

ÜBER DEN OPTISCHEN ROTATIONSEFFEKT UND SEINE KONSEQUENZEN FÜR DIE PHILOSOPHIE

Von

T. ELEK

Lehrstuhl für Philosophie, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 15. September, 1965)

In der Literatur der Relativitätstheorie findet sich verbreitet die Behauptung, die Versuchserfahrungen hätten die Theorie EINSTEINS eindeutig gesichert. Wie wir gleich vorweg festhalten möchten, stammt diese Behauptung nicht von EINSTEIN selbst. Im »erkenntnistheoretischen Credo« seiner wissenschaftlichen Autobiographie führt er selbst aus, den Ausschlag in der Beurteilung einer physikalischen Theorie gebe nicht die experimentelle Sicherung, das Entscheidende seien die Kriterien der »inneren Vollkommenheit«; die logische Einfachheit und die Eleganz der Prämissen und Deduktionen [1].

Selbst der experimentellen Sicherung der speziellen Relativitätstheorie mißt EINSTEIN keine besondere Bedeutung bei, ja er geht so weit anzuerkennen daß der Michelson—Morley-Versuch seine eigene Konzeption um nichts eindrucksvoller bestätigt habe als die Lorentzsche Kontraktionshypothese. Unterschiede zwischen den beiden Theorien scheinen ihm lediglich in ihrer »inneren Vollkommenheit« zu bestehen [2]. EINSTEIN war sich also völlig im klaren darüber, daß dieser Versuch unmittelbar nur Aussagen über das tatsächliche Verhalten der bewegten Stäbe und Uhren gestattete, aber keine direkte Bestätigung für die Richtigkeit folgender Hypothesen erbrachte:

- es gibt keinen Äther, d. h. die Lichtwellen haben keinen substantiellen Träger,
- das Licht pflanzt sich in sämtlichen inertiellen Bezugssystemen mit gleicher Geschwindigkeit und isotrop fort,
- diese Konstanz der Lichtgeschwindigkeit findet ihre Begründung in der absoluten Invarianz des feldfreien Raumzeit-Kontinuums.

EINSTEIN setzt diese Hypothesen in eine bloß intuitive, psychologische Beziehung zur Erfahrung, und in der Tat besteht zwischen ihnen auch kein anderer wie immer gearteter Zusammenhang. Die Behauptung, die Versuche hätten die Richtigkeit von EINSTEINS Standpunkt mit logischer Eindeutigkeit *bewiesen*, stammt nicht von ihm, sondern von seinen Interpreten, und zudem entspricht sie auch nicht der Wahrheit. Vor allem wird man bei der ersten der erwähnten drei Hypothesen den Versuchsergebnissen die aus der Einstein-

schen Konzeption folgende Frage entgegenhalten müssen, ob der Satz, die elektromagnetischen Erscheinung seien nicht Zustandsänderungen eines materiellen Objektes, sondern die des leeren, jedes Materiellen entblößten Raumes, ob also dieser Satz zu Recht besteht.

So viel ist aus dem Michelson—Morley- und anderen Versuchen tatsächlich hervorgegangen, daß sich die *Translationsbewegung* eines physikalischen Objektes, etwa eines starren Körpers in bezug auf den Äther auf optisch experimentellem Wege nicht nachweisen läßt. Indes setzt sich die allgemeine mechanische Bewegung starrer Körper stets aus Translations- und aus Rotationsbewegungen zusammen [3], die Behauptung von der Nichtnachweisbarkeit des Äthers könnte also nur dann als zutreffend akzeptiert werden, wenn sich auch die *Rotationsbewegung* der physikalischen Objekte in bezug auf den Äther als nicht nachweisbar erwiese. Die Versuche zeigen aber das gerade Gegenteil, denn durch die sogenannten optischen Rotationsversuche ist es gelungen, die Rotationsbewegung rotierender Körper, unter anderen auch der Erde in bezug auf den Äther nachzuweisen.

Wie wird man zu verfahren haben, wenn man beispielsweise die Bewegung einer um eine lotrechte Achse rotierenden Scheibe mit dem Halbmesser r in bezug auf jenes Koordinatensystem K_0 nachweisen will, welches sich relativ zum Äther, dem hypothetischen substantiellen Träger der Lichtwellen, in Ruhe befindet, in welchem sich also das Licht isotrop mit der Geschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^{10}$ cmsec⁻¹ fortpflanzt? Der Einfachheit halber sei angenommen, daß der Nullpunkt und die z -Achse des Koordinatensystems K_0 mit dem Mittelpunkt bzw. mit der Drehachse der Scheibe zusammenfallen. Als zweckentsprechend wird sich dann folgendes Verfahren erweisen: An den Berührungspunkten der Tangenten an den Scheibenumfang, etwa an den Eckpunkten eines umschriebenen regelmäßigen n -Ecks, bringt man je einen Spiegel an und zwingt mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung das Lichtsignal, das man von einem Eckpunkt des Vielecks, dem Punkt P , ausgehen läßt, am Umfang des Vielecks entlangzulaufen. Sind die Spiegel sehr dicht nebeneinander angeordnet, erhält man ein im Kreis bewegtes Lichtsignal, welches im System K_0 den Scheibenumfang mit der Umfangsgeschwindigkeit c in der Zeit

$$t_0' = \frac{2r\pi}{c} \quad (1)$$

durchläuft, vorausgesetzt natürlich, daß die Scheibe im System K_0 ruht. In diesem Falle ist die Umlaufszeit t_0 unabhängig davon, in welcher Richtung das Lichtsignal den Scheibenumfang umkreist.

Rotiert hingegen die Scheibe in bezug auf das System K_0 mit der Winkelgeschwindigkeit ω , d. h. mit der Umfangsgeschwindigkeit $v = r\omega$, dann ändert sich die Umlaufszeit des Lichtsignals und behält auch seine Unabhängigkeit von der Umlaufsrichtung nicht mehr bei. Stimmt diese mit der Dreh-

richtung der Scheibe überein (positive Richtung), dann kehrt das Lichtsignal zum Punkt P , von dem es ausgegangen ist, später zurück, weil dieser Punkt P vor dem Lichtsignal flieht. Bei entgegengesetzter (d. h. negativer) Umlauf-richtung hingegen, kehrt das Lichtsignal früher zu seinem Ausgangspunkt P zurück, weil ihm dieser entgegenläuft.

Bezeichnet im ersteren Fall t^+ , im zweiten Fall t^- die Dauer der Signalarückkehr zum Punkt P , dann muß das Lichtsignal am Kreisumfang im ersteren Falle im System K_0 einen um vt^+ längeren Weg zurücklegen, während sich sein Weg im letzteren Falle um vt^- verkürzt. Es gilt mithin

$$ct^+ = 2r\pi + vt^+ \quad (2)$$

und

$$ct^- = 2r\pi - vt^-, \quad (3)$$

woraus

$$t^+ = \frac{2r\pi}{c - v} = \frac{2r\pi}{c - r\omega} \quad (4)$$

und

$$t^- = \frac{2r\pi}{c + v} = \frac{2r\pi}{c + r\omega}. \quad (5)$$

Im System K_S der rotierenden Scheibe ist also die Lichtfortpflanzung anisotrop: das in positiver Richtung kreisende Lichtsignal durchläuft den Scheibenumfang mit der Geschwindigkeit $(c - v)$, das in der negativen Richtung kreisende Lichtsignal hingegen mit der Geschwindigkeit $(c + v)$.

Läßt man in positiver und in negativer Richtung zugleich je ein Lichtsignal ausgehen, wird sich in ihrer Rückkehr ein Zeitunterschied von

$$\Delta t = t^+ - t^- \approx \frac{4S\omega}{c^2} \quad (6)$$

ergeben, worin $S = r^2\pi$ die von den Signalen im Umlauf eingeschlossene Fläche bezeichnet. Nachweisbar ist die Gl. (6) allgemein gültig, d. h. auch für den Fall, daß die beiden Lichtsignale nicht die Gesamtfläche der rotierenden Scheibe, sondern innerhalb dieser bloß eine Teilfläche S umlaufen.

Der Unterschied zwischen den Weglängen der beiden Lichtsignale im System K_0 bis zu ihrer Rückkehr schreibt sich zu

$$\Delta s = c\Delta t = \frac{4S\omega}{c}, \quad (7)$$

jener Phasenunterschied hingegen, den das entstehende Interferenzbild nachweisen muß, zu

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{\lambda} = \frac{4S\omega}{c\lambda}, \quad (8)$$

wenn λ die Wellenlänge des Lichtes bezeichnet, das beim Versuch zur Verwendung gelangt. Die Formel (8) findet sich auch bei M. v. LAUE [4] allerdings ohne jeden Hinweis darauf, daß sie sich aus den Gl. (2) bis (5), d. h. aus Zusammenhängen herleitet, die die Anisotropie der Lichtfortpflanzung im System K_S beschreiben, welches seinerseits relativ zum System K_0 mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotiert.

Den Gedanken an den experimentellen Nachweis des optischen Rotationseffektes publizierte erstmalig A. A. MICHELSON im Jahre 1904 in einem unter dem Titel »Die Relativbewegung von Erde und Äther« erschienenen Artikel [5]. Würden solche Versuche, so erklärt er in seiner eindeutigen Stellungnahme, die Ergebnisse der soeben erörterten Berechnungen bestätigen, dann wäre zugleich auch der Beweis für die Existenz des Äthers und für die Anisotropie der Lichtfortpflanzung in den relativ zum Äther rotierenden Systemen erbracht.

