

Philosoph. Jahrbuch der Görres-Gesellschaft.

30. Band. 1. Heft.

Raum und Zeit im Lichte der neuesten physikalischen Theorien.

Von Prof. Eduard Hartmann in Fulda.

Die Einsteinsche Lehre von der Relativität aller räumlichen und zeitlichen Bestimmungen hat in den zehn Jahren, die seit ihrer ersten Aufstellung verflossen sind, so viel Aufsehen erregt und in ihrer neuesten Entwicklung eine so überraschende Wendung genommen, dass ein gedrängter Ueberblick über das Wesen des Relativitätsprinzips und die dadurch hervorgerufenen philosophischen Erörterungen wohl auf allgemeines Interesse rechnen kann. Betrachten wir zunächst den Inhalt und die Bedeutung des Prinzips vom Jahre 1905.

I. Wesen und Bedeutung des Einsteinschen Relativitätsprinzips vom Jahre 1905.

1. Das Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik.

Schon die klassische Mechanik besitzt ein Relativitätsprinzip¹⁾. Darüber ein paar Worte. Newton spricht in seinen berühmten Bewegungsgesetzen, die die Grundlage der klassischen Mechanik bilden, von Bewegungen im absoluten Raume, der sich unserer Wahrnehmung gänzlich entzieht. Wollen wir die Newtonschen Gesetze auf wirkliche Bewegungen anwenden, so bedürfen wir eines Bezugssystems, das unserer Erfahrung zugänglich ist oder mit erfahrbaren Gegenständen in einem bekannten Zusammenhange steht. Ein auf der Erde ruhendes System würde unserem Zwecke nicht vollkommen entsprechen; denn es würden darin, wie die Drehung der Schwingungsebene eines frei schwingenden Pendels sowie die Abweichung eines ohne Anfangsgeschwindigkeit fallenden Körpers von der Lotrichtung beweisen, die Newtonschen Gesetze nicht vollkommen erfüllt sein. Darum sehen sich die Astronomen genötigt, zu einem Koordinatensystem ihre Zuflucht zu nehmen, dessen Anfangspunkt im Schwerpunkt des Planetensystems ruht und dessen Achsen nach drei weit entfernten Fixsternen hinweisen. Für dieses System stellte Laplace die Bewegungsgleichungen der Himmelskörper auf. In ihm ist das Trägheitsprinzip so voll-

¹⁾ Ueber die Galilei-Newtonsche Bewegungslehre siehe E. Becher, Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung (Berlin 1915) 147 ff.

kommen erfüllt, dass wir nicht die geringste Abweichung davon feststellen können. Daher führt es auch den Namen Inertialsystem.

Mit dem genannten System sind nun ganz gleichwertig alle diejenigen, die sich zu ihm in geradliniger und gleichförmiger Bewegung befinden. Sie alle führen darum den Namen eines Inertialsystems mit demselben Rechte. In ihnen allen spielen sich alle rein mechanischen Vorgänge nach genau denselben Gesetzen ab, so dass wir keinen Grund haben, das eine vor dem anderen zu bevorzugen. Das ist der Inhalt des Relativitätsprinzips der klassischen Mechanik. Der Grund dafür ist bekanntlich darin zu suchen, dass es in den Newtonschen Gesetzen nicht auf die Geschwindigkeiten selbst, sondern auf Geschwindigkeitsänderungen ankommt, diese sich aber für alle Inertialsysteme als gleich herausstellen.

2. Das neuere Relativitätsprinzip.

Es liegt nun die Frage nahe, ob das alte Relativitätsprinzip auch für die elektromagnetischen Vorgänge gilt. Pflanzte sich etwa das Licht in allen Inertialsystemen mit derselben Geschwindigkeit fort? Die Antwort scheint nicht schwer zu sein. Die elektromagnetischen Vorgänge im Vakuum werden in relativ einfacher Weise und mit der grössten Genauigkeit durch die Maxwell'schen Gleichungen dargestellt. Man braucht also nur zu untersuchen, ob diese Gleichungen ihre Form behalten, wenn man von einem Bezugssystem S zu einem anderen System S' übergeht, das sich gegen S mit der Geschwindigkeit v bewegt. Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass dies nicht der Fall ist. Die Gleichungen verlieren beim Uebergang von einem System zum anderen ihre Form. Es sind darum nicht alle Systeme gleichberechtigt. Eines hat den Vorzug: jenes nämlich, in dem sich das Licht nach allen Seiten mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzt. Für dieses System allein gelten die Maxwell'schen Gesetze. In allen übrigen finden wir diese Gesetze verändert, und aus der Grösse dieser Veränderungen können wir die Geschwindigkeit berechnen, womit sich ein solches System gegen das eine ausgezeichnete System bewegt.

Man braucht sich übrigens, um die Existenz eines ausgezeichneten Systemes zu erkennen, nicht einmal auf die Maxwell'schen Gleichungen zu berufen. Es genügt darauf hinzuweisen, dass sich die elektromagnetischen Vorgänge im Aether abspielen, dieser aber, wie sich aus der Aberration des Lichtes und dem Fizeauschen Versuche ergibt, an der Bewegung der Körper nicht teilnimmt, sondern in dem Inertialsystem, in dem er einmal ruht (etwa dem Fixsternsystem), für alle Zeiten ruht. Man muss darum erwarten, dass ein Inertialsystem, jenes nämlich, worin der Aether ruht, vor allen anderen ausgezeichnet ist. Nehmen wir einmal an, es bewege sich das Zimmer, worin wir uns befinden, mit einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern in der Sekunde durch den Aether.

Wir lassen nun eine helle Lampe in der Mitte des Zimmers einen Augenblick aufleuchten. Die Lichterregung wird sich ohne Zweifel an allen Seiten ausbreiten. Aber mit welcher Geschwindigkeit? Bedenken wir, dass sich der Aether relativ zu unserem Zimmer in Bewegung befindet, dass also ein Aetherwind oder ein Aetherorkan unser Zimmer durchbraust, so werden wir erwarten, dass sich das Licht für uns, die wir seine Geschwindigkeit relativ zu den Zimmerwänden beobachten, nicht nach allen Seiten mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzt. Beträgt die Lichtgeschwindigkeit im ruhenden Aether 300 000 km, so wird sie in unserem Zimmer in der einen Richtung (der Richtung des Aetherorkanes) $300\,000 + 30$ km, in der entgegengesetzten Richtung $300\,000 - 30$ km in der Sekunde betragen.

Nun ist aber jene Annahme durch die Bewegung der Erde um die Sonne tatsächlich erfüllt. Da nämlich die Erde im Laufe eines Jahres in dem oben genannten astronomischen Inertialsystem eine kreisähnliche Bahn beschreibt, so kann sie nicht während des ganzen Jahres relativ zum Aether ruhen. Es kann also nicht während des ganzen Jahres Aetherstille in unserem Zimmer herrschen, es muss zu manchen Zeiten des Jahres Aethersturm bestehen und zwar von der obengenannten Geschwindigkeit, und dieser Sturm muss sich in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sowie in dem Ablauf sonstiger elektromagnetischer Erscheinungen auf der Erde bemerkbar machen.

Diese Erwartungen werden aber durch die Erfahrung Lügen gestraft. Alle, auch die feinsten Beobachtungen stimmen darin überein, dass sich die Bewegung der Erde gegenüber dem Aether niemals bemerkbar macht; alle elektromagnetischen Erscheinungen verlaufen so, als ob niemals Aetherwind, sondern beständig Aetherstille herrschte. Von besonderem Interesse sind hier die Versuche von Michelson und Morley, die sich mit dem Einfluss der Erdbewegung auf die optischen Vorgänge an der Erdoberfläche beschäftigen und von einer solchen Genauigkeit sind, dass noch ein Hundertstel des zu erwartenden Resultats mit Sicherheit festgestellt werden könnte. Aber nicht einmal dieses Hundertstel ist vorhanden. Zu demselben negativen Resultate führten alle übrigen Experimente, die einen Einfluss der Erdbewegung auf irgendwelche elektromagnetische Vorgänge nachweisen wollten. So scheint der Schluss unvermeidlich zu sein: Auch für die elektromagnetischen Erscheinungen gibt es kein ausgezeichnetes Bezugssystem, auch für sie sind alle Inertialsysteme gleichberechtigt, und so erweitert sich das Relativitätsprinzip der Mechanik zum allgemeinen die ganze Physik umfassenden Prinzip: Alle physikalischen Vorgänge verlaufen in allen Inertialsystemen nach genau denselben Gesetzen.

Wollen wir tiefer in den Sinn des Relativitätsprinzips eindringen, so müssen wir den Uebergang von einem Inertialsystem zu einem andern näher ins Auge fassen.

Wir setzen zwei rechtwinklige Koordinatensysteme S und S' voraus mit den beiden Beobachtern B und B' . Die Achsen der beiden Systeme seien einander paarweise parallel. S' entferne sich von S in der Richtung der x -Achse mit der Geschwindigkeit v . Den Moment, in dem die beiden Systeme zusammenfielen, mögen beide Beobachter zum Ausgangspunkt ihrer Zeitrechnung wählen. Es trete nun im System S ein Ereignis E ein, etwa das Aufblitzen eines Lichtsignals. Dieses Ereignis wird vom Beobachter B in seinem Systeme S zu einer bestimmten Zeit und an einem bestimmten Orte wahrgenommen. Die Zeit werde bezeichnet durch t , die drei Koordinaten des Ortes durch x , y und z . Dasselbe Ereignis wird nun aber auch vom Beobachter B' im Systeme S' wahrgenommen. Er findet es zur Zeit t' an dem Orte x' , y' , z' . Es fragt sich nun, wie die Grössen x' , y' , z' und t' mit den Grössen x , y , z und t zusammenhängen.

