

Kritik und Fortbildung der Relativitätstheorie

Herausgeber: Karl Sapper

1957



AKADEMISCHE DRUCK- U. VERLAGSANSTALT
GRAZ - AUSTRIA

Karl Sapper

Sinn und Begründung des Begriffes

der Relativität in der Relativitätstheorie

I. Relativität und Reziprozität der Bewegungen

Die nächstliegende Frage, mit welcher etwa der Laie an die relativitätstheoretische Literatur herantritt, ist zweifellos die: was denn der Begriff der Relativität eigentlich bedeutet. Aber so gewaltig auch die relativistische Literatur angewachsen sein mag: eine klare und eindeutige Antwort auf die genannte Frage findet der Leser in ihr kaum. Vielmehr kommt er sehr bald zu der Einsicht, dass unter Relativität Verschiedenes verstanden wird.

Der Begriff der Relativität wird in der Relativitätstheorie in einer dreifachen Bedeutung gebraucht.

Zunächst besteht sich die Relativität auf Bewegungen materieller Objekte. Diese Relativität hat eine doppelte Bedeutung, die zwar in der Literatur nicht unterschieden wird, aber bei näherem Zusehen keineswegs dasselbe besagt. Der Satz: Jede Bewegung ist relativ - bedeutet einmal: die Bewegung eines materiellen Objektes ist nur dann für uns wahrnehmbar oder überhaupt sinnvoll, wenn ein Bezugssystem oder Bezugshörper vorhanden ist, relativ zu dem die Bewegung des betreffenden Objektes vorhanden ist oder wenigstens gedacht werden kann. Die zweite Bedeutung der Relativität bezieht sich ebenfalls auf bewegte Objekte; sie behauptet die Vertauschbarkeit des bewegten Körpers und seines Bezugssystems. Ist für unsere unmittelbare Wahrnehmung ein Objekt A auf ein ruhendes Objekt B hin bewegt, so soll es immer möglich sein, B relativ zu A bewegt und A ruhend zu denken, wobei sich nur die Bewegungsrichtung umkehrt. Eine dritte Bedeutung von Relativität betrifft direkt nicht die Bewegungen, sondern die Raum- und Zeitlängen. Diese Längen sollen abhängig und in Folge dessen verschieden sein je nachdem Bewegungszustand des sie beurteilenden Beobachters. Während die beiden ersten Bedeutungen des Relativitätsbegriffes schon vor der (vor allem durch Einstein begründeten) Relativitätstheorie

(RT) von vielen Physikern angenommen worden sind, so kann die dritte Bedeutung als das hervorstechendste Merkmal der heute als RT bezeichneten Theorie angesehen werden. Wir wollen nun die drei Bedeutungen der Relativität im einzelnen betrachten.

Die erste lässt sich kurz ausdrücken als die Notwendigkeit des Vorhandenseins eines Bezugssystems bei jeder Bewegung eines materiellen Objektes. Sehen wir von der dynamischen Seite der Bewegung eines Objektes ab, beschränken wir uns also auf die Betrachtung der Bewegung als reiner Ortsveränderung eines Körpers, so gilt für eine solche Bewegung dasselbe, was für alle räumlichen Daten eines Körpers gilt: sie haben nur einen Sinn, wenn sie auf andere Objekte bezogen werden. Aussagen wie: ein Körper befindet sich rechts, oben, vorn, sind sinnlos, wenn nicht gesagt wird relativ wozu sich der Körper rechts u. s. w. befindet. Dasselbe gilt von der Bewegung eines Körpers, sofern diese eben nur als ein phoronomisches Geschehen aufgefasst wird.

Eine Bewegung eines Körpers, für die es kein Bezugssystem gibt, die also nicht als relativ zu etwas Anderem definierbar ist, wäre als eine absolute Bewegung zu definieren. Eine solche absolute Bewegung wäre z. B. die Bewegung eines Körpers relativ zum absoluten Raum, wenn unter diesem Raume das absolute Nichts verstanden wird. Aber eine Bewegung wäre auch dann als absolut zu bezeichnen, wenn sie gegen einen Raum erfolgte, der mit einem überall gleichen, unveränderlichen Äther erfüllt gedacht wird. Sowie aber der den Raum füllende Äther als eine physikalische Realität gedacht wird, die eine charakteristische Struktur aufweist, so ist kein Grund einzusehen, warum eine Bewegung gegen diesen Äther prinzipiell undenkbar sein sollte.

Für geradlinig-gleichförmige Bewegungen von materiellen Objekten wird schwerlich jemand die Relativität einer Bewegung im Sinne der Notwendigkeit des Vorhandenseins eines Bezugssystems bestreiten.

Trifft nun die Relativität in diesem Sinne auch für beschleunigte Bewegungen zu?

Fahren wir bei Nacht in einem ideal geradlinig-gleichförmig bewegten Zuge bei verhängten Fenstern, so können wir nicht feststellen, ob unser Zug fährt, weil hier eben das Bezugssystem für die Bewegung fehlt. Ist aber die Bewegung unseres Zuges beschleunigt - auch die Bremsung fällt als negative Beschleunigung unter den letzteren Begriff - so erkennen wir an den Stößen, die wir bei jeder merklichen Änderung der Fahrgeschwindigkeit unseres Zuges verspüren, dass unser Zug fährt, trotzdem wir in diesem Falle kein Bezugssystem für die Bewegung unseres Zuges wahrnehmen.

Stellen wir uns vor, dass unsere Erde dauernd von einer dichten Wolkenschicht umhüllt wäre, so dass Sonne und Sterne dauernd für uns unsichtbar wären, so wären die Bewegungen der Himmelskörper relativ zu unserer Erde und also auch die "reziproken" Bewegungen der Erde - die Translation, bzw. die Rotation der Erde - für uns nicht direkt erkennbar, weil uns eben die Bezugskörper für jene Bewegungen unserer Erde, die Sonne bzw. die

Sterne - nicht wahrnehmbar wären. Nun treten aber infolge der Rotation der Erde, vor allem infolge der Zentrifugalkraft die bekannten Erscheinungen auf - Abnahme der Intensität der Schwerkraft vom Pol zum Äquator u. s. w., aus denen wir die Rotation der Erde auch dann erschliessen könnten, wenn uns ein Wolkenschleier dauernd den Anblick des gestirnten Himmels verdecken würde.

Die beiden Beispiele beschleunigter Bewegungen - der bei Nacht mit ungleichförmiger Geschwindigkeit fahrende Zug und die rotierende Erde - zeigen also, dass beschleunigte Bewegungen für uns auch ohne Bezugssystem erkennbar sind. Die Relativität der Bewegungen im Sinne der Notwendigkeit des Vorhandenseins eines Bezugssystems scheint also nur für gleichförmige, nicht aber für beschleunigte Bewegungen zu gelten.

Die relativistische Schulphysik begegnet dem Einwande gegen die ausnahmslose Gültigkeit der Relativität der Bewegungen (also auch der beschleunigten) dadurch, dass sie zu beweisen versucht, dass die Relativität der Bewegungen in der zweiten Bedeutung des Wortes Relativität, also in der Bedeutung Vertauschbarkeit (Reziprozität) von bewegtem Körper und Bezugskörper, für alle, also auch für die beschleunigten Bewegungen gilt. Über den Wert dieses "Beweises" werden wir bei der Betrachtung des Reziprozitätsprinzips zu reden haben.

Das uns hier beschäftigende Problem lautet aber: ist eine Bewegung für unsere Anschauung auch ohne Bezugssystem wahrnehmbar? Diese Frage ist aber unbedingt zu verneinen; die Relativität aller Bewegungen in der Bedeutung: Vorhandensein eines Bezugssystems - ist unbedingt zu bejahen. Die Ausnahmen bei beschleunigten Bewegungen sind nur scheinbar.

Wenn wir aus den Stößen, die wir in einem fahrenden Zuge erleiden, die Bewegung des Zuges zu erkennen vermögen, so haben wir darum doch keine Anschauung der Bewegung des Zuges. Aus Erfahrung wissen wir, dass mit den Stößen eine Bewegung des Zuges verbunden ist. Es handelt sich hier also nicht um eine Anschauung der Bewegung, sondern lediglich um einen Schluss aus der Erfahrung auf eine Bewegung. Noch einleuchtender wird hier das Beispiel der Rotation der Erde bei bedecktem Himmel sein. Aus Erfahrungen an rotierenden Körpern auf der Erde kennen wir die mit der Rotation verbundenen Zentrifugalkräfte und ihre Wirkungen. Wir stellen nun ähnliche Wirkungen auf der als Himmelskörper betrachteten Erde fest und schliessen aus diesen Wirkungen auf die Rotation der Erde. Aber von einer Wahrnehmung der Rotation der Erde auf Grund der Wirkungen der Zentrifugalkraft ist ja offenbar keine Rede. Der Satz: Bewegungen materieller Objekte sind für uns nur beim Vorhandensein eines Bezugssystems für solche Bewegungen wahrnehmbar, ist zum mindesten für Massenbewegungen ausnahmslos richtig.

Wir wenden uns nun zur Betrachtung der Relativität der Bewegungen im zweiten Sinne, nämlich zu dem Prinzip der Vertauschbarkeit eines bewegten Objektes mit seinem Bezugssystem, dem sogen. Reziprozitätsprinzip; die Gültigkeit dieses Prinzips wird in der RT allgemein angenommen.

Machen wir uns die Sache an einem konkreten Beispiele klar. Die Bewegungsrelation Fixsternhimmel - Erde wurde von Ptolemäus dem Sinnen-schein entsprechend gedeutet: die Erde ruht - der Fixsternhimmel ist relativ zur Erde (als sein Bezugssystem) bewegt. Kopernikus sagte: die Erde ist bewegt relativ zum ruhenden Fixsternhimmel (als ihrem Bezugssystem). Vor dem Aufkommen der RT war jedermann der Meinung: entweder Ptolemäus oder Kopernikus hat recht. Die RT behauptet auf Grund der Anwendung des Vertauschbarkeitsprinzips: man kann höchstens sagen, dass die Lehre des Kopernikus (vor allem bezüglich der Bewegungsrelation Sonne - Erde) eine einfachere Beschreibung der Bewegungen der Himmelskörper ermöglicht, aber unrichtig ist die Lehre des Ptolemäus nicht, so wenig wie des Kopernikus.

Um die relativistische These zu prüfen, ist es notwendig, etwas weiter auszuholen und zunächst einmal den Unterschied zwischen wahrnehmbarer und wirklicher Bewegung festzustellen. Unmittelbar gegeben ist uns ja stets nur eine wahrnehmbare (wahrgenommene) Bewegung - darin hat der "Positivismus" recht. Aber wir schliessen aus der wahrgenommenen auf eine wirkliche Bewegung, wobei wir unter der wirklichen die von unserer Wahrnehmung unabhängige Bewegung verstehen. Eine Bewegung wie etwa die des Fixsternhimmels relativ zur Erde ist uns zunächst als Wahrnehmung gegeben; aber wir sind überzeugt, dass diese Bewegung - ebenso wie etwa die Bewegung der Erde um die Sonne - längst stattgefunden hat, ehe wahrnehmende Wesen (Menschen) diese Bewegungen sahen. Wir haben also in der wahrgenommenen Bewegung einen Hinweis auf die wirkliche Bewegung.

Nun bietet uns die Wahrnehmung einer Bewegung eines materiellen Objektes einen doppelten Aspekt, je nachdem wir an der Bewegung des Objektes teilnehmen oder nicht. Auch hierfür ein Beispiel.

Der Passagier in einem fahrenden Zuge macht die Wahrnehmung: der Zug ruht, das Gelände bewegt sich. Wir bezeichnen den mitfahrenden Passagier als den Innenbeobachter (B_i). Der Bahnwärter (Aussenbeobachter, B_a) nimmt den Zug als bewegt, das Gelände als ruhend wahr. Offenbar stehen die beiden Wahrnehmungen im Verhältnis der Reziprozität. Wir wollen nun - rein definitivisch! - die dem unmittelbaren sinnlichen Eindruck entsprechende Bewegung als die ursprüngliche, die durch Vertauschung entstandene gedachte Bewegung als die reziproke bezeichnen. Für den B_a ist also die ursprüngliche Bewegung diejenige, die für den B_i als die reziproke zu bezeichnen ist - und umgekehrt.

Das Problem wird also nicht lauten: ist die ursprüngliche oder die reziproke Form der Bewegung die richtige, bzw. die unrichtige - denn insofern es sich um blosser Wahrnehmungen handelt, hätte es keinen Sinn, von richtig oder unrichtig zu sprechen. Wohl aber erhebt sich die Frage, ob die beiden möglichen Formen einer wahrgenommenen (wahrnehmbaren) Bewegung in gleicher Weise der wirklichen Bewegung entsprechen, bzw. einen richtigen Hinweis auf die wirkliche Bewegung darstellen.

Kommen wir auf unser Beispiel des fahrenden Zuges zurück. Ist die Wahrnehmung des B_a (Bahnwärters), der den Zug bewegt, das Gelände ru-

hend sieht, oder ist die Auffassung des B_i (Passagiers im Zuge), der das Gelände bewegt, den Zug ruhend sieht, die richtige, d. h. also diejenige, welche der wirklichen Bewegung entspricht? Oder sind die beiden Formen der Wahrnehmung der Bewegung gleich "richtig"? Dem "gesunden Menschenverstand" erscheint ja allerdings die Beantwortung dieser Frage selbstverständlich. "Selbstverständlich" bewegt sich der Zug; die Bewegung des Geländes ist eine scheinbare, fiktive Bewegung. Aber die Sache ist doch nicht so ganz selbstverständlich. Warum soll der B_i , der das Gelände bewegt sieht, gegenüber dem B_a , der den Zug bewegt sieht, im Unrecht sein? Der Naturlauf bleibt derselbe, wenn wir die Wahrnehmung des B_i als die richtige ansehen oder wenn wir die Wahrnehmung des B_a für die richtige halten. Die Richtung der Bewegung kehrt sich zwar um, wenn wir von der ursprünglichen zur reziproken Bewegung (oder umgekehrt) übergehen; aber das bedeutet keine Änderung des Naturlaufes.

Wir wollen nun annehmen, dass zwei auf Parallelgleisen fahrende Züge zwischen zwei Stationen A und B etwa in der Mitte, C, aneinander vorbeifahren. Ein B_a , der die beiden Züge etwa in einem Momente t aneinander vorbeifahren sieht, wird sagen: die beiden Züge fahren relativ zum ruhenden Gleis in entgegengesetzter Richtung, während das Gelände zwischen ihnen ruht. Nun soll in jedem der beiden Züge ein Beobachter, B_i und B_i' , sein; beide sollen so zum Fenster hinausschauen, dass sie im Momente t denselben Geländestreifen zwischen den Schienen ihrer Züge sehen. B_i wird dann sagen: der Geländestreifen hat sich im Momente t von B nach A bewegt. B_i' wird sagen: dieser Geländestreifen hat sich im Momente t von A nach B bewegt. Die Wahrnehmungen von B_i und B_i' sind offenbar das reziproke Bild dessen, was der B_a wahrnimmt. Während nun die Wahrnehmung des B_a ohne weiteres als der adäquate Hinweis auf die wirkliche Bewegung der Züge betrachtet werden kann, ist dies für die reziproke Wahrnehmung, also für die Wahrnehmung der beiden Innenbeobachter offenbar unmöglich. Dass ein und derselbe Geländestreifen in demselben Momente in Wirklichkeit nach entgegengesetzten Richtungen bewegt sein kann, ist doch logisch undenkbar! Es liegt hier also der Fall vor, dass nur eine der beiden möglichen Formen der Bewegung, hier diejenige, welche der B_a wahrnimmt, als die "richtige" d. h. als der zutreffende Hinweis auf die wirkliche Bewegung gelten kann.

Ein zweites Beispiel, das zu einem ähnlichen Ergebnis führt, ist die jährliche Drehung der Erde um die Sonne. Die reziproke Bewegung wäre hier die Bewegung der Sonne um die Erde, also die schon den Alten als die Tierkreisbahn der Sonne am Himmel bekannte Bewegung der Sonne. Wenn nun die Bewegung der Erde um die Sonne (im Sinne des Kopernikus) als die "wirkliche" Bewegung gilt, so ist klar, dass dann diese Bewegung der Erde auch relativ zum Fixsternhimmel erfolgen muss. Sie muss sich dann in einer Verschiebung der Lage der Fixsterne für den irdischen Beobachter zu erkennen geben. Bei der ungeheuren Entfernung der Fixsterne von der Erde wird diese Verschiebung natürlich äusserst gering und schwer feststellbar sein. Sie konnte aber wenigstens für die der Erde näher gelegenen Sterne als kleine geschlossene Bahn, (als Parallaxe), sicher festgestellt werden. Nehmen wir nun aber an, die reziproke Bahn, also die Bewegung der Sonne relativ zur

ruhenden Erde, sei die "wirkliche" Bewegung, so ist in diesem Falle offenbar die Erde nicht nur relativ zur Sonne, sondern auch relativ zum Fixsternhimmel in Ruhe. Aber die kleinen Bahnen der Fixsterne sind darum doch nicht verschwunden. Wollte man sagen: im Falle der Bewegung der Sonne um die Erde treten eben die parallaktischen Bewegungen der Fixsterne nicht auf - so wäre eben die Bewegung der Sonne um die Erde nicht die reziproke Bewegung gegenüber der Bewegung der Erde um die Sonne. Denn bei der Vertauschung von bewegtem Körper und Bezugskörper darf sich nur die Bewegungsrichtung ändern; der Naturlauf muss unverändert bleiben. Wenn aber im Falle einer Bewegung der Erde um die Sonne die parallaktischen Bahnen der Fixsterne auftreten, im reziproken Falle aber verschwinden, so wäre der Naturlauf in diesen beiden Fällen nicht mehr derselbe. Wenn man aber sagt: die parallaktischen Bahnen treten in beiden Fällen, also im Falle der ruhenden Erde ebenso wie im Falle der bewegten Erde, auf, so wird man im ersteren Falle das Auftreten der parallaktischen Bahnen nur sehr schwer und mit äusserster Künstlichkeit erklären können, während eine Erklärung für das Auftreten der Bahnen im Falle der bewegten Erde ohne jede Schwierigkeit möglich ist. Auch hier haben wir ein Beispiel dafür, dass die beiden Formen der Bewegung Erde \rightleftharpoons Sonne, die ursprüngliche und die reziproke Form dieser Bewegung, für die Erkenntnis der wirklichen Bewegung durchaus nicht gleichwertig sind. Stellen wir uns auf den Standpunkt des irdischen Beobachters, so wäre in diesem Beispiele also die reziproke Bewegung als diejenige anzusehen, welche den richtigen Hinweis auf die wirkliche Bewegung gibt; die dem Sinnschein entsprechende Bewegung der Sonne muss als scheinbare Bewegung gelten.

Wir haben uns im Bisherigen auf die Betrachtung der Bewegungen nach ihrer rein kinematischen Seite, als Ortsveränderungen, beschränkt. Eine solche Beschränkung ist für geradlinig gleichförmige Bewegungen zweifellos möglich. Aber das Beispiel der an einander vorbeifahrenden Züge hat uns gezeigt, dass schon bei der Beschränkung auf geradlinig gleichförmige Bewegungen sich für die Durchführung des Reziprozitätsprinzips grosse Schwierigkeiten ergeben, denn wir können uns ja die aneinander vorbeifahrenden Züge ohne weiteres als ideal geradlinig gleichförmig bewegt denken; die oben auseinandergesetzte Schwierigkeit für die Anwendung des genannten Prinzips wird dadurch in keiner Weise verringert. Aber noch grössere Schwierigkeiten ergeben sich, wenn man das Reziprozitäts- ("Relativitäts")-Prinzip auf beschleunigte Bewegungen ausdehnt, wie dies in der allgemeinen RT geschieht.