Noch bevor der Versuch selbst durchgeführt wurde, stellte M. v. LAUE in einer 1911 herausgebrachten Publikation die Stichhaltigkeit der soeben dargelegten Michelsonschen Folgerungen in Frage [6]. Er behauptete, der geplante Versuch würde es nicht ermöglichen, eine Entscheidung zwischen der Einsteinschen Relativitätstheorie mit ihrem Postulat von der Konstanz und Isotropie der Lichtgeschwindigkeit einerseits und zwischen der Lorentzschens Auffassung andererseits zu treffen, die von der Existenz des Äthers ausgeht und die Anisotropie der Lichtfortpflanzung in allen relativ zum Äther bewegten Systemen annimmt. Die Richtigkeit dieser seiner Behauptung trachtete LAUE durch folgende Gedankengänge zu untermauern:

Der von MICHELSON vorgeschlagene Versuch wird das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit nicht widerlegen. Das Licht pflanzt sich nämlich auch im rotierenden System K_S mit der Geschwindigkeit c fort, und das in positiver Richtung kreisende Lichtsignal wird ausschließlich aus geometrischen Gründen eine längere, das in negativer Richtung kreisende Lichtsignal hingegen gleichfalls bloß aus geometrischen Gründen eine kürzere Umlaufzeit aufweisen als jene Lichtsignale, die die ruhende Scheibe umkreisen. Die geometrischen Gründe aber sind das vt^+ , große Fortlaufen des Ausgangspunktes P vor dem positiv gerichteten Lichtsignal und sein vt^- , großes Entgegenlaufen gegen das negativ gerichtete Lichtsignal. Da LAUE nicht mit einem Lichtsignal rechnet, das an einem Kreis, sondern mit einem solchen, das an einem n -Eck entlangläuft, haben die Gleichungen (2) und (3) bei ihm die Gestalt

$$ct^+ = 2n r \sin \left(\frac{\pi}{n} + \frac{\omega t^+}{2n} \right) \quad (9)$$

und

$$ct^- = 2n r \sin \left(\frac{\pi}{n} - \frac{\omega t^-}{2n} \right). \quad (10)$$

Ist n genügend groß, erhält man wieder die Gl. (2) und (3).

Doch auch in dieser Form zeigen die Formeln (9) und (10), daß LAUES Gedankengänge verfehlt waren. Die Geschwindigkeit c auf der linken Seite der Formeln bezieht sich hier ebenso auf das System K_0 und nicht auf das System K_S wie in den Formeln (2) und (3). Der Umstand, daß die Umlaufzeiten t^+ bzw. t^- auch auf der rechten Seite von (9) und (10) aufscheinen, ist hier ebenso wie in den Formeln (2) und (3) Ausdruck der Anisotropie der Lichtfortpflanzung im System K_S . Die experimentelle Bestätigung der von LAUE bloß auf *geometrische* Gründe zurückgeführten Zusammenhänge (6) bis (8) kommt mithin *physikalisch* eben dem Nachweis der anisotropen Lichtfortpflanzung im System K_S und der Drehbewegung relativ zum Äther gleich.

M. G. SAGNAC, der den Versuch zu Anfang der zehner Jahre mehrfach durchführte, vermochte den den Formeln (6) bis (8) entsprechenden optischen Rotationseffekt tatsächlich zu erzielen [7]. Die in zwei einander entgegengesetzten Richtungen kreisenden Lichtsignale wurden von ihm — ähnlich wie beim Michelson—Morley-Versuch — mit Hilfe zweier Lichtstrahlen erzeugt, die eine halbversilberte Glasplatte durchdrangen und von ihr reflektiert wurden. Durch neuerliche Reflexion von den am Scheibenumfang sitzenden Spiegeln wurden beide Signale auf ein und dieselbe photographische Platte gelenkt, auf der sich das erwartete Interferenzbild abzeichnete, wobei sich beim Drehen der Scheibe eine Verschiebung der Interferenzstreifen um das vorausberechnete Maß ergab [8].

Dieser Versuch hat also den Beweis dafür erbracht, daß es unter jenen in unterschiedlichen Bewegungszuständen befindlichen Koordinatensystemen, deren Nullpunkt und z -Achse mit dem Mittelpunkt bzw. der Drehachse einer rotierenden Scheibe zusammenfällt, nur ein einziges System K_0 gibt, in welchem sich das Licht mit der Geschwindigkeit c und isotrop fortpflanzt. Die Winkelgeschwindigkeit ω relativ zu diesem System K_0 kann nachgewiesen werden. Diese Winkelgeschwindigkeit ω bleibt natürlich unverändert groß auch in all jenen Systemen K_0^* , die relativ zum System K_0 geradlinig und gleichmäßig bewegt sind. Nicht so groß wie in K_0 bleibt hingegen in ihnen die Lichtgeschwindigkeit. Greift man beispielsweise aus der Menge der Systeme K_0^* jenes heraus, dessen Translationsbewegung relativ zum System K_0 senkrecht auf die z -Achse gerichtet und großemäßig der Scheiben-Umfangsgeschwindigkeit $v = r\omega$ relativ zum System K_0 gleich ist, dann wird im Sinne der Bemerkung zu den Formeln (4) und (5) das Lichtsignal, welches sich im System K_0^* in dessen Bewegungsrichtung fortpflanzt, die Geschwindigkeit $(c - v)$, das in entgegengesetzter Richtung sich fortpflanzende Lichtsignal hingegen die Geschwindigkeit $(c + v)$ haben. Die am Umfang der Scheibe entlanglaufenden Lichtsignale können nämlich für die Dauer einer sehr kurzen Zeitspanne als Lichtsignale angesehen werden, die sich an einer geraden Linie entlang fortpflanzen. Die Konstanz der Winkelgeschwindigkeit ω in den

Systemen K_0^* besagt mithin nicht zugleich auch, daß in ihnen auch die Lichtgeschwindigkeit konstant ist, sie bedeutet also nicht zugleich auch ihre Äquivalenz im Einsteinschen Sinne.

SAGNAC selbst zog aus seinen Versuchen folgende Folgerung: »Im Gegensatz zu dem, was im berühmten Michelson-Versuch geschah, der die sekundären Effekte im Zusammenhang mit der Translation des von der Erde mitbewegten Systems zu erforschen hatte, manifestiert sich der beim künstlichen Drehen eines Systems auftretende optische Rotationseffekt ohne jeden überraschenden Ausgleich als erstrangiger Effekt der Relativbewegung in bezug auf den Äther « [9].

Diesen Rotationsversuch führte fast gleichzeitig auch F. HARRESS durch, der die Lichtstrahle allerdings im Inneren eines aus Glasprismen zusammengesetzten Ringes umlaufen ließ. Den optischen Rotationseffekt vermochte auch er mit ausreichender Genauigkeit zu beobachten [10].

Die Sagnac—Harress-Versuche wiederholte 1925/26 im Laboratorium der Jenaer Zeiss-Werke auch B. POGÁNY, Professor an der Technischen Universität Budapest, mit weit genauerm Ergebnis [11]. Zur gleichen Zeit realisierte A. A. MICHELSON in Gemeinschaft mit H. G. GALE in Clearing (Ill.) seinen schon 1904 publizierten Versuchsplan. Sie wiesen hierbei die Umdrehung der Erde um ihre eigene Achse relativ zum Äther im Grunde genommen ebenfalls anhand des Sagnacschen optischen Rotationseffektes nach. Das Ergebnis zeigte eine weitgehende Übereinstimmung mit den theoretischen Berechnungen [12].

Bemerkt sei hier, daß die Winkelgeschwindigkeit ω der Formeln (6) bis (8) im Michelson—Gale-Versuch die Form

$$\omega = \Omega \sin\Phi \quad (11)$$

annimmt, wobei Ω die Winkelgeschwindigkeit der Erde relativ zum Äther, Φ hingegen die geographische Breite des Beobachtungsortes bezeichnet. (Beim Michelson—Gale-Versuch war $\Phi = 42^\circ$.) Die Winkelgeschwindigkeit Ω läßt sich nämlich durch einen Vektor darstellen, der in die Richtung der Erdumdrehungsachse weist, beim Versuch aber konnte nur jene Komponente dieses Vektors zur Geltung kommen, die in die Richtung der Lotrechten am Beobachtungsort fällt.

Ohne jeden Zweifel stehen die Ergebnisse dieser Versuche im Gegensatz zur Einsteinschen Theorie. Wie weiter oben bereits erwähnt, bemühte sich M. v. LAUE schon 1911, also noch vor der Durchführung der Versuche — allerdings ohne Erfolg —, zu beweisen, daß sich der optische Rotationseffekt mit dem Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit vereinbaren läßt. 1920 kam er im Zusammenhang mit dem Versuch HARRESS' nochmals auf das gleiche Problem zurück [13], wobei er feststellte, die Messungen SAGNACS und

HARRESS' hätten zweifelsfrei nachgewiesen, daß sich in einem relativ zur Erde rotierenden Bezugssystem nicht nur die mechanischen, sondern auch die optischen Vorgänge anders abspielen als in einem mit der Erde verknüpften System. Andererseits betonte er aber auch, daß die Auffassung SAGNACS, die Versuche hätten die Existenz des Äthers bewiesen, nicht als zwingend gültig angesehen zu werden braucht.

Unter Berufung auf seinen bereits zitierten Artikel aus dem Jahre 1911 behauptete hier M. v. LAUE wiederholt, die Verschiebung der Interferenzstreifen, wie sie sich im Versuch gezeigt hatte, sei lediglich auf geometrische Gründe zurückzuführen. Wie jedoch bereits ausgeführt, kommt diese Stellungnahme der Anerkennung des Satzes gleich, daß sich das Licht nur im Koordinatensystem des Äthers isotrop fortpflanzt, daß sie also doch im Widerspruch zur Theorie EINSTEINS steht.

In seinem Buch über die Relativitätstheorie behandelt M. v. LAUE die Sagnac—Harress—Michelson-Versuche im Abschnitt über die »Empirischen Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie«, ohne jedoch hierbei die auf die Anisotropie hinweisenden Formeln (9) und (10) und den erwähnten Widerspruch auch nur zu erwähnen. Dem Standpunkt LAUES schloß sich auch W. PAULI in seiner zusammenfassenden Arbeit über die Relativitätstheorie an, d. h. auch er behauptete (u. zw. ohne jeden Beweis), daß die erwähnten Versuche mit der Theorie EINSTEINS in vollen Einklang stehen [14].

