzt von K aus betrachtet.

Einstein kommt hienach einerseits grundsätzlich auf das Gleiche hinaus wie Lorentz: Verkürzung des Bewegten relativ zum Unbewegten. Anderseits besteht aber ein wesentlicher Gegensatz, denn bei Lorentz wird die Veränderung wegen der Bewegung gegen den Äther hin bewirkt, bei Einstein auf Grund seiner Schlüsse aus seiner „Definition der Gleichzeitigkeit" und damit auf Grund des Fundamentalgesetzes: „Konstanz der Lichtgeschwindigkeit". Den Äther leugnet Einstein.

Lorentz hatte seinerseits entsprechend seiner Theorie das Maß der nötigen Verkürzung des Elektrons errechnet und fand es proportional dem Ausdruck $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Wir haben oben c kennen gelernt; v ist Geschwindigkeit überhaupt. Diese Größe begegnet uns in den Umformungsgleichungen von Lorentz für die Relativitätstheorie unter Berücksichtigung der genannten Ergebnisse von Michelson.

Einstein mußte natürlich die Galilei-Transformation zufolge seiner Schlüsse ebenfalls als unrichtig erklären und neue mathematische Übergänge von den ruhenden zu den gleichförmig und geradlinig bewegten Systemen (auch genannt: Galileische Koordinatensysteme), also von K zu K' suchen. Da fand er, daß die von Lorentz aufgestellten Gleichungen die Übergangsdienste vollkommen richtig erfüllen. Er ersetzte deshalb die oben genannte Galilei-Transformation durch die sogenannte Lorentz-Transformation, um eine harmonische Vereinigung zwischen dem altbekannten klassischen Relativitätsgesetz und dem neu entdeckten Gesetz der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zu erreichen und damit beide für die Physik zu retten.

Die Lorentz-Transformation besteht in den Gleichungen:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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

Einstein verwendet nun also diese Gleichungen als mathematisches Instrument für seine „spezielle Relativitätstheorie".

Die spezielle Relativitätstheorie, deren Grundlagen und wesentliche Bedingungen wir nun kennen gelernt haben, zieht mehrere Folgerungen nach sich, welche ungeheuer tief in die physikalischen Theorien eingreifen, ja zum Teil überhaupt die gesamte Physik erfassen und zu denen auch die Philosophie Stellung nehmen muß. Um sie begründend zu behandeln, müßten wir eine Reihe Einzeltraktate schreiben. Wegen Raummangel wollen wir hier ohne weitläufigeres Eintreten nur eine Reihe derselben anführen. Ein Überblick dürfte wenigstens vorläufig auch den meisten Lesern des „Divus Thomas" erwünschter sein.

1. Die Geschwindigkeit des Lichtes, also c, kann niemals physikalisch überschritten werden. Also: Die Lichtgeschwindigkeit ist die größte aller möglichen Geschwindigkeiten.

2. Die Gravitationslehre Newtons, welche unendlich schnelle Fortpflanzung der Schwerkraftwirkung verlangt, ist also von dieser Seite aus unrichtig.

3. Die allgemeinen Naturgesetze sind kovariant bezüglich der Lorentz-Transformation.

4. Bewegte Uhren gehen langsamer als ruhende.

5. Weil „Raum und Zeit" bei den Bewegungen immer miteinander verbunden sind, also mit den Naturgeschehnissen zusammenhängen und von der Bewegung der Dinge abhängig sind, so wird die Zeit, t, konsequent als vierte Koordinate mit den drei Koordinaten der Raumdimensionen verbunden

und gleichmäßig mit den anderen als „vierte Dimension“ verrechnet.

Folgende programmatische Worte dürften interessieren, die Minkowski, der gefeierte Mathematiker von der Universität Göttingen, im Jahre 1908 in Köln an der Spitze seines berühmten Vortrages an die Naturforscher-Versammlung richtete: „Von Stund an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren.“ Diese „Union“ wird jetzt nach Minkowkis Vorschlag von den Physikern „Welt“ genannt. Die Welt“ ist folgerichtig eine „vierdimensionale Mannigfaltigkeit“; alles Geschehen ist ein „vierdimensionales“ Geschehen.

6. Nach der klassischen Mechanik besitzt die Kraft, die Energie keine Trägheit, sondern bloß die Masse, und zwar diese als wesentliches Attribut. Die Anwendung der relativistischen Gleichungen beweist aber, daß die Energie Trägheit besitzt und stellt ein genau bestimmtes Gesetz dafür auf. „Einstein hat dieses Gesetz von der Trägheit der Energie als das wichtigste Ergebnis der Relativitätstheorie bezeichnet; bedeutet es doch die Identität der beiden fundamentalen Begriffe von Masse und Energie und eröffnet dadurch die tiefsten Einblicke in die Struktur der Materie,“ schreibt Max Born[1].