Beschleunigte Bewegungen setzen Kräfte voraus, welche die Beschleunigungen verursachen. Gilt das Reziprozitätsprinzip auch für beschleunigte Bewegungen, so muss die Vertauschbarkeit auch die Kräfte betreffen. An einem von Einstein angeführten Beispiele soll dies verdeutlicht werden.¹⁾

Ein Zug wird in seiner Fahrt stark gebremst; ein Reisender im Zuge erfährt bei der Bremsung einen Stoss in der Fahrtrichtung des Zuges (nach vorne). Vor der Bremsung kann die Bewegung des Zuges geradlinig gleichförmig gedacht werden; die reziproke Bewegung des Zuges vor der Brem-

sungsperiode wäre: Bahndamm und Erde sind nach rückwärts bewegt, der Zug ruht. Die Bremsungsperiode bedeutet die Periode der negativen Beschleunigung (Verlangsamung) der Bewegung des Zuges, oder wenn wir die zur Zugsbewegung reziproke Bewegung ins Auge fassen, so bedeutet die Bremsung die Verlangsamung der nach rückwärts gerichteten Bewegungen von Bahndamm und Erde. Diese Verlangsamung muss nun offenbar der Wirkung eines Schwerfeldes zugeschrieben werden, dass nach vorne, d. h. der Richtung der Bewegung von Bahndamm und Erde entgegengesetzt gerichtet ist. Der Ruck, den der Reisende im Zuge nach vorn erfährt, ist ebenfalls die Wirkung dieses Gravitationsfeldes. Hier haben wir also ein Beispiel, wie eine Kraft bei einer beschleunigten Bewegung "relativiert" werden kann: an Stelle der die "ursprüngliche" (wirkliche!) Beschleunigung (Verlangsamung) verursachende Kraft, der "Bremskraft", muss eine die reziproke Bewegung verursachende Kraft, die Gravitationskraft, treten, die in der zur Bremskraft entgegengesetzten Richtung wirken muss.

Erinnern wir uns nun an die Bedingungen für die Gültigkeit der Reziprozität: ursprüngliche und reziproke Bewegung dürfen abgesehen von der Bewegungsrichtung nicht unterscheidbar sein - und der Naturlauf darf bei der Vertauschung der beiden Formen der Bewegung sich nicht ändern.

Betrachten wir darauf hin das Einstein'sche Beispiel.

Beschränken wir uns ganz auf die kinematische Seite der Bewegung, so kann das erstgenannte Kennzeichen der Reziprozität als tatsächlich vorhanden anerkannt werden: abgesehen von der Umkehrung der Richtung sind die Bewegungen nicht unterscheidbar. Aber möglich ist dies nur dadurch, dass eine vollkommen willkürlich angenommene Kraft eingeführt wird, eben jenes in horizontaler Richtung auf den Bahndamm, auf die Erde und auf den Reisenden wirkende Gravitationsfeld. Da dieses Feld offenbar eine reine Fiktion ist, lediglich dazu ersonnen, die reziproke Bewegung irgendwie zu "erklären", so muss auch diese reziproke Bewegung selbst als eine Fiktion bezeichnet werden. Zum mindesten erkenntnistheoretisch kann von einer Nichtunterscheidbarkeit der ursprünglichen und der reziproken Bewegung in Einstein's Beispiel nicht die Rede sein.

Noch viel weniger kann davon die Rede sein, dass bei der Vertauschung der Kräfte (Bremskraft und Gravitationskraft) der Naturlauf unverändert bleiben könnte. Die Gravitationskraft wirkt auf den Bahndamm, die Erde und den Passagier im Zuge, die Bremskraft unmittelbar nur auf den Zug. Wie ist es nun aber denkbar, dass das Gravitationsfeld nicht auch auf den (relativ zum Bahndamm) ruhenden Zug, sowie auf alle in unmittelbarer Nähe des Zuges befindlichen Gegenstände wirkt, sogar wie auf den Passagier im Zuge? Müssen wir aber solche Wirkungen des Gravitationsfeldes für den reziproken Fall annehmen, so fehlen diese Wirkungen im ursprünglichen Fall der Wirkung der Bremskraft. Dann ist aber die Grundvoraussetzung der Reziprozität aufgehoben: der Naturlauf kann in beiden Fällen unmöglich derselbe sein.

Ganz allgemein ist zu sagen, dass die Relativierung ohne Künsteleien nur durchführbar und denkbar ist, wenn wir uns auf die kinematische Seite der Naturvorgänge beschränken, wenn also Kräfte ausser Betracht bleiben.

Das gilt vor allem für das Kriterium der Nichtunterscheidbarkeit der wirklichen und der reziproken Bewegung der Erde. Bei der täglichen Rotation der Erde ist es, wenigstens für die unmittelbare Beobachtung in der Tat nicht möglich, zu unterscheiden, ob die dem Augenschein entsprechende Drehung des Himmels gewölbes vorliegt oder ob diese Drehung nur scheinbar ist, während in Wirklichkeit die Erde bewegt ist. Hier haben wir es eben mit keinerlei direkt erkennbaren Kräften oder Kraftwirkungen zu tun, sondern ausschliesslich mit Bewegungen. In dem Beispiel des gebremsten Zuges dagegen haben wir es mit der jedermann erkennbaren Bremsvorrichtung zu tun, also mit einer realen Grösse gegenüber einem fiktiven Gravitationsfelde, das eben eigens erfunden werden muss, um die "Relativierung" durchführen zu können. Da hier niemand an der Wirklichkeit der Bremsvorrichtung und somit auch an der durch sie verursachten Bewegung zweifelt, so kann hier niemand an der Unterscheidbarkeit der einen Bewegung als der wirklichen, der anderen als der fiktiven zweifeln. Auch in dem berühmten Kastenbeispiel Einstein's ist die Nichtunterscheidbarkeit der beiden Fälle nur so zu erreichen, dass der Beobachter im Kasten eingesperrt werden muss, und die Umgebung desselben nicht einmal sehen darf, weil er ja sonst sofort merken würde, ob er mitsamt seinem Kasten im Gravitationsfelde der Erde ruht oder ob der letztere an einem Haken in der Höhe gezogen wird. Auch hier ist also die Nichtunterscheidbarkeit nur durch künstliche Beschränkung des natürlicherweise Wahrnehmbaren erreichbar.

Unabhängig von der RT hat vor allem Pohl die "Relativität" der Kräfte zu erweisen versucht; es soll dies an einem von ihm ersonnen Beispiel dargetan werden.²⁾

Auf einem Wagen ist ein ideal glatt polierter Tisch festgeschraubt, auf dem eine Kugel liegt. Ein ausserhalb des Wagens stehender Beobachter (Aussenbeobachter) sieht, wie durch einen Fusstritt auf das Hinterende des Wagens dieser samt dem Tische beschleunigt bewegt wird; die beschleunigte Bewegung möge für den Beobachter nach links gerichtet sein. Da der Tisch reibungslos ist, so kann sich die beschleunigte Bewegung von Tisch und Wagen nicht auf die Kugel übertragen. Für den Aussenbeobachter bleibt also die Kugel in Ruhe, während sich Wagen und Tisch nach links bewegen. Es soll sich nun aber auf dem Wagen ein zweiter Beobachter (Innenbeobachter) befinden, mit dem Gesichte nach dem Vorderende des Wagens gerichtet. Natürlich nimmt der Innenbeobachter an der Bewegung des Wagens teil. Der Innenbeobachter, der sich der Bewegung von Wagen und Tisch und der Eigenbewegung nicht bewusst wird, wird ein Bild von dem Bewegungszustand von Kugel und Wagen (Tisch) erhalten, das genau reziprok aussehen wird, wie das Bild, das sich dem Aussenbeobachter darbietet: für den Innenbeobachter ruhen Wagen und Tisch, er sieht die Kugel auf sich zukommen und schliesst nun auf eine Kraft, welche die Ursache der Bewegung der Kugel sein muss. Pohl gebraucht für diese letztere Kraft den Ausdruck "Trägheitskraft"; er ist jedoch selbst von diesem terminus nicht ganz befriedigt.

Für den Innenbeobachter tritt also an Stelle der Stosskraft, die der Aussenbeobachter wahrnimmt, eine Trägheitskraft. Die beiden Kräfte verursachen dieselbe, wenn auch umgekehrt gerichtete Bewegung; wir haben hier

also einen Fall von Reziprozität, der an die Vertauschbarkeit zweier Kräfte (der Stosskraft und der Trägheitskraft) gebunden ist. Die beiden Kräfte greifen an verschiedenen Objekten und Orten an. Da diese Verschiedenheit lediglich von der Einstellung der Beobachter abhängt, glaubt Pohl, die Objektivität der Kräfte bestreiten, deren Subjektivität behaupten zu können.

Aber ebenso wie wir Grund hatten, bei der Reziprozität der Bewegungen auf eine wirkliche und eine scheinbare Bewegung zu schliessen, so haben wir es auch bei den relativierten Kräften von Pohl mit einer wirklichen und einer fiktiven Kraft zu tun. Soll die Verschiedenheit der Kräfte nichts objektiv Feststehendes, sondern lediglich etwas durch die verschiedene Einstellung des Beobachters, also subjektiv Bedingtes sein, so darf bei der Vertauschung der Kräfte der Naturlauf sich nicht ändern - und zwar auch dann nicht, wenn wir bei dem Worte "Naturlauf" lediglich an die uns durch Beobachtung und Erfahrung aufgenötigte Form der Beschreibung der Natur denken. Nun tritt bei der Wirkung einer Stosskraft (in obigem Beispiele: dem Fusstritt auf den Wagen) eine Reaktion auf den stossenden Fuss auf, die so gut wie irgend ein anderer Naturvorgang den Naturlauf beeinflusst. Für die Trägheitskraft dagegen, durch deren Wirkung die reziproke Bewegung verursacht sein könnte (im Beispiele Pohl's: die beschleunigte Bewegung der Kugel relativ zum Beobachter im Wagen), gibt es offensichtlich keine Reaktion, die der Reaktion der Stosskraft äquivalent wäre. Wir ziehen daraus den Schluss, dass nur eine der beiden Kräfte die wirkliche sein kann und eine Vertauschung hier nicht nur eine Künstelei, sondern ein einfacher Irrtum wäre. In unserem letzten Beispiele ist es auch hier wieder die Auffassung des Aussenbeobachters, die allein der Wirklichkeit entspricht: die Stosskraft ist die wirkliche Kraft; die Trägheitskraft ist nur eine Fiktion.

Diese letztere Behauptung ist an der Hand unseres Beispiels leicht zu erweisen. Der Innenbeobachter möge sich so am Hinterende des Wagens aufstellen, dass die Rückfront seines Körpers von dem Fusstritt getroffen wird. Er kann dies ja ruhig tun, denn es soll ja für ihn den Fusstritt, also die Stosskraft, gar nicht geben, sondern nur die Trägheitskraft, die nur auf die Kugel wirkt. Beide Kräfte sind ja nichts Objektives; auch Pierce und Mach haben uns belehrt,³⁾ dass Worte wie "Kraft" nur Hilfsmittel zur Darstellung der Tatsachen sind.³⁾ Vor einem solchen "Hilfsmittel" werden wir uns wohl ebenso wenig zu fürchten haben, wie etwa vor einem mathematischen Symbol, das ja auch nur ein solches "Hilfsmittel" ist! Im Ernstfalle zweifelt allerdings wohl niemand daran, dass der Stoss, den der Aussenbeobachter sieht, vom Innenbeobachter zwar nicht gesehen, wohl aber intensiv verspürt wird, wodurch er wohl zum Glauben an die objektive Realität der Stosskraft bekehrt würde.

Zusammenfassend ist zu sagen:

- 1.) Die Relativität der Bewegung eines materiellen Objektes gilt ausnahmslos, wenn unter Relativität der Bewegung die Notwendigkeit des Vorhandenseins eines Bezugssystems für die Wahrnehmung der Bewegung verstanden wird.
- 2.) Die Relativität der Bewegungen im Sinne der Reziprozität (Vertauschbarkeit von bewegtem Objekte und Bezugssystem) ist kinematisch möglich. Er-

kenntnistheoretisch ist aber nur eine der beiden denkbaren Formen einer Bewegung die der Wirklichkeit adäquate; die andere ist scheinbar. Wenn dynamische Effekte ins Spiel kommen, so ist die Vertauschbarkeit im allgemeinen ebenso wenig möglich als die Vertauschung der beschleunigenden Kräfte.

Zu Satz 1.) ist noch zu sagen, dass dieser Satz nur eine Anwendung eines viel allgemeineren Satzes auf den Spezialfall der Bewegung ist. Dieser allgemeine Satz lautet: ein absolutes, gänzlich isoliertes Natursein oder Naturgeschehen gibt es nicht; alle Naturerscheinungen beruhen auf Relationen, also auf Wechselbeziehungen.

Wir haben oben (S. 45) noch eine dritte Bedeutung des Begriffes Relativität erwähnt, nämlich die Relativität von Raum- und Zeilängen je nach dem verschiedenen Bewegungszustande des diese Längen beurteilenden Beobachters. Davon wird später die Rede sein; zunächst haben wir uns mit einem Prinzip zu befassen, das im engsten Zusammenhang mit der nun besprochenen Relativität der Bewegungen steht, nämlich mit dem sogenannten Relativitätsprinzip (RP).

II. Das Relativitätsprinzip

Nehmen wir an, wir hätten ein sogenanntes Inertialsystem, in dem sich ein Naturvorgang abspielt, also z.B. einen Eisenbahnzug, der relativ zu seinem Gleis in ideal geradliniger und gleichförmiger Weise fährt; in einem Wagen dieses Zuges soll ein Körper in einer beliebigen Richtung relativ zu den Wänden dieses Wagens geworfen werden. Schon die vorwissenschaftliche Betrachtung lehrt, dass der Vorgang (der Wurf des Körpers) in dem Inertialsystem (dem fahrenden oder aber relativ zu seinem Gleis ruhenden Wagen) sich in gleicher Weise abspielt, mag nun der Wagen relativ zu seinem Gleis ruhen oder mit kleinerer oder grösserer gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt sein.

Die kleinere oder grössere Geschwindigkeit der Bewegung des Inertialsystems (Zuges) beeinflusst also den Naturvorgang in diesem Inertialsystem (den Wurf des Körpers) nicht. Man kann also sagen: die Geschwindigkeit der Bewegung eines Inertialsystems beeinflusst einen Naturvorgang in diesem System nicht; sonst müsste ja der Naturvorgang bei verschiedener Geschwindigkeit des Systems sich in verschiedener Weise abspielen. Man kann das auch so ausdrücken, dass man sagt: die Geschwindigkeit der Bewegung eines Inertialsystems ist kein absoluter Naturvorgang. Auf diesem Sachverhalt beruht das sogenannte Relativitätsprinzip (RP), das in der Beschränkung auf mechanische Naturvorgänge schon der klassischen Mechanik bekannt war. "Die Bewegungen von Körpern, die in einem gegebenen Raume eingeschlossen sind, bleiben relativ zu einander dieselben, wenn dieser Raum ruht oder wenn er sich geradlinig-gleichförmig und drehungsfrei bewegt", sagt Newton.⁴⁾ Dem Sinne nach dasselbe besagt die moderne Formulierung: "Wenn die Gesetze der Mechanik in einem bestimmten Systeme gelten, so gelten sie auch für alle anderen Systeme, die sich relativ zu jenem gleichförmig be-

wegen."⁵⁾ Bei v. Laue haben wir die Erweiterung des Relativitätsprinzips von den mechanischen auf elektromagnetische Vorgänge: "Wenn es nicht nur ein ausgezeichnetes System gibt, auf welches die Maxwell'schen Gleichungen bezogen werden können, so müssen sich Naturvorgänge in einem bewegten Körper, wenn dieser in einem passenden System ruht - wenigstens von diesem System aus betrachtet - genau so abspielen, wie in einem ruhenden; es hat dann keinen physikalischen Sinn, von der Geschwindigkeit als etwas Absolutem zu reden. Ein Prinzip, welches das Letztere behauptet, bezeichnet man daher passend als ein Relativitätsprinzip."⁶⁾

Ebenso Westphal: "Alle, nicht nur die mechanischen Naturgesetze, müssen gegenüber dem Übergang von einem Inertialsystem zu einem beliebigen anderen invariant sein. Damit ist das ursprünglich auf die Mechanik beschränkte Relativitätsprinzip auf die Gesamtheit aller Naturerscheinungen ausgedehnt."⁷⁾

Aus dem RP ist nun ein äusserst wichtiger Schluss zu ziehen. Hat die verschiedene Geschwindigkeit der Inertialsysteme auf die sich in ihnen abspielenden Naturvorgänge keinen ändernden Einfluss, so scheint es umgekehrt auch ausgeschlossen, aus solchen Naturvorgängen einen Schluss auf die Bewegung des Inertialsystems, in dem sich diese Naturvorgänge abspielen, zu ziehen. In diesem Sinne sagt Westphal: "es gibt überhaupt keinen physikalischen Vorgang, dessen Beobachtung einen Hinweis auf eine Bewegung desjenigen Inertialsystems gibt, von dem aus man ihn beobachtet."⁸⁾

Wir schliessen hier eine Erwägung an, die den bekannten Michelson-Versuch (MV) betrifft. Der Versuch wurde ursprünglich zu dem Zweck unternommen, aus dem Verhalten zweier auf der Erdoberfläche verlaufender Lichtsignale einen Schluss auf die Bewegung der Erde zu ziehen. Die Lichtsignale sind die Naturvorgänge, die sich beim MV auf der als Inertialsystem betrachteten Erde abspielen. Ist also das RP uneingeschränkt richtig, so scheint ein Schluss aus dem Verhalten der Signale auf die Erdbewegung von vornherein ausgeschlossen zu sein - man hätte sich die enormen Kosten und Mühen des Versuches also ersparen können! Aber ein in der relativistischen Literatur meines Wissens nicht berücksichtigter Umstand dürfte hier wichtig sein.