Daß es sich hier tatsächlich um einen tiefreichenden Widerspruch handelt, wurde indes von vielen dennoch anerkannt, so u. a. auch von dem namhaften sowjetischen Physiker S. I. WAWILOW, der 1928 über die experimentellen Grundlagen der Relativitätstheorie ein Buch veröffentlichte. Diesem entnehmen wir über den Michelson—Gale-Versuch u. a. folgendes [15]:

»Solcherart stehen wir wieder vor einem positiven Effekt, der für sich allein mit verblüffender Genauigkeit die Richtigkeit der Hypothese von der Existenz eines eigenen, während der Dauer einer vollen Tagesumdrehung der Erde ruhenden, von dieser Drehung nicht mitgerissenen Mediums, des Äthers, bestätigt. Andererseits führt das Null-Resultat der zweitrangigen Versuche zu der Annahme, daß die Erde während ihrer Zirkulation um die Sonne den Äther in vollem Maße mit sich reißt.«

»Allgemein gesehen: es wäre richtiger gewesen, die Relativitätstheorie so zu entwickeln, daß sie keine Handhabe dazu geboten hätte, ihre experimentellen Grundlagen — sei es ablehnend oder zustimmend — mit der Ätherhypothese in Verbindung zu bringen.«

Den Gedankengängen WAWILOWs kann hinzugefügt werden: Erweist sich eine physikalische Erscheinung (in unserem Falle die Bewegung der Erde relativ zum Äther) als widersprüchlich, so besagt das nicht, daß wir an ihrer Existenz und an ihrer Erkennbarkeit zweifeln müssen. Im Gegenteil: da es keine widerspruchsfreien Erscheinungen gibt, bildet die Erschließung der

Widersprüchlichkeit das unabdingbare Postulat der Erkenntnis *jedweder* Erscheinung. Aus den einander widersprechenden Ergebnissen der optischen Translations- und Rotationseffekte hat man meines Erachtens die Schlußfolgerung zu ziehen, daß jene kompensierende Wirkung gesucht werden muß, die im Falle der Translation eine bei Rotation mit aller Klarheit nachweisbare Erscheinung — hier die Bewegung relativ zum Äther bzw. die Anisotropie der Lichtfortpflanzung in dem relativ zum Äther bewegten System — der Beobachtung entzieht.

Wie bekannt, erblickte H. A. LORENTZ diese kompensierende Wirkung in der Deformation des beschleunigten materiellen Systems. In seinem bereits 1895 publizierten Buch über die elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern widmet er der Deutung des Michelson—Morley-Versuchs einen eigenen Abschnitt, in welchem er ausführt, daß sich das negative Ergebnis dieses Versuches durch die Annahme einer Längskontraktion des einen — in die Richtung der Erdbewegung fallenden — Interferometerarmes im Verhältnis von $\sqrt{1 - (v/c)^2} : 1$ lückenlos deuten läßt [16].

»So fremd diese Hypothese auf den ersten Blick auch erscheinen mag, wird man doch zugeben müssen, daß sie recht nahe liegt, sobald man von der Annahme ausgeht, daß ähnlich wie die elektrischen und die magnetischen auch die Molekularkräfte durch den Äther vermittelt werden. Trifft diese Annahme zu, dann ändert die Translation die Wirkungen zwischen zwei Molekülen oder Atomen sehr wahrscheinlich auf ähnliche Weise wie die Anziehung und Abstoßung zwischen geladenen Teilchen. Da Form und Abmessungen eines festen Körpers letzten Endes durch die Intensität der Molekularkräfte bestimmt werden, kann auch die Verkürzung der Ausmaße nicht ausbleiben.«

In allgemeinerer Form kommt LORENTZ auf das Problem 1904 in einer Studie zurück, in der er sich mit den elektromagnetischen Erscheinungen in Systemen befaßt, die mit geringeren als der Lichtgeschwindigkeit bewegt sind [17]. Auf Grund der soeben erwähnten Annahme weist er hier nach, daß zwischen dem Zustand eines Systems vor der Beschleunigung und seinem (deformierten) Zustand nach der Beschleunigung ein Zusammenhang besteht, demzufolge die elektrischen und magnetischen Parameter des Systems im zweiten Zustand durch dieselben Funktionen der transformierten Ort- und Zeitkoordinaten beschrieben werden wie im ersteren Zustand.

M. v. LAUE und W. PAULI, die die ersten zusammenfassenden Behandlungen der Relativitätstheorie ausarbeiteten, vertraten wiederholt den Standpunkt, daß es trotz der Resultate EINSTEINS auch *der dynamisch-atomistischen Interpretation der relativistischen Effekte bedarf*. W. PAULI im besonderen betonte 1921, bei der Kontraktion eines beschleunigten Stabes handle es sich um einen äußerst verwickelten Vorgang, der sich unter der Einwirkung gegen die Lorentz-Gruppe kovarianter struktureller Gesetze abspielt [18].

Ebenso hielt M. v. LAUE fest, daß die inneren Kräfte des Körpers geschwindigkeitsbedingte Änderungen erleiden. »Eine Beschleunigung bei unveränderlicher Gestalt störte das innere Gleichgewicht, die Lorentz-Kontraktion stellt es wieder her.« [19]

Die objektive Notwendigkeit der Deformation des beschleunigten Systems hob in einer Kritik des Einsteinschen Satzes von der Äquivalenz von Beschleunigung und Gravitation auch W. A. FOK hervor, indem er betonte, der allgemeine Begriff *des beschleunigt sich fortbewegenden Laboratoriums* könne deshalb nicht eingeführt werden, weil dann das Modell des starren Körpers nicht anwendbar bleibt, »erleidet doch jeder Körper während seiner Beschleu-

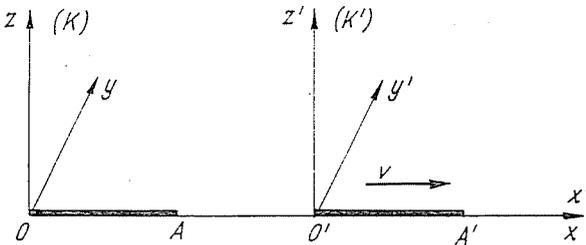


Abb. 1

nigung eine je nach seinen Elastizitätseigenschaften unterschiedliche Deformation« [20].

Kein Zweifel: *In dieser Frage* steht der Standpunkt, den M. v. LAUE, W. PAULI und W. A. FOK einnehmen, in offenkundigem Gegensatz zu dem EINSTEINS. EINSTEIN nämlich postuliert folgendes Prinzip: Die »Ruhelänge« eines Stabes, d. h. seine im mitbewegten Koordinatensystem gemessene Länge ist unabhängig von der Geschwindigkeit des Stabes relativ zu einem anderen Koordinatensystem. Ist also der im Koordinatensystem K an der x -Achse gelegene Stab OA zunächst in Ruhe (s. *Abb. 1*) und wird er dann in seiner eigenen Richtung auf die Geschwindigkeit v beschleunigt, wodurch er in den Zustand $O'A'$ gelangt, dann gilt — mit der Bezeichnung K' für das mit ihm mitbewegte System — die Beziehung

$$(OA)_K = (O'A')_{K'} = a, \tag{12}$$

wobei die Indizes auf die Koordinatensysteme hinweisen, in denen die Messung erfolgt.

Die »Beweglänge« des beschleunigten Stabes $O'A'$ definiert EINSTEIN als die aus dem System K heraus gemessene Länge $(O'A')_K$ desselben Zustandes. Der Beobachter in K kann diese Länge ermitteln, indem er feststellt, mit welchen Punkten des Systems K sich der Anfangs- und der Endpunkt des zu

messenden bewegten Stabes zu einem gegebenen Zeitpunkt t deckt, worauf er den Abstand zwischen diesen beiden Punkten mit seinem eigenen Meßstab mißt.

Im Sinne der Gl. (12) ist gefordert, die Ruhelänge des Stabes $O'A'$ (in K') müsse der Ruhelänge des Stabes OA (in K) gleich sein. Zusätzlich kommt nun hier noch das Postulat hinzu, die Ruhelänge des Stabes $O'A'$ (in K') müsse sich von der Bewegungslänge des gleichen Stabes $O'A'$ (in K) unterscheiden, es müsse also

$$a' = (O'A')_K \neq (O'A')_{K'} \quad (13)$$

gelten [21].

In diesen Feststellungen verbergen sich folgende zwei Gedanken:

1. Hat ein Stab in seinen beiden verschiedenen Bewegungszuständen OA und $O'A'$ in den relativ zu ihm ruhenden Koordinatensystemen (d. h. in den zwei in unterschiedlichem Bewegungszustand befindlichen Systemen) die gleichen Meßzahlen, dann bleibt ihre Länge auch objektiv unverändert.

2. Hat ein Stab in einem und demselben Zustand, u. zw. im Zustand $O'A'$ in dem relativ zu ihm ruhenden bzw. in einem relativ zu ihm mit der Geschwindigkeit v bewegten Koordinatensystem unterschiedliche Meßzahlen, dann besagt dies, daß er in diesem seinem Zustand auch objektiv zweierlei Längen hat. (Genauer: er hat unendlich viele Längen je nach dem jeweiligen Wert von v .)

Das aber sind spekulative Überlegungen:

ad 1. Hinter gleichen Meßzahlen können sich nämlich unterschiedliche Längen verbergen, wenn die beiden Maßeinheiten verschieden sind. Dieser Fall wird beispielsweise eintreten, wenn die Beschleunigung, die K in das System K' überführt, den zu messenden Stab und den Meßstab im gleichen Verhältnis deformiert.

ad 2. Unterschiedliche Meßzahlen können gleiche Längen verdecken, wenn sich auch die beiden Maßeinheiten voneinander unterscheiden. Die Länge des beschleunigten Stabes z. B. wird verschiedene Meßzahlen aufweisen je nachdem, ob man sie mit den ursprünglichen Meßstäben (des Systems K) oder mit dem beschleunigten und infolge der Beschleunigung deformierten Meßstab (aus K') mißt, ohne daß dies auch objektiv zweierlei Längen bedeuten würde.