7. Ein Körper, der in der Bewegung Energie aufnimmt, wächst dadurch an träger Masse. Der Satz von der Erhaltung der Masse und jener von der Erhaltung der Energie in der klassischen Mechanik verschmilzt zu einem einzigen.

8. Kommt jemand auf der Eisenbahn von einer Station zu einer anderen, so kann er mathematisch und physikalisch mit gleich großem Recht behaupten: Mein Zug ist immer stillgestanden, aber die Erde ist unter ihm fortgeeilt — wie das Umgekehrte (wie es, nebenbei bemerkt, der „gesunde Menschenverstand“ der gewöhnlichen Leute tut). Einstein und „konsequente“ Relativisten seiner Schule beharren hartnäckig auf dieser These und lassen die Berufung auf den „gesunden Menschenverstand“ keineswegs gelten.

9. Mit vollem Recht kann man mathematisch und physikalisch den Standpunkt vertreten: Die Erde steht still

[1] Die Relativitätstheorie Einsteins[2], Berlin 1921, p. 204.

und Sonne und Sterne bewegen sich um die Erde — gerade so gut wie den umgekehrten.

Ist das nicht interessant im 20. Jahrhundert? — Wir gehen nach diesen Zusammenfassungen über zur kurzen Darstellung der „allgemeinen" Relativitätstheorie. (Fortsetzung folgt.)

Altstätten (St. Gallen).

Dr. theol. und phil. *Jac. M. Schneider.*

LITERARISCHE BESPRECHUNGEN

1. **Joseph Fröbes S. J.: Lehrbuch der experimentellen Psychologie.** 1920. Freiburg. Herder. II. (Schluß-)Bd. XX u. 704 p.

Dieser Band des Lehrbuches bringt die Pathologie der Assoziationen, die höheren Erkenntnisvorgänge, die Gemütsbewegungen, Willensvorgänge und die psychischen Abnormitäten zur Darstellung. Das rein erfahrungsmäßige Vorgehen bringt es mit sich, daß in diesem Bande noch mehr als im ersten unzählige Einzeltatsachen geboten werden, die gruppenweise lose aneinander gereiht sind. Die große Vollständigkeit und Genauigkeit der Darstellung machen auch diesen Band zu einem wertvollen Nachschlagebuche des Philosophen Das zur Empfehlung des I. Bandes im Jahrgang 1919, p. 205 ff. dieser Zeitschrift Gesagte ist voll und ganz auch auf den II. Band anzuwenden.

Die Ausführungen über Großhirnlokalisation, die im Anschluß an die Pathologie der Assoziationen gegeben werden, zeigen, daß auch jetzt noch immer wahr bleibt, was Becher, Gehirn und Seele 1911, geschrieben: „Die Gehirnphysiologie bietet in den wichtigsten Dingen nicht das Bild gesicherter, klarer, vollendeter Erkenntnis, sondern den Eindruck lebendigen und wirren Meinungskampfes" (Vorwort). Auch zeigt sich, daß die Ansicht, die die äußere Sinnestätigkeit in das Großhirn lokalisiert, aus der neueren Gehirnphysiologie sich gewiß nicht beweisen läßt (vgl. p. 8f.). Wie im I. Bande, so wird auch hier in diesem II. Bande (p. 63) behauptet, „daß, abgesehen von den begleitenden unanschaulichen Erkenntnissen, Empfindung und Vorstellung nur einen graduellen Unterschied aufweisen, keinen spezifischen". Diese Anschauung entspricht nicht den Tatsachen, sie ist eine Fälschung der Tatsachen; ich habe dies anderwärts eingehend nachgewiesen (vgl. Unsere Außenwelt, p. 165 ff.). Es würde aber auch diese Lehre eine sichere Erkenntnis der Außenwelt ganz unmöglich machen. Wenn Empfindung und Vorstellung nicht spezifisch von einander verschieden sind, dann ist gar nicht einzusehen, wie wir zu diesen „begleitenden, unanschaulichen Erkenntnissen", d. h. zu einem verstandesmäßigen Sicherheitsbewußtsein über das Dasein der von uns verschiedenen Dinge kommen können. Fröbes unterscheidet (p. 396) die psychisch bedingten Bewegungen und die noch nicht psychisch bedingten. Zu letzteren gehören auch die Reflexbewegungen. Allein trotzdem wird doch auch von psychischen Reflexen, von Assoziationsreflexen gesprochen. Es legt sich daher nahe, die Bewegungen einzuteilen in spontane, durch ein Begehren verursachte und solche, die ohne Zutun des Begehrens stattfinden. Unter letztere lassen sich dann alle Reflexe