Es fragt sich nämlich, ob die Naturvorgänge, die sich in dem Inertialsystem abspielen, an einer Bewegung dieses Systems teilnehmen oder nicht. Wir wollen die an der Bewegung des Inertialsystems teilnehmenden Vorgänge als systemabhängig, die an dieser Bewegung nicht teilnehmenden als systemunabhängig bezeichnen. Die Formulierung Newton's: die Bewegungen von Körpern, die in einem gegebenen Raume eingeschlossen sind, weist doch zweifellos darauf hin, dass Newton hier an Körper denkt, die an der Bewegung des "Raumes" (Inertialsystems) teilnehmen, also systemabhängig sind. Hier gilt das RP uneingeschränkt, insofern auch die Geschwindigkeiten von Naturvorgängen, die sich an solchen "eingeschlossenen Körpern" abspielen, keinen Schluss auf die Bewegungsgeschwindigkeit des Raumes (Inertialsystems) zulässt. Denn an einer etwa geänderten Geschwindigkeit des Systems nimmt ja der eingeschlossene (systemabhängige) Körper teil. Nun gibt es

aber auch Naturvorgänge, die sich in einem Inertialsystem abspielen oder doch auf ein solches bezogen werden können, ohne an der Bewegung dieses Systems teilzunehmen, also "systemunabhängige" Naturvorgänge. In der Schrift Einsteins: "Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie" finden wir ein Beispiel eines solchen systemunabhängigen Vorgangs.¹⁾ Der Flug eines Raben wird das eine Mal vom Bahndamm, das andere Mal vom fahrenden Zuge aus beurteilt. Hier haben wir einen Naturvorgang, der sicher vom Inertialsystem (Bahndamm, bzw. fahrender Zug) unabhängig ist. "Dann ist", sagt Einstein, "vom fahrenden Zuge aus beurteilt, die Bewegung des Raben zwar eine Bewegung von anderer Richtung und anderer Geschwindigkeit,²⁾ aber sie ist ebenfalls geradlinig-gleichförmig." Das heisst: wenn wir einen und denselben Naturvorgang von verschiedenen bewegten Inertialsystemen aus betrachten, so findet jeder Beobachter in jedem dieser Systeme bei dem betreffenden Naturvorgang eine verschiedene Geschwindigkeit, wenn der Naturvorgang von den Systemen unabhängig verläuft. Wenn daher v. Laue behauptet: "Sie (die LG) hat in allen Inertialsystemen denselben Wert. Andernfalls nämlich läge in ihrem Wert in Widerspruch zum R P¹⁰⁾ ein Unterscheidungsmerkmal der Inertialsysteme; für dieses aber spricht tausendfältige anderweitige Erfahrung" - so muss der auf das R P bezüglichen Behauptung widersprochen werden. Es kann wohl gesagt werden: das R P erfordert dieselbe allgemeine Gesetzmässigkeit aller Naturvorgänge (auch der systemunabhängigen) gegenüber allen verschiedenen bewegten Inertialsystemen, aber das R P erfordert nicht dieselbe Geschwindigkeit aller (systemunabhängigen) Naturvorgänge, wenn man diese letzteren von verschiedenen bewegten Inertialsystemen aus betrachtet. Man denke an das Beispiel des Rabenfluges.¹¹⁾ Es ist kein Grund einzusehen, weshalb diese Ausführungen über die Geschwindigkeit nicht auch für die Geschwindigkeit der Lichtausbreitung gelten sollte; diese Geschwindigkeit ist sicher keine "Gesetzmässigkeit", die vermöge des R P als konstant anzunehmen wäre. Treffend sagt dazu A. Müller: die Lichtgeschwindigkeit c ist eine Tatsache, kein Gesetz; ein Gesetz drückt eine notwendige Beziehung aus zwischen Grössen; es geht weit über die Erfahrung hinaus. Der Satz: die LG ist gleich c , ist von demselben Typus wie der Satz: der mittlere Radius der Erde ist 6370, die maximale Entfernung der Sonne 151977000 km!¹²⁾

Daraus folgt nun, dass wenigstens im Prinzip die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann, aus Naturvorgängen (System I), die sich in einem Inertialsystem (System II) abspielen oder allgemein auf ein solches System bezogen werden können, Schlüsse auf den Bewegungszustand eines solchen Systems zu ziehen.

Allerdings ist das nur unter ganz bestimmten beschränkenden Voraussetzungen möglich.

Die erste Voraussetzung ist die schon im Vorangehenden erwähnte Unabhängigkeit der Naturvorgänge von dem Inertialsystem, auf das sie bezogen werden. Wenn die Naturvorgänge z. B. Bewegungen von Körpern sind, die an der Bewegung des Inertialsystems teilnehmen, so ist ein Schluss aus der Bewegung eines Körpers auf die Bewegung des Systems II unmöglich.

Die zweite Voraussetzung ist das Vorhandensein eines "Systems III", auf das sowohl I als II bezogen werden kann. Ein sicherer Schluss aus I auf den Bewegungs-Zustand von II ist nur dann möglich, wenn das Verhältnis von I zu III bekannt ist.

Die dritte Voraussetzung ist: es müssen (mindestens) zwei gleichartige Naturvorgänge vorliegen, die wir in ihrer Beziehung zu II (dem Inertialsystem) vergleichen können.

Wir wollen uns den Sinn dieser Voraussetzungen an einem Beispiele verdeutlichen, das ganz in das Gebiet des mechanischen Geschehens fällt.

Wir nehmen an, dass uns zwei Inertialsysteme gegeben sind, etwa ein auf seinem Gleis ruhender Triebwagen und ein zweiter, auf einem Parallelgleis mit ideal gleichförmiger Geschwindigkeit fahrender Triebwagen. Macht es nun einen Unterschied für die Erkennbarkeit des Bewegungszustandes der beiden Wagen aus, wenn wir systemabhängige und wenn wir systemunabhängige Vorgänge in ihnen beobachten können?

Denken wir uns einen von der Vorderwand zur Rückwand geworfenen Stein, so ist der Flug des Steines durch den Wagen ein systemabhängiger Vorgang, denn der Stein nimmt an dem Bewegungszustande des Wagens teil. Wenn nun in jedem der beiden Wagen ein Beobachter ist, der die Geschwindigkeit des durch den Wagen fliegenden Steines messen kann, und wenn die Beobachter dann das Ergebnis ihrer Beobachtungen vergleichen, so werden sie, trotz des verschiedenen Bewegungszustandes der beiden Wagen, hinsichtlich der Geschwindigkeit des geworfenen Steines und also auch hinsichtlich der Wucht, mit welcher der Stein etwa auf die Rückwand des Wagens aufprallt, keinen Unterschied feststellen. Sie können also aus ihren Beobachtungen keinen Schluss auf den Bewegungszustand der Wagen relativ zu den Gleisen ziehen. Voraussetzung ist dabei, dass die Wucht, mit welcher der Stein in beiden Fällen geworfen wurde, dieselbe war.

Nun betrachten wir den Fall systemunabhängiger Vorgänge. Auf jedem der beiden Gleise steht ein Pistolenschütz; durch eine Öffnung in der Vorderwand schießt jeder der beiden Schützen eine Kugel in den relativ zu ihm ruhenden, bzw. ihm entgegenfahrenden Wagen eine Kugel, welche den Wagenthron durchfliegt und in der Rückwand einschlägt. Auch hier setzen wir voraus, dass die Kugeln, etwa relativ zu den Gleisen, gleich schnell fliegen. Wenn nun die Beobachter feststellen, dass die Kugel, welche in der Rückwand des der Kugel entgegenfahrenden Zuges einen stärkeren Einschlag verursacht hat, als die Kugel, welche in der Rückwand des stehenden Wagens einschlug, so können sie, lediglich auf Grund der Vorgänge, die sie in den beiden Wagen (Inertialsystemen) beobachtet haben, schliessen, dass der zweite Wagen relativ zum Bahndamm schneller bewegt war, als der erste!¹³⁾

In dieser zweiten Voraussetzung ist implicite die dritte schon enthalten: die Naturvorgänge (I) aus denen wir einen Schluss auf den Bewegungszustand des Inertialsystems (II), in dem sie sich abspielen, ziehen können, müssen auf ein von den beiden anderen Systemen unabhängiges System III bezogen werden können.

Wir mussten in unserem Beispiele voraussetzen, dass die Wucht des geworfenen Steines in den beiden Wagen, ebenso die Geschwindigkeiten der in jeden der beiden Wagen einfliegenden Kugeln gleich gross sei. Das Bezugssystem, relativ zu dem diese Gleichheit der Geschwindigkeiten festgestellt werden muss, kann nun natürlich nicht das Inertialsystem sein, relativ zu dem sich die Geschwindigkeit im Falle der systemunabhängigen Vorgänge als verschieden ergeben kann, sondern diese Geschwindigkeiten müssen relativ zu einem dritten von I und II unabhängigen System - in unserem Beispiele ist das System III der Bahndamm - festgestellt werden. Es liegt ja am Tage, dass die Naturvorgänge (I) die Ungleichheit des Bewegungszustandes von Inertialsystemen nur dann mit Sicherheit erkennen lassen können, wenn diese Ungleichheit nicht etwa durch die Ungleichheit der Naturvorgänge selbst bedingt ist! Wird eine Kugel mit der doppelten Abschussgeschwindigkeit in den zweiten Wagen geschossen, gegenüber der einfachen Abschussgeschwindigkeit der Kugel, die in den ersten Wagen fliegt, so ist der Einschlag der Kugel im zweiten Wagen natürlich auch stärker, trotzdem der zweite Wagen in diesem Falle in demselben Bewegungszustande sich befinden kann, wie der erste Wagen.

Wir betrachten nun an Stelle der mechanischen Naturvorgänge (System I) optische Vorgänge, und zwar auf der Erdoberfläche verlaufende Lichtsignale; an Stelle der Wagen setzen wir die (um die Sonne) bewegte Erde (II); an Stelle des Gleises (System III) setzen wir ein System, relativ zu dem die LG bestimmt wird - allgemein etwa das Lichtmedium, wobei an den Äther oder, entsprechend dem Ausdruck "Vakuum-LG", auch an das Vakuum (den "Raum") gedacht werden kann. Vollziehen wir diesen Übergang, so haben wir die Voraussetzungen des Michelson-Versuches (MV), bei dem es sich ja auch um die Frage handelt, ob wir aus einem System I - den auf der Erdoberfläche verlaufenden Lichtsignalen - einen Schluss auf die Bewegung der Erde - System II - ziehen können. (Für die kurze Versuchsdauer darf die Erde als Inertialsystem betrachtet werden.)

Der Versuch müsste von vorn herein als ergebnislos angesehen werden (einen negativen Effekt haben), wenn die drei Voraussetzungen, die wir für den analogen Versuch im Gebiete der Mechanik machen mussten, nicht erfüllt wären.

Die erste Voraussetzung war: die Naturvorgänge (I) müssen von dem Inertialsystem (II), über dessen Bewegungszustand sie uns etwas erkennen lassen sollen, unabhängig sein. Auf den MV angewendet heisst dies: die Lichtsignale müssen unabhängig von der Erdbewegung verlaufen, anders ausgedrückt: das Lichtmedium (der "Äther") darf von der Erde bei ihrer Bewegung nicht mitgeführt werden. Wäre das letztere der Fall, so wären die Signale systemabhängige Vorgänge, die keinen Schluss auf den Bewegungszustand von System II ermöglichen.

Bekanntlich soll der MV einen negativen Effekt haben. Es fehlt nun nicht an Physikern, welche diesen negativen Effekt aus der Nichterfülltheit unserer ersten Voraussetzung erklärt haben, bzw. erklären. Zu ihnen gehört vor allem Lenard. Der Äther an der Erdoberfläche soll von der bewegten Erde mitgeführt werden.

Wir wollen uns nun aber einmal auf den Standpunkt stellen, den die relativistische Schulphysik einnimmt: der Äther wird von der bewegten Erde nicht mitgenommen!⁴⁾ In diesem Falle wäre also die erste Voraussetzung für die Möglichkeit eines positiven Ergebnisses des Versuches erfüllt.

Die zweite Voraussetzung wäre ein infolge der Erdbewegung eintretender Unterschied in der Wirkung (Beziehung) der Signale zur bewegten Erde. Auch diese Voraussetzung kann, rein theoretisch, als erfüllt gelten, da die Wege und Laufzeiten der Signale infolge der Erdbewegung verschieden lang werden müssen (wenn man sie bei ruhend gedachter Erde etwa als gleich annimmt). Die infolge der Erdbewegung verursachten Verschiedenheiten könnten in der Verschiedenheit der Interferenzbilder der interferierenden Lichtsignale in Erscheinung treten.

Auch die dritte Voraussetzung kann im MV als erfüllt angesehen werden: wir haben Naturvorgänge (Lichtsignale), die wir auf ein drittes System (den Äther oder den als physikalische Realität gedachten "Raum") beziehen und relativ zu dem die Geschwindigkeit der Naturvorgänge (Lichtsignale) als gleich angenommen werden kann. Auf Grund des Verhaltens dieser Lichtsignale, die infolge der Erdbewegung ungleiche Längen der Wege und Laufzeiten erhalten müssen und deshalb ungleiche Interferenzbilder (Interferenzstreifen-Verschiebung) erkennen lassen sollten, könnte aus dem Ergebnis des MV ein Schluss auf die Bewegung der Erde gezogen werden.

Es soll durch diese Untersuchung nur gezeigt werden: die theoretisch erforderlichen Voraussetzungen, unter denen aus Naturvorgängen (Lichtsignalen), die sich auf dem "Inertialsystem Erde" abspielen, möglich Weise ein Schluss auf die Bewegung dieses "Systems Erde" gezogen werden kann, sind erfüllt; allerdings wird diese Behauptung bezüglich der ersten Voraussetzung - Nichtmitführung des "Äthers" - auch heute nicht von allen Physikern als richtig anerkannt.

Nehmen wir aber mit der überwiegenden Mehrheit der Physiker auch die erste Voraussetzung als erfüllt an, so gibt es keinen Grund, a priori die Ergebnislosigkeit des Versuches, also die Notwendigkeit eines negativen Ergebnisses zu behaupten; insbesondere kann sich diese Behauptung nicht auf das RP stützen, das, wie aus unserem der Mechanik entnommenem Beispiele hervorgeht, nur für systemabhängige Vorgänge uneingeschränkt richtig ist. Entscheidend ist jedoch natürlich das tatsächliche experimentelle Ergebnis des Versuches, wovon in einem eigenen Abschnitte die Rede sein wird.

III. Der Michelson-Morley- und der Michelson-Gale-Versuch

Vergegenwärtigen wir uns zunächst die Anordnung des Michelson-Morley-Versuches (MV) in der üblichen Form. (Vergl. Abb. 1).

Ein von einer Lichtquelle L ausgehender Lichtstrahl wird an einer halbdurchlässigen Platte im Punkte A in zwei Halbstrahlen, einen longitudinal und einen transversal gerichteten, zerlegt; der erstere wird an einem Spiegel in

B, der zweite an einem Spiegel in C nach A zurückreflektiert; nach ihrer Wiedervereinigung verlaufen die Strahlen nach F, zu einem Interferenzfernrohr. Der Apparat ist so aufgestellt, dass die Lichtstrahlen (Lichtsignale) stets in derselben Horizontalebene (der Ebene der Erdoberfläche parallel) verlaufen. Dabei fällt die Richtung des longitudinalen Signals AB in die Richtung der (translatorischen) Erdbewegung, während die Richtung des transversalen Signals AC zu dieser Richtung senkrecht steht. AB und AC können wir zunächst als gleich annehmen.

Denken wir uns die Erde als stillstehend, sehen wir also von der translatorischen (und auch von der rotatorischen) Bewegung und der Wirkung dieser Bewegung auf die Länge der Lichtsignalwege ab, so sind die Signalwege $AB + BA$ und $AC + CA$ einander gleich. Wenn wir die Lichtgeschwindigkeit (LG) auf den beiden Wegen als gleich annehmen, so werden sich die beiden Halbstrahlen im Punkte A der Platte gleichzeitig wiedervereinigen und nach F gelangen, wo ihre Interferenz im Fernrohre beobachtet wird.

Auch bei beliebiger Drehung des Apparates (Versuchstisches) in der horizontalen Versuchsebene könnten sich - immer unter der Voraussetzung der stillstehenden Erde - die Laufzeiten der Lichtsignale auf den beiden Wegen nicht ändern, da sich ja in diesem Falle auch die Längen der Lichtsignalwege nicht ändern würden.

Infolge der Bewegung der Erde (um die Sonne) verschieben sich nun aber die Platte und die Spiegel des Apparates; die Signalwege werden infolge dessen für das longitudinal verlaufende Signal $= AB' + B' A''$, für den transversal verlaufenden Strahl $= AC' + C' A''$. Durch sorgfältige mathematische Berechnungen wurde festgestellt, dass diese beiden Wege (Wegsummen) einander nicht gleich sind. Es sollten daher auch die Laufzeiten der beiden Signale ungleich werden, was wieder im Interferenzbilde der (wiedervereinigten) Strahlen, als Streifenverschiebung, zum Ausdruck kommen müsste.

Nun liesse das Interferenzbild in der Ausgangsstellung des Apparates keinen Schluss auf die Erdbewegung zu; es gilt hier dasselbe, was bei den früher besprochenen Beobachtungen festgestellt wurde: es müssen (mindestens) zwei zeitlich getrennte Vorgänge (hier Lichtsignale) vorliegen, die auf das Inertialsystem (hier die bewegte Erde) bezogen werden können, um einen Schluss auf die Bewegung des Inertialsystems zu ermöglichen. Im MV erhält man diese verschiedenen Vorgänge (Lichtsignale) dadurch, dass der Apparat in der Versuchsebene gedreht wird, wodurch die Längen der Signalwege, die schon in der Ausgangsstellung verschieden waren, neuerdings verschieden werden. Die verschiedenen langen Laufwege sollten wieder verschieden lange Laufzeiten der Signale verursachen, was wieder in Änderungen der Interferenzbilder (Interferenzstreifen - Verschiebung) zum Ausdruck kommen müsste. Diese Streifenverschiebung wäre der Effekt des MV.

Aber dieser Effekt blieb aus; der Versuch verlief so, als ob die Erde stillstünde, d. h. als ob die Lichtsignalwege trotz der Translationsbewegung der Erde und trotz der Apparatdrehungen in ihrer Länge unverändert blieben.

Macht man, wie dies im Versuche von Kennedy und Thorndike¹⁵⁾ geschah, die Lichtwege von Anfang an absichtlich ungleich, so bleiben die Laufzeiten der Signale natürlich auch nicht gleich, aber der erwartete Effekt des Versuches - Interferenzstreifen - Verschiebung bei Apparatdrehungen - blieb trotzdem aus. Es muss daraus geschlossen werden, dass auch hier die anfänglich bestehenden Verhältnisse der Laufzeiten und Lichtwege bei allen Apparatdrehungen unverändert bleiben. Auch dieser Versuch verlief also so, als ob die Erde stillstünde.

Aber wir können uns mit der Interpretation: der Versuch verlief so, als wenn die Erde stillstünde - nicht zufrieden geben. Die Erde steht nun einmal nicht still, sie bewegt sich um die Sonne und diese Bewegung verursacht eine Ungleichheit der Lichtsignalwege, die bei weiteren Drehungen des Apparates neuerdings Unterschiede in den Längen der Lichtwege verursachen muss. An der Ungleichheit der Lichtwege im MV kann so wenig gezweifelt werden, wie an der Bewegung der Erde um die Sonne.

Andererseits kann nun aber gesagt werden: je besser der Versuch ausgeführt wurde, je sorgfältiger die zahlreichen Fehlerquellen vermieden wurden, desto kleiner wurde der noch zu beobachtende "Effekt", so dass wohl gesagt werden darf: bei idealer Ausführung würde der Effekt tatsächlich gleich Null werden.

Daraus ist nun zu schliessen, dass die Laufzeiten der Signale auf allen Lichtwegen gleich sein müssen; denn verschieden lange Laufzeiten der Signale müssten Interferenzstreifen-Verschiebungen, also einen Effekt bewirken.

Wir stehen daher vor dem Problem: gleiche Laufzeiten der Signale trotz ungleicher Wege. Gibt es eine befriedigende Lösung dieses Problems?

Es läge hier nahe, zu sagen: die grössere Länge des (longitudinalen) Lichtweges wird durch eine grössere LG auf diesem Wege gleichsam kompensiert, so dass die Laufzeit eines Lichtsignals auf diesem Wege gleich gross bleibt wie die Laufzeit eines Signals auf dem transversalen Wege, der kleiner ist als der longitudinale Weg, auf dem aber die LG entsprechend kleiner ist. Die LG auf den verschiedenen Signalwegen müsste also als verschieden angenommen werden.