Sollen sich die elektromagnetischen Vorgänge in beiden Systemen nach denselben Gesetzen vollziehen, so müssen die Transformationsgleichungen bestehen $x' = \frac{1}{\beta}(x - vt)$, $y' = y$, $z' = z$, $t' = \frac{1}{\beta}\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$

wo $\beta = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ist, und c die Grösse der Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Es sind dies Gleichungen, die auf den ersten Blick sehr befremden und von denen Einstein selbst erklärte, dass er wochenlang über sie nachdenken musste, bis sie ihm nicht mehr absurd erschienen.

Was daran am meisten befremdet, ist der Umstand, dass die beiden Beobachter für einunddasselbe Ereignis nicht nur verschiedene Raumkoordinaten, sondern auch verschiedene Zeitmomente vorfinden ¹⁾.

Hierin liegt auch der Grund für die paradoxen Konsequenzen der Relativitätstheorie. Zunächst ergibt sich daraus, dass die Lichtgeschwindigkeit in der Natur eine ganz einzigartige Rolle spielt: sie ist die grösste Geschwindigkeit, die überhaupt existieren kann. Kein materielles Teilchen kann sich in irgend einem Bezugssystem schneller bewegen, kein Zustand in einem Medium schneller fortpflanzen als mit der Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde.

Eine zweite auffällige Konsequenz ist die Relativität der räumlichen Grössen. Es hat ein und derselbe Körper, von zwei verschiedenen Systemen beobachtet, verschiedene Dimensionen in jener Richtung, in der sich das eine Bezugssystem gegen das andere bewegt. Daraus lässt sich der Satz ableiten; ²⁾ „Bringen wir einen Stab unter Aufrechterhaltung seines inneren Zustandes (etwa im

¹⁾ Die Galilei-Newton'schen Transformationsgleichungen lauten: $x' = x - vt$; $y' = y$, $z' = z$, $t' = t$. Während also nach der Newton'schen Auffassung, deren Richtigkeit bis zum Auftreten Einsteins überall als selbstverständlich vorausgesetzt wurde, die Zeitbestimmtheit eines Ereignisses beim Uebergang von einem System zu einem andern unverändert bleibt ($t' = t$), ist dies nach der Relativitätstheorie nicht der Fall.

²⁾ Vgl. M. Laue, Das Relativitätsprinzip (Braunschweig 1911) 41.

leeren Raum und ohne Wärmezufuhr) von der Ruhe auf die Geschwindigkeit q , so zieht er sich im Verhältnis $\sqrt{1 - \frac{q^2}{c^2}}$ zusammen.“

Eine Kugel verwandelt sich unter denselben Umständen in ein Rotationsellipsoid, das für $q = c$ in eine unendlich dünne Scheibe übergehen würde.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der zeitlichen Dauer eines Vorgangs. Auch sie erweist sich als abhängig von dem Bezugssystem des Beobachters. Man kann hier den Satz ableiten; Eine mit der Geschwindigkeit q bewegte Uhr geht im Verhältnisse $\sqrt{1 - \frac{q^2}{c^2}}$ langsamer als dieselbe Uhr, wenn sie ruht. Für $q = c$ würde sie stillstehen.

Nicht nur die räumlichen und zeitlichen Grössen sind von dem Bezugssystem abhängig, sondern es gilt dies unter gewissen Voraussetzungen auch für die Ordnung der Aufeinanderfolge der Ereignisse, so dass das Früher und das Später für zwei verschiedene Systeme ihre Plätze miteinander vertauschen können. Gerade diese Konsequenz der Relativitätstheorie hat grosse Verwunderung hervorgerufen. „Die Folgerung“, erklärt M. Planck, „dass Früher und Später sich für verschiedene Beobachter geradezu umkehren können, klingt für den ersten Augenblick geradezu ungeheuerlich“, „aber“, fügt er hinzu, „vielleicht nicht ungeheuerlicher, als vor fünfhundert Jahren die Behauptung geklungen haben mag, dass die Richtung, welche wir die vertikale nennen, keine absolute ist, sondern binnen vierundzwanzig Stunden im Raume einen Kegel beschreibt“¹⁾.

Wie lässt sich nun die merkwürdige Tatsache, dass wider alles Erwarten auch die elektromagnetischen Erscheinungen in allen Systemen nach denselben Gesetzen verlaufen, erklären? Wenn wir von der Hypothese von W. Ritz²⁾ absehen, wonach die Lichtgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit der Lichtquelle abhängt, wie die Geschwindigkeit eines Geschosses von der des Geschützes, einer Annahme, die mit den astronomischen Tatsachen im Widerspruch steht³⁾ und nach Laue⁴⁾ fast gegen alle gesicherten Tatsachen der Optik verstösst, so bleiben nur zwei Erklärungsmöglichkeiten übrig, die sich an die Namen von A. H. Lorentz und A. Einstein knüpfen.

¹⁾ M. Planck, Die Stellung der Physik zur mechanischen Naturerklärung (Leipzig 1910) 25.

²⁾ Ueber den Gegensatz zwischen der Einsteinschen und der Ritzschen Auffassung siehe P. Ehrenfest, Zur Krise der Lichtätherhypothese (Berlin 1913) 16 ff.

³⁾ W. de Sitter, Ein astronomischer Beweis für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Physik. Zeitschr. 14 (1913) 429.

⁴⁾ M. Laue, Das Relativitätsprinzip. Jahrbücher der Philosophie 1 (1913) 105.

a) Die Theorie von H. A. Lorentz ¹⁾.

Nach Lorentz ist die Identität der Gesetze für verschiedene Beobachter nur Schein. Tatsächlich gelten die Maxwellschen Gleichungen nur für das im Aether ruhende System. Dieses ist also wirklich vor allen andern ausgezeichnet; nur in ihm pflanzt sich das Licht nach allen Seiten mit derselben Geschwindigkeit fort. In allen relativ zum Aether bewegten Systemen ergeben sich Abweichungen von den Maxwellschen Gesetzen.

Wie kommt es aber, dass der bewegte Beobachter von diesen Abweichungen nichts merkt? Es ist dies auf den Einfluss des Aethers zurückzuführen. Der „Aetherwind“, der unser Laboratorium durchweht, verändert die Dimensionen aller darin befindlichen Körper und deformiert darum auch unsere Maßstäbe, er beeinflusst den Ablauf aller Bewegungsvorgänge und darum auch den Gang unserer Uhren und zwar gerade in der Weise, dass die mit Hilfe unserer gefälschten Instrumente angestellten Beobachtungen die unveränderte Geltung der Maxwellschen Gesetze und darum die scheinbare Nichtexistenz des Aetherwindes zum Resultate haben.

Damit finden auch die oben erwähnten Paradoxien ihre Erklärung; nur der im Aether ruhende Beobachter stellt die wahre Grösse und Form der Körper, die wahre Dauer und Ordnung der Geschehnisse fest, alle übrigen sind an „Beobachtungsfehler“ gebunden, die niemals korrigiert werden können, weil die Bewegung zum Aether und die dadurch bedingte Deformation der Beobachtungsmittel stets unbekannt bleiben. Eine solche Korrektur hätte auch keinen besonderen Wert, da ja in dem Weltbilde des bewegten Beobachters dieselben Gesetze herrschen wie in der wirklichen Welt.

Um den negativen Resultaten des Michelsonschen und einer Reihe weiterer Experimente gerecht zu werden, muss Lorentz annehmen, dass der Aetherwind alle Körper in seiner Richtung in einem bestimmten Verhältnis verkürzt, die Massen aller materiellen Teilchen in bestimmter Weise verändert und endlich auch auf alle zwischen irgend welchen Teilchen wirkende Kräfte einen entsprechenden Einfluss ausübt. Es sind dies Annahmen, die zu der elektromagnetischen Theorie der Materie hindrängen d. h. zu der Lehre, dass alle Materie aus elektrischen Ladungen besteht.

Mit diesen Annahmen gelangt Lorentz übrigens nicht zu einer vollkommenen Gleichwertigkeit der Bezugssysteme. Ein mit ganz idealen Mitteln ausgerüsteter Beobachter würde mit der Aenderung seines Inertialsystemes auch eine Aenderung der Naturgesetze kon-

¹⁾ H. A. Lorentz, Elektromagnetische Erscheinungen in einem System, das sich mit beliebiger, die des Lichtes nicht erreichender Geschwindigkeit bewegt. Sammlung: Das Relativitätsprinzip. Leipzig 1913. — Ferner Lorentz, Die Maxwellsche Theorie und die Elektronentheorie. Kultur der Gegenwart, Physik (Leipzig 1915) 311.

statieren. Es wird also von Lorentz zwar den bisherigen Beobachtungen Genüge geleistet, aber das Relativitätsprinzip in seinem vollen Umfange nicht anerkannt.

b) Die Theorie von A. Einstein.