Die Formel der relativistischen Längenverkürzung schreibt sich nach der Einsteinschen Deutung der Lorentz-Transformation zu

$$a' = a \sqrt{1 - (v/c)^2}, \quad (14)$$

d. h. im Sinne der Gl. (12) und (13) wird

$$(O'A')_K = (OA)_K \sqrt{1 - (v/c)^2} \quad (15)$$

und zugleich

$$(O'A')_K = (O'A')_{K'} \sqrt{1 - (v/c)^2}. \quad (16)$$

Nach der Auffassung von LORENTZ hingegen ist die relativistische Längenverkürzung mathematisch wie folgt zu formulieren:

$$a = (OA)_K \neq (O'A')_{K'} , \quad (17)$$

ferner

$$a' = (O'A')_K = (O'A')_{K'} ; \quad (18)$$

da auch hier

$$a' = a \sqrt{1 - (v/c)^2} , \quad (19)$$

wird

$$(O'A')_K = (OA)_K \sqrt{1 - (v/c)^2} \quad (20)$$

und zugleich

$$(O'A')_{K'} = (OA)_K \sqrt{1 - (v/c)^2} . \quad (21)$$

Wie sich zeigt, sind in den beiden Konzeptionen die *das Ausmaß* der relativistischen Längenverkürzung beschreibenden Formeln (14) und (19) bzw. (15) und (20) einander gleich, wogegen sich die auf *das Wesen* der Längenverkürzung hindeutenden Formeln (12) und (17), (13) und (18), (16) und (21) gegenseitig widersprechen. Wenn W. PAULI, M. v. LAUE und W. A. FOK dies für natürlich halten, wie es denn auch in der Tat natürlich ist, daß die Beschleunigung die Atomstruktur des Stabes deformiert, dann nehmen sie nolens volens gegen EINSTEIN und für LORENTZ Stellung. Die Richtigkeit beider Auffassungen *zugleich* anzuerkennen aber, ist auf jeden Fall ein logisches Absurdum.

Nach der Lorentzschen Auffassung repräsentiert das Koordinatensystem K der *Abb. 1* den Äther (das System K_0), L. JÁNOSSY hat jedoch nachgewiesen, daß die obigen Beziehungen (20) und (21) allgemeingültig sind, daß also in ihnen *das K für jedes beliebige Lorentz-System steht* (d. h. für jedes Koordinatensystem, welches relativ zu K_0 eine Translationsbewegung ausführt und in welchem die Synchronisierung der Uhren und die Messung der Entfernungen mit Hilfe von Lichtsignalen erfolgt, die von Spiegeln reflektiert werden), wogegen K' das Koordinatensystem des relativ zu K in der Bewegungsrichtung von OA auf die Geschwindigkeit v beschleunigten Stabes bezeichnet [22]. Nach der Terminologie des von L. JÁNOSSY abgefaßten »Lorentzschen Prinzips« ist der beschleunigte *Zustand* $O'A'$ des Stabes der »Lorentz-Transformierte« des vorigen *Zustandes* OA . Allerdings muß dem noch ein Beschränkungsprinzip hinzugefügt werden, denn die Lorentz-Transformierte des Stabes OA ergibt nur dann einen wirklichen Stab $O'A'$, wenn die beschleunigende Krafteinwirkung *adiabatisch* ist, d. h. im Zustand des Stabes OA keine drastischen Deformationen — etwa Brüche — verursacht.

Indes taucht hier die Frage auf, ob es seine Berechtigung hat, im Zusammenhang mit dem Michelson—Morley-Versuch *von beschleunigenden Wirkungen* zu sprechen. MICHELSON und MORLEY wollten bekanntlich nichts anderes, als klarstellen, ob die Erde relativ zum Äther über eine *Translationsgeschwin-*

digkeit verfügt. Zu diesem Zweck bauten sie ein Interferometer (in Draufsicht in *Abb. 2*) und richteten dessen OA -Arm parallel zur Zirkulationsgeschwindigkeit v der Erde, seinen OB -Arm hingegen senkrecht auf diese Richtung. Sie sandten einen Lichtstrahl auf einen, im Punkt O sitzenden halbversilberten Spiegel. Die durchdringenden bzw. reflektierten Lichtstrahlen pflanzten sich in den Richtungen OA und OB fort. Von den Spiegeln A und B reflektiert, gelangten sie zum Punkt O zurück, wurden durch den hier untergebrachten halbdurchlässig versilberten Spiegel neuerlich vereinigt und auf die in der Abbildung unten angedeutete Photoplatte gelenkt. Wegen der Erdbewegung muß sich bei Zurücklegung der Weglängen OAO und OBO durch die beiden Lichtstrahlen ein Zeitunterschied und — sofern sich die Länge der Arme OA und OB nicht ändert —, auch ein Phasenunter-

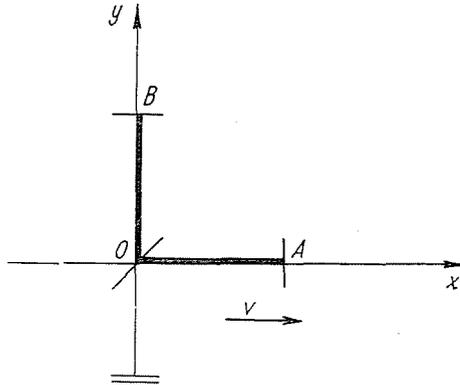


Abb. 2

schied ergeben, d. h. auf der Photoplatte muß ein Interferenzbild erscheinen, welches sich bei einer Drehung der ganzen Apparatur um 90° verändern muß. Das Ergebnis war jedoch negativ: auf optischem Wege konnte die Translationsbewegung der Erde relativ zum Äther nicht nachgewiesen werden.

Prüft man nun, welche Koordinatensysteme und Koordinatentransformationen bei diesem Versuch eine Rolle gespielt haben, gelangt man zu folgenden Feststellungen. Der Versuch sollte relativ zum Koordinatensystem K_0 des Äthers die Geschwindigkeit v der Erde nachweisen, in bezug auf ein Koordinatensystem also, in welchem sich das Licht mit der Geschwindigkeit c fortpflanzt. In erster Näherung kann als solches das dem Massenmittelpunkt des Sonnensystems zugeordnete Koordinatensystem K^* und auch jenes Koordinatensystem K (s. *Abb. 3*) angesehen werden, dessen Nullpunkt in den Punkt O des Interferometers fällt und dessen x - und y -Achse in die für den jeweiligen Zeitpunkt angenommene Richtung der Arme OA bzw. OB weist. Relativ zu K^* befindet sich dieses System K im Zustand der Ruhe.

Seine Geschwindigkeit in bezug auf das System K^* ist mithin Null, es gilt also

$$v_x = v_y = v_z = 0. \tag{22}$$

Auf das System K bezogen, seien ferner die beiden Interferometerarme gleich lang, es sei also

$$(OA)_K = (OB)_K = a. \tag{23}$$

In Versuchen, die auf der Erde ausgeführt werden, kann dieses System K freilich nicht greifbar gemacht werden, weil es unmöglich ist, die Zirkulations-

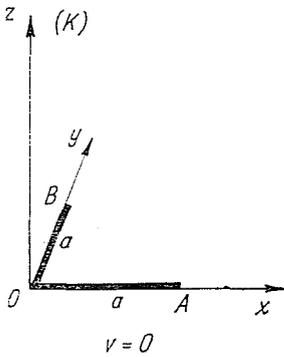


Abb. 3

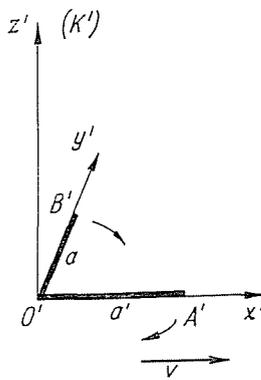


Abb. 4

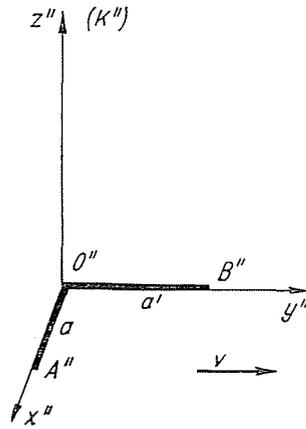


Abb. 5

geschwindigkeit der Erde »auszuschalten«. Wengleich man also dieses System nur theoretisch zu konstruieren vermag, kann seine Realität doch keineswegs in Zweifel gezogen werden.

Im Versuch wird für uns zunächst jenes System K' greifbar, welches sich mit der Erde mitbewegt (s. *Abb. 4*), u. zw. relativ zu K^* mit der Geschwindigkeit v , genauer:

$$v_{x'} = v, \quad v_{y'} = v_{z'} = 0. \tag{24}$$

Von diesem System K' kann angenommen werden, daß es aus K unter dem Einfluß einer in die Richtung der x -Achse weisenden linearen Beschleunigung hervorgegangen ist, so zwar, daß sich seine Geschwindigkeit relativ zu K^* von 0 auf v erhöht hat. Diese Beschleunigung auf die Geschwindigkeit v vermag den senkrechten Interferometerarm nicht zu deformieren, es ist also

$$(O'B')_{K'} = (OB)_K = a. \tag{25}$$

Trotzdem also das relativ zu K^* ruhende System K nach wie vor nicht greifbar ist, unterliegt es dennoch keinem Zweifel, daß der senkrecht auf die Zirkulationsgeschwindigkeit der Erde liegende Interferometerarm im Koordinatensystem K' der Erde ebenso lang ist wie im System K . Für den parallel zur Zirkulationsgeschwindigkeit der Erde gelegenen Interferometerarm trifft jedoch diese Feststellung nicht mehr zu, denn an ihm konnte die erfolgte Beschleunigung relativ zum System K von $v_x = 0$ auf $v_x' = v \approx 30$ km/s bereits eine Deformation ausgelöst haben. Um auch die Länge des Interferometerarmes im System K erhalten zu können, ist eine neuerliche Drehung des Systems K' um 90° in positiver oder negativer Richtung erforderlich (s. *Abb. 5*, in der der Drehungswinkel $\varphi = -90^\circ$). Für die Geschwindigkeit dieses Systems K'' relativ zu K gelten die Beziehungen

$$v_x = v_x' = 0, \quad v_y = v. \quad (26)$$

Damit wurde während der Drehung der Apparatur die längsgerichtete Geschwindigkeit des Interferometerarmes $O'A'$ relativ zu K von $v_x = v$ auf $v_x' = 0$ herabgesetzt, die des Interferometerarmes $O'B'$ hingegen von $v_y = 0$ auf $v_y' = v$ erhöht. Diese Verlangsamung bzw. Beschleunigung konnte in der Länge beider Arme Deformationen — natürlich mit entgegengesetzten Vorzeichen — verursacht haben. Löst der Übergang von K zum System K' (die Beschleunigung von 0 auf v) im Zustand des Armes OA eine bestimmte Deformation aus, dann ist es sicher, daß der Übergang von K' zu K'' (die Verlangsamung von v auf 0) den ursprünglichen Zustand wieder herstellt, daß also

$$(O'A'')_{K''} = (OA)_K = a. \quad (27)$$

Zugleich verursacht dieser letztere Übergang im Zustand des Armes $OB = O'B'$ (infolge der Beschleunigung von 0 auf v) Deformationen gleichen Ausmaßes, wie sie durch den ersten Übergang im Zustand des Armes OA ausgelöst wurden.