Aber wir lesen bei den anerkannten Vertretern der RT gerade das Gegenteil. So lesen wir bei Westphal: "Man kann das Ergebnis des MV dahin aussprechen, dass sich das Licht von der zweifellos irgendwie bewegten Erde aus beurteilt wider alles Erwarten nach allen Richtungen gleich schnell ausbreitet und man kann nicht bezweifeln, dass jeder Beobachter auf irgend einem anders bewegten Himmelskörper genau die gleiche Beobachtung bezüglich seines eigenen Bezugssystems machen würde¹⁶⁾."

Ebenso v. Laue: Die Versuche von Morley und Miller (1904) und von Illingworth (1927) haben "das völlige Ausbleiben einer die Fehlergrenzen übersteigenden Verschiebung" dargetan. Daraus schliesst v. Laue: "In jedem Inertialsystem ist die Vakuum-LG von der Strahlrichtung unabhängig¹⁷⁾."

Endlich Joos: "Das Ergebnis des MV enthebt uns der Beantwortung dieser Frage (nämlich der Frage nach der Grösse des Wertes v , der Erdgeschwindigkeit; Verf.), denn es zeigt, dass auf der bewegten Erde die LG in jeder Richtung dieselbe ist!"

Es mag als ein Wagnis erscheinen, der von den ersten Autoritäten auf dem Gebiete der RT übereinstimmend vorgetragene Deutung des MV zu widersprechen. Aber es darf in der Wissenschaft keinen Autoritätsglauben, sondern nur sachliche Erwägungen geben. Erinnern wir uns daher nochmals des Tatbestandes.

Wir schlossen auf ungleiche Lichtsignalwege (infolge der Translationsbewegung der Erde), aber auf gleiche Laufzeiten der Lichtsignale (wegen des Ausbleibens der zu erwartenden Effekte). Wie kann nun daraus auf die Konstanz der LG auf den Signalwegen, allgemein auf die Konstanz der LG für beliebig gegen ein Lichtsignal bewegte Beobachter geschlossen werden? Wo in aller Welt können Geschwindigkeiten gleich sein, wenn die betreffenden Bewegungen auf ungleich langen Wegen in gleichen Zeiten erfolgen? Man wird in der relativistischen Literatur vergeblich nach einer Erklärung dieser "Paradoxie" suchen. Nur durch mündliche Besprechungen ist es dem Verfasser gelungen, hier eine Aufklärung zu erhalten. Die Bewegung der Erde um die Sonne, also auch die Änderungen der Lichtsignalwege, so würde ich belehrt, sind nur für ausserirdische Beobachter wahrnehmbar. Wir dürfen uns nicht auf den Standpunkt des ausserirdischen Beobachters, also etwa eines Sonnenbeobachters stellen, sondern wir müssen uns auf den Standpunkt des mit der Erde mitbewegten Beobachters stellen, für den die Erde stillsteht. Die Veränderung der Lichtwege beruht ja auf der Erdbewegung; steht die Erde still, so fallen natürlich auch die Änderungen der Längen der Lichtsignalwege weg. Für den mit der Erde mitbewegten Beobachter B_1 steht die Erde still; sind infolge dessen die Lichtwege gleich, dann natürlich auch die Laufzeiten der Lichtsignale. Die Gleichheit der Laufzeiten wird ja auch durch das Ausbleiben der zu erwartenden Effekte, nämlich der Streifenverschiebung, bewiesen. Wir haben also für den irdischen Beobachter (B_1): gleiche Lichtsignalweglängen, gleiche Laufzeiten der Signale - also auch sicher gleiche Geschwindigkeiten der Lichtsignale! Stellen wir uns also auf den Standpunkt des B_1 , so scheint das negative Ergebnis des MV restlos erklärt und die "Konstanz der LG" durch das Ausbleiben der zu erwartenden Effekte beim MV "bewiesen".

Dem Nichtphysiker drängt sich hier zunächst eine Frage auf: jedermann, der Physiker, so gut wie der Nichtphysiker, weiss, bzw. musste doch schon vor der Anstellung des MV wissen, dass für die Wahrnehmung des irdischen Beobachters die Erde stillsteht und infolge dessen auch die Verschiedenheit der Weglängen der Signale nicht wahrnehmbar sein kann. Wenn nun für den Eintritt bzw. Nichteintritt des Effektes der Standpunkt des B_1 , nämlich die Wahrnehmbarkeit, bzw. Nichtwahrnehmbarkeit der Erdbewegung und der durch sie verursachten bzw. nichtverursachten Verschiedenheiten der Weglängen der Signale massgebend ist - welchen Sinn haben dann die Anstellung und die zahllosen Wiederholungen des so überaus schwierigen und kostspieligen Versuches? Man musste sich ja unter der Voraussetzung, dass die

unmittelbare Wahrnehmung bzw. "Nichtwahrnehmung" der Erdbewegung des B_1 für den Erfolg des Versuches massgebend ist, im Voraus sagen, dass ein Erfolg ausgeschlossen war! Schon diese Erwägung legt die Vermutung nahe, dass wir es bei der "Erklärung" des negativen Erfolges des MV aus der Nichtwahrnehmbarkeit der Erdbewegung und der verschiedenen Länge der Signalwege nur mit einer Ausflucht zu tun haben.

Aber die ganze Betrachtungsweise, die Berufung auf die Nichtwahrnehmbarkeit der Erdbewegung und der Verschiedenheit der Lichtsignalwege ist logisch völlig unhaltbar. Wir haben es beim MV letztlich nicht mit Bewegungen und Weglängen, sondern mit Effekten zu tun. Diese Effekte sind zwar durch die Erdbewegung und die Längen der Signalwege bedingt, aber von der Wahrnehmbarkeit der letzteren durchaus unabhängig.

Fährt ein Zug bei Nacht ideal stossfrei und gleichförmig mit beliebiger Geschwindigkeit, so ist bei verhängten Fenstern seine Bewegung (relativ zum Gleis) für den Passagier im Zuge nicht wahrnehmbar. Liegt nun ein Felsblock infolge eines Bergsturzes auf dem Gleis und stösst der fahrende Zug auf diesen Block, so ist der Effekt der Bewegung des Zuges für den Passagier (B_1) genau so wahrnehmbar wie für einen nichtmitbewegten Beobachter (B_0). Die Wahrnehmbarkeit des Effektes einer Bewegung ist nicht an die Wahrnehmung der Bewegung gebunden! Es kann aber kein Zweifel darüber bestehen, dass Interferenz-Erscheinungen ganz allgemein als Effekte zu bewerten sind.

Bekanntlich haben wir es bei der Interferenz mit Wellenzügen zu tun, bei denen Wellen mit verschiedenen Phasen zusammentreffen, die sich gegenseitig verstärken oder schwächen. Von den Wellenzügen, die als Bewegungen gelten können, sieht der Beobachter, z. B. der Beobachter am Interferenzfernrohr beim MV, überhaupt nichts. Was er sieht (oder sehen könnte), sind die bekannten Interferenzstreifen, bzw. die Verschiebung dieser Streifen, die auf der Wechselwirkung der zusammentreffenden Phasen der Wellen der interferierenden Wellenzüge beruhen. Die Interferenzstreifen sind also Effekte der Wechselwirkungen der zusammentreffenden Wellenphasen; sie sind (bzw. wären) ohne die Wahrnehmbarkeit der auf den Signalwegen verlaufenden Wellenbewegungen für den Beobachter am Interferenzfernrohr wahrnehmbar - genau so wie der Zusammenstoss für den Passagier im Zuge wahrnehmbar ist, trotzdem er die Bewegung seines Zuges nicht wahrzunehmen braucht. Effekte von Bewegungen sind wahrnehmbar, auch wenn die Bewegungen, auf denen diese Effekte beruhen, nicht wahrnehmbar sind. Wenn also, wie im MV, Effekte, die zu erwarten wären, nicht eintreten, so können wir dieses Ausbleiben der Effekte niemals damit erklären, dass wir die Bewegungen, die diese Effekte verursachen sollten, nicht unmittelbar wahrnehmen.

Nur eine positivistisch verseuchte Physik kann sich durch eine solche Scheinerklärung benebeln lassen. Die Unhaltbarkeit der Erklärung des negativen Ergebnisses des MV auf Grund der Nichtwahrnehmbarkeit der Bewegung der Erde relativ zur Sonne lässt sich auch durch folgende Erwägung erweisen.

Im Sinne der Relativität aller Bewegungen kann man sich zweifellos die Erde als ruhend ("stillstehend") denken; dann muss man sich aber die Sonne als reziprok um die Erde bewegt denken und alle Erscheinungen, die durch die Bewegung der Erde um die Sonne bedingt sind, müssen im reziproken Falle, also bei stillstehender Erde und bewegter Sonne, in derselben Weise auftreten - sonst wäre ja die Grundbedingung der Reziprozität: die Unverändertheit des Naturlaufes bei der Vertauschung der Bewegungsrichtung - aufgehoben. Auf den MV angewendet heisst dies: die Verschiebungen von Platte und Spiegeln und die dadurch bedingten Veränderungen in den Lichtwegen müssen bei ruhender Erde und (reziprok) bewegter Sonne genau so auftreten wie bei bewegter Erde und (relativ zu ihr) ruhender Sonne.

Erinnern wir uns an die mit der Rotation der Erde verbundene Abnahme der Intensität der Gravitation vom Pol zum Äquator. Nehmen wir auch hier die Vertauschbarkeit der Bewegung an: die Erde ruht und die fernen Massen der Fixsterne rotieren in 24 Stunden um die Erde - so müssen auch in diesem Falle Effekte wie die Abnahme der Gravitation vom Pol zum Äquator feststellbar sein. Man hat daher eine von den rotierenden Massen der Fixsterne ausgehende Rotationsgravitation angenommen, welche im Falle der ruhenden Erde dieselbe Wirkung hervorbringen müsste, wie die Zentrifugalkraft im Falle der rotierenden Erde.¹⁹⁾ Gäbe es diese Rotationsgravitation nicht, so würde sich ja im Falle der ruhenden Erde (und der rotierenden Fixsterne) der Naturlauf anders abspielen als im Falle der rotierenden Erde und damit wäre wieder die willkürliche Vertauschbarkeit der beiden Fälle, also die "Relativität" (Reziprozität) der Rotation der Erde relativ zum Fixsternhimmel aufgehoben.

Genau dasselbe gilt für den MV, wo es sich um die Translation der Erde handelt. Im Falle der um die Sonne bewegten Erde müssen Änderungen der Lichtsignalwege auftreten. Diese Änderungen waren ja der Ausgangspunkt des MV. Diese Änderungen der Lichtwege müssen nun zufolge der Relativität aller Bewegungen, also auch der Translation der Erde, relativ zur Sonne, auch im Falle der ruhenden Erde und der reziprok bewegten Sonne auftreten - auch wenn wir uns die Erde ruhend und die Sonne entsprechend bewegt denken, müssen sich die Lichtsignalwege in derselben Weise ändern, und die Effekte, die im Falle der bewegten Erde zu erwarten wären, müssten auch im Falle der ruhenden Erde erwartet werden - es sei denn, dass wir uns die Erde und die Sonne absolut ruhend zueinander denken wollen, was doch wohl kaum ein Physiker fertig bringen wird! Über die Änderungen der Lichtwege infolge der Bewegungsrelation Erde-Sonne kommen wir nicht hinweg, auch wenn wir die Erde ruhend denken. Wenn nun aber tatsächlich die zu erwartenden Streifenverschiebungen nicht eintreten, so müssen wir ebenso notwendig auf die Gleichheit der Laufzeiten der Lichtsignale schliessen, denn sonst müssten ja, bei ungleichen Signalwegen, verschiedene Laufzeiten eintreten und bei der Interferenz der Wellenzüge verschiedene Phasen dieser Wellen auf einander treffen, also Streifenverschiebungen in Erscheinung treten. Ist also der negative Effekt das endgültige Resultat des MV, so hätten wir: ungleiche Signalwege, gleiche Laufzeiten der Signale. Daraus können wir aber doch nicht auf die Konstanz der LG auf den Signalwegen schliessen! Viel näher läge der Schluss auf die Inkonzanz der LG!

Doch wäre ein solcher Schluss übereilt. Über die Frage der Konstanz oder Inkonzanz der LG könnten wir aus dem negativen Ergebnis des MV nur dann einen Schluss ziehen, wenn wir für dieses Ergebnis eine unbedingt richtige Erklärung hätten. Dass die Deutung der relativistischen Schulphysik unhaltbar ist - weil sie die Ungleichheit der Lichtsignalwege unberechtigter Weise ignoriert - muss wohl jeder unvoreingenommene Kenner des Versuches zugeben. Solange wir aber die richtige Deutung des negativen Ergebnisses nicht einwandfrei gefunden haben, können wir aus diesem Ergebnis über Konstanz oder Inkonzanz der LG nichts schliessen.

Mehr wird hier nicht behauptet. In der relativistischen Literatur ist, wie schon früher erwähnt, die Behauptung ganz allgemein verbreitet: die LG ergibt sich für jeden Beobachter ohne Rücksicht auf die Bewegung dieses Beobachters (oder des Systems, mit dem er verbunden ist) stets als die konstante Grösse c . Die Frage, ob diese Behauptung richtig ist, wird hier nicht entschieden; es wird nur behauptet, dass sie auf Grund des Ergebnisses des MV nicht (in positivem Sinne) entschieden werden kann.

Es gibt nun aber eine mathematisch begründete Überlegung, derzufolge die Konstanz der LG bei den im MV auftretenden Lichtsignalen scheinbar doch bewiesen werden kann. Diese Überlegung beruht auf dem Additionstheorem (in der relativistischen Form dieses Theorems).

Ist w die Geschwindigkeit eines Beobachters (Passagiers) im fahrenden Zuge (relativ zu diesem Zuge) und ist $+v$ oder $-v$ die Geschwindigkeit dieses Zuges relativ zum Bahndamm, so ist nach "klassischer" Auffassung die Geschwindigkeit des Beobachters zum Bahndamm (oder des Bahndammes relativ zum Beobachter) $= w+v$, bzw. $= w-v$; nach relativistischer Auffassung

$$\text{dagegen} = \frac{w+v}{1+\frac{wv}{c^2}}, \text{ bzw. } = \frac{w-v}{1-\frac{wv}{c^2}} \dots\dots\dots!)$$

Wenden wir diese Formel auf die Signallichtgeschwindigkeiten im MV an, so tritt an Stelle von w der Ausdruck für die LG, also c , und v bedeutet die Erdgeschwindigkeit. Bei Anwendung des Additionstheorems erhalten wir also

$$\text{die Ausdrücke } \frac{c+v}{1+\frac{cv}{c^2}}, \text{ bzw. } \frac{c-v}{1-\frac{cv}{c^2}}; \text{ diese beiden Ausdrücke sind aber beide} = c.$$

Die Geschwindigkeiten $c-v$, bzw. $c+v$ wären zu erwarten, wenn das Lichtsignal in derselben, bzw. in der zur Erdbewegung entgegengesetzten Richtung verläuft. Durch Anwendung des Additionstheorems ergeben sich aber in beiden Fällen die Werte c für die Geschwindigkeit der Lichtsignale. Wenn das Signal in einer zur Erdbewegung senkrechten Richtung verläuft, so wird die Berechnung der Signalgeschwindigkeit bei Anwendung des Additionstheorems komplizierter, es lässt sich aber auch für diesen Fall zeigen, dass die Signalgeschwindigkeit $= c$ wird.²⁰⁾ Damit scheint die Konstanz der LG im MV bewiesen zu sein.

Nun beruht das Additionstheorem auf den Lorentztransformationen und diese beruhen wieder auf der konstant angenommenen Grösse c , welche als die konstante Grenzgeschwindigkeit²¹⁾ angesehen wird, die in der Natur nicht überschritten wird; wir wollen diese Grösse mit \bar{c} bezeichnen. Ist nun aber diese Grösse \bar{c} mit der empirisch festgestellten LG c identisch? Für die relativistische Schulphysik besteht an dieser Identität kein Zweifel, weil ja durch das Ergebnis des MV die Konstanz der LG c bewiesen sein soll! Da diese Konstanz von c nun aber logischerweise aus dem Ergebnis des MV nicht erschlossen werden kann, so können die Grössen c und \bar{c} nicht ohne weiteres identifiziert werden. Man erkennt aber leicht, dass in den Ausdrücken, welche durch Anwendung des Additionstheorems auf die Signalgeschwindigkeiten im MV entstehen, die Konstanz von c nur dann folgt, wenn c und \bar{c} identisch sind; letzteres kann jedoch nicht ohne weiteres behauptet werden.²²⁾

Wenn wir nicht imstande sind, das Ergebnis des MV aus der "Konstanz der LG" (im Sinne der RT) zu deuten, so muss natürlich das Problem erwogen werden, wie denn das Ausbleiben der im MV zu erwartenden Effekte auf andere Weise erklärt werden kann. Wir werden im Laufe unserer weiteren Ausführungen zu zeigen versuchen, dass der MV in seiner üblichen Form nicht alle Möglichkeiten erschöpft, die zur Erzielung des zu erwartenden Effektes führen können; bei einer geänderten Anordnung des Versuches ist es denkbar, dass der Effekt doch noch gefunden werden könnte²³⁾. Aber wenn dies auch nicht gelingen sollte - auf keinen Fall wird eine logisch unmögliche Deutung eines Versuchsergebnisses dadurch richtig, dass man die richtige Deutung noch nicht gefunden hat.

Als Stütze für die Richtigkeit der Annahme eines ausnahmslos negativen Effektes im MV wird häufig eine Tatsache angeführt, deren Richtigkeit scheinbar nicht zu bestreiten ist und die wir hier nicht verschweigen dürfen: bei allen Beobachtungen und Versuchen, bei denen ein Einfluss der Erdbewegung auf elektromagnetische Erscheinungen erwartet werden könnte, ist ein solcher Einfluss tatsächlich niemals beobachtet worden. Die Erdbewegung hat z. B. keinen Einfluss auf einen geladenen Plattenkondensator, insofern man vergebens nach einem zu $\frac{Q^2}{C^2}$ proportionalen Drehmoment gesucht hat. Dasselbe negative Ergebnis haben nach v. Laue alle Versuche gehabt, welche einen Einfluss der Erdbewegung auf elektrische und optische Erscheinungen hätten haben müssen. Die Versuche verliefen so, als ob die Erde stillstünde.²⁴⁾

Aber die Gleichstellung der letztgenannten Versuche mit dem MV ist sehr anfechtbar. Man mag mit Recht sagen: diese Versuche verlaufen so, wie wenn die Erde stillstünde. Aber man darf nicht übersehen, dass es sich bei den von v. Laue zitierten Versuchen um einen (möglichen) direkten Einfluss der Erdbewegung auf die elektrischen Erscheinungen handelt. Beim MV handelt es sich aber um einen Einfluss der Erdbewegung auf die Längen der Lichtsignalwege; eine direkte Beeinflussung der optischen (elektromagnetischen) Erscheinungen kommt hier gar nicht in Frage. Der mögliche Einfluss der Erdbewegung auf die Lichtsignale und ihre Interferenzen ist hier nur ganz indirekt. Wenn er fehlt, so kann dieses Fehlen nicht auf eine Linie gestellt

werden mit dem Fehlen eines direkten Einflusses der Erdbewegung auf elektromagnetische Vorgänge.