Viel radikaler geht Einstein ¹⁾ vor. Für ihn ist die Identität der Naturgesetze für die verschiedenen Bezugssysteme kein Schein, der durch irgend welche Deformierung der Beobachtungsmittel erklärt werden müsste, sondern volle Wahrheit. Alle Inertialsysteme sind ihm nicht nur dem Scheine nach, sondern in Wirklichkeit gleichberechtigt. Wenn darum in zwei Systemen für ein und dasselbe Ereignis Ort und Zeit verschieden bestimmt werden, so sind diese Bestimmungen gleich wahr, eine jede bezieht sich eben auf das System, in dem sie vorgenommen ist. Eine allgemeingültige, vom Bezugssystem des Beobachters unabhängige räumliche und zeitliche Ordnung der Ereignisse gibt es nicht. Raum- und Zeitbestimmungen haben infolgedessen nur dann einen bestimmten Sinn, wenn das dazugehörige System angegeben ist. Der Stab hat für verschiedene Beobachter verschiedene Längen; eine „wahre“ Länge gibt es nicht. Was dem einen Beobachter als Kugel erscheint, erscheint einem anderen als Rotationsellipsoid; eine wahre Gestalt gibt es nicht. Ein Vorgang, der für den einen Beobachter eine Sekunde dauert, kann für einen anderen tausend Jahre in Anspruch nehmen; eine wahre Länge der Dauer gibt es nicht. Auch der Begriff der Gleichzeitigkeit kann nicht für alle Fälle als allgemeingültig aufrecht erhalten werden; Ereignisse, die für den einen Beobachter gleichzeitig an verschiedenen Orten stattfinden, können für einen anderen zu verschiedenen Zeiten stattfinden. Selbst das Früher und Später können unter Umständen ihre Plätze vertauschen, so dass für den einen E_1 früher als E_2 , für den anderen E_2 früher als E_1 ist, und zwar nicht in dem Sinne, dass der eine von ihnen sich über die wahre Ordnung täuschte, — das würde uns zu der Lorentz'schen Auffassung zurückführen — sondern in dem Sinne, dass beide Auffassungen ganz gleichberechtigt sind.

Diese Lehre übertrifft nach M. Plank an Kühnheit alles, was bisher in der spekulativen Naturforschung, ja in der philosophischen Erkenntnistheorie geleistet worden ist. „Die nicht-euklidische Geo-

¹⁾ A. Einstein, Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Ann. d. Physik 1915, S. 891 — Zusammenfassende Darstellungen: A. Einstein, Referat über die Relativitätstheorie im Jahrbuch der Radioaktivität. 4 (1907) 411. — M. Laue, Das Relativitätsprinzip, Braunschweig 1913; — Zur Einführung in die Einsteinsche Theorie: A. Einstein, Die Relativitätstheorie. Kultur d. Gegenwart. Physik (Leipzig 1915) 703. E. Cohn, Physikalisches über Raum und Zeit. Leipzig 1911. M. Laue, Das Relativitätsprinzip. Jahrbücher der Philosophie. I (1913) 99. H. Witte, Raum und Zeit im Lichte der neueren Physik. Braunschweig 1914.

metrie“, bemerkt er¹⁾, „ist ein reines Kinderspiel dagegen, und doch beansprucht das Relativitätsprinzip im Gegensatz zur nicht-euklidischen Geometrie, die bisher nur für die reine Mathematik in Betracht kommt, mit vollem Recht reale, physikalische Bedeutung. Mit der durch das Prinzip im Bereiche der physikalischen Weltanschauung hervorgerufenen Umwälzung ist an Ausdehnung und Tiefe wohl nur die durch Einführung des kopernikanischen Weltsystems bedingte zu vergleichen.“ M. La Rosa²⁾ spricht von einer Sturzwelle, die an den Grundlagen der gesamten Physik rüttelt und sie umstößt, die Gebiete der Schwesterwissenschaften, namentlich die Astronomie und Chemie, überflutet und uneindammbar bis zu den Grenzen der Erkenntnistheorie vordringt.“ Nach O. D. Chwolson³⁾ findet die Tiefe der grundlegenden Konzeption, die unerhörte Kühnheit, mit der diese neue Lehre in radikalster Weise unsere fundamentalsten Vorstellungen umwälzt, kein Analogon in der Geschichte der verschiedenen Wissenschaften, die den uns umgebenden und von uns beobachteten Erscheinungen gewidmet sind. „Dieser neuen Lehre,“ erklärt er, „entspricht eine neue Weltanschauung, die sich vielfach und in ihren Grundlagen von der bisherigen unterscheidet, indem sie sogar diejenigen Vorstellungen vernichtet, die als Axiome, als selbstverständliche Wahrheiten geltend, weder ausgesprochen noch formuliert, sondern von allen fast unbewusst als etwas Unzweifelhaftes anerkannt wurden. Die Umwälzung, die der Ersatz der geozentrischen Weltanschauung durch die heliozentrische seinerzeit hervorgerufen hat, ist klein und unbedeutend im Vergleich zu dem, was der Menschheit bevorsteht, wenn sie das Relativitätsprinzip allgemein anerkennt, sich mit ihm vertraut und es zum Eckstein einer neuen Weltanschauung macht.“

II. Kritik des Relativitätsprinzips vom Jahre 1905.

Will man vom philosophischen Standpunkte zu der neuen Relativitätslehre Stellung nehmen, so wird man nicht nur fragen müssen, ob sie widerspruchsfrei ist und mit den Tatsachen im Einklang steht, sondern auch ob sie mit einer realistischen Weltanschauung, deren Gültigkeit wir hier gegenüber dem Positivismus und Idealismus voraussetzen, vereinbar ist. Zunächst erheben wir also die Frage:

1. Ist die Relativitätstheorie widerspruchsfrei
und im Einklang mit den Tatsachen?

a) Widerspricht die Relativitätstheorie sich selbst?

Diese Frage wird im allgemeinen verneint. Auch diejenigen, die sich der Einsteinschen Lehre gegenüber ablehnend verhalten

¹⁾ M. Planck, Acht Vorlesungen über theoretische Physik (Leipzig 1910) 137.

²⁾ M. La Rosa, Der Aether, Geschichte einer Hypothese (Leipzig 1912) 6.

³⁾ O. D. Chwolson, Jahrbuch der Physik. 4. Bd., 2. Hälfte (Braunschweig 1912) 398.

oder doch kluge Zurückhaltung üben, geben zu, dass ein formeller Selbstwiderspruch nicht vorliegt. Ich verweise hier auf die klaren und gründlichen Ausführungen von E. Becher.¹⁾ „Das Relativitätsprinzip“, schreibt er, „scheint geradezu widersprechende Urteile zu fordern: Zwei Ereignisse sollen zugleich gleichzeitig und ungleichzeitig, zwei Längen gleich und ungleich sein. Der Widerspruch wird freilich beseitigt durch den Zusatz: je nach dem Bewegungszustande des Beobachters, der die Feststellungen macht. Diese Behauptung ist nicht von vornherein logisch unmöglich; sie ist widerspruchsfrei und denkbar.“ Dabei verkennt Becher nicht, dass die neue Lehre einer tiefeingewurzelten Ueberzeugung der ganzen Menschheit auf das schärfste widerspricht: „wir sind alle zunächst davon überzeugt, dass Gleichzeitigkeit sowie Gleichheit von Längen und Zeiten für alle gelten müssen, wenn sie von einem Beobachter richtig festgestellt worden sind; wir meinen, dass sie dann »schlechthin«, »absolut«, gelten müssen, nicht nur »relativ« zu dem sie feststellenden Beobachter.“ Dieser Widerspruch mit einer tiefeingewurzelten Auffassung wird natürlich von den Anhängern der Relativitätslehre zugegeben. Sie betonen aber, dass hierin noch kein durchschlagender Grund gegen ihre Richtigkeit gegeben sei, denn die Geschichte lehre, dass sich gar manche Auffassung, die viele Jahrhunderte lang als selbstverständlich galt, schliesslich als irrig herausgestellt habe. Becher räumt dies ein, betont aber mit Recht, dass man starke Gründe fordern müsse, wenn eine so tief eingewurzelte Auffassung, die sich bisher durchaus zu bewähren schien, aufgegeben werden solle.

Nun könnte man allerdings den Versuch machen zu zeigen, dass die Einsteinsche Relativitätslehre ihren eigenen Voraussetzungen widerspreche und sich so wenigstens mittelbar selbst aufhebe. In der Tat ist dieser Weg von mehreren Gelehrten eingeschlagen worden. So weist F. Lipsius²⁾ darauf hin, dass es sich in der Relativitätstheorie um Zeit- und Raumbestimmungen handle, es aber im Wesen von Zeit und Raum liege, dass sie nicht relativiert werden könnten. Er stützt sich dabei auf die Anschauungen von W. Wundt³⁾, wonach die Motive für die logische Zerlegung aller Wahrnehmung in einen materialen und einen formalen Bestandteil, in der unabhängigen Variation dieser Bestandteile und der Konstanz des formalen Bestandteils zu suchen seien. Man gewinne den Begriff der Zeit, indem man den Wahrnehmungsinhalt in einen veränderlichen Stoff und eine Form von konstanten Eigenschaften zerlege. Darum müsse die Zeit als Unterlage eines jeden Urteils über Veränderlichkeit selbst unveränderlich gedacht werden. Wenn Einstein

¹⁾ E. Becher, Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung (Berlin 1915) 196 ff.

²⁾ F. Lipsius, Einheit der Erkenntnis und Einheit des Seins (Leipzig 1913) 224 ff.

³⁾ W. Wundt, System der Philosophie (Leipzig 1897) 105 ff.

glaube, dass die Zeit je nach dem Bezugssystem schneller oder langsamer laufe, so verwechsle er ebenso die Zeit mit zeitlichem Geschehen, wie Riemann und Helmholtz den Raum mit räumlichen Dingen verwechselten.

Diese Erwägungen sind meines Erachtens nicht durchschlagend. Geben wir einmal zu, dass die Zeitvorstellung auf dem angegebenen Wege entstehe. Es wird dann jeder Beobachter in seiner Weise die formalen und materialen Faktoren von einander trennen. Es wird zwar ein jeder zu demselben allgemeinen Schema „Zeit“ kommen, aber ein jeder wird innerhalb dieses Schemas seinem Bezugssystem entsprechend die Ereignisse geordnet finden. Wenn man sagt, jeder Beobachter habe seine eigene Zeit, so soll das nur besagen, dass jeder seine eigene Anordnung der Ereignisse in der „Zeit“ besitzt. Wenn man sagt, die Zeit des einen Beobachters läuft schneller als die des andern, so ist wiederum nur die Rede vom Ablauf der Geschehnisse in der „Zeit“.