Den Übergang von K zum System K' , der einer einfachen linearen Beschleunigung gleichkommt, beschreibt mathematisch die durch das Symbol

$$K' = L_1(K) \quad (28)$$

charakterisierbare Lorentz-Transformation, den Übergang von K' auf K'' hingegen, d. h. die durch die Drehung um 90° zustande gekommene Beschleunigung die Lorentz-Transformation

$$K'' = L_2(K'). \quad (29)$$

Nachweisbar beschreibt auch den unmittelbaren Übergang von K zum System K'' — dank der Eigenschaft der Lorentz-Transformationen, Gruppen zu bilden — gleichfalls eine Lorentz-Transformation, u. zw. in der Form

$$K'' = L_2(K') = L_2[L_1(K)] = L_3(K). \quad (30)$$

Im Michelson—Morley-Versuch selbst ist das System K , wie gesagt, nicht greifbar, so daß sich die durch die Lorentz-Transformationen (28) und (30) beschriebenen Übergänge nur gedanklich, nicht aber praktisch realisieren lassen. Hierzu bietet sich lediglich im Falle der Lorentz-Transformation (29) eine Möglichkeit, weshalb denn auch diese rechtwinklige Drehung als *das Wesen* des Versuchs anzusehen ist. Sie gestattet es, die längsgerichtete Geschwindigkeit der Interferometerarme in bezug auf das nicht greifbare System K von 0 auf v zu erhöhen bzw. von v auf 0 herabzusetzen, und mit Hilfe dieser rechtwinkligen Drehung läßt sich auch die Länge beider Interferometerarme relativ zum System K messen. (Sowohl in K' als auch in K'' ist es der auf v senkrechte Interferometerarm, der diese Länge im System K ergibt). Diese rechtwinklige Drehung ist es schließlich auch, die es gestattet, aus dem negativen Ergebnis des Versuchs (aus dem Unterbleiben des optischen Translationseffekts) auf die Größe der beschleunigungsbedingten Deformation zu schließen.

Dies muß deshalb besonders hervorgehoben werden, weil EINSTEIN in seiner Deutung des Michelson—Morley-Versuchs ausschließlich die Lorentz-Transformation gemäß (28), d. h. den im Versuch tatsächlich *nicht erzielten, sondern bloß beabsichtigten* Übergang berücksichtigt. Er hält es auch für nötig hinzuzufügen: »Die Unabhängigkeit des Verhaltens der Maßstäbe von ihrer Bewegungsvorgeschichte ist bei dieser Betrachtung wesentlich.« [23]

Nach der Einsteinschen Deutung der Lorentz-Transformation darf also die Frage, wie sich das System K' relativ zu K die Geschwindigkeit v verschafft hat, gar nicht erst aufgeworfen werden, wesentlich ist bloß, daß es diese Geschwindigkeit *hat*.

Selbstverständlich ist es kein Zufall, daß EINSTEIN die »Vorgeschichte« der Geschwindigkeit v für nebensächlich erklärt, denn die Anerkennung der *Tatsache* der Beschleunigung hätte ihn mit dem Begriff des Trägheitssystems, das jede beschleunigende Kraftwirkung ausschließt, unausweichlich in Widerspruch gebracht. Die Tatsachen sind jedoch unnachgiebig und ermöglichen ohne die Inanspruchnahme beschleunigender Wirkungen nur die »Ausführung« *gedanklicher* Experimente. Im Michelson—Morley-Versuch ist es eben die Drehung der Interferometerarme um 90° , die die Vorgeschichte ihrer Geschwindigkeit und Deformation liefert.

Das zuvor erwähnte System K , in welchem sich das Licht mit der Geschwindigkeit c fortpflanzt, und welches in den vorangegangenen Überlegungen näherungsweise als ein System eingeführt wurde, das relativ zu dem dem

Massenmittelpunkt des Sonnensystems zugeordneten System K^* führt, repräsentiert in der Lorentzischen Interpretation des Michelson—Morley-Versuchs den ruhenden Zustand des Interferometers relativ zum Äther (zum System K_0). Zur Zurücklegung der Weglängen OAO und OBO im System K benötigen die Lichtstrahlen die Zeiten

$$(\Delta t)_{OA} = (\Delta t)_{AO} = \frac{a}{c}, \quad (\Delta t)_{OAO} = \frac{2a}{c}, \quad (31)$$

$$(\Delta t)_{OB} = (\Delta t)_{BO} = \frac{a}{c}, \quad (\Delta t)_{OBO} = \frac{2a}{c}, \quad (32)$$

d. h. der Zeitunterschied zwischen den beiden Weglängen des Lichtes schreibt sich zu

$$(\Delta t)_{OAO} - (\Delta t)_{OBO} = 0. \quad (33)$$

Bemerkt sei hier, daß im System K während des Versuches selbstredend keine wirklichen Messungen und Beobachtungen vorgenommen werden können, weshalb sich die Formeln (31)—(33) nur durch theoretische Erwägungen begründen lassen. Die tatsächlichen Beobachtungen werden in den Systemen K' und K'' durchgeführt. Im System K' gilt im Sinne von (21)

$$(\Delta t')_{OA} = \frac{a\sqrt{1-(v/c)^2}}{c-v}, \quad (\Delta t')_{AO} = \frac{a\sqrt{1-(v/c)^2}}{c+v}, \quad (34)$$

woraus

$$(\Delta t')_{OAO} = \frac{a\sqrt{1-(v/c)^2}}{c-v} + \frac{a\sqrt{1-(v/c)^2}}{c+v} = \frac{2a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}. \quad (35)$$

Da ferner die Lichtgeschwindigkeit im System K' in der auf v senkrechten Richtung $\sqrt{c^2-v^2}$ beträgt, gilt

$$(\Delta t')_{OB} = (\Delta t')_{BO} = \frac{a}{\sqrt{c^2-v^2}}, \quad (36)$$

und somit

$$(\Delta t')_{OBO} = \frac{2a}{\sqrt{c^2-v^2}} = \frac{2a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (37)$$

und der Zeitunterschied zwischen den Weglängen der beiden Strahlen

$$(\Delta t')_{OAO} - (\Delta t')_{OBO} = 0. \quad (38)$$

Ähnlich gilt im System K''

$$(\Delta t'')_{OA} = (\Delta t'')_{AO} = \frac{a}{\sqrt{c^2-v^2}} \quad (39)$$

und hieraus

$$(\Delta t'')_{\text{OAO}} = \frac{2a}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \quad (40)$$

weiterhin

$$(\Delta t'')_{\text{OB}} = \frac{a\sqrt{1 - (v/c)^2}}{c - v}, \quad (\Delta t'')_{\text{BO}} = \frac{a\sqrt{1 - (v/c)^2}}{c + v}, \quad (41)$$

d. h. genauso wie in Gl. (35):

$$(\Delta t'')_{\text{OBO}} = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad (42)$$

wobei der Zeitunterschied zwischen den beiden Lichtweglängen auch hier wieder

$$(\Delta t'')_{\text{OAO}} - (\Delta t'')_{\text{OBO}} = 0. \quad (43)$$

Die Formeln (34) bis (43) liefern also die Erklärung für das negative Ergebnis des Michelson—Morley-Versuchs, für das Ausbleiben des Interferenzbildes, d. h. dafür, woher die scheinbare Invarianz der Lichtgeschwindigkeit in den Systemen K , K' und K'' herrührt, *dafür also, daß die Lorentz-Kontraktion die Anisotropie der Lichtfortpflanzung kompensiert.*

Sich davon zu überzeugen, daß der senkrecht auf die Geschwindigkeit v ausgerichtete Interferometerarm im Koordinatensystem der Erde bei beiden Messungen die gleiche Größe zeigt, daß also $(O'B')_{K'} = (O'A'')_{K'} = a$, dazu bietet die Ausführung des Versuchs die *unmittelbare* Möglichkeit. Aus dieser Beobachtung kann auf Grund der Formeln (34) bis (43) *logisch* der Schluß gezogen werden, daß der Interferometerarm parallel zur Geschwindigkeit v bei beiden Messungen im Koordinatensystem der Erde die Länge $(O'A')_{K'} = (O''B'')_{K'} = a\sqrt{1 - (v/c)^2}$ hat.

Welche Erklärung findet aber das negative Ergebnis des Michelson—Morley-Versuchs in der Konzeption EINSTEINS? Wie bereits gezeigt, geht diese Konzeption nicht von jener im Versuch tatsächlich realisierten Zustandsänderung aus, die in der Formel (29) beschrieben ist, sondern von der in (28) beschriebenen und nur gedanklich realisierbaren Koordinatentransformation. Das System K bedeutet hier nicht das relativ zum Äther, sondern das relativ zum Massenmittelpunkt der Sonne ruhende Koordinatensystem, in welches freilich auch jetzt keine Beobachter eingebaut werden können, die dort effektive Längen- und Zeitmessungen durchzuführen hätten. In diesem Falle kann man somit der Behauptung EINSTEINS [siehe Formel (12)], daß

$$(O'A')_{K'} = (OA)_K = a, \quad (44)$$

nur auf *intuitiver, psychologischer* Grundlage beipflichten.