Wohl aber gibt es nun eine Beobachtung, die mit sehr viel mehr Recht dem, was beim MV beobachtet wird, an die Seite gestellt werden kann: das Phänomen der Aberration; und hier können wir von einem positiven durch die Erdbewegung bewirkten Effekt sprechen. Wenn von einem Fixstern ein Lichtstrahl in einen Tubus fällt, so braucht das Licht eine gewisse Zeit, um den Tubus zu durchlaufen. Aber so kurz diese Zeit auch ist - sie ist doch lang genug, dass die Erde einen messbaren Weg in dieser Zeit zurücklegen kann. Infolge dieses Weges, an dem ja der Tubus und der Beobachter am Tubus teilnehmen - nicht aber der Lichtstrahl - erscheint der Lichtstrahl dem Beobachter um einen kleinen Winkel aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt. Wir haben es hier mit einem "Effekt", der "Aberration" des Sternlichtes, zu tun, wobei die Bewegung der Erde massgeblich beteiligt ist; würde sich die Erde hier so verhalten, als stünde sie still, so könnte ja die Aberration nicht erfolgen! Aber ebenso wie beim MV, so findet auch hier kein direkter Einfluss auf den optischen Vorgang als solchen statt. Die Tatsache, dass wir es bei der Aberration mit Licht, das von den Sternen kommt, zu tun haben, während wir im MV eine irdische Lichtquelle haben, kann keinen Unterschied begründen. Der MV wurde auch mit Sternlicht ausgeführt mit demselben (negativen) Erfolg - ein Beweis, dass Licht, das von den Sternen kommt, sich hier nicht anders verhält als Licht aus einer irdischen Lichtquelle.^{24a)}

Nehmen wir an, die Translationsbewegung der Erde habe den beim MV erwarteten indirekten Einfluss auf optische Vorgänge (Lichtsignale) an der Erdoberfläche nicht - was ja dem negativen Ergebnis des MV entsprechen würde - so liegt nun die Frage nahe, wie sich denn in dieser Hinsicht die Rotationsbewegung der Erde verhält. Es wäre wohl anzunehmen, dass auch die Rotation der Erde ebensowenig jenen indirekten Einfluss auf optische Vorgänge an der Erdoberfläche haben wird, wie die Translation. Dass sich die beiden Bewegungen der Erde in dieser Hinsicht verschieden verhalten, ist doch wohl kaum anzunehmen. Wenn sich die optischen Vorgänge an der Erdoberfläche hinsichtlich der Translation der Erde so verhalten, als stünde die Erde still, so wird dies bezüglich der Rotation wohl auch nicht anders sein, denn die Rotation ist ja für den irdischen Beobachter ebenso wenig direkt wahrnehmbar als die Translation!

Man könnte das nur dann bezweifeln, wenn Translation und Rotation prinzipiell verschiedenartige Formen der Bewegung wären. Man könnte sich etwa vorstellen, dass die Rotation als Drehbewegung sich grundsätzlich von der Translation unterscheidet. Das wäre aber doch nur dann der Fall, wenn die Translation der Erde eine geradlinig-gleichförmige Bewegung wäre, während Rotationen als beschleunigte Bewegungen anzusehen sind. Da aber die Bahn der Translation der Erde (um die Sonne) die Form einer Ellipse hat und da die Bewegung der Erde um die Sonne an verschiedenen Stellen eine verschiedene Geschwindigkeit aufweist, so muss auch die Translation als beschleunigte, somit von der Rotation nicht grundsätzlich verschiedene Bewegung aufgefasst werden.

Es ist nun im höchsten Grade unwahrscheinlich, dass sich etwa die Rotation der Erde auf elektrische (optische) Erscheinungen irgendwie indirekt auswirken sollte, nicht aber die Translation!

Sicher ist, dass sich die Rotation der Erde in den bekannten durch die Zentrifugalkraft bedingten mechanischen Erscheinungen auswirkt. Ist es nun glaubhaft, dass die Rotation der Erde in mechanischen "Effekten" deutlich erkennbar ist, dass sie sich aber hinsichtlich optischer (elektrischer) Erscheinungen so verhielte, als rotiere sie nicht? V. Laue behauptet, wie oben erwähnt, ein negatives Ergebnis aller Versuche, bei denen ein durch die Erdbewegung bedingter Effekt zu erwarten wäre. Aber er fügt der Ausführung darüber sicher die Bemerkung bei, dass man bei der Bewertung von Versuchen mit negativem Ergebnis sehr vorsichtig sein müsse, denn ein einziger Versuch mit positivem Ergebnis könne die ganze Situation ändern. Einen solchen auf der Rotation der Erde begründeten Versuch gibt es nun tatsächlich: den Michelson-Gale Versuch (MG). Da dieser Versuch in der relativistischen Literatur sehr stiefmütterlich behandelt zu werden pflegt, soll er hier etwas eingehender dargestellt und beurteilt werden. Wir legen hierfür die Darstellung von Chwolson zugrunde. (Vergl. Abb. 3)²⁵⁾

In einem System von Röhren, die in Rechtecksform (ABCD) angeordnet sind, wird die Luft evakuiert. AB liegt in westöstlicher Richtung. Von der Lichtquelle L geht ein Signal zu der in A befindlichen halbdurchlässigen Platte P. Der eine Halbstrahl beschreibt den Weg ABCDA und tritt durch ein Fensterchen in der Richtung AF aus; in F befindet sich das Beobachtungsfensterrohr. Der zweite Halbstrahl beschreibt den Weg ABCDA, tritt ebenfalls in A in der Richtung AF aus; in F wird die Interferenz der wiedervereinigten Strahlen beobachtet.

Infolge der Erdrotation ist der Wiedervereinigungspunkt A nach A' gekommen. Die Laufzeit des Strahles ADCBA' ist etwas kürzer als die Laufzeit von ABCDA', denn der erstere Strahl hat infolge der Erdbewegung, der er gleichsam entgegenläuft, einen etwas kürzeren Weg als der zweite, der hinter ihr herläuft. Die Differenz der Weglängen und Laufzeiten der beiden Strahlen tritt nur dann ein, wenn der Äther bei der Erdbewegung von dieser nicht mitgenommen wird. Tatsächlich wurde nun eine der Längendifferenz der Strahlen entsprechende Erscheinung im Interferenzbilde der Strahlen beobachtet. Er wird dadurch festgestellt, dass der grosse Umriss ABCDA durch den kleinen Umriss AB'D'DA ersetzt wird. Die Differenz der Weglängen der beiden Signale ist hier so minimal, dass sie gleich Null gesetzt werden kann. Dagegen tritt die Differenz nun beim Durchlaufen des grossen Umrisses in Erscheinung und zwar als Verschiebung der Interferenzbanden, welche der Gangdifferenz der beiden Strahlen (beim grossen Umriss) entspricht, während diese Gangdifferenz bei dem kleinen Rechteck gleich Null angenommen werden kann. Chwolson berichtet von 269 Messungen, die ausnahmslos Verschiebungen von Banden ergeben haben. Der Effekt, der beim MV vergeblich gesucht wurde, ist hier also zweifellos nachgewiesen.

Worauf beruht nun dieser Effekt?

Die relativistische Schulphysik hält für alle Versuche, welche das Ver-

hältnis der bewegten Erde zum Äther, also auch zur Lichterregung betreffen, an dem Glaubenssatz fest: diese Versuche verlaufen ausnahmslos so, wie wenn die Erde still stünde. Es könnten in diesem Falle natürlich die Gangunterschiede der beiden Halbstrahlen im MG den beobachteten Effekt nicht verursachen; denn wenn die Erde sich bei dem Versuche so verhielte, als stünde sie still, so könnten keine durch die Rotation verursachten Gangunterschiede und Effekte auftreten. Man könnte nun den tatsächlichen doch auftretenden Effekt so zu erklären suchen, dass man sagt: die Geschwindigkeiten der Halbstrahlen auf ihren beiden Wegen sind ungleich. Dann könnten ja auf den als ganz gleich anzunehmenden Signalwegen die Signale verschiedene Laufzeiten haben und dementsprechende Effekte aufweisen. Die Ungleichheit der Geschwindigkeiten könnte etwa darauf beruhen, dass die Lichtwege beim MG gekrümmt sind - im Unterschiede vom MV, wo sie gerade sind.

Eine solche Annahme ist gewiss möglich. Man kann sich vorstellen, dass die LG, die beim MV gleich c ist, beim MG gleich c' sein kann. Aber diese Ungleichheit könnte nicht erklären, weshalb beim MG ein Effekt auftritt, während ein solcher beim MV vermisst wird. Der Effekt wäre erklärt, wenn die LG auf den beiden Signalwegen des MG eine verschiedene wäre. Da nun aber die beiden Signalwege im MG in gleicher Weise gekrümmt sind und von den beiden Signalen nur in umgekehrter Richtung durchlaufen werden, so liegt kein Grund vor, anzunehmen, dass die LG auf diesen beiden verschiedenen Wegen verschieden sein könnte. Sie wird auf den beiden Signalwegen im MG dieselbe sein, wenn sie sich auch von der LG im MV unterscheiden mag.

Unter diesen Umständen kann auch eine Verschiedenheit der Laufzeiten der Signale und also auch der Effekt durch die für den MG hypothetisch angenommene $LG = c'$ nicht erklärt werden.

Die einzige vernünftige Erklärung des MG lautet: ein Effekt tritt hier auf, weil die beiden Signalweglängen infolge der Erdrotation ungleich lang werden, während die Geschwindigkeiten auf diesen beiden Wegen gleich sind. Allerdings nehmen wir die Rotation der Erde ebensowenig unmittelbar wahr wie ihre Translation; nur der B_a , nicht aber der B_i kann die Rotation direkt wahrnehmen. Aber ebenso, wie der Astronom die auf der Translation der Erde beruhende Aberration eines Fixsternes wahrnimmt, trotzdem er als "irdischer Beobachter" die Translation der Erde nicht wahrnimmt, ebenso nimmt der B_i den Effekt beim MG wahr, trotzdem er die Rotation der Erde so wenig direkt wahrnimmt, als er ihre Translation wahrnimmt. -

Noch eine angebliche Konsequenz des negativen Ergebnisses des MV ist hier zu erörtern, nämlich die Behauptung, dass der Äther nicht existiere.

Die Bewegung der Erde um die Sonne ist zweifellos eine Bewegung im Raume - die Entfernung zwischen Erde und Sonne beträgt ja rund 150 Millionen km. Diesen Raum, wie den Raum des Universums überhaupt, dachte man sich früher vom Äther, einer Art Ultrafeinstoff erfüllt. Hätte der MV einen positiven Erfolg gehabt, so wäre damit die Bewegung der Erde relativ zur Sonne und damit auch relativ zum Raum zwischen Sonne und Erde und somit auch relativ zum Äther festgestellt.

Nun verlief der MV bekanntlich so, "als ob die Erde stillstände". Also fehlt der Beweis für die Bewegung der Erde relativ zum Äther, also auch der Beweis für die Existenz des Äthers überhaupt. Was sich aber durch keinerlei Beobachtung oder Experiment nachweisen lässt, das existiert für uns nicht. Es ist "sinnlos", nach der Existenz oder Nichtexistenz derartiger Dinge zu fragen, die für uns nicht irgendwie erkennbar oder feststellbar sind. Jedenfalls hat sich die Wissenschaft mit ihnen nicht zu befassen. Der Äther muss daher aus der Physik verschwinden.

Gegen dieses Musterbeispiel positivistischer Denkweise (richtiger: Borniertheit) sind aber schwerwiegende Bedenken zu erheben.

Man kann sich unter dem Raume zwischen Erde und Sonne entweder einen absolut leeren Raum, also das Nichts vorstellen - oder man kann bei diesem Raume auch an eine physikalische Realität in irgend einem Sinn denken.

Ist der Raum das Nichts, so kann er keinesfalls von einem Körper mitbewegt, also irgendwie "mitgenommen" werden. Ein Körper kann bei seiner Bewegung stets nur etwas mitnehmen; wo nichts ist, da kann auch nichts mitgenommen werden. Ist also der Raum zwischen Sonne und Erde ein Nichts, so könnte die Bewegung eines Himmelskörpers diesen Raum nicht mitnehmen, sondern nur relativ zu ihm erfolgen. Nun ist aber das Fundament der ganzen relativistischen Physik, dass es Bewegungen eines Objektes nur relativ zu Bezugssystemen gibt. Das Nichts ist kein Bezugssystem. Eine Bewegung relativ zum Nichts wäre eine Absolutbewegung. Eine solche Bewegung zuzulassen hiesse das Fundament der heutigen Physik untergraben. Der Raum zwischen Erde und Sonne, ebenso wie der Raum überhaupt, kann nicht mit dem Nichts identifiziert werden. Er ist eine physikalische Realität und als solche kann er auch als Bezugssystem gedacht werden.

Es ist nur eine Frage der Terminologie, ob man diesen Raum als Äther, also etwa als "Raum-Äther" definieren will. Allerdings hat dieser Äther mit dem Feinstoff der klassischen Physik nichts zu tun. Wenn es richtig ist, dass der MV in allen denkbaren Abwandlungen kein positives Ergebnis hat, so können wir aus dem MV auf die Existenz des Raum-Äthers keinen Schluss ziehen. Aber die Annahme des "Äthers" ist durch die vorangehenden Überlegungen als eine Denknöwendigkeit erwiesen²⁶⁾. An der Wirklichkeit des Äthers - im obigen Sinne - ist nicht zu zweifeln, auch wenn sich seine Existenz durch Beobachtungen und Experimente - oder gar nur durch ein einziges Experiment - nicht erweisen lässt. -

Der MG hat einen Effekt erkennen lassen, der auf Naturvorgängen (zwei Lichtsignalen) beruht, die sich in einem Inertialsystem (bewegte Erde) abspielen. Es muss daher im Prinzip möglich sein, aus diesem Effekt auf die Bewegung der Erde (auf ihre Rotation) zu schliessen. Der MG ist daher ein weiteres Beispiel dafür, dass es unter Umständen möglich ist, aus Vorgängen in einem Inertialsystem auf die Bewegung dieses Inertialsystems zu schliessen. Auch bei der Rotation der Erde ist bei der kurzen Versuchsdauer die Abweichung von der geradlinig-gleichförmigen Bewegung so gering, dass sie kaum ins Gewicht fallen dürfte, so dass auch hier wie bei der

Translationsbewegung der Erde (die ja auch streng genommen keine geradlinig-gleichförmige Bewegung ist) die Bezeichnung "Inertialsystem" nicht anzufechten ist.

Wir haben früher festgestellt, dass Naturvorgänge in einem Inertialsystem nur dann einen Schluss auf Bewegungen eines solchen Systems zulassen, wenn diese Naturvorgänge systemunabhängig sind. Beim MG handelt es sich, wie beim MV, um Lichtsignale. Man kann aus der Tatsache des positiven Effektes des MG geradezu einen Schluss auf die Nichtmitführung der Signale, bzw. des Lichtmediums ziehen. Denn fände eine solche Mitführung statt, so wären die Signale systemabhängige Vorgänge und für solche gilt ja zweifellos das RP, das einen Schluss von solchen Vorgängen im Inertialsystem auf Bewegungen des Inertialsystems ausschliesst.

Einen Grund, der gleichsam a priori einen Effekt im MV ausschliessen würde, gibt es nicht; diese Tatsache wird durch den positiven Effekt des MG schlagend bewiesen. Unter diesen Umständen ist es trotz aller bisherigen Fehlschläge nicht von vornherein aussichtslos, zu untersuchen, ob nicht bei entsprechend geänderter Anordnung des Versuches doch auch der MV ein positives Ergebnis liefern könnte.

Es sei hier auf einen Punkt aufmerksam gemacht. Die bisherigen Versuche haben sich durchwegs auf die Untersuchung von Lichtsignalen beschränkt, die stets in einer relativ zur Erdoberfläche parallelen Ebene verlaufen.

Wir haben bei dieser Versuchsanordnung in der Ausgangsstellung des Apparates die Kombination eines transversal und longitudinal (relativ zur Richtung der Erdbewegung) gerichteten Lichtsignalweges, niemals aber bei allen Drehungen des Apparates, einen zur Erdbewegung vertikal gerichteten Lichtsignalweg. Nun ist einwandfrei bewiesen, dass bei der üblichen Kombination der Lichtwege - (transversal - longitudinal), - diese in der Ausgangsstellung des Apparates infolge der Translationsbewegung der Erde ungleich lang werden müssen. Nun denken wir uns aber die Versuchsebene in der Ausgangsstellung des Apparates als Vertikalebene relativ zur Richtung der Erdbewegung (Lage I in Abb. 2) und die Horizontalebene (Lage II in der Abb. 2), welche der Versuchsebene in der üblichen Anordnung des MV entspricht, durch Drehung der Vertikalebene um die Drehachse C hervorgebracht. Dann haben wir in der Lage I die Kombination eines transversalen (Hin- und Rück-) Weges und eines vertikalen (Hin- und Rück-) Weges. Nun werden zwar auch diese beiden Wege (Wegsummen) infolge der Translationsbewegung der Erde geändert (vergl. Abb. 1): der transversale Weg wird an Stelle von $2 AC$ gleich $AC' + C' A''$. Aber diese Änderung betrifft den vertikalen Hin- und Rückweg in ganz derselben Weise wie den transversalen Hin- und Rückweg, so dass ein Unterschied der Wege in I (transversal-vertikal) nicht vorliegen kann, während ein Unterschied der Wege in II (transversal - longitudinal) vorliegen muss. Wird also etwa die Lage I als Ausgangsstellung für den Versuch gewählt, so tritt bei der Drehung des Apparates aus der Lage I in die Lage II ein Unterschied in der Länge der Wege (Wegsummen) der Lichtsignale auf, der sich in einer Änderung der Lauf-

zeiten der Signale und einer dementsprechenden Änderung in den Interferenzen auswirken könnte²⁷⁾.

Ein Einwand ist hier noch zu berücksichtigen. Wir haben darauf hingewiesen, dass die Lichtwege in der transversalen und in der vertikalen Richtung einander gleich bleiben, trotzdem jeder einzelne dieser beiden Wege durch die Erdbewegung sich ändern muss. Stillschweigend haben wir dann angenommen, dass infolge dessen auch die Laufzeiten der Signale auf diesen beiden Wegen gleich sein werden. Nun wirkt die Erdschwere in vertikaler Richtung auf die LG, nicht aber wirkt sie auf die LG in transversaler Richtung. Es wäre daher denkbar, dass die LG auf den beiden Wegen verschieden ist, wodurch natürlich auch die Laufzeiten, die wir als gleich angenommen haben, verschieden werden müssten. Es ist nun aber bei all den Lichtwegen, von denen hier die Rede ist, immer die Summe von Hin- und Rückweg des Lichtsignals zu verstehen. Wenn also überhaupt ein merklicher Einfluss der Erdschwere auf die LG in der vertikalen Richtung des Signalweges vorliegt, so muss dieser Einfluss für den Hin- und für den Rückweg sich doch wohl kompensieren, so dass er in der Wegsumme sich nicht bemerkbar machen könnte. Die Gleichheit der Laufzeiten der Signale in transversaler und vertikaler Richtung bleibt also auch im Falle eines merklichen Einflusses der Gravitation auf die LG im allgemeinen bestehen und damit die Tatsache des Unterschiedes der Laufzeiten der Signale in den Lagen I und II. Ob infolge dieses Unterschiedes der beim MV in der üblichen Form vergeblich gesuchte Effekt eintreten würde, wenn der Versuch in der oben ausgeführten veränderten Form ausgeführt würde: das kann bei dem so schwierigen und so überaus komplizierten Bedingungen unterworfenen Versuche niemand mit Sicherheit vorhersagen. Aber es kann auch niemand mit Recht behaupten, dass der MV unbedingt ein negatives Ergebnis hat, ehe nicht der Versuch mit der beschriebenen Modifikation ausgeführt worden ist.