Aehnlich sind die Einwände, die von seiten der Anhänger Kants gegen das Relativitätsprinzip erhoben werden. Nach M. Laue¹⁾ ist es allerdings mit dem kritischen Idealismus sehr wohl vereinbar. Raum und Zeit sind, so führt er aus, nach Kant reine Formen der Anschauung, ein Schema, in welches wir die Geschehnisse einordnen, damit sie im Gegensatz zu subjektiven, in hohem Masse zufälligen Wahrnehmungen objektive Bedeutung gewinnen. Diese Einordnung kann nicht a priori, sondern nur auf Grund der empirischen Kenntnis der Naturgesetze vollzogen werden. So können Ort und Zeit einer beobachteten Veränderung an einem Himmelskörper nur auf Grund der optischen Gesetze festgestellt werden. Dass zwei verschieden bewegte Beobachter, wenn jeder sich selbst als ruhend betrachtet, diese Einordnung auf Grund derselben Naturgesetze verschieden vornehmen, enthält keine logische Unmöglichkeit. Objektive Bedeutung haben beide Einordnungen dennoch, da sich aus jeder von ihnen vermittelt der Lorentzschen Transformationsformeln die für anders bewegte Beobachter gültige eindeutig ableiten lassen.

Wir wollen Laue darin nicht widersprechen, dass die Relativitätstheorie mit der Auffassung von Raum und Zeit als reinen Anschauungsformen sowie mit der Objektivität der Erfahrung im Kantischen Sinne vereinbar ist, tatsächlich war aber Kant doch der Ueberzeugung, dass es eine vom Bezugssystem des Beobachters unabhängige, räumliche und zeitliche Ordnung der Ereignisse gebe, und angesehene Vertreter des modernen Idealismus sehen in dieser Lehre nicht nur einen wesentlichen Bestandteil der kritischen Philosophie, sondern auch in ihrer Richtigkeit die notwendige Voraussetzung für jede empirische Orts- und Zeitbestimmung.

¹⁾ M. Laue, Das Relativitätsprinzip (Braunschweig 1911) 36.

Hier ist vor allem P. Natorp¹⁾ zu nennen, der sich in seinen „Logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften“ eingehend mit der Relativitätslehre beschäftigt. Nach seiner Meinung spricht dieselbe nur den Unterschied zwischen der reinen und empirischen Zeit- und Raumbestimmung aus. Die absoluten Begriffe der Zeit und des Raumes würden dadurch nicht überflüssig. Sie müssten vielmehr für jede empirische Zeit- und Raumbestimmung vorausgesetzt werden.

Natorp hat ohne Zweifel insofern Recht, als ein blosses Nebeneinanderlegen von Körpern und ein blosses Vergleichen von Bewegungen noch kein Messen ausmacht. Es muss eine „Idee“, eine mathematisch-physikalische Theorie der zu messenden räumlich-zeitlichen Mannigfaltigkeiten jenen Operationen zu Grunde liegen, wenn sie ein Messen von Raum und Zeit darstellen sollen²⁾. Damit scheint aber die Einsteinsche Auffassung noch nicht widerlegt zu sein. Denn auch hier wird der Messung eine „Idee“ zu Grunde gelegt, nur ist es nicht die Idee der absoluten, sondern der relativen Raum- und Zeitordnung³⁾.

Mit den Natorpschen Ausführungen sind nahe verwandt die von R. Höningwald⁴⁾. Auch er behauptet, es gebe keinen Begriff einer Zeit- und Raumbestimmung ohne die Begriffe jener letzten Bezugssysteme der absoluten Zeit und des absoluten Raumes. Die verschiedenen Zeiten, von denen die Relativitätstheorie rede, seien einer gemeinsamen Bedingung unterworfen, und diese eben sei die Zeit Newtons und Kants. Verschiedene Beobachter auf verschiedenen Himmelskörpern hätten verschiedene „Ortszeiten“, aber ein und dieselbe Zeit sei es, die sie umschliesse und auf deren Hintergrund jene Ortszeiten als solche vermittelt der Relativitätstheorie erst bestimmt würden⁵⁾.

Da uns dieselben Ideen in etwas klarerer Form auch bei M. Frischeisen-Köhler entgegenreten⁶⁾, so wollen wir uns damit begnügen, die Ausführungen des letzteren etwas näher ins Auge zu fassen.

Sein erster Einwand gegen die Relativitätstheorie knüpft an die Tatsache der Erdbewegung an. Ausschlaggebend für die Einsteinsche Lehre sei die erfahrungsmässige Feststellung des Fehlens eines merklichen Einflusses der Erdbewegung auf die Lichtgeschwin-

¹⁾ P. Natorp, Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften (Leipzig 1910) 392 ff.

²⁾ Vgl. R. Höningwald, Geometrien und Raumbestimmung durch Messung. Naturwissenschaften III (1915) 307 ff.

³⁾ Vgl. M. Schlick, Die philosophische Bedeutung des Relativitätsprinzips. Zeitschrift f. Philos. u. phil. Kritik. 159 (1915) 158.

⁴⁾ R. Höningwald, Zum Streite über die Grundlagen der Mathematik (Heidelberg 1912) 84 ff.

⁵⁾ A. a. O. 99.

⁶⁾ M. Frischeisen-Köhler, Das Zeitproblem: Jahrbücher der Philosophie I (1913) 129 ff.

digkeit. Hierbei sei die Tatsache der Erdbewegung wohl nicht nur in einem relativen Sinne, im Sinne der Kinematik, vorausgesetzt. Es sei doch kaum völlig gleichgültig, auf welche Körper die Begriffe Bewegung und Ruhe bei den gegenseitigen Lageveränderungen von Erde und Sonne bezogen würden. Die Antwort ist leicht zu geben. Die Bewegung der Erde ist nicht rein kinematisch zu verstehen. Dies würde ja bedeuten, es wäre ganz gleichgültig, auf welches System sie bezogen würde. Sie muss vielmehr mechanisch verstanden d. h. auf ein Inertialsystem bezogen werden. Welches Inertialsystem wir aber auswählen, ist gleichgültig; denn in jedem Falle kommen wir zu demselben Ergebnis, dass die Erde nicht während des ganzen Jahres relativ zum Aether ruhen kann.

Von grösserer Bedeutung ist der weitere Einwand¹⁾, in der Lorentztransformation und den Bedingungen, an die ihre Gültigkeit gebunden ist, sei ein Einheitssystem enthalten, in welchem allein „berechtigte“ Bezugssysteme unterscheidbar und in ihrem Verhältnis zu einander bestimmbar seien. Es müsse hier sorgfältig das Bezugssystem eines hypothetisch angenommenen Beobachters von dem Bezugssystem des Theoretikers unterschieden werden, welcher gedanklich den Uebergang von einem Bezugssystem mit dem darin postulierten Beobachter zu einem anderen ebenso postulierten Beobachter vollziehe. Lasse der Theoretiker verschiedene Bezugssysteme sich gegen einander in gleichförmiger Translation bewegen, lasse er gar von diesen Bezugssystemen Lichtsignale hin- und hergehen, dann sei ersichtlich, wie er für diese verschiedenen Bezugssysteme ein sie umfassendes, gemeinsames, für sie also absolutes Bezugssystem voraussetze. In der Tat setze die Relativitätstheorie ein einheitliches Bezugssystem in dem genauen Sinne von Newton und Kant im Raum voraus, in welchem die Bewegungen geschehen.

Man kann also nach Frischeisen-Köhler von der Bewegung der verschiedenen Bezugssysteme nur dann sprechen, wenn man eine, diesen Systemen gemeinsame und darum von der Bewegung eines jeden unabhängige Raum- und Zeitordnung voraussetzt, also gerade das postuliert, was die Relativitätstheorie in Abrede stellt.

Darauf könnte man erwidern, dass es auch nach der Relativitätstheorie eine Raum- und Zeitordnung gebe, die alle Bezugssysteme samt ihren Beobachtern umfasse und zwar nicht nur eine, sondern sogar unendlich viele. Ein jedes Inertialsystem umfasse ja die Gesamtheit aller Geschehnisse in Raum und Zeit, darum auch die Bewegungen aller übrigen Inertialsysteme mit den darin befindlichen Beobachtern. Jeder Beobachter sehe also alle übrigen Beobachter sich mit allen möglichen Geschwindigkeiten gegeneinanderbewegen und die Lichtsignale zwischen ihnen hin- und hergehen. Darum könne auch jeder Beobachter zum Theoretiker werden und über die Art und Weise, wie die von ihm beobachteten

¹⁾ A. a. O. 162.

Beobachter von ihren Bezugssystemen aus die Ereignisse in Raum und Zeit ordnen; seine Betrachtungen anstellen, ohne dass er sein System verlassen und einen Standpunkt über allen Systemen einnehmen müsse.

Das ist im wesentlichen die Art und Weise, wie M. Schlick¹⁾ den Einwand zu heben sucht. Wir halten aber seine Antwort nicht für ganz ausreichend, denn das Relativitätsprinzip spricht von allen Inertialsystemen ohne Ausnahme. Man kann aber von keinem Inertialsystem aus alle Systeme, sondern nur alle andern räumlich und zeitlich bestimmt denken, da man ja ein System niemals zu seiner eigenen Festlegung benutzen kann. Also müsste man sich in der Tat über alle Inertialsysteme erheben und eine von ihnen allen unabhängige Raum- und Zeitordnung voraussetzen. Volle Klarheit über diesen Punkt wird sich erst ergeben, wenn wir das Verhältnis der Relativitätstheorie zur realistischen Weltanschauung behandeln.