Doch eben die Anerkennung der Richtigkeit dieser Behauptung (d. h. die Verneinung der beschleunigungsbedingten Deformation) bildet den Ausgangspunkt der Einsteinschen Deutung des Michelson—Morley-Versuchs.

Im Sinne der Einsteinschen Interpretation sind die Raum- und Zeitintervalle zwischen folgenden je 3 elementaren Ereignissen der Lichtwege OAO und OBO zu berechnen:

Weg OAO , Ereignis Nr. 1: das Lichtsignal verläßt den Punkt O ,

Ereignis Nr. 2: das Lichtsignal trifft auf den Spiegel A auf,

Ereignis Nr. 3: das Lichtsignal trifft von A wieder im O -Punkt ein.

Da sich das Licht nach dem Postulat EINSTEINS in jedem Koordinatensystem mit der Geschwindigkeit c fortpflanzt, haben die drei Elementarereignisse im Koordinatensystem der Erde, d. h. im System K' folgende Koordinaten:

$$\text{Ereignis 1: } (0, 0, 0, 0),$$

$$\text{Ereignis 2: } \left(a, 0, 0, \frac{a}{c} \right),$$

$$\text{Ereignis 3: } \left(0, 0, 0, \frac{2a}{c} \right).$$

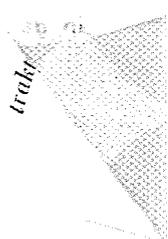
Anhand der Formeln der Lorentz-Transformation läßt sich rechnerisch ermitteln, daß dieselben Ereignisse in dem relativ zum Massenmittelpunkt des Sonnensystems ruhenden Koordinatensystem K folgende Koordinaten haben:

$$\text{Ereignis 1: } (0, 0, 0, 0),$$

$$\text{Ereignis 2: } \left(a \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}, 0, 0, \frac{a}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \right), \quad (46)$$

$$\text{Ereignis 3: } \left(\frac{2av/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, 0, 0, \frac{2a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \right).$$

Die drei Lagen des relativ zum System K mit der Geschwindigkeit v bewegten Interferometerarmes $O'A'$ zum Zeitpunkt der 3 Ereignisse bezeich-



nen in *Abb. 6* : $O'_1A'_1$, $O'_2A'_2$ und $O'_3A'_3$. Dem Weg $O'A'$ des Lichtstrahles in K' entspricht in K der Lichtstrahlweg $O'_1A'_2$, dem Lichtstrahlweg $A'O'$ hingegen der Weg $A'_2O'_3$, weil im ersteren Fall der Punkt A' dem Lichtsignal um den Abstand $A'_1A'_2$ voreilt, im letzteren Fall hingegen der Punkt O' dem reflektierten Lichtsignal um die Weglänge $O'_2O'_3$ entgegenweilt. Die im System K zurückgelegten Lichtstrahlwege schreiben sich demnach im Sinne von (46) zu

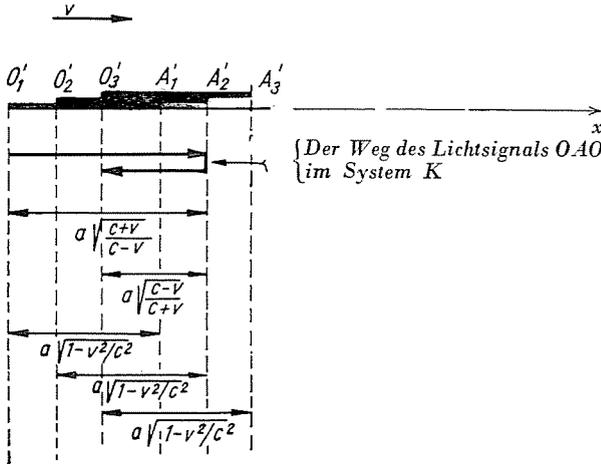


Abb. 6

$$O'_1A'_2 = |x_2 - x_1| = a \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \quad \text{in der Richtung OA,} \quad (47)$$

$$A'_2O'_3 = |x_3 - x_2| = a \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \quad \text{in der Richtung AO,} \quad (48)$$

und die entsprechenden Zeitintervalle zu

$$(\Delta t)_{OA} = |t_2 - t_1| = \frac{a}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \quad (49)$$

und

$$(\Delta t)_{AO} = |t_3 - t_2| = \frac{a}{c} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}. \quad (50)$$

Die Zurücklegung des ganzen Lichtstrahlweges OAO im System K benötigt

mithin die Zeit

$$(\Delta t)_{OAO} = |t_3 - t_1| = \frac{2a/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}. \quad (51)$$

Ähnlich läßt sich auch der Lichtstrahlweg OBO in 3 elementare Ereignisse zerlegen:

Ereignis Nr. 1: das Lichtsignal verläßt den Punkt O ,

Ereignis Nr. 2: das Lichtsignal trifft auf den Spiegel B auf,

Ereignis Nr. 3: das Lichtsignal trifft wieder im Punkt O ein.

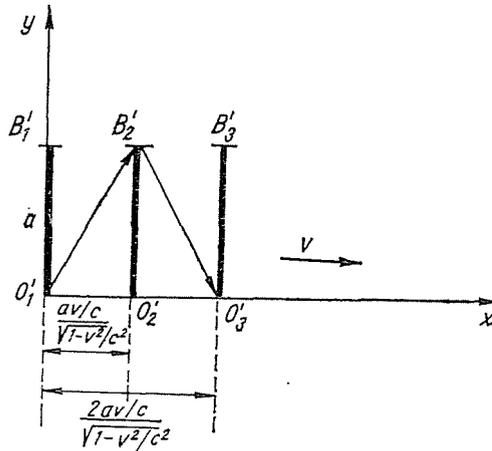


Abb. 7

Die drei Ereignisse haben im System K' die Koordinaten:

$$\text{Ereignis 1: } (0, 0, 0, 0),$$

$$\text{Ereignis 2: } \left(0, a, 0, \frac{a}{c}\right). \quad (52)$$

$$\text{Ereignis 3: } \left(0, 0, 0, \frac{2a}{c}\right).$$

Ihre transformierten Koordinaten im System K hingegen sind:

Ereignis 1: $(0, 0, 0, 0)$,

$$\text{Ereignis 2: } \left(\frac{av/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \quad a, \quad 0, \quad \frac{a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \right), \quad (53)$$

$$\text{Ereignis 3: } \left(\frac{2av/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \quad 0, \quad 0, \quad \frac{2a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \right).$$

Hieraus gilt für die im System K zurückgelegten Lichtstrahlwege (s. *Abb. 7*):
in der Richtung OB:

$$O_1' B_2' = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \frac{a}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \quad (54)$$

in der Richtung BO:

$$B_2' O_3' = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2} = \frac{a}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (55)$$

und für die entsprechenden Zeitintervalle:

$$(\Delta t)_{OB} = |t_2 - t_1| = \frac{a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (56)$$

und

$$(\Delta t)_{BO} = |t_3 - t_2| = \frac{a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \quad (57)$$

während sich die Zeitdauer der Zurücklegung des gesamten Lichtstrahlweges OBO im System K zu

$$(\Delta t)_{OBO} = |t_3 - t_1| = \frac{2a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (58)$$

schreibt.

Aus der Gegenüberstellung von (45) und (52) sowie (51) und (58) ergibt sich auch hier, daß sowohl im System K' als auch im System K

$$(\Delta t')_{OBO} - (\Delta t)_{OBO} = \frac{2a}{c} - \frac{2a}{c} = 0 \quad (59)$$

und

$$(\Delta t)_{OAO} - (\Delta t)_{OBO} = \frac{2a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - \frac{2a/c}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = 0. \quad (60)$$

Das Ausbleiben des Interferenzbildes läßt sich also auch nach der Einsteinschen Interpretation deuten.

Die Identität des *mathematischen* Apparats der beiden Interpretationen ist mithin bei einer vergleichenden Betrachtung der Formeln (35) und (51) sowie (37) und (58) offenkundig. Worin unterscheiden sich jedoch die beiden Deutungen *physikalisch*? Zunächst — wie bereits gezeigt —, daß sich der Wert c der Lichtgeschwindigkeit nach der ersten der beiden Deutungen nur auf das Koordinatensystem K_0 des Äthers und auf das relativ zu ihm ruhende System K bezieht, nach der zweiten der beiden Interpretationen hingegen sowohl auf das relativ zum Massenmittelpunkt des Sonnensystems ruhende System K als auch auf das System K' der Erde, welches relativ zu K mit der Geschwindigkeit v bewegt ist.

Zum zweiten ergibt sich ein Unterschied auch insofern, als die Lorentzsche Deutung die Änderungen in den Längenabmessungen der Interferometerarme OA, OB mit den Deformationen erklärt, die durch die im Versuch tatsächlich durchgeführten Beschleunigungen verursacht werden, während die Einsteinsche Interpretation die Möglichkeit einer derartigen beschleunigungsbedingten Deformation ausschließt [s. Formel (44)] und die Änderung der Längenabmessungen ausschließlich der Änderung des Bezugssystems zuschreibt.