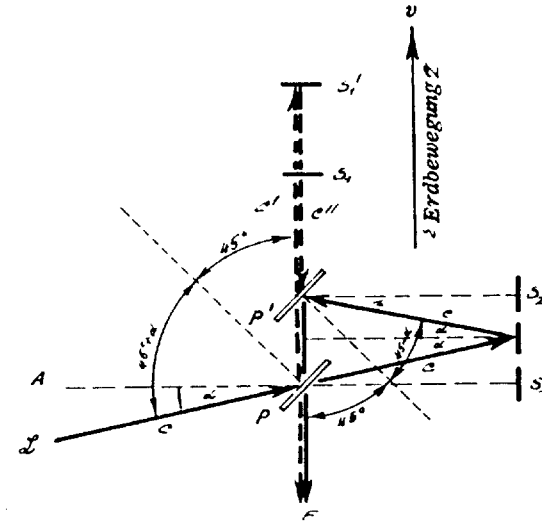
Man wird vielleicht fragen, weshalb in dieser dem Begriff der Relativität gewidmeten Abhandlung der Erörterung des MV ein so breiter Raum gewidmet worden ist. Die Antwort lautet: weil die konstante Grösse c , die angeblich aus dem Ergebnis des MV abgeleitet werden kann, die Voraussetzung der Relativität der Raum- und Zeitstrecken in der RT ist. Davon wird im nächsten Abschnitte die Rede sein. Doch soll vorher noch von einer anderen möglichen Erklärung des Ergebnisses des MV die Rede sein.

In den vorangehenden Ausführungen wurde bei den Untersuchungen über den Michelson-Versuch die in der relativistischen Literatur allgemein anerkannte Voraussetzung gemacht, dass der Äther (das Lichtmedium) bei der translatorischen Bewegung der Erde nicht mitgeführt wird. Die Lichtausbreitung ist unter dieser Voraussetzung ein von der Erdbewegung unabhängiger Vorgang. Es soll nun aber einer Anschauung Raum gegeben werden, wonach eine Mitführung des Äthers bei der Erdbewegung doch anzunehmen wäre.

Dozent Dr. Fell schreibt:

DER MICHELSONSCHE VERSUCH

In der folgenden Skizze soll gezeigt werden, dass der Versuch von Michelson auch eine neue Auslegung gestattet. Anbei die übliche Versuchsanordnung.



Ein Lichtstrahl von A nach P kam die Platte P nicht treffen, da der Apparat sich inzwischen weiter bewegt hat. Es kann daher nur ein Lichtstrahl von L nach P auf die Platte gelangen. Wir nehmen nun an, es sei die Lichtgeschwindigkeit in der Richtung von L nach P c , P nach S_1 c , S_1 nach P c''

Nach dem Fermatschen Prinzip ist nun

$$\frac{c}{c'} = \frac{\sin(45^\circ + \alpha)}{\sin 45^\circ}, \quad \frac{c}{c''} = \frac{\sin(45^\circ - \alpha)}{\sin 45^\circ} \quad \text{oder}$$

$$c \cdot \sin 45^\circ = c' \sin(45^\circ + \alpha) = c'' \sin(45^\circ - \alpha).$$

Der Aberrationswinkel ist α , wobei $\tan \alpha = \frac{v}{c}$ ist.

Damit wird aber

$$\frac{c'}{c''} = \frac{\sin(45^\circ - \alpha)}{\sin(45^\circ + \alpha)} = \frac{1 - \tan \alpha}{1 + \tan \alpha} = \frac{c - v}{c + v} \quad (1)$$

Man erhält dann für die Laufzeiten des Lichtstrahles t_1 von PS_1P' und t_2 von PS_2P'

die folgenden Werte:

$$t_1 = \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right), \quad t_2 = \frac{2l}{c} \left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right) \quad (2)$$

Die Zeitdifferenz ist dann

$$t_1 - t_2 = \frac{lv^2}{c^3} = \frac{l}{c} \cdot \tan^2 \alpha \quad (3)$$

Da aber keine Interferenzerscheinung beobachtet wurde, ist $(l_1 - l_2) = 0$ und dies ist nur so möglich, dass $\alpha = 0$ ist. Weiter folgt hieraus $c = c' = c$. Es entsteht also keine Aberration und dies lässt darauf schliessen, dass der Äther, als Träger der Lichtbewegung mitgeführt wird. Es ist daher höchst wahrscheinlich, dass zwischen dem Äther und dem Gravitationsfeld der Erde ein unmittelbarer Zusammenhang besteht.

Erscheinungen mit Aberration können nur bei solchen Lichtquellen (alle Himmelskörper) beobachtet werden, welche vom Gravitationsfeld der Erde unabhängig sind. Sämtliche Triangulierungsmessungen auf der Erdoberfläche sind aber frei von jeder Aberration, was durch die Erfahrung ausnahmslos bestätigt wird.

IV. Die Relativität der Raum- und Zeitlängen

Schon im ersten Abschnitte dieser Abhandlung haben wir die dreifache Bedeutung des Begriffes Relativität in der RT erwähnt. Die beiden ersten Bedeutungen betreffen die Bewegungen, die dritte dagegen bezieht sich auf Raum- und Zeitlängen in ihrer Abhängigkeit vom Bewegungszustande der Bezugssysteme, relativ zu denen sie von messenden Beobachtern in diesen Systemen beurteilt werden. Von der Relativität in diesem letzteren Sinne soll in diesem Abschnitte die Rede sein.

Wir wollen hier wieder von einer Beobachtung ausgehen, die unabhängig von aller Wissenschaft gemacht werden kann.

An einem Bahndamm soll ein Beobachter stehen und zwei Züge Z' und Z'' sollen mit den Geschwindigkeiten V , bzw. v relativ zum Bahndamm entweder in derselben oder aber in entgegengesetzter Richtung zu einander fahren. Wie beurteilt ein Beobachter (B_i), der in dem Zuge Z'' sitzt, die Geschwindigkeit des Zuges Z' ? Fahren die beiden Züge in derselben Richtung nebeneinander, so fährt Z' für den Beobachter in Z'' nur noch mit der Geschwindigkeit $V - v$: fahren die Züge einander entgegen, so fährt Z' für B_i mit der Geschwindigkeit $V + v$. Wir fragen nun: gibt es vielleicht einen Wert V eines (fiktiven) Naturobjektes H , den jeder mit einer beliebigen Geschwindigkeit v gegen H bewegte Beobachter als die konstante Grösse V finden müsste, also nicht etwa gleich $V + v$ oder $V - v$? Offenbar wäre diese Geschwindigkeit V als Grenzgeschwindigkeit zu betrachten, die, obgleich von endlichem Werte, in der Natur von keinem Objekte und keiner Wirkung tatsächlich erreicht wird. Naturgemäss lässt sich die Tatsächlichkeit des Bestehens einer solchen Grenzgeschwindigkeit niemals empirisch feststellen; aber rein theoretisch ist sie sicher denkbar und aus ihrer hypothetischen Annahme lassen sich nun Schlüsse ziehen, die sich in der Wissenschaft als wertvoll und fruchtbar erwiesen haben. Man kann nämlich aus der Grenzgeschwindigkeit (die wir schon früher kurz erwähnt und mit dem Symbol \bar{c} bezeichnet haben) die Relativität von Raum- und Zeitstrecken ableiten und zwar in folgender Weise.

Wir denken uns wieder etwa an einem Punkte A eines Bahndammes ein Objekt X , das mit einer sehr grossen Geschwindigkeit V von A abgeht. Gleichzeitig mit X soll etwa ein Zug mit einer kleineren Geschwindigkeit v von A abgehen. Beide Geschwindigkeiten werden von einem in A ruhenden Beobachter gemessen. In einer Zeitstrecke t legt X für den relativ zum Bahndamm ruhenden Beobachter (B_a) den Weg s zurück, seine Geschwindigkeit ist also für B_a gleich $\frac{s}{t} = u$. Nun soll sich also gleichzeitig mit X , ein Zug von A in gleicher Richtung mit X fortbewegen. Ein Beobachter in diesem Zuge (B_i) wird nach unserer früheren Betrachtung die Geschwindigkeit von X gleich $V - v$ finden. Den Weg von X in der Zeit t wird B_i also gleich $(V - v) \cdot t$ einschätzen. Setzen wir diesen Weg gleich s' , so ist also die Geschwindigkeit, die B_i für X findet, gleich $\frac{s'}{t} = V - v = V'$. Es scheint also ausgeschlossen zu sein, dass B_a und B_i die Geschwindigkeit von X gleich finden können, denn $\frac{s}{t} (= V)$ ist ja niemals gleich $\frac{s'}{t} (= V')$. Es gibt nun aber doch eine Möglichkeit zu zeigen, dass V und V' gleich sein können. Wir können nämlich (hypothetisch)

annehmen, dass nicht nur die Strecken s und s' , sondern auch die Zeitstrecken t und t' , d.h. also die Grösse der Zeitstrecke, die der ruhende Beobachter misst, und dieselbe Zeitstrecke die der bewegte Beobachter misst, verschiedene Werte annehmen, also $t' \neq t$, und zwar so, dass die beiden Brüche $\frac{s}{t}$ und $\frac{s'}{t'}$ einander gleich werden. In diesem Falle bleibt V konstant, d.h. V wird von einem relativ zu X ruhenden und einem zu X mit der Geschwindigkeit v bewegten Beobachter als gleich gefunden. Wie muss nun der Bruch $\frac{s'}{t'}$ transformiert werden, damit er gleich dem Bruch $\frac{s}{t}$ wird?

Die Antwort auf diese Frage geben die Lorentztransformationen. Erinnern wir uns zum Zwecke eines leichten Verständnisses dieser Transformationen an unser Beispiel der aneinander vorbeifahrenden Züge Z' und Z'' . Für den B_j in Z'' vermindert sich die Geschwindigkeit V des Z'' um den Betrag v , wenn Z'' mit der Geschwindigkeit v an Z' vorbeifährt. Hat also der Weg, den Z' für einen relativ zu ihm ruhenden Beobachter in der Zeit t die Länge s , so ist dieser Weg des Z' für den B_j im Zuge Z'' $s' = s - vt$. Das gilt für die Beurteilung in der klassischen Physik (Galilei). Für die Zeit t gilt in der klassischen Physik, dass sie für den relativ zu Z' ruhenden und für den relativ zu Z' mit der Geschwindigkeit v bewegten Beobachter gleich ist, also $t' = t$.

Nun lauten die Lorentztransformationen: $s' = \frac{s - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ und $t' = \frac{t - \frac{vs}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Das heisst: wenn der Weg von Z' in der Zeit t für den relativ zu Z' ruhenden Beobachter (also in diesem Falle auch bei ruhendem Z'') s gesetzt wird - und wenn dieser selbe von Z' in der Zeit t zurückgelegte Weg in der Beurteilung von dem mit der Geschwindigkeit v bewegten Zuge Z'' mit s' bezeichnet wird, so ist für B_j (im Zuge Z'') nach relativistischer Lehre s' nicht gleich $s - vt$, und ebenso t nicht gleich t' , sondern gleich den oben in den Lorentztransformationen angegebenen Werten. Die Unterschiede dieser letzteren Werte sind von den entsprechenden Werten der klassischen Physik verschwindend klein, so dass sie bei mechanischen Bewegungen, vor allem des täglichen Lebens, im allgemeinen gar nicht ins Gewicht fallen. Aber für die Theorie bleibt die fundamental wichtige Tatsache bestehen: ein und dieselbe Grösse, sowohl Raum- als Zeitgrösse, nimmt für den relativ zu ihr bewegten Beobachter einen anderen Wert an als für den relativ zu ihr ruhenden Beobachter. Darin liegt das Wesen der Relativität der Raum- und Zeitstrecken.

Man erkennt leicht, dass die oben rein hypothetisch angenommene Grösse V identisch ist mit dem \bar{c} der Lorentz-Transformationen.

Bezeichnen wir die Geschwindigkeit von X , die der relativ zu X ruhende Beobachter feststellt, mit V , die Geschwindigkeit von X , die der mit der Geschwindigkeit v relativ zu X bewegte Beobachter findet, mit V' , so müsste also, wenn V eine für beliebig bewegte Beobachter konstante Grösse sein soll, $V = V'$ oder $\frac{s}{t} = \frac{s'}{t'}$ sein. Wenden wir hier die Lorentz-Transformatio-

nen auf s' und auf t' an und ersetzen wir V durch c , V' durch c' , so erhalten wir die Gleichung:

$$c' = \frac{s'}{t'} = \frac{\frac{ct - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}}{\frac{t - \frac{vct}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}} = \frac{t(c - v)}{t(1 - \frac{v}{c})} = \frac{c(c - v)}{c - v} = c$$

Es gibt also in der Tat eine, auf rein mathematischem Wege gefundene Grösse V , die wir mit dem \bar{c} der Lorentz-Transformationen identifizieren können. Aus obiger Gleichung ersehen wir ja, dass \bar{c} einen konstanten Wert behält, denn die Grösse v ist ja ganz willkürlich angenommen, ist also für beliebige Werte von v erfüllt, das heisst aber: für beliebig bewegte Beobachter. Eine solche Grösse - wir haben sie oben mit V bezeichnet - haben wir ja aber gesucht. Ist nun dieses \bar{c} nur eine mathematische Grösse oder bedeutet es eine Geschwindigkeit, die tatsächlich an einem Naturobjekt (X) verwirklicht ist?

"Diese Grösse X ist das Licht und c die (Vakuum-) Lichtgeschwindigkeit" - so lautet eines der am festesten geglaubten Dogmen der relativistischen Schulphysik. Das \bar{c} der Lorentz-Transformationen und das c , das die LG bedeutet, sollen also identisch sein. Das \bar{c} der Lorentz-Transformationen ist, wie aus unserer obigen Gleichung folgt, eine Konstante; aus dem negativen Ergebnis des MV soll folgen, dass die die LG bedeutende Grösse c ebenfalls eine Konstante ist, die mit der Grenzgeschwindigkeit c identisch sein soll. Aber das \bar{c} der Lorentz-Transformationen, das die konstante Grenzgeschwindigkeit in der Natur bedeutet, und das c der LG, das aus dem Ergebnis des MV erschlossen wurde, sind nicht identisch²⁸⁾. In unseren Ausführungen über den MV haben wir gezeigt, dass logischerweise aus dem Ergebnis dieses Versuches auf die Konstanz der LG durchaus nicht geschlossen werden kann. Die beiden Grössen der LG und der Grenzgeschwindigkeit müssen daher, selbst wenn die LG tatsächlich konstant sein sollte und die beiden Grössen zahlenmässig gleich sein sollten, begrifflich unterschieden werden.²⁸⁾

Wir werden den Begriff eines Höchst- und Grenzwertes der Geschwindigkeit in der Natur nicht entbehren können, wenn wir es als sicher betrachten, dass es eine unendliche Geschwindigkeit einer Wirkung nicht gibt. Ist das Letztere richtig, so ist die logisch unausweichliche Konsequenz, dass es irgendwo im Endlichen eine Grenze der Geschwindigkeit gibt, welche nicht überschritten werden kann - wäre dies nicht der Fall, so liesse sich offenbar (wenigstens theoretisch) die Geschwindigkeit etwa eines durch beständige Einwirkung einer Kraft beschleunigten Körpers ins Unendliche steigern.

Wir werden uns also wohl mit der Tatsache abfinden müssen, dass wir zwar den Begriff der endlichen konstanten Grenzgesehwwindigkeit postulieren müssen, dass aber diese Geschwindigkeit an keinem uns aus der Erfahrung, bekannten Objekte verwirklicht ist. Diese Auffassung steht auch in viel besserer Übereinstimmung mit dem Begriff der Grenze, bei welcher wir doch auch sonst an Grössen denken, denen wirkliche Werte beliebig nahe kommen können, ohne sie jedoch im Endlichen jemals zu erreichen. In diesem Verhältnis dürften wohl auch Grenzgesehwwindigkeit und LG stehen. Wenn die höchste uns aus der Erfahrung bekannte in der Natur auftretende Geschwindigkeit, also die LG, der Grenzgesehwwindigkeit sehr nahe kommen sollte, so wäre dies gewiss nicht verwunderlich.

Wir werden also die Lorentz-Transformationen nicht auf den Wert c der LG, sondern auf den rein theoretisch zu postulierenden Grenzwert \bar{c} der Geschwindigkeit aufbauen müssen, c und \bar{c} sind also nicht identisch!

In dieser Auffassung kann uns eine Ausführung von Whitehead bestärken. Offenbar mit Beziehung auf Einstein's Deutung des Ergebnisses des MV sagt Whitehead: "Ich wage zu denken, dass die Deutung falsch ist, obwohl sie für Einstein der Schlüssel war, der ihm den Weg von seinem Prinzip zu seinem Verfahren aufschloss. Es ist in der Geschichte der Wissenschaft keine Neuigkeit, dass Gedankenkonstruktionen, die einen Genius zum Ziel führten, aufgegeben wurden (Kepler, Maupertuis) ..."

"Angesichts der glänzenden Ergebnisse, die Einstein erzielt hat, mag es vorwitzig erscheinen, an der Gültigkeit einer Prämisse zu zweifeln, die sich für die Richtigkeit seines Denkens als so wesentlich erwiesen hat. Ich glaube jedoch nicht an diese Invarianz-Eigenschaften der Lichtgeschwindigkeit und zwar aus Gründen, die teilweise Einstein selbst in seinen späteren Untersuchungen beigebracht hat".²⁹⁾

Wir wollen uns nun, wieder an der Hand der Darstellung Einstein's, die Durchführung der Relativierung der Raum- und dann der Zeitgrössen gegenwärtigen und dann den Sinn und die Bedeutung der Relativität dieser Grössen, wie sie die relativistische Schulphysik auffasst, einer logisch-erkenntnistheoretischen Prüfung unterwerfen³⁰⁾.

"Ich lege einen Meterstab in die x' -Achse von K' ³¹⁾ derart, dass sein Anfang in den Punkt $x' = 0$, sein Ende in den Punkt $x' = 1$ fällt. Welches ist die Länge des Meterstabes relativ zum System K ? Aus der Anwendung der ersten Gleichung der Lorentztransformation zur Zeit $t = 0$ auf den Anfangs- und Endpunkt des Stabes ergibt sich für die Punkte im System K der Abstand

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

"Relativ zu K ist aber der Meterstab mit der Geschwindigkeit v bewegt. Der bewegte starre Stab ist also kürzer als derselbe Stab, wenn er im Zustande der Ruhe ist, und zwar umso kürzer je rascher er bewegt ist."

Wenden wir uns nun zur Relativierung der Zeitgrössen, so wird diese von Einstein folgendermassen durchgeführt. "Wir betrachten nun eine Sekundenuhr, die dauernd im Anfangspunkte von K' ruht. $t' = 0$ und $t' = 1$ seien

zwei aufeinanderfolgende Schläge dieser Uhr." Hier ergibt sich aus der Anwendung der Lorentz-Transformation auf die beiden Punkte im System K der zeitliche Abstand $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ Von K aus beurteilt ist die Uhr mit der Geschwindigkeit v bewegt; von diesem Bezugskörper aus beurteilt vergeht zwischen zwei ihrer Schläge nicht eine Sekunde, sondern eine etwas grössere Zeit. "Die Uhr geht infolge ihrer Bewegung langsamer als im Zustande der Ruhe."