Damit, dass sich in der Einsteinschen Lehre kein evidenter Selbstwiderspruch nachweisen lässt, ist sie natürlich noch nicht gerechtfertigt. Man wird weiter fragen müssen:

b) Widerspricht die Relativitätstheorie der Anschauung?

Nach Frischeisen-Köhler ist dies nicht der Fall. Er ist der Meinung²⁾, dass psychologisch die Möglichkeit bestehe, ganz allgemein den Zeitbegriff Newtons, die gleichmässig dahinfließende Zeit, durch relative Zeiten ersetzt zu denken. Er weist darauf hin, dass die Vorstellung relativer Zeiten sogar die ursprünglichere und dem Menschen nächstliegende sei. Solange der Mensch lediglich auf subjektive Mittel der Zeitschätzung angewiesen sei, differierten gemäss den psychologischen Bedingungen der Zeitschätzung, die Aussagen verschiedener Subjekte immer. Das individuelle Zeitbewusstsein sei durchaus relativ und variere beständig nach der Veränderung seiner inneren Zustände. Der Gedanke der einen und objektiven Zeit, an welcher alle individuellen Zeitschätzungen ihr Mass finden, sei erst das Produkt wissenschaftlichen, auf die Natur als Gegenstand der Forschung bezogenen Denkens.

Dementsprechend sieht Frischeisen-Köhler in der durch die neue Zeitdefinition geforderten Relativität der Zeit keine so ausserordentliche Leistung der Abstraktion, die noch über die nicht-euklidischen Geometrien hinausliege. Er glaubt, es sei die Gewöhnung unserer theoretischen Physiker an Newtons Begriff der absoluten Zeit, die der Relativitätslehre den Anschein einer sozusagen

¹⁾ M. Schlick, Die philos. Bedeutung des Relativitätsprinzips. Zeitschr. f. Philos. u. philos. Kritik 159 (1915) S. 162.

²⁾ M. Frischeisen-Köhler a. a. O. 152. — Es ist wohl kaum nötig darauf hinzuweisen, dass die Relativität der psychologischen Zeit mit der Relativität, von der die Einsteinsche Theorie handelt, nichts gemein hat.

schwindelerregenden Revolution gegeben habe. Dem philosophischen Denken möchte der Begriff und die Vorstellung relativer Zeiten nicht so ungewohnt erscheinen.

Aehnlich äussert sich Riebesell¹⁾. Auch er hält die Einsteinsche Theorie für durchaus vereinbar mit der unmittelbaren Zeitanschauung. Die letztere sage uns über die Eigenschaften der Zeit, worüber die Relativitätstheorie handle, überhaupt nichts. Sie sei ein unmessbares qualitatives Moment unseres Erlebens, das sich in keiner Weise zu objektiver Bestimmung eigne. So schienen Vorgänge, die uns langweilig sind, im Schneckentempo dahinzuschleichen, während andere von objektiv gleicher Dauer im Nu an uns vorüberzögen. Dieses qualitative Moment könne allenfalls zur Schätzung von Zeitintervallen dienen, aber es könne selbst weder gemessen noch zur Messung benützt werden.

Die wichtige Frage, ob uns die Anschauung über den absoluten oder relativen Charakter der Gleichzeitigkeit belehren könne, wird von Riebesell verneint. Gleichzeitigkeit von Ereignissen an verschiedenen Orten, betont er, wird niemals unmittelbar erfahren, weil mindestens der eine von zwei räumlich getrennten Vorgängen nur durch Vermittlung physikalischer Prozesse zu unserer Kenntnis gelangt. Wenn einer glaube, auf Grund der Anschauung eine Reihe von Sätzen a priori aufstellen zu können, wie etwa: die Dauer eines Vorganges sei etwas Absolutes, so täusche er sich über die Herkunft solcher Sätze. Es seien in Wahrheit einfachste Annahmen, zu deren Korrektur bisher die Erfahrung niemals genötigt habe, und die sich daher festsetzten, ohne dass unser anschauliches Erleben einen Zwang dazu enthalte.

Man wird Frischeisen-Köhler und Riebesell darin beipflichten müssen, dass die Anschauung nur ein ungefähres vergleichendes Abschätzen der unmittelbar erlebten Dauer der Bewusstseinsvorgänge ermöglicht und darum mit der Relativitätstheorie, die sich auf die Einordnung der Ereignisse in die objektive Zeitordnung bezieht, nicht in Konflikt kommt.

Was die unmittelbar wahrgenommene Gleichzeitigkeit zweier Bewusstseinsinhalte angeht, so kann die Relativitätslehre schon deshalb der Anschauung nicht widerstreiten, weil nach dieser Lehre nur die Gleichzeitigkeit von Ereignissen, die an verschiedenen Orten stattfinden, relativen Charakter hat. Wo die Verschiedenheit des Ortes fehlt, gilt die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse für alle Systeme, sobald sie für eines festgestellt ist. Damit erledigt sich auch folgende von P. Bernays vorgebrachte Schwierigkeit: „Man nimmt an, der Begriff der Gleichzeitigkeit gewinne erst dann einen Inhalt, wenn man ein physikalisches Verfahren gefunden habe zur Entscheidung darüber, wann sich dieser Begriff in der Erfahrung anwenden lasse. Dass dies sich nicht wirklich so verhält, kann man daraus ersehen,

¹⁾ P. Riebesell, Zeitschr. f. Philos. u. philos. Kritik 159 (1915) 143.

dass ja das Problem, eine physikalische Methode zur Bestimmung der Gleichzeitigkeit zu finden, gar nicht entstehen könnte, wenn man nicht bereits vor der Erfindung dieser Methode einen Begriff von Gleichzeitigkeit hätte¹⁾.

Gewiss, so könnte ein Verteidiger der Einsteinschen Theorie erwidern, besitzt der Begriff der Gleichzeitigkeit einen Inhalt abgesehen von jeder physikalischen Theorie. Wir dürfen ihn aber zunächst nur auf Bewusstseinsinhalte anwenden, da nur hier Gleichzeitigkeit wirklich erlebt wird. So kann man niemals die Gleichzeitigkeit der Existenz zweier Sterne, sondern nur die Gleichzeitigkeit der entsprechenden Lichtempfindungen erleben. Es fragt sich also, ob wir das Recht haben, diesen Begriff vollinhaltlich auf die Dinge der realen Aussenwelt anzuwenden, oder ob sich bei ihnen nur eine Gleichzeitigkeit im weiteren, man könnte fast sagen in analogem Sinne findet, nämlich eine Gleichzeitigkeit relativen Charakters, die nur für ein bestimmtes Bezugssystem besteht.

Aus dem Gesagten scheint sich der Schluss zu ergeben, dass ein evidenter Widerspruch zwischen der Relativitätstheorie und der Anschauung nicht nachweisbar ist. Man wird weiter fragen:

c) Widerspricht die Relativitätstheorie irgend welchen sicher festgestellten Tatsachen?

Es sind bis jetzt keine physikalischen Tatsachen bekannt geworden, die der Relativitätstheorie widersprechen²⁾. Sie erklärt nicht nur das negative Resultat des Michelsonschen Versuches, sondern auch die Ergebnislosigkeit aller übrigen Bemühungen, einen Einfluss der Erdbewegung auf elektromagnetische Vorgänge nachzuweisen. Wir erinnern nur an die Versuche von Trouton und Noble, die Existenz eines Drehmomentes an einer geladenen Kondensatorplatte, die von Des Coudres, eine Veränderung der Induktionserscheinungen und die vom Trouton und Rankine, eine Veränderung der Stromverteilung in der Wheatstoneschen Brücke infolge der Erdbewegung aufzuzeigen. Es steht die Relativitätstheorie ferner in Einklang mit den Ergebnissen der Versuche von Wilson über ein translatorisch bewegtes, der Versuche von Röntgen und Eichenwald über ein rotierendes Dielektrikum, sowie des berühmten Fizeauschen Interferenzversuches. Sie stimmt ferner überein mit den Tatsachen der Aberration, des Dopplereffektes etc. Kurz, es gibt keine einzige sicher festgestellte Tatsache auf dem Gebiete der Optik oder der Elektrizitätslehre, die mit ihr im Widerspruche stände. Eine besondere Bestätigung hat sie noch erhalten durch die Untersuchungen über die Art und Weise, wie die träge Masse schnell bewegter Elektronen von ihrer Geschwindigkeit abhängt. Nachdem die Experimente von Bucherer und Hupka die

¹⁾ P. Bernays, Ueber die Bedenklichkeiten der neueren Relativitätstheorie (Göttingen 1913) 17 ff.

²⁾ Vgl. A. Laue, das Relativitätsprinzip. Braunschweig 1913.

Existenz einer solchen Abhängigkeit, wie sie von der Relativitätstheorie verlangt wird, als wahrscheinlich nachgewiesen, ist sie durch die neuesten Untersuchungen von Cl. Schäfer und Neumann zur Gewissheit geworden¹⁾).

Auch von seiten der Mechanik kann kein begründeter Einwand erhoben werden. Die Gesetze der klassischen Mechanik verlieren zwar in der Relativitätstheorie zum Teil ihre Gültigkeit, bleiben aber doch für gewöhnliche Geschwindigkeiten d. h. für solche, die gegenüber der Lichtgeschwindigkeit klein sind, als Annäherungen bestehen, und zwar ist ihre Abweichung von der strengen Form, wie sie die Relativitätstheorie verlangt, so gering, dass sie sich wohl für alle Zeiten der Beobachtung entziehen wird.

Es gibt also keine physikalische Tatsache, die man als Instanz gegen die neue Theorie vorbringen könnte. Aber anderseits ist nicht zu übersehen, dass damit noch keine Entscheidung für Einstein gegen Lorentz gegeben ist. Auch die Lorentzsche Theorie vermag die Tatsachen zu erklären, und es wird kaum möglich sein, auf experimentellem Wege eine Entscheidung zwischen den beiden Theorien zu gewinnen.