Akzeptiert man jedoch in Übereinstimmung mit der weiter oben dargelegten Auffassung von H. A. LORENTZ, M. v. LAUE, W. PAULI und W. A. Фок, daß die Beschleunigung die Längenabmessungen des Körpers tatsächlich deformiert, dann gilt im Sinne von (20) und (21)

$$(O' A')_{K'} = (O' A')_K = a \sqrt{1 - (v/c)^2}. \quad (61)$$

Hierbei aber hat man anhand der Formeln (49), (50), (56) und (57) im System K' für die Lichtgeschwindigkeit in den verschiedenen Richtungen wieder

$$c_{+x'} = \frac{O'_2 A'_2}{(\Delta t)_{OA}} = \frac{a \sqrt{1 - (v/c)^2}}{\frac{a}{c} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}} = c - v, \quad (62)$$

$$c_{-x'} = \frac{A'_3 O'_3}{(\Delta t)_{OA}} = \frac{a \sqrt{1 - (v/c)^2}}{\frac{a}{c} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}} = c + v, \quad (63)$$

$$c_{y'} = \frac{O'_2 B'_2}{(\Delta t)_{OB}} = \frac{a}{\frac{a/c}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}} = \sqrt{c^2 - v^2}. \quad (64)$$

Die Lorentz-Kontraktion und die Anisotropie der Lichtfortpflanzung können also nur gemeinsam anerkannt oder abgelehnt werden, weil nach dem Zeugnis des Michelson—Morley-Versuchs die eine die *logische* Folge der anderen bildet und umgekehrt. Die Auffassungen von W. PAULI, M. v. LAUE und W. A. FOK sind deshalb widersprüchlich, weil sie diese Tatsache nicht erkennen. Der Sagnac—Michelson—Gale-Versuch bestätigt, wie gezeigt, die Anisotropie der Lichtfortpflanzung, weshalb die beiden Versuche *zusammen* den einwandfreien Beweis für das gleichzeitige und sich gegenseitig kompensierende Auftreten beider Wirkungen während der Translationsbewegung liefert.

Hier drängt sich der Hinweis auf einen weiteren wichtigen Zusammenhang auf. Im Michelson—Morley-Versuch figurieren Koordinatensysteme, die relativ zueinander gleichförmige Translationsbewegungen ausführen. Um die Geschwindigkeit (den Quotienten von Weg und Zeit) des Lichtes oder auch irgend eines anderen Objektes relativ zu diesen Systemen messen zu können, benötigt man Maßeinheiten und Meßverfahren, die sich zur Bestimmung der Entfernungen und Zeitspannen eignen. Hierzu aber bedarf es in jedem Koordinatensystem einer Anordnung synchronisierter Uhren. Nach EINSTEINS Beschreibung bietet der Austausch von Lichtsignalen die Möglichkeit zur Synchronisierung dieser Uhren und zur Ermittlung der Entfernungen zwischen ihnen, doch *muß hierzu vorweg die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und die Isotropie der Lichtfortpflanzung postuliert werden*. Erfolgt die Synchronisierung auf Grund dieser Hypothese, dann besteht die Probe auf die Richtigkeit des Verfahrens und der Hypothese darin, daß sich stets ein widerspruchloser Synchronismus ergeben muß, auch wenn man als »Ausgangs-Normaluhr« der Messung jeweils eine andere Uhr des Systems wählt [24].

Aus dem Gesagten geht indes einwandfrei hervor, daß die Widerspruchlosigkeit der Synchronisierung die Isotropie der Lichtfortpflanzung noch bei weitem nicht beweist, zeigt doch der Sagnac-Versuch, daß die Synchronisierung der Uhren (durch Austausch von Lichtsignalen) im rotierenden Koordinatensystem, sofern man von der gleichen Hypothese ausgeht, zu Widersprüchen führt. Dies aber besagt, daß sich das Licht im rotierenden System nicht isotrop fortpflanzt und daß man sich zur Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit relativ zum rotierenden System der in diesem angeordneten Uhren nicht bedienen kann. Die Lichtgeschwindigkeit relativ zum rotierenden System, die auch von der Fortpflanzungsrichtung abhängt, läßt eine vom System K_0 abstrahierte Deutung erst gar nicht zu.

Wiederholt muß auch unterstrichen werden, daß es unter den experimentellen *Translationsbeweisen* für die Relativitätstheorie keinen einzigen gibt, bei dem es nicht auf die tatsächliche Beschleunigung der Apparatur ankäme und bei dem man nicht die Zustände ein und desselben materiellen Systems vor und nach der Beschleunigung miteinander vergleichen müßte. Es gibt Versuche, in denen die Beschleunigung die Translations-Lorentz-

Transformierte des gegebenen Systems ergibt, wie sie durch (28) gekennzeichnet ist, wie etwa die Messungen im Zusammenhang mit der Masse beschleunigter Elektronen oder mit der Lebensdauer der Mesonen [25]. Weiterhin gibt es Versuche, in denen die Beschleunigung die durch die Formel (29) charakterisierte, mit einer Rotationsbewegung kombinierte Translations-Lorentz-Transformierte des gegebenen Systems liefert. Um solche Versuche handelt es sich beim Michelson—Morley- sowie beim sogenannten Trouton—Noble-Versuch, bei dem ein geladener, auf einen elastischen Faden aufgehängter Kondensator eine Drehung um 90° erhalten muß [26].

Die Anerkennung der beschleunigungsbedingten objektiven Deformationen ermöglicht im Sinne des Gesagten die materialistische und kausale Erklärung des gesamten experimentell gesicherten Tatsachenmaterials der Relativitätstheorie. Einen organischen Teil dieser Erklärung aber bildet nach den bisherigen Ausführungen auch die Anerkennung der Tatsache, daß das Licht einen materiellen Träger *hat*: den Äther, der zugleich auch Träger und Vermittler jener Kräftewirkungen ist, die zwischen den Teilchen der physikalischen Körper auftreten. Die bevorzugte Stellung des relativ zum Äther in Ruhe befindlichen Systems K_0 bedeutet keineswegs die absolute Ruhe. Das Wesen dieser bevorzugten Stellung liegt darin, daß sich das Licht und jede elektromagnetische Störung in diesem und nur in diesem System K_0 isotrop und mit der Geschwindigkeit c fortpflanzt. Diese Tatsache anzuerkennen aber, ist ebensowenig »Metaphysik«, wie es nicht Metaphysik ist, wenn man im Zusammenhang mit der Schallgeschwindigkeit von 334 msec^{-1} die bevorzugte Stellung der Luft anerkennt. Um so mehr muß als metaphysisch jene Einsteinsche Konzeption bezeichnet werden, die das experimentell erarbeitete Tatsachenmaterial derart interpretiert, daß sie die den Zustand ändernde, kausale Wirkung der Beschleunigung leugnet und die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit aus der absoluten Invarianz des feldfreien Raumzeit-Kontinuums herleitet.

Die Leugnung der Existenz des Äthers ist letzten Endes der energistischen Konzeption von der immateriellen Bewegung gleichzusetzen, die indes durch die tatsächlich ausgeführten Versuche im Sinne der obigen Darlegungen in keiner Weise bekräftigt wird. H. A. LORENTZ bediente sich des Äther-Begriffes zur Bezeichnung jenes *materiellen* Objektes, welches die elektromagnetischen Wirkungen vermittelt [27].

Was aber bedeuten in der Physik Begriffe, wie »Wirkung«, »Fortpflanzung der Wirkung«, »Vermittler der Wirkung«? Die Wirkung bedeutet stets die Zustandsänderung eines Objektes A , die sich in der Zustandsänderung eines Objektes B realisiert. Die moderne Physik hat zur Aufgabe der mystischen Newtonschen Vorstellung von der sofortigen Fernwirkung geführt und nachgewiesen, daß die Wirkung vom Objekt A das Objekt B nur in endlicher Zeit zu erreichen vermag, u. zw. nur durch Vermittlung eines dritten Objektes C —

derart, daß die Zustandsänderung am Objekt *A* den Zustand des Objektes *C* in kontinuierlicher Nahewirkung von Punkt zu Punkt so lange ändert, bis diese Zustandsänderungen das Objekt *B* erreichen. Diesem allgemeinen Mechanismus folgt die Fortpflanzung des Schalls und der Wärme, des Lichtes und der elektromagnetischen Wirkungen. Das Objekt *A* ist die erregende (aussendende) Quelle der Wirkung, *B* dagegen der Empfangsapparat, der die Wirkung empfängt (übernimmt), und *C* schließlich der Vermittler der Wirkung.

Offenbar handelt es sich hier um drei verschiedene Bewegungserscheinungen, um die Zustandsänderungen der Objekte *A*, *B* und *C*, zwischen denen die Beziehung der wechselseitigen Bedingtheit besteht. Für die Stellungnahme zum aufgeworfenen philosophischen Problem sind indes nicht so sehr die Zustandsänderungen an den Objekten *A* und *B*, als vielmehr die kontinuierlichen räumlichen und zeitlichen Zustandsänderungen des Wirkungsvermittlers *C* von Bedeutung. Diese räumlich-zeitlichen Zustandsänderungen sind es, die sich im Begriff der Fortpflanzung der Wirkung als Bewegungserscheinung spiegeln. Es bezeichne *D* diese Bewegungserscheinung. Offenbar verhalten sich die Begriffe *C* und *D* zueinander wie das Subjekt zum Prädikat: *C* dient als Subjekt zur Bezeichnung jenes *Objektes*, dessen Zustand sich ändert, während das Prädikat *D* die Änderung selbst, das *Wesen der Änderung* bezeichnet. *Materie* und *Bewegung* sind in der objektiven Wirklichkeit voneinander untrennbar, in den Begriffen *C* und *D* spiegeln sich aber dennoch *zwei verschiedene Seiten* ein und derselben Erscheinung: jenes Etwas, das sich ändert, und die Änderung dieses Etwas.

Wenn also LORENTZ den Äther den Vermittler der elektromagnetischen Wirkungen nennt, so steht dies in vollem Einklang mit dem Wortgebrauch des dialektischen Materialismus, d. h. mit der Unterscheidung zwischen dem Begriff der Bewegungserscheinung und demjenigen, der den materiellen Träger der Bewegungserscheinung zum Ausdruck bringt. Die Klassiker des Marxismus-Leninismus haben zwischen diesen beiden Begriffen stets differenziert.

Nach ENGELS erklärt sich z. B. die Berechtigung der metaphysischen Denkweise, die die Naturwissenschaften im 17. und 18. Jahrhundert beherrschte, daraus, daß man von den Dingen zunächst erfahren mußte, *was sie sind*, bevor man die Veränderungen hätte beobachten können, die *sich an ihnen vollzogen* [28]. An anderer Stelle spricht er davon, daß in den Naturwissenschaften die verschiedenen *gegenständlichen und Bewegungsformen* der Materie jenes Tatsachenmaterial liefern, von denen die Untersuchungen und Forschungen ihren Ausgang nehmen [29]. In seiner Kritik der mechanischen Konzeption vom eigenen »Wärmestoff« und von den »elektrischen Flüssigkeiten« betont er wiederholt: wie es sich von der *Wärme* herausgestellt hat, daß es sich um die *Bewegung der Molekeln* handle, ebenso werde auch von der Elektrizität klar-

zustellen sein, *was es ist, was sich in ihr bewegt, »welches das eigentliche materielle Substrat der elektrischen Bewegung ist«* [30].