In dieser Gegenüberstellung von Raum- und Zeitgrössen ist offensichtlich eine Koordination von Raummass und Zeitmass, d. h. von Meterstab und Uhr vollzogen. Ist diese Koordination berechtigt?

Zur Beantwortung dieser Frage ist eine kurze grundsätzliche Betrachtung über die Eigenart von Raummessung und Zeitmessung unvermeidlich.

Messbar sind immer nur Raum- und Zeiteile, die irgendwie begrenzt sind; Raum und Zeit in abstracto sind überhaupt nicht messbar.

Zur Messung von Raumteilen (Raumgrössen) haben wir räumliche Massstäbe wie z. B. einen Meterstab. Ein solcher Massstab kann dauernd aufbewahrt werden (das Urmeter in Paris!) und immer wieder zu räumlichen Messungen benützt werden. Wäre es möglich, einen solchen Massstab vor allen chemischen und physikalischen Einwirkungen zu bewahren, so wäre er unbegrenzt lange Zeit zur Raummessung brauchbar. Man kann den Meterstab ohne weiteres als ein durch Anfangs- und Endpunkte begrenztes "Stück Raum" betrachten.

Einen analogen zur Messung zeitlicher Grössen direkt verwendbaren zeitlichen Massstab, ein dem "Stück Raum" entsprechendes "Stück Zeit" gibt es nicht. Es gibt wohl einzelne, durch Zeitpunkte abgegrenzte zeitliche Abläufe; aber wir können sie nur innerlich erleben, nie aufbewahren, wie einen räumlichen Massstab. Ein abgelaufener Zeitraum ist nach seinem Ablauf für immer entschwunden und lässt sich als solcher niemals zur Messung späterer Zeiträume benützen.

Zeitmasse und Zeitmessungen sind nur mit Hilfe räumlicher Grössen möglich. Eine solche Grösse ist die Uhr. Wir beschränken uns hier auf die Uhr des täglichen Lebens und stellen als die beiden der Uhr wesentlichen Elemente fest: das Zifferblatt mit den in gleichen Abständen angebrachten Ziffern und sodann die Bewegung der Zeiger. Indem wir voraussetzen, dass die Bewegung der Zeiger gleichförmig ist, gewinnen wir in der Zeit, die etwa der kleine Zeiger braucht, um von der Ziffer XI zur Ziffer XII zu kommen, einen zeitlichen Massstab, hier also den einer Stunde.

Schon diese von der RT völlig unabhängige Betrachtung zeigt uns, dass von einer logischen Koordination von Zeitmass und Raummass, konkret gesprochen von Meterstab und Uhr, keine Rede sein kann.

Der Meterstab ist eine unmittelbare Veranschaulichung eines "Stückes Raum". Die Uhr dagegen ist keineswegs eine unmittelbare Veranschaulichung

eines "Stückes Zeit". Die Zeit lässt sich überhaupt nicht veranschaulichen, sondern nur innerlich erleben. Die Uhr ist vielmehr ein räumliches Gebilde, das infolge einer gleichförmigen räumlichen Bewegung auf ihr zur Zeitmessung brauchbar ist.³²⁾

Die gleichförmige Übertragung der Ergebnisse der Lorentztransformationen, bei denen wir es mit Raumlängen und Zeittlängen zu tun haben, auf räumliche Massstäbe und Uhren ist also wegen der Heterogenität von räumlichen Massstäben und Uhren keineswegs unbedenklich.

Die Übertragung der Ergebnisse der vierten, auf Zeittlängen bezogenen Lorentztransformation wird dadurch noch besonders fragwürdig, dass wir es hier mit Veränderungen von Zeittlängen zu tun haben, wobei diese Veränderungen von Bewegungen bedingt sein sollen. Der Zeitraum zwischen zwei Schlägen der Sekundenuhr soll je nach dem Bewegungszustande der Uhr verschieden sein; er ist gleich einer Sekunde, wenn die Uhr relativ zum Beobachter ruht, er ist etwas länger, wenn die Uhr relativ zu einem (anderen) Beobachter bewegt ist. Die Übertragung des Ergebnisses der Transformation auf die Uhr wird von Einstein so formuliert: "die Uhr geht infolge ihrer Bewegung langsamer als im Zustande der Ruhe".

Die Uhr soll zunächst in einem System K' ruhen; ein Beobachter in diesem System wird also sagen: zwischen zwei Schlägen der Uhr vergeht eine Sekunde. Nun denken wir uns ein zweites System K, relativ zu dem die Uhr mit der Geschwindigkeit v bewegt ist. Ein Beobachter in K wird sagen: der Zeitraum zwischen zwei Schlägen der Uhr ist etwas länger als eine Sekunde; für ihn soll also die Uhr, verglichen mit der Beobachtung in K' - etwas "nachgehen".

Aber hier erheben sich nun zwei schwere Bedenken.

Eine Verlangsamung einer Uhr, allgemein ihre Gangart, ist zweifellos abhängig von dem Triebwerk der Uhr. Dieses Triebwerk ist nun ein Mechanismus, der nur durch kausal-dynamische Einflüsse geändert werden kann. Ist es nun denkbar, dass die Bewegung einer Uhr solche Einflüsse auf das Triebwerk ausüben kann? Auf den ersten Anblick scheint das keineswegs unmöglich zu sein. Aber wir dürfen hier natürlich nicht etwa an Erschütterungen denken, welche die Uhr infolge ihrer Bewegung, bzw. infolge der Bewegung des Systems, mit dem sie fest verbunden ist, erleidet, sondern nur an die Bewegung der Uhr relativ zu K! Diese Relativbewegung Uhr - System soll ja aber immer vertauschbar sein mit der Bewegung von K relativ zur Uhr, wobei die letztere in Ruhe bleibt. Die blosse räumliche Annäherung eines Systems K an die Uhr (und an das mit der Uhr verbundene System K') kann doch unmöglich das Triebwerk der Uhr so beeinflussen, dass die Uhr infolge dessen ihren Gang verlangsamt!

Ein zweites Bedenken gegen die Übertragung der Relativität von Zeittlängen auf den Gang von Uhren ergibt sich, wenn wir berücksichtigen, dass beliebig viele Systeme (Beobachter) sich gleichzeitig relativ zu einer und derselben Uhr bewegen können, wobei die Geschwindigkeiten dieser Systeme innerhalb der Grenzwerte 0 und \bar{c} variieren können. Legen wir wieder den

Wert von 1 Sekunde für die Zeittlänge bei einer relativ zu K' ruhenden Uhr zugrunde, so müsste an die Stelle von 1 wieder der durch die Formel $\sqrt{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

bestimmte Wert treten, wobei aber dieser Wert für jedes relativ zur Uhr bewegte System K sich entsprechend der variierenden Geschwindigkeit v des zur Uhr bewegten Systems ändern müsste. Übertragen wir die durch die obige Formel bestimmten verschiedenen Zeitwerte wieder auf den Gang der Uhr, so müsste die Uhr für jeden in den verschiedenen bewegten Systemen befindlichen Beobachter gleichzeitig einen verschiedenen (verlangsamten) Gang aufweisen. So etwas ist vielleicht denkbar, wenn es sich um rein kinematische Vorgänge handelt, nicht aber, wenn es sich, wie bei der Verlangsamung des Ganges einer Uhr, um dynamische Einflüsse auf einen Mechanismus (das Gehwerk einer Uhr) handelt.

Es soll nun versucht werden, eine Deutung der in den Lorentz-Transformationen ausgedrückten Relativität der Raum- und Zeitstrecken zu geben, die als der richtige Kern der (speziellen) RT angesehen und beibehalten werden kann.

Die unmittelbare Aussage dieser Transformationen besagt: dieselbe Grösse (Raum- oder Zeitstrecke), die für einen ruhenden Beobachter durch eine bestimmte Masszahl auszudrücken ist, muss für einen relativ zu dieser Grösse anders bewegten Beobachter durch eine andere Masszahl ausgedrückt werden. Dem gegenüber sagt Einstein für die Zeit: die Uhr geht für den relativ zur Uhr bewegten Beobachter langsamer als für den relativ zu ihr ruhenden. Das heisst aber: die Relativität ist gleichbedeutend mit einem dynamischen Einfluss auf das Gehwerk der Uhr. Eine solche dynamische Deutung führt, wie wir gesehen haben, zu völlig unmöglichen Konsequenzen.

Man kann nun aber die Relativität auch rein quantitativ-mathematisch verstehen. Man kann etwa sagen: der Zeitraum, der zwischen zwei Schlägen einer Sekundenuhr liegt, muss für einen relativ zu der Uhr bewegten Beobachter mit einer anderen Masszahl beschrieben werden als für einen Beobachter, der relativ zu dieser Uhr ruht.

Dasselbe gilt auch für die räumlichen Kontraktionen. Bekanntlich nahm Lorentz eine Kontraktion eines materiellen Objektes in der Längsrichtung seiner Bewegung an, also eine reale Verkürzung des Objektes. Eine solche werden wir uns ebenfalls nur als dynamisch bedingt vorstellen können. Sie steht begrifflich auf einer Linie mit dem "Nachgehen der Uhr". Eine solche Kontraktion wäre sicher unabhängig von der Bewegung eines an dem verkürzten Objekte unbeteiligten Systems. Die RT lehnt die Lorentz-Kontraktion als eine lediglich für die Erklärung des Ergebnisses des MV ersonnene Hypothese ab. Aber mag es nun damit wie immer sich verhalten - jedenfalls hat diese Lorentz-Kontraktion mit der relativistischen, vom Bewegungszustande des Beobachters abhängigen Kontraktion nichts zu tun. Wir müssen die relativistische Kontraktion der Raumlängen ebenso rein zahlenmässig auffassen wie die Zeitdilatationen.

Wir haben die Möglichkeit der relativistischen Deutung der Zeitdilatation als einer Verlangsamung des Ganges einer Uhr unter der Voraussetzung geprüft, dass ein und dieselbe Uhr gleichzeitig von mehreren, relativ zur Uhr verschieden bewegten Systemen aus betrachtet wird; es hat sich dabei die unmögliche Konsequenz ergeben, dass ein und dieselbe Uhr gleichzeitig eine Reihe verschiedener Gangarten haben müsste. Da scheint nun die von der RT angenommene "Relativität der Gleichzeitigkeit" einen Ausweg zu eröffnen. Die Schwierigkeit besteht ja nur darin, wenn die Uhr die verschiedenen Gangarten gleichzeitig - im klassischen Sinne des Wortes gleichzeitig - haben müsste; fasst man die Gleichzeitigkeit "relativistisch" auf, so stellt sich die Sache ganz anders dar.

Aber es handelt sich bei dieser Berufung auf die Relativität der Gleichzeitigkeit nur um eine Ausflucht, welche die Schwierigkeit nicht zu beseitigen vermag.

Stellen wir uns vor, dass die relativ zur Uhr verschieden bewegten Systeme in einem Momente t_0 an einem Orte A beisammen sind, so sind die Bewegungen der Systeme (und der Beobachter in ihnen), die im Momente t_0 beginnen, für die "klassische" Auffassung zweifellos gleichzeitig. Ereignisse, die sich an ein und demselben Orte in demselben Momente nach klassischer Auffassung gleichzeitig abspielen, sind aber auch nach relativistischer Auffassung gleichzeitig. Wenn sich nun infolge der verschiedenen Geschwindigkeiten, mit denen sich die verschiedenen Systeme relativ zur Uhr bewegen, die gleichzeitigen Momente für die verschiedenen Bewegungen, gegenüber dem Anfangspunkt gleichsam verschieben, so spielt das natürlich für die Bewegungen als Ganze keine Rolle; diese Bewegungen sind trotzdem als gleichzeitig aufzufassen, sobald man grössere Abschnitte derselben ins Auge fasst. Der unmöglichen Konsequenz, dass jede dieser Bewegungen gleichzeitig den Gang der Uhr in einer verschiedenen Weise beeinflussen müsste, entgeht man so offenkundig nicht. Das zur Uhr ruhende System beeinflusst ihren Gang nicht; jedes zu ihr bewegte System soll ihren Gang verlangsamen und zwar um so intensiver, je schneller die Bewegung des Systems zur Uhr ist - wie soll die Uhr allen diesen gleichzeitig an sie gestellten Anforderungen genügen können?

Wir kommen hier, wo es sich um die Relativität von Raum- und Zeitgrössen handelt, zu einem ähnlichen Resultate wie bei der Betrachtung der Relativität von Bewegungen und von den sie verursachenden Kräften: die Relativität kann richtig sein und ist zum mindesten logisch unanfechtbar, solange wir es mit rein kinematischen, zahlenmässig bestimmbar Grössen zu tun haben; die Relativität wird im allgemeinen falsch und führt zu absurden Konsequenzen, wenn sie auf dynamisch bestimmte Naturgrössen oder Naturvorgänge ausgedehnt wird. Zu diesen Konsequenzen gehören Behauptungen wie die der Möglichkeit des Jüngerwerdens eines Zwilling gegenüber seinem Zwillingpartner, wenn der erstere entsprechend bewegt ist. Auf solche "Paradoxien" (richtiger: Absurditäten) habe ich in meiner früheren Schrift über die RT hingewiesen³³⁾.

Wir können das Ergebnis der vorangehenden Untersuchungen über das Wesen der Relativität räumlicher und zeitlicher Längenfolgendermassen zusammenfassen: es sind stets nur die Masszahlen der Längen, die relativ zu verschieden bewegten Beobachtern (in entsprechend bewegten Bezugssystemen) verschiedene Werte annehmen.

Es fehlt auch bei den Anhängern der RT nicht an Stimmen, die diese Auffassung laut werden lassen.

So sagt Hopf: "Nur die Art, wie wir Naturvorgänge ausmessen und zahlenmässig quantitativ mit Zahlen beschreiben, wird durch die RT völlig umgestürzt, nicht aber werden die Naturvorgänge selbst geändert³⁴⁾".

Dasselbe meint wohl auch Eddington, wenn er sagt: Ein Flieger mit der Geschwindigkeit 295800 km sieht zwei in der Bewegungsrichtung liegende Seiten eines Quadrats auf die Hälfte verkürzt; für uns sind die vier Quadratseiten gleich lang. Offenbar kann die Länge keine unserer Zeichnung innewohnende Eigenschaft sein; sie setzt die Angabe eines speziellen Beobachters voraus. Ebenso ist es mit der Zeitdauer. Der Naturbeobachter und der Flieger waren verschiedener Ansicht darüber, wessen Zigarre länger gebrannt hat. Somit sind Länge und Zeitdauer keine der Aussenwelt anhaftenden Dinge, sie sind vielmehr Beziehungen zwischen Dingen der Aussenwelt und einem speziellen Beobachter. Der im Experiment von Michelson um 90° gedrehte Stab kontrahiert sich; so gewinnt man den Eindruck, dass dem Stab selbst etwas passiert sei. Dem Stab als Gegenstand der Aussenwelt ist gar nichts passiert. Der Stab selbst oder die Beziehung eines Moleküls zu einem Molekül am anderen Ende ist unverändert geblieben. Es handelt sich bei der Beschreibung der Vorgänge (Kontraktion und Dilatation) um Beziehungen der Aussenwelt zum Beobachter, nicht um die Aussenwelt selbst³⁵⁾. "Was können aber diese Beziehungen zum Beobachter anders sein als Messungsergebnisse?"

Ebenso ist wohl auch eine Ausführung von A. Müller zu verstehen, der sagt: "Eine Länge des Fremdsystems, gemessen im Eigensystem ist kleiner als wenn sie im Eigensystem gemessen wird. Es wird nicht behauptet, dass ein Körper zwei Längen hat; das wäre ein Widerspruch. Sondern es heisst: gemessen nach der einen Methode, von dem einen Standpunkte aus hat die Länge einen anderen Wert, als gemessen nach der anderen Methode von einem anderen Standpunkte aus³⁶⁾".

Die vorangehenden Ausführungen über den Sinn der Relativität der Raum- und Zeilängen betreffen zweifellos den physikalisch und philosophisch wichtigsten Teil der speziellen RT. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sich die Kritik vor allem auf diese im Wesentlichen schon in meiner ersten die RT betreffenden Schrift enthaltenen Ausführungen gestützt hat. Eine Auseinandersetzung mit dieser Kritik ist daher hier sicher gerechtfertigt. Es sei daher zu diesem Zwecke aus meiner früheren Schrift ein Beispiel angeführt, das besonders überzeugend die Unmöglichkeit der Konsequenzen dartut, zu denen eine falsche (dynamische) Auffassung der Relativierung von Raum- und Zeilängen führt.

Nehmen wir an, eine Uhr in einem Zuge und eine Uhr eines Beobachters B' am Fahrdamme weisen beim Beginn der Bewegung des Zuges dieselbe Zeigerstellung auf und haben zunächst gleichen Gang. Für den Beobachter B im Zuge darf der Gang der Uhr im Zuge sich nicht verzögern. Dagegen soll nun aber ihr Gang für den Beobachter B', relativ zu dem sie bewegt ist, verlangsamt werden. Sie müsste also für B und B' nach hinreichend langer Fahrt verschiedene Zeigerstellung aufweisen! Wie wäre das zu konstatieren? B' bleibt ja etwa am Abfahrtsort des Zuges stehen, während die Uhr davonfährt! Aber wir brauchen uns nur entlang des Fahrdammes Uhren angebracht zu denken, die alle zueinander in Ruhe sind und dieselbe Gangart haben wie die des Beobachters B', also "synchron" sind. Wir denken uns an einem vom Abfahrtsort sehr weit entfernten Orte K einen Beobachter B'', dessen Uhr genau gleich geht wie die Uhr von B' am Abfahrtsort, also genau dieselbe Zeigerstellung aufweist wie die letztere. Nun sollen B, der Beobachter im Zuge, und B'', der Beobachter in K, instand sein, im Moment, in dem der Zug an K vorbeifährt, die Zeiten ihrer Uhren miteinander zu vergleichen. Dann müsste die Uhr im Zuge für B richtig gehen, für B'' dagegen nachgehen, d. h. also ein und dieselbe Uhr müsste in ein und demselben Momente an demselben Ort für jeden der beiden Beobachter eine verschiedene Zeigerstellung aufweisen! Diese "Paradoxie" wird doch wohl jedermann als eine Unmöglichkeit, als eine Absurdität ansehen!³⁷⁾

Bezüglich der doppelten Zeigerstellung einer Uhr, die zwei Beobachter an einem und demselben Orte gleichzeitig wahrnehmen müssten, behauptet Herr Professor Jordan³⁸⁾: "Die Schwierigkeit, mit der der Verfasser nicht fertig geworden ist, besteht in der Relativität der Gleichzeitigkeit." Hätte Herr Jordan meine Schrift gründlich gelesen, so hätte er erkannt, dass ich mit dieser "Schwierigkeit" genau so fertig geworden bin, wie mit der "Schwierigkeit" der Relativität überhaupt: unüberwindlich ist diese Schwierigkeit nur dann, wenn man die Relativität der Zeit in dem falschen dynamischen Sinn versteht, wie er schon in der Einstein'schen Formulierung: "die Uhr geht nach" - vorliegt. Fasst man dagegen die Relativität quantitativ, zahlenmäßig auf, so verschwinden die Schwierigkeiten und Paradoxien, ohne dass darum der richtige Kern der RT verloren ginge.