Mit der inneren Widerspruchslosigkeit und der Uebereinstimmung mit den Tatsachen ist die Relativitätstheorie noch nicht gerechtfertigt. Wir müssen sie noch auf ihre Vereinbarkeit mit der realistischen Weltanschauung prüfen.

2. Ist die Relativitätstheorie mit der realistischen Weltanschauung vereinbar?

1. Hier erheben sich in der Tat die schwersten Bedenken. Die Einsteinsche Lehre scheint, indem sie alles relativiert, zur Standpunktsache macht, unausweichlich zum Positivismus zu führen. „Was bietet uns“, fragt M. La Rosa, „die neue Theorie? Nichts als wenige Formeln und ein geometrisches Bild, dem sich unser Geist vergebens abmühen wird, eine greifbare Form zu geben, denn dasselbe ist aus dem vierdimensionalen Raum gewonnen. — Die Relativisten aber reden uns Mut zu. Sie glauben Elemente genug zur Aufführung eines neuen Gebäudes zu besitzen, das schöner und majestätischer sein soll, als je eines bisher geschaffen worden. Die unwandelbaren Elemente, welche als feste Grundlagen für eine physikalische Darstellung des Universums dienen können, sind . . . die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im Vakuum, die elektrische Ladung eines Elektrons, seine Masse im Ruhestand, das aus der

¹⁾ In der unter Leitung Cl. Schäfers verfassten Arbeit Neumanns war das Resultat im Bereiche von 0,7 bis 0,8 der Lichtgeschwindigkeit zweifelhaft. Durch nochmalige Ausmessung der Platten mit besserem Photometer liess sich die Richtigkeit der Lorentz-Einsteinschen Formel sogar bis 0,85 sicherstellen, so dass diese durch die Versuche von Bucherer, Neumann und Schäfer im Intervall von 0,3 bis 0,85 der Lichtgeschwindigkeit (also von 90000 km bis 255 000 km in der Sekunde) bestätigt ist.

Wärmestrahlung gewonnene elementare Wirkungsquantum, die Gravitationskonstante und noch einige andere. Diese Grössen besitzen nach den Relativisten eine absolute Bedeutung, insofern ihre Werte nicht von zufälligen Eigentümlichkeiten, der Stellung und der Geschwindigkeit eines Beobachters abhängen. In dieser neuen Richtung erscheint die Theorie von der Relativität nicht mehr als verheerende Geißel der Vernichtung, sondern als Instrument der Ordnung und des Aufbaus¹⁾. Gewiss haben die Relativitätstheoretiker in kurzer Zeit ein stattliches Gebäude aufgeführt. Sie bieten uns eine Theorie dar, die alle Naturerscheinungen umfasst und in ihren Konsequenzen bisher in keinem Punkte von der Erfahrung Lügen gestraft worden ist, aber dafür rauben sie uns, wie es scheint, die vom subjektiven Standpunkte unabhängige Wirklichkeit, auf die die realistische Erkenntnistheorie nicht verzichten kann. Denn die in den Formeln der Theorie auftretenden Grössen sind fast alle relativen Charakters, und die wenigen Konstanten können als blosse Zahlengrössen auf das Prädikat „wirklich“ keinen Anspruch erheben. Auch die Elektronen können die „absolute“ Wirklichkeit nicht ausmachen; denn wenn auch ihre Ladung für alle Bezugssysteme denselben Wert hat, so sind doch ihre Volumen und ihre Gestalt vom Bezugssysteme abhängig.

So ist es nicht zu verwundern, dass der Positivismus in der Relativitätstheorie einen willkommenen Bundesgenossen begrüsst. In diesem Sinne äussert sich J. Petzoldt²⁾: „Das Relativitätsprinzip“, sagt er, „stützt sich auf die wichtige Einsicht, dass kein Bezugssystem erkenntnistheoretisch vor irgend einem anderen etwas voraus hat. Jedes ist jedem gleichberechtigt. Was ist das aber anders als ein neuer Ausdruck für das alte protagoreische Relativitätsprinzip: Die Welt ist jedem so, wie sie ihm erscheint, d. h. der Gegensatz zwischen Sein und Sinnesein muss aufgegeben werden“. Jede Wahrheit ist somit nach Petzoldt relativ, sie gilt nur für den Standpunkt des Erkennenden. Eine standpunktfreie Wirklichkeit gibt es nicht³⁾.

Als Waffe gegen den realistischen Substanzbegriff wird die Relativitätstheorie verwandt von M. Schlick⁴⁾. Da sie nämlich die Existenz des Aethers als Trägers der elektromagnetischen Felder

¹⁾ M. Le Rosa, Geschichte einer Hypothese (Leipzig 1912) 116.

²⁾ J. Petzoldt, Das Weltproblem vom positivistischen Standpunkte aus (2. Aufl. Leipzig 1912) 203 f.

³⁾ Dieselbe Auffassung vertritt J. Petzoldt in dem Aufsätze: „Die Relativitätstheorie im erkenntnistheoretischen Zusammenhang des relativistischen Positivismus“, Verhandl. der deutschen Physik. Gesellschaft. 14 (1912) 1060. Vergl. auch Zeitschrift für positivist. Philosophie 2 (1914) 1 ff. — Petzoldt irrt übrigens, wenn er meint, die Relativitätstheorie vom Jahre 1905 stütze sich auf die erkenntnistheoretische Gleichwertigkeit aller Bezugssysteme. Es sind hier die Inertialsysteme vor allen anderen ausgezeichnet. Nur auf Inertialsysteme dürfen die Naturerscheinungen bezogen werden, wenn die Naturgesetze beim Uebergang von einem System auf ein anderes ihre Form behalten sollen.

⁴⁾ M. Schlick, Die philos. Bedeutung des Rel.-Prinzips. Zeitschr. für Philos. und philos. Kritik 159 (1915) 172.

ausschliesst, lehrt sie uns nach seiner Meinung einen Fall kennen, in dem es aus physikalischen Gründen unmöglich ist, eine beharrende Substanz als tragendes und zusammenhaltendes Prinzip hinter den „Eigenschaften“ vorauszusetzen, und steht sonach ganz im Einklange mit der positivistischen Philosophie, die sich schon längst gegen die Annahme von Substanzen als hinter den Dingen verborgenen Trägern ihrer Eigenschaften gewandt hat.

Die extremsten Konsequenzen aber hat A. Moszkowski¹⁾ gezogen. Er schreibt; „Pulverisiert, in Atome aufgelöst erscheinen plötzlich die sichersten Pfeiler aller Selbstverständlichkeiten, und aus dem gestaltlosen Chaos steigt eine neue Denkform empor, unfassbar und doch zwingend: Das Prinzip der Relativität. Wir fühlen uns von einem circulus vitiosus umklammert und sehen keinen Ausweg. Widerspruchsvolles müssen wir als widerspruchslos anerkennen, klar Bewiesenes bezweifeln, wenn nicht als unmöglich ablehnen. . . Der Weg geht über Leichen von Begriffen, neuen, blitzenden Einsichten entgegen, die kaum gewonnen, schon wieder als Begriffsleichen zu Boden sinken. . . . Jenseits von Richtig und Falsch! Zu einer anderen Formel ist nicht zu gelangen. Die Wahrheit, die diese Frage sucht, existiert nicht oder liegt jenseits von Richtig und Falsch, sie kann sich nicht wahrhaft und einleuchtend aus den Widersprüchen herauschälen, die wir erschauernd durchmessen haben“.

Moszkowski sieht in den „Widersprüchen“ der Relativitätstheorie eine Bestätigung seiner erkenntnistheoretischen Anschauungen, wonach alle Probleme, die dem menschlichen Geiste entgegnetreten, den algebraischen Gleichungen der verschiedenen Grade entsprechen. Bei den Problemen „ersten Grades“ erhalten wir eine richtige, aber tautologische, bei den Problemen „zweiten Grades“ zwei gleichrichtige, aber sich widersprechende Lösungen, bei den Problemen endlich, die einer Gleichung noch höheren Grades entsprechen, gibt es überhaupt keine begrifflich fassbare und durch Worte darstellbare Lösung. Zu den Problemen der letztgenannten Art gehört nach seiner Meinung dasjenige, welches man mit Hilfe der Relativitätstheorie zu lösen sucht.

Dass Moszkowskis Ausführungen unhaltbar sind, bedarf nach dem Gesagten keines Beweises. Die von ihm behaupteten Widersprüche, die das Relativitätsprinzip jenseits von Wahr und Falsch stellen sollen, existieren nicht; existierten sie aber, so müsste man sich einfach der Lorentzschens Auffassung der Relativität anschliessen, die evident widerspruchsfrei ist.

Was aber J. Petzoldt und seine Gesinnungsgenossen angeht, so erweisen sie unseres Erachtens der Relativitätstheorie einen schlechten Dienst, wenn sie dieselbe mit ihrem relativistischen Positivismus verquicken. Der Grundsatz, dass alle Wahrheit nur relative Geltung habe, hebt sich ja selbst auf, da er doch selbst mehr als relative Geltung beansprucht. Wenn man mit Petzoldt

¹⁾ A. Moszkowsky, Archiv f. system. Philos. (1911) XVI, 255 ff.

alle Wahrheit von der Organisation und dem Standpunkt des Subjektes abhängig macht, so setzt man damit die Existenz und die Organisation des Subjektes voraus und zwar im absoluten Sinne. Anderenfalls würde man in einen processus in infinitum hineingedrängt, der die Sinnlosigkeit der Behauptung klar ans Licht stellt.

2. Liegt denn wirklich die Notwendigkeit vor, die Relativitätstheorie im positivistischem Sinne zu verstehen? Ein Ausweg scheint sich darzubieten, der in der Tat von einem hervorragenden Mathematiker besprochen worden ist.

Zur Illustrierung der etwas schwierigen Verhältnisse ziehen wir einen analogen Fall heran. Bekanntlich besitzen nach der Ueberzeugung der Naturforscher und der meisten Philosophen die Farben, sowie die übrigen „sekundären“ Qualitäten der Körper nur relativen Charakter. Sie sind abhängig von der Organisation und dem Standpunkt des Beobachters. Nehmen wir beispielsweise an, dass ein Körper homogenes grünes Licht aussende, so können wir ihn in jeder beliebigen Farbe des Spektrums wahrnehmen, wenn wir uns mit der entsprechenden Geschwindigkeit ihm nähern oder von ihm entfernen (Dopplereffekt). Beobachter in verschiedenen bewegten Bezugssystemen nehmen also die Körperwelt ebenso in verschiedenen Farben wahr, wie sie nach Einstein verschiedene Raum- und Zeitverhältnisse feststellen. Der gewöhnlichen Beobachtung entzieht sich die Relativität in beiden Fällen, weil die ihr zur Verfügung stehenden Geschwindigkeiten zu gering sind, um merkliche Aenderungen herbeizuführen. Welchen Schluss hat man aus der Relativität der Farben gezogen? Man betrachtet die Farbe als subjektiv, hält aber doch an der realen Existenz der Körperwelt in Raum und Zeit fest und sucht durch ihren Einfluss auf das Sinnesorgan die Farbenerscheinungen zu erklären. Damit wird freilich die farbige Körperwelt des gemeinen Mannes und des naiven Realisten zu einem blossen Weltbilde degradiert, das die absolute Welt nur unvollkommen darstellt. Seine Farben besitzen mit den Qualitäten der absoluten Welt keine Uebereinstimmung, haben aber doch insofern objektive Bedeutung, als sie durch die realen räumlich-zeitlichen Verhältnisse der Gegenstände der farblosen Aussenwelt zum Sinnesorgan bedingt sind und darum auf diese zurückschliessen lassen.

Man könnte nun den Versuch machen, die Relativitätstheorie mit der realistischen Auffassung in Einklang zu bringen, indem man in der Relativierung der Welt noch einen Schritt weiter geht, ohne aber ihr absolutes Sein in Frage zu stellen. Man müsste dann auch den räumlichen und zeitlichen Eigenschaften unseres Weltbildes die Uebereinstimmung mit den Eigenschaften der absoluten Welt absprechen und dürfte sie nur als Wirkungen einer unräumlichen und unzeitlichen Welt ansehen. Sie hätten dann nur insofern Erkenntniswert, als sie gewissen, in ihrer Eigenart uns unbekanntem Relationen der absoluten Welt parallel gingen. Es hätte dann die Relativitätstheorie folgende Bedeutung: Der Beobachter A findet

sich im Besitze eines räumlich-zeitlichen Weltbildes W_a , darin findet er sich selbst als räumlich-zeitliches Wesen A_a . Als Anhänger des transzendentalen Realismus nimmt er an, dass W_a ein „Bild“ einer absoluten Welt, W und auch A_a ein Bild eines absoluten Subjektes, A ist, das einen Bestandteil der absoluten Welt ausmacht. Es findet nun A in seinem Weltbilde W_a auch einen „Beobachter“ B_a . Diesem schreibt er ein absolutes Sein B und ein Weltbild W_b zu, das natürlich durch die Beziehungen von B zu W bedingt ist. Das Weltbild W_b ist A nicht unmittelbar zugänglich. Die Relativitätstheorie zeigt ihm nun, wie er aus W_a und den räumlich-zeitlichen Beziehungen von A_a zu B_a , die ihm ja aus W_a bekannt sind, die Eigenschaften des Weltbildes W_b ableiten kann. Das Relativitätsprinzip selbst sagt aus: wenn sich B_a zu A_a in gleichförmiger Translationsbewegung befindet, so gelten in W_a und W_b genau die gleichen Naturgesetze, obschon die räumlichen und zeitlichen Dimensionen in den beiden Weltbildern nicht miteinander übereinstimmen. Alles, was hier von A mit Rücksicht auf B gesagt ist, gilt natürlich ebenso von B mit Rücksicht auf A .

Wie wäre nun diese absolute d. h. vom Standpunkt des Beobachters unabhängige Welt näherhin zu denken? Darüber hat der Mathematiker Minkowski in einem Vortrage auf der 80. Naturforscherversammlung zu Cöln im Jahre 1908 eine bemerkenswerte Hypothese aufgestellt. Der Vortrag beginnt mit den viel zitierten Worten: „Die Anschauungen über Raum und Zeit, die Ich ihnen entwickeln möchte, sind auf experimentell-physikalischem Boden erwachsen. Darin liegt ihre Stärke. Ihre Tendenz ist eine radikale. 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“. Indem Minkowski den drei Dimensionen des Raumes die mit der imaginären Einheit vermehrte Zeitdimension als vierte koordiniert, gelangt er zu einer vierdimensionalen Welt, in der jedes Nacheinander in ein Nebeneinander verwandelt und folglich die Bewegung eines jeden materiellen Punktes in der Gestalt einer Kurve im vierdimensionalen „Raume“ ausgebreitet ist. So findet die Gesamtheit aller Geschehnisse in Raum und Zeit ihre Abbildung in den „Weltlinien“ jener vierdimensionalen Welt, und es hat die Naturwissenschaft keine andere Aufgabe, als die gesetzmässigen Wechselbeziehungen zwischen diesen Weltlinien aufzudecken.

Diese Auffassung, die ihr Urheber selbst als eine Verwegenheit mathematischer Kultur bezeichnet, ist rein methodisch betrachtet, als glänzende Leistung anzusehen. Es gewinnt nämlich in ihr die mathematische Darstellung der Naturgesetze eine so überraschend einfache Form, dass sich sonst recht kompliziert erscheinende Verhältnisse leicht überschauen lassen. Vor allem erhält das Relativitätsprinzip selbst einen sehr einfachen Sinn. Da nämlich die Gleichungen der Lorentztransformation mathematisch einer Drehung des vierdimensionalen Bezugssystems um einen imaginären Winkel entsprechen,

so besagt das Relativitätsprinzip nichts anderes, als dass es in der vierdimensionalen absoluten Welt keine ausgezeichnete Richtung gibt. Damit kämen wir zu einer Welt, worin der Unterschied zwischen Raum und Zeit völlig ausgeköscht wäre. Sie wäre überräumlich und überzeitlich und somit von dem Weltbilde der einzelnen Beobachter grundwesentlich verschieden.

So lange dieser vierdimensionalen Welt nur methodische Bedeutung beigelegt wird, kommt sie für unsere Untersuchung nicht weiter in Betracht; sie ist dann eben nur eine neue Methode der Darstellung und Forschung, die durch ihre Erfolge gerechtfertigt wird. Anders aber, wenn Minkowski die Eigenschaften dieser Welt auf die vom Standpunkte des Beobachters unabhängige Realität, die dem räumlich-zeitlichen Weltbilde zugrunde liegt, überträgt und so die neue Methode in eine neue Metaphysik verwandelt. Das scheint in der Tat seine Absicht zu sein, und in diesem Sinne ist er von Naturforschern und Philosophen verstanden worden. So von M. Planck¹⁾, der erklärt, die Bedenken gegen die Allgemeingültigkeit des Relativitätsprinzips seien ganz derselben Art, wie die gegen die gleichberechtigte Existenz von Antipoden auf der entgegengesetzten Seite der Erdkugel, und von E. Becher, der die Gleichwertigkeit der Dimensionen der absoluten Welt als undurchführbare Hypothese bekämpft.

3. Gegen den in Rede stehenden Versuch, die Relativitätslehre mit einer realistischen Erkenntnistheorie zu versöhnen, im allgemeinen und gegen die Minkowskische Auffassung im besonderen richten sich schwere Bedenken. Besonders drei Punkte sind es, die zur Kritik Anlass geben: die Unräumlichkeit der realen Aussenwelt, ihre Unzeitlichkeit und die Gleichwertigkeit ihrer Dimensionen

Die Behauptung von der Unräumlichkeit oder Ueberräumlichkeit der Welt tritt uns allerdings in der Geschichte der Philosophie nicht selten entgegen. Nicht nur Phänomenalisten, sondern auch Realisten haben es für unerlaubt oder für bedenklich erklärt, den Dingen an sich räumliche Bestimmungen beizulegen. So rechnet E. Becher²⁾ mit der Möglichkeit, dass die räumlichen Unterschiede in der Wahrnehmung nur Zeichen entsprechender Unterschiede in der Aussenwelt seien. Den räumlichen Verhältnissen entsprächen besondere Verhältnisse in der Aussenwelt, von deren Eigenart wir gar nichts weiter zu wissen brauchten; es genüge anzunehmen, dass sie den räumlichen Verhältnissen unserer Anschauung korrespondierten. Wir könnten dann im übertragenen Sinne auch von räumlichen Verhältnissen, von oben und unten, gross und klein usw. bei Aussenweltobjekten reden. Damit erhalte der physikalische Realismus eine Umdeutung, die ihm nichts von seiner Leistungsfähigkeit nehme und ihn doch vor Angriffen sichere. Es spreche zwar ein natürlicher Glaube dafür, dass das Nebeneinander in der Aussenwelt dem Nebeneinander in der Gesichts- und Tastwahrnehmung gleichartig sei, es

¹⁾ M. Planck, Acht Vorlesungen über theor. Physik (Leipzig 1910) 121.

²⁾ E. Becher, Naturphilosophie (Leipzig 1914) 178 ff.

habe aber der naturwissenschaftliche Realismus kein Interesse daran, diese unnötige spezielle Annahme festzuhalten. Sie stelle ebenso eine entbehrliche und unbeweisbare Belastung des Realismus dar, wie die Beibehaltung der sekundären Qualitäten.