Im übrigen kann die "Relativität der Gleichzeitigkeit", wie immer sie auch verstanden werden mag, zur Lösung der "Schwierigkeit" in dem von mir ausgeführten Beispiele überhaupt nichts beitragen. "Gleichzeitig" ist in diesem Beispiele nur das auf-die-Uhr-Schauen der beiden Beobachter im Zuge und am Bahndamm beim Eintreffen des Zuges in der Station K. Die beiden gleichzeitigen Ereignisse, finden also an demselben Orte statt. Bekanntlich sind nun zwei Ereignisse, die nach klassischer Auffassung gleichzeitig sind, für beliebig bewegte Beobachter auch nach der Auffassung der RT gleichzeitig, wenn sich diese Ereignisse an ein und demselben Orte abspielen. Die "Relativität der Gleichzeitigkeit" kommt hier also überhaupt nicht in Frage.

Auch ein zweiter Kritiker setzt sich mit der von mir erwähnten Konsequenz einer falschen Auffassung der Relativität der Zeitdilatation - der verschiedenen Zeigerstellung einer und derselben Uhr für zwei Beobachter in

demselben Moment und an demselben Orte in dem oben ausgeführten Beispiele - auseinander. "Dieses Kunststück", so belehrt er seine Leser, "kann natürlich nur so zustandekommen, dass man die Konzeption einer absoluten Zeit durch eine Hintertüre in die Diskussion einschmuggelt!"³⁹⁾ "Es genügt aber ein Minimum von Sorgfalt, bzw. Sachlichkeit, um zu erkennen, dass die Konsequenz aus dem falschen Begriffe der (dynamisch verstandenen) Zeitdilatation, nämlich der Anblick einer verschiedenen Zeigerstellung am selben Orte und zu derselben Zeit, bei der "Konzeption der absoluten Zeit" überhaupt nicht existieren würde. Die hier in unserem Beispiele vorliegende Paradoxie ist ja dadurch bedingt, dass nach relativistischer Auffassung eine Uhr für den relativ zu ihr bewegten Beobachter langsamer gehen soll als für einen relativ zu ihr ruhenden Beobachter. Stellen wir uns auf den Standpunkt der absoluten Zeit (Newton's), so gibt es ja auf diesem Standpunkte kein Nachgehen einer relativ zum Beobachter bewegten Uhr; die Gangart der Uhr wird hier durch den Bewegungszustand der Uhr relativ zum Beobachter für diesen letzteren überhaupt nicht geändert. Durch "Einschmuggeln" der "absoluten Zeit" würde die Paradoxie nicht entstehen, sondern verschwinden.

Die Relativität der Masszahlen als Ausdruck der Relativität der räumlichen und zeitlichen Beziehungen zwischen Beobachter und Naturobjekt in Abhängigkeit des beiderseitigen Bewegungszustandes: so kann man vielleicht den logisch einwandfreien Kern der speziellen RT kurz charakterisieren. Die Einsicht in diese Relativität und ihre wissenschaftliche Formulierung ist das zweifellose Verdienst Einstein's, wenn auch nicht verschwiegen werden darf, dass auch Männer wie Poincaré und Lorentz unabhängig von ihm an der Vorbereitung der RT Verdienste sich erworben haben. Leider hat Einstein seine Leistung durch die falsche dynamische Auffassung vor allem der Zeitdilatation stark beeinträchtigt, und durch die Ininteressiertheit der Schulphysik an der "Philosophie", d. h. an einer klaren logisch-erkenntnistheoretischen Begriffsbildung ist die falsche Auffassung der Relativität (vor allem in der dritten Bedeutung des Begriffes "Relativität") weithin in die relativistische Literatur eingedrungen. Man scheut sich gegenwärtig allerdings, die durch jene falsche Auffassung bedingten "Paradoxien" hervorzuheben, wie dies in der ersten "Blütezeit" der RT geschah. Aber wenn man sie in neuerer Zeit auch meistens mit Stillschweigen übergeht, so sind sie eben doch die Konsequenz der fehlerhaften Auffassung des Begriffes der Relativität. Hier ist eine Korrektur, wie sie in dieser und in anderen Abhandlungen dieses Werkes versucht wird, unerlässlich, wenn man sich nicht durch "elegante mathematische Formeln" benebeln lässt, sondern eine logisch unanfechtbare Begriffsbildung als unerlässlichen Bestandteil einer wissenschaftlichen Theorie anerkennt.

ZUSAMMENFASSUNG

So gewaltig auch die relativistische Literatur in den 50 Jahren des Bestandes der Relativitätstheorie (RT) angewachsen ist, so findet in ihr wenigstens der Nichtfachmann keine klare und eindeutige Antwort auf die Frage, was denn unter "Relativität" zu verstehen ist. Es liegt dies daran, dass dieser Begriff in der Literatur in verschiedener Bedeutung gebraucht wird.

Zunächst bezieht sich der Begriff auf Bewegungen. Ein Grundsatz der RT lautet: es gibt nur relative, dagegen keine absolute Bewegungen. Dieser Satz besagt ein Doppeltes. Einmal bedeutet er, dass es - zum mindesten für unsere Anschauung - keine Bewegung eines Objektes in der Natur gibt ohne einen Bezugskörper (Bezugssystem), auf das die Bewegung bezogen werden kann. Dieser Satz ist wohl ausnahmslos richtig. Aber die Relativität der Bewegung soll nun auch darin zum Ausdruck kommen, dass das bewegte Objekt und der Bezugskörper hinsichtlich ihres Bewegungszustandes vertauschbar sind (Reziprozitätsprinzip). Diese zweite Bedeutung kann nur mit Einschränkung als richtig gelten; die beiden Bedeutungen von "Relativität" können daher keineswegs als gleichbedeutend anerkannt werden.

Eine dritte Bedeutung der Relativität betrifft nicht Bewegungen, sondern Raum- und Zeilängen. Diese Längen sollen keinen absoluten Wert haben, sondern sich je nachdem Bewegungszustand des sie messenden Beobachters ändern. Diese Relativität ist bedingt durch eine konstante Grösse \bar{c} , die aber nicht als die Lichtgeschwindigkeit, sondern als eine von dieser begrifflich verschiedene Grenzgeschwindigkeit aufzufassen ist.

Die auf Naturvorgänge selbst bezogene Relativität führt zu absurden und unsinnigen Konsequenzen; der richtige Kern der (speziellen) RT besteht in der Relativität der Masszahlen.

Schema des Michelson-Versuches in der üblichen Form

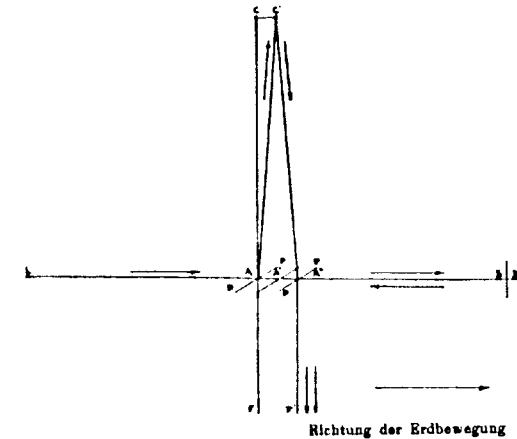


Abb. 1

L - Lichtquelle, P - Platte, A - Ort der Spaltung des Lichtstrahls, A'B' - Hinweg, B'A'' - Rückweg des longitudinalen Strahls, A'C' - Hinweg, C'A'' - Rückweg des transversalen Strahls, A'' - Wiedervereinigungspunkt der Strahlen, A''F' - gemeinsamer Weg der wiedervereinigten Strahlen, F' - Ort des Fernrohres bei der Beobachtung.

Schema des abgedänderten Michelson-Versuches

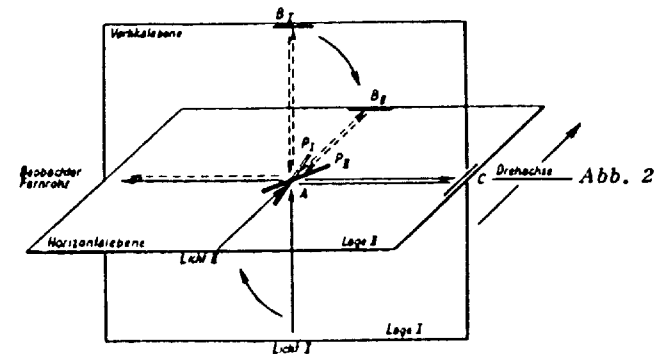
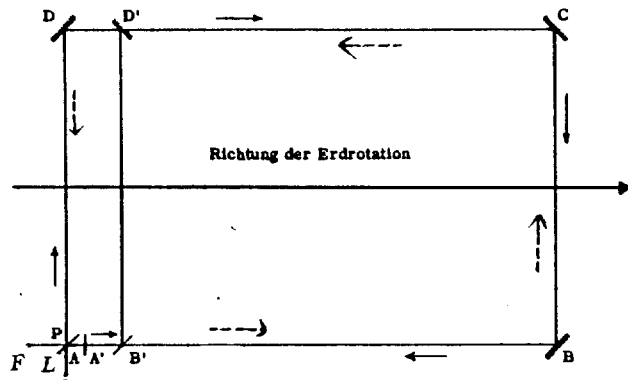


Abb. 2

Schema des Michelson-Gale-Versuches



ANMERKUNGEN

- 1) Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 1921, S. 48.
- 2) Pohl, *Mechanik*, 1947, S.88. Die folgenden Ausführungen sind in der Zeitschrift: "Wissenschaft ohne Dogma" (Untertullnerbach b.Wien, H.3, 1957, Verlag G.Barth) enthalten und werden hier mit Zustimmung des genannten Verlegers in ähnlicher Form wiederholt.
- 3) Ph.Frank, *Einstein*, 1949, S.80.
- 4) *Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1733, (letzte Ausgabe) S.18.
- 5) Einstein, *über die spez. und die allgem. RT*, § 5, 1921.
- 6) v.Laue, *die RT*, 1921, S.18.
- 7) Westphal, *Physik*, 1956, S.598
- 8) A. a. O. 1921, 1956, S.598
- 9) Einstein. a. a. O. S. 9. - Vom Verfasser gesperrt!
- 10) V. Laue, *die Relativitätstheorie*, 1952, I, S. 25. - Vom Verfasser gesperrt!
- 11) Auch v. Laue sagt bezüglich der Bewegung eines Massenpunktes in verschieden bewegten Inertialsystemen: "Obgleich sich die Geschwindigkeiten des Massenpunktes nach Größe und Richtung unterscheiden, gilt das Newton'sche Bewegungsgesetz, welches die Beschleunigung und nicht die Geschwindigkeit enthält". (A. a. O. S. 4 - vom Verfasser gesperrt)
- 12) A. Müller, *die philosophischen Probleme der Einstein'schen RT*, 1922, S. 6.
- 13) Man hat eingewendet, dass der Flug der Kugel in dem angenommenen Beispiele kein Naturvorgang sei, der sich in dem "Inertialsystem Wagen" abspielt, da die Kugel von aussen in den Wagen geschossen wird. Aber dieser Einwand wäre doch nur dann stichhaltig, wenn der aussen halb des Wagens erfolgende Teil der Bewegung der Kugel irgendwie für die Erkennbarkeit der Wirkung der Kugel im Wagen berücksichtigt würde. Das ist aber offenbar nicht der Fall; die Beobachter im Wagen brauchen bei der Feststellung der Wirkung gar nichts davon zu wissen, dass die Kugel von aussen gekommen ist.
- 14) So z. B. Westphal, *Physik*, 1956, S. 596 .
- 15) *Physik. Reviews*, 1932, 42. S. 400.
- 16) *Physik*, 1956, S. 596 .
- 17) *Die Relativitätstheorie, erster Band*, 1952, S. 24 f. - Miller, auf dessen Versuche sich v. Laue hier beruft, berichtet in einer eingehenden Abhandlung, (*Reviews of Modern Physics*, 1933, V.S. 203 ff.) dass bei seinen Versuchen stets positive Effekte festgestellt worden sind, aus denen auf eine Erdgeschwindigkeit geschlossen werden konnte, die etwa ein Viertel des wirklichen Wertes dieser Geschwindigkeit betrug. Miller mag sich hier geirrt haben. Ist es aber statthaft, die Versuche eines Forschers zu zitieren, aber die Beurteilung des Ergebnisses der Versuche - ob positiv oder negativ - durch den Forscher selbst gar nicht zu erwähnen und sie als Beweis des Gegenteils von dem anzuführen, was der Forscher selbst gefunden zu haben glaubt?
- 18) *Lehrbuch der theoretischen Physik*, 4. Aufl. S. 213.
- 19) So z. B. Thirring, *die Idee der Relativitätstheorie*, 1948, S. 119.
- 20) Vergl. dazu Becker, *Theorie der Elektrizität*, 2. Band, 6. Aufl., S. 279.

- 21) Über den Begriff der Grenzggeschwindigkeit vergl. Abschnitt IV dieser Schrift.
- 22) Ist $c = \bar{c}$, so haben wir in I die Ausdrücke $\frac{c+v}{1+\frac{cv}{\bar{c}^2}}$ bzw. $\frac{c-v}{1-\frac{cv}{\bar{c}^2}}$; daraus ergibt sich:

$$\frac{\frac{c+v}{1+\frac{cv}{\bar{c}^2}}}{\frac{c-v}{1-\frac{cv}{\bar{c}^2}}} = \frac{c^2(c+v)}{c(c-v)} = c, \text{ d.h. das Signal = LG ist in beiden Fällen = } c. \text{ Ist aber } c \neq \bar{c}$$
so lauten die Ausdrücke in I: $\frac{c+v}{1+\frac{cv}{\bar{c}^2}}$ und $\frac{c-v}{1-\frac{cv}{\bar{c}^2}}$. Der erste Ausdruck wird hier =

$$\frac{c+v}{\bar{c}^2 + cv} = \frac{\bar{c}^2(c+v)}{\bar{c}^2 + cv}, \text{ der Nenner ist hier nicht = } c(c+v); \text{ ebenso erhält man für den}$$
2. Ausdruck: $\frac{\bar{c}^2(c-v)}{\bar{c}^2 - cv}$, wo der Nenner nicht = $c(c-v)$ wird. Die beiden Ausdrücke sind also nicht gleich = c , sondern von c und von einander verschieden.
- 23) Man vergleiche hierzu auch die Abhandlung von J. Gies e "über die Möglichkeit positiver Ergebnisse im MV" in diesem Sammelwerke.
- 24) Die spezielle RT, 1952, S. 25 f.
- 24a) Vergl. S. 3, Abb. 1. Durch die Erdbewegung werden die Entfernungen, die die Lichtsignale zwischen der Platte und den Spiegeln zu durchlaufen haben, verändert: anstatt A B hat das Lichtsignal den Weg AB' zu durchlaufen, u. s. f. Einen direkten Einfluss auf die Lichtsignale, insbesondere auf die LG hat also die Erdbewegung überhaupt nicht.
- 25) Chwolson, die Physik von 1914-1926, Aufl. von 1927.
- 26) Bezüglich der Anerkennung des Raumes als einer physikalischen Realität und in Verbindung damit bezüglich der "Rehabilitierung" des Äthers vergl. Joos, a. a. O. S. 230. Westphal a. a. O. S. 60. Einstein-Infeld, die Evolution der Physik, 1950, S. 183.
- 27) Der Grundgedanke des hier vorgeschlagenen "abgedänderten MV" besteht also in der Heranziehung der dritten Dimension bei der Durchführung des Versuches. Schon im Jahre 1921 hat der Physiker Gehrke auf diese Möglichkeit hingewiesen, vergl. die "Physikalische Zeitschrift" 22, 1921, S. 639.
- 28) Diese letztere, schon in meiner Schrift "Wahrheit und Irrtum in der RT" enthaltene Behauptung hat Herrn Prof. Jordan in einer Kritik der genannten Schrift in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure (Band 96, 7, S. 208) zu der Bemerkung veranlasst: man erkennt, wie fremd ihm der physikalische Sinn des Ganzen ... geblieben ist". Ich antworte: man erkennt aus dieser Kritik des Herrn Jordan an meiner Unterscheidung zwischen LG und Grenzggeschwindigkeit, wie fremd ihm die Fähigkeit logisch-kritischen Denkens gegenüber einem Dogma der relativistischen Schulphysik ist. Der bekannte Physiker und Nobelpreisträger de Broglie hat mir in diesem Punkte brieflich zugestimmt. In seinem an mich gerichteten Briefe vom 21. III. 1953 heisst es unter anderem: "Il y aurait alors bien de distinguer la vitesse limite c figurant dans les formules de la théorie de la Relativité de la vitesse des photons qui, bien que pratiquement égale à c , serait toujours légèrement inférieure à c . . . Vous voyez que j'admets une hypothèse analogue à la votre, mais sans aucunement m'écarter des principes de la théorie de la Relativité. . ." Da hier Herr de Broglie ausdrücklich die Übereinstimmung seiner und meiner Auffassung bezüglich der Unterscheidung von Grenz- und LG hervorhebt, - wenn diese Unterscheidung bei ihm auch ganz anders begründet ist als bei mir - so wäre nach Herrn Jordan also auch Herrn de Broglie vorzuwerfen, dass ihm "der physikalische Sinn des Ganzen fremd geblieben ist"? Vielleicht ist aber auch die Annahme berechtigt, dass das Urteil des Herrn Jordan lediglich der Ausdruck dogmatischer Befangenheit des relativistischen Schulphysikers ist. Wer an irgend einem Punkte dieser Schulphysik Kritik zu üben wagt, hat nach dem Urteil solcher Herren "die Theorie nicht verstanden". Eine überaus bequeme Art, sich unbequemer Kritiker zu entledigen!

- 29) Whitehead, Philosophie und Mathematik, 1947, S. 111.
- 30) Einstein, über die spezielle und die allgemeine RT, 1921, S. 24.
- 31) K' ist ein Bezugssystem, das relativ zum Bezugssystem K mit der Geschwindigkeit v bewegt ist.
- 32) Die Gleichförmigkeit der Zeigerbewegung ist eine zwar notwendige aber nicht beweisbare Voraussetzung. Eine gleichförmige Bewegung ist eine solche, bei welcher in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurückgelegt werden. Aber die Gleichheit von Zeitstrecken können wir eben nur mit Hilfe von gleichförmigen Bewegungen feststellen, deren Existenz wieder davon abhängig ist, dass es gleiche Zeiten gibt! Über diesen circulus vitiosus kommen wir nur durch die nicht wirklich beweisbare Annahme gleicher Zeitabläufe hinaus.
- 33) Wahrheit und Irrtum in der RT, 1952 S. 19 f.
- 34) Die Relativitätstheorie, 1931, S. 44 f.
- 35) Eddington. Raum, Zeit und Schwere, 1923, S. 37, (übersetzt von Gordon).
- 36) Aloys Müller, die philosophischen Probleme der RT, 1922, S. 87.
- 37) Wahrheit und Irrtum in der RT, 1952, S. 19 f.
- 38) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 96, 1954, S. 208.
- 39) Acta Physica, Band VIII H. 3, 1954, Diese "Kritik" wäre es überhaupt nicht wert, erwähnt zu werden, wenn sie nicht in dem angesehenen Organ der österreichischen Physiker stünde, dessen Schriftleitung dem in oberflächlichster und unwürdigster Form angegriffenen Autor jede Verteidigung verweigert hat.