Wir glauben doch nicht, dass man so leichten Herzens den räumlichen Charakter der Aussenwelt preisgeben darf. Nicht nur würde dadurch das Nebeneinander in der Wahrnehmung ein unlösbares Rätsel, die Konsequenz würde uns weiter treiben und nötigen, der Aussenwelt auch die Zeitlichkeit abzusprechen. Damit kämen wir aber zu einer Welt, in der es kein Früher und kein Später gäbe, die keine bestimmte Dauer hätte, in der auch das Kausalitätsprinzip keine Anwendung fände. Wie könnte eine solche Welt noch als Ursache der zeitlichen Wahrnehmungen angesehen werden?

Will man diese für den Realismus bedenklichen Konsequenzen vermeiden, so muss man mit gleicher Entschiedenheit an der Räumlichkeit wie an der Zeitlichkeit der absoluten Welt festhalten. Ist aber die reale Aussenwelt ein räumlich-zeitliches Gebilde, so kann auch von der Gleichwertigkeit ihrer vier Dimensionen keine Rede sein. Uebrigens richten sich gerade hiergegen noch besondere Bedenken, die von Becher¹⁾ klar und treffend entwickelt worden sind. Er weist vor allem darauf hin, dass auch nach der Relativitätstheorie ein räumlicher Abstand gleichzeitiger Ereignisse nicht durch Standpunktwechsel in einen zeitlichen Abstand räumlich zusammenfallender Ereignisse umgewandelt werden kann. Es sei also Vertauschung der Raumrichtungen doch etwas anderes als Vertauschung einer Raumrichtung mit einer Zeitrichtung. Darum werde es schwerlich angehen, in der absoluten Welt den Unterschied zu verwischen, der sich in unserer Wahrnehmung als Unterschied von Raum und Zeit manifestiere.

Diesen Erwägungen gegenüber könnte man allerdings geltend machen, dass Minkowski die absolute Welt nicht in dem Sinne als „unräumlich“ und „unzeitlich“ auffasse, als ob sie mit Raum und Zeit gar nichts zu tun hätte, er wolle doch nur den „Raum für sich“ und die „Zeit für sich“ zu Schatten herabsinken lassen, eine „Art von Union“ aber von Raum und Zeit solle Selbständigkeit bewahren. Diese Raumzeitlichkeit der absoluten Welt zerfalle für die Weltbilder der verschiedenen Beobachter in verschiedener Weise in Räumlichkeit und Zeitlichkeit, jedoch so, dass man von jedem Weltbilde durch einfache Transformationsgleichungen zu jedem anderen übergehen könne. Was speziell die Kausalbeziehungen angehe, so komme diesen absoluter Charakter zu, da sie durch Naturgesetze bestimmt seien, diese aber in der Relativitätstheorie nicht relativiert würden, sondern für alle Beobachter identisch seien.

Wir wollen diese Auffassung nicht als ganz unmöglich bezeichnen. Jedenfalls aber widerspricht sie der allgemeinen Anschauung der Menschheit in so hohem Masse, dass sie nur durch zwingende

¹⁾ E. Becher, Weltgebäude, Weltgesetze, Weltentwicklung (Berlin 1915) 192.

Gründe gerechtfertigt werden könnte. Solche aber scheinen uns bis jetzt nicht vorzuliegen.

5. Wenn man sich so genötigt sieht, die absolute Welt in Raum und Zeit existieren zu lassen, ist es dann nicht um die Relativitätslehre geschehen? Das wäre der Fall, wenn man ihre Behauptungen in metaphysischem Sinn verstehen müsste. Will sie sagen, dass es keine vom Standpunkte des Beobachters unabhängige materielle Wirklichkeit gebe, so verwickelt sie sich in die Absurditäten des Positivismus; will sie aber nur behaupten, dass wir diese Wirklichkeit nicht in ihrem Ansichsein erfassen können, so ist dagegen vom philosophischen Standpunkte nichts einzuwenden. Für den Physiker als solchen gibt es keine absolute Grösse und Gestalt der Körper, keine absolute Dauer der Veränderungen, weil er derselben mit seinen Hilfsmitteln niemals habhaft werden kann. Es wäre Willkür, wenn er ein Inertialsystem vor allen anderen bevorzugen und die von ihm aus getroffenen Festsetzungen als die richtigen, alle übrigen als unrichtig bezeichnen wollte. Dazu kommt noch, dass auch für seine Zwecke alle Systeme gleichwertig sind: es kommt ihm nicht darauf an, die absoluten Grössen festzustellen, sondern die Naturgesetze zu ermitteln, die den Ablauf der Erscheinungen beherrschen. Diese aber ergeben sich für alle Systeme in genau der gleichen Form. Daraus ergibt sich auch, dass man hier nicht von Sinnestäuschungen im gewöhnlichen Sinne sprechen kann. Sinnestäuschungen stellen sich nämlich dadurch als solche heraus, dass sie sich als Wirklichkeit betrachtet in die allgemeine Naturgesetzlichkeit nicht einfügen, hier aber haben wir in den verschiedenen Systemen Festsetzungen, die ganz gleichberechtigt erscheinen, weil sie sich für jeden Beobachter in sein Weltbild vollkommen einfügen, mögen sie auch mit den Weltbildern der übrigen Beobachter im Widerspruche stehen. Aber trotz alledem ist es irreführend, schlechthin zu sagen, es gibt keine absolute Grösse und Gestalt usw. Mag es auch Willkür sein, einem Körper, der dem einen Beobachter als Kugel, allen anderen als Rotationsellipsoid erscheint, etwa die Kugelgestalt als wahre Gestalt beizulegen, so ist es doch keine Willkür, zu behaupten, dass er überhaupt eine bestimmte Gestalt haben muss. Daraus, dass es Willkür ist, von irgend einer Gestalt zu behaupten, sie sei die wahre, folgt nicht, dass es Willkür ist, zu behaupten, irgend eine Gestalt sei die wahre.

Lässt man so die absolute Welt mit räumlichen und zeitlichen Eigenschaften existieren, so muss man natürlich auch die Beobachter mit ihren Bezugssystemen in diese absolute Welt aufnehmen und ihre Bewegungen zu einander auf Bewegungen in der absoluten Welt zurückführen. Daraus ergibt sich aber eine wichtige Konsequenz.

Nehmen wir an, ein Körper besitze in der absoluten Welt Kugelgestalt. Dann wird es ein und, wie aus den Grundgleichungen der Relativitätstheorie folgt, auch nur ein Inertialsystem geben, in dem der Körper als Kugel erscheint. Es wird also ein System vor allen

anderen ausgezeichnet sein, indem es die „wahre“ Gestalt der Körper zum Ausdruck bringt. Diese ausgezeichnete Stellung lässt sich aber nur durch die Annahme erklären, dass es entweder im „absoluten Raume“ ruht, oder sich gegenüber einem für den Ablauf der Naturerscheinungen besonders wichtigen Bestandteil der absoluten Welt, etwa dem Aether, in relativer Ruhe befindet. Es wären dann die Abweichungen, die sich für alle übrigen Systeme ergeben, entweder auf ihre absolute Bewegung oder auf ihre relative Bewegung zum Aether zurückzuführen. Da man aber der absoluten Bewegung einen solchen Einfluss unmöglich zuschreiben kann, so kommen wir, wie es scheint, auf die Lorentzsche Theorie zurück, wonach die Abweichungen, die zwischen den absoluten Raum- und Zeitverhältnissen und den Feststellungen eines Beobachters bestehen, auf den Einfluss des Aetherwindes zurückzuführen sind.

Allerdings! Aber wir gehen zugleich über die Lorentzsche Theorie hinaus, wenn wir das Relativitätsprinzip als allgemeines Naturgesetz ansehen, das für alle Beobachter gilt, auch für solche, die wir uns mit idealen Mitteln ausgerüstet denken. Lorentz selbst scheint sich gegen diese weitergehende Auffassung nicht ganz ablehnend zu verhalten, wie aus einem seiner zu Göttingen gehaltenen Vorträge¹⁾, worin er den Unterschied seiner Anschauung von der Einsteinschen auseinandersetzt, hervorzugehen scheint.

* * *

Wir kommen so zu dem Ergebnis, dass die Relativitätstheorie widerspruchlos ist, mit den Tatsachen im Einklange steht, und, so lange sie als rein physikalische Theorie auftritt, mit einer realistischen Weltanschauung vereinbar ist. Sollte sie sich auf die Dauer behaupten, so müssten wir in ihr eine überaus wichtige Errungenschaft der Naturforschung begrüßen. Sie würde vor allem dadurch von Bedeutung sein, dass sie ein allgemeines Kriterium enthielte, dem jedes Naturgesetz zu genügen hätte. Jedes Naturgesetz müsste so beschaffen sein, dass es beim Uebergange von einem Inertialsystem zu einem beliebigen anderen seine Form bewahrte. Besondere Schwierigkeiten hat es bereitet, das Newtonsche Attraktionsgesetz mit dieser Forderung in Einklang zu bringen. Einsteins Untersuchungen hierüber sind erst vor kurzem zum Abschlusse gelangt. Sie führen nicht nur zu einer Modifizierung des Attraktionsgesetzes, durch die die bisher unerklärte Perihelbewegung des Planeten Merkur ihre volle Erklärung findet, sondern auch zu einer so folgenreichen Weiterbildung der Relativitätstheorie selbst, dass wir es für angebracht halten, ihnen demnächst noch eine besondere Abhandlung zu widmen.

¹⁾ H. A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski, Das Relativitätsprinzip. Eine Sammlung von Abhandlungen (Leipzig: 1913) 75.