In seinem »Materialismus und Empiriokritizismus« wiederholt LENIN, indem er den Energetismus W. OSTWALDS kritisiert, die gleichen Gedanken und führt sie weiter. Auf den materialistischen Satz, die Energie müsse einen materiellen Träger haben, reflektierte OSTWALD mit der Frage: »Warum denn wohl? Muß denn die Natur unbedingt aus Subjekten und Prädikaten bestehen?« Diese Antwort bezeichnete BOGDANOW als vernünftig, LENIN hingegen als Sophismus reinsten Prägung. Er bewies aber auch, daß man bei gedanklicher Ausschaltung des materiellen Trägers der Bewegung nicht einem Prädikat ohne Subjekt (einer Bewegung ohne Träger), sondern dem Prädikat eines *ideellen* Subjekts gegenübersteht. Dies kommt einem äußerst primitiven Idealismus gleich, wenn man auf dem Standpunkt des Solipsismus steht, bei dem meine Empfindung das ideelle Subjekt der Bewegungen, der Veränderungen bedeutet, und *einem äußerst komplizierten Idealismus*, sofern man an die Stelle des Gedankens, des Empfindens, der Vorstellung des lebendigen Menschen die tote Abstraktion, niemands Gedanken, niemands Empfinden, niemands Vorstellung, allgemein genommene Gedanken (die absolute Idee, den universellen Willen usw.), die Empfindung als unbestimmtes »Element«, das die ganze physikalische Welt vertretende »Psychische« usw. usf. setzt. Seine Ausführungen beschließt hier LENIN mit der Feststellung, der Energetismus benütze die unerwarteten, mit dem Materialismus jedoch keineswegs im Gegensatz stehenden Resultate der Physik, um die idealistische Konzeption von der Bewegung ohne materiellen Träger und letzten Endes von dem von der Materie losgelösten Denken als wissenschaftlich gesichert hinzustellen [31].

Der dialektische Materialismus vermag also, während er irgendeine Bewegungserscheinung, irgendeine Zustandsänderung interpretiert, niemals die Fundamentalfrage zu umgehen, welche gegenständliche Form der *Materie*, welches Ding, welches Substrat durch die Zustandsänderung berührt wird, oder kurz, welcher der materielle Träger der gegebenen Bewegungserscheinung ist.

Wenn also LORENTZ den Äther als den Vermittler der elektromagnetischen Wirkungen bezeichnet, so weist diese Terminologie auf eine *materielle* Bewegungserscheinung und auf deren *materiellen* Träger hin, was mit dem dialektischen Materialismus in Einklang steht, kann doch dieser das Licht nicht anders auffassen, als die nach Ort und Zeit periodisch vor sich gehende Änderung im elektromagnetischen Zustand eines das Licht tragenden materiellen Objektes (des »Äthers«). Die mechanisch materialistische Konzeption vom Äther muß freilich verworfen werden: der Äther ist offenbar kein aus Atomen und Molekülen bestehendes Medium, kein physikalischer Körper, sondern ein physikalisches Feld, dessen elektromagnetische Zustandsänderungen nicht mit irgendeiner Art mechanischen Wellenvorganges identisch sind. EINSTEINS

Auffassung jedoch, das Licht habe keinen materiellen Träger, jede elektromagnetische Wirkung sei lediglich eine Funktion des leeren »feldfreien« Raumes, muß als inakzeptable, energetische Auffassung bezeichnet werden. Hier handelt es sich um jene »äußerst komplizierte« Abart des Idealismus, von der zuvor im Zitat aus LENIN die Rede war.

Schließlich wird noch zu prüfen sein, ob das Problem der materiellen Natur des Lichtes nicht seine Lösung findet durch den Versuch A. D. ALEXANDROWS, den Begriff eines »*Universalmediums*«, d. h. den Begriff vom elektromagnetischen »*Strahlungshintergrund*« der materiellen Welt einzuführen. Dieser Strahlungshintergrund stellt über den elektromagnetischen Signalaustausch die materielle Verknüpfung zwischen den physikalischen Objekten her und bestimmt die Struktur der Wechselwirkungen zwischen den Erscheinungen [32].

A. D. ALEXANDROW achtet jedoch sorgfältig darauf, daß dieses Universalmedium, in welchem sich die Körper bewegen, von niemandem mit dem Äther identifiziert werde. Wie formuliert er den Unterschied zwischen den Begriffen des Strahlungshintergrundes und des Äthers?

»Der Äther ist nur ein Medium, welches zwar bewegt sein kann, aber auch als unbewegt denkbar ist. Die Wellen pflanzen sich im Äther fort, die Strahlung ist demgegenüber bewegtes Medium, die Strahlung ist Wellenbewegung selbst, — und die unbewegte elektromagnetische Störung ist einfach eine Sinnlosigkeit. Es ist also nichts Verwunderliches daran, daß der Begriff der Geschwindigkeit relativ zum Strahlungshintergrund sinnlos ist, — abweichend vom Begriff der Geschwindigkeit relativ zum Äther.« [33]

Damit ist also ein universelles Medium, der »*Strahlungshintergrund*«, gegeben, der den Begriff der »reinen Bewegung« selbst, den Begriff der Zustandsänderung ohne Träger verkörpert. Diese Wellen pflanzen sich in keinem anderen Medium fort, und die Frage ENGELS': »*Was bewegt sich, was wellt?*« darf gar nicht erst aufgeworfen werden. Ein Subjekt gibt es nicht, nur ein Prädikat: die Welle selbst ist es, die wellt.

Mit den weiter oben benützten Bezeichnungen ist Trägerin der Bewegungserscheinung *D* diese selbst und nicht etwa ein Objekt *C*. Eine Bewegung, von der gesetzt ist, sie habe keinen materiellen Träger, bedeutet indes auch hier kein Prädikat ohne Subjekt, sondern das Prädikat eines *ideellen* Subjektes, die Zustandsänderung einer geistigen Substanz. Diese Vorstellung ist identisch mit jenem Gedanken EINSTEINS, der leere, von Korpuskeln und Feldern freie Raum selbst verfüge über Feldeigenschaften, d. h. über die Fähigkeit, den Zustand bestimmter Parameter periodisch fortschreitend ändern zu können.

Die physikalischen Felder aber sind *materielle* Objekte, die auch materielle Quellen haben. Entsprechend verfügen sie auch über eigene Koordinatensysteme und eigene Bewegungszustände. Das Gravitationsfeld der Erde umkreist zusammen mit dieser die Sonne, an der mechanischen Bewegung

der bewegten Elementarteile nehmen auch die ihnen zugeordneten Felder teil. Der Auffassung, das elektromagnetische Feld hätte kein eigenes Koordinatensystem und keinen eigenen mechanischen Bewegungszustand, kann sich nur anschließen, wer die materielle Quelle und die materielle Natur des »Strahlungshintergrundes« nicht anerkennt.

Und weiter: Wenn A. D. ALEXANDROW die mit dem »Strahlungshintergrund« in Beziehung gebrachte Geschwindigkeit als sinnlos hinstellt, dann bedarf es einer separaten Erklärung für den Begriff der Geschwindigkeit der in ihm sich fortpflanzenden elektromagnetischen Perturbation bzw. für das Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.

In der Frage der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, die er für ein objektives und grundlegendes Gesetz hält, weicht jedoch A. D. ALEXANDROW dem eigentlichen Problem aus. Zur Untermauerung dieses Gesetzes führt er zwei Argumente ins Treffen. Das eine ist *die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom Bewegungszustand der Lichtquelle*, die sich als eine der wichtigsten Feststellungen schon in der Maxwell'schen Theorie findet und von EINSTEIN'S Gedankengängen völlig unabhängig ist. Das zweite Argument A. D. ALEXANDROW'S bezieht sich auf *die Unabhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Störungsfront von der materiellen Beschaffenheit des Mediums*, die er gleichfalls als außerordentlich wichtiges Gesetz bezeichnet. Hierin hat er auch vollkommen recht, seinem Wesen nach hat jedoch auch dieses Gesetz nichts gemein mit den Überlegungen EINSTEIN'S, d. h. mit EINSTEIN hat es nur insofern etwas zu tun, als die Synchronisierung der Uhren durch den Austausch von Lichtsignalen, die mit dem Augenblick des *Beginns* des Signalempfanges zusammenhängt, durch die Beschaffenheit des durchsichtigen Mediums zwischen Lichtstrahlquelle und Empfangsgerät nicht berührt wird.

In Wirklichkeit handelt es sich aber um ein ganz anderes Problem: die Frage lautet, *wie die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom Bewegungszustand des Bezugssystems gedeutet werden kann*. Nach der Darlegung seiner soeben erörterten beiden Argumente tut A. D. ALEXANDROW dennoch so, als hätte er mit seinen Ausführungen auch diese dritte Frage beantwortet:

»So kommt denn der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Strahlung universelle Bedeutung zu. Diese Geschwindigkeit findet ihren Ausdruck in dem Verhältnis des Weges zur Zeit, weshalb denn die Existenz der universellen Geschwindigkeit so viel bedeutet, daß zwischen den räumlichen Entfernungen und den Zeitspannen eine universelle Beziehung besteht.« [34]

Danach beschreibt ALEXANDROW diese universelle Beziehung mit der bekannten mathematischen Formel der Lichtfortpflanzung, die beim Übergang von einem Trägheitssystem in das andere jeweils in die gleiche Formel überleiten muß:

$$\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} = c(t - t_0). \quad (65)$$

Offenbar liegt jedoch hier ein logischer Fehler vor, denn weder die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom Bewegungszustand der Lichtquelle, noch ihre Unabhängigkeit von der materiellen Beschaffenheit des Mediums bietet die Prämisse, aus der sich die Kovarianz der Formel (65) gegen die Koordinaten-Transformation, d. h. die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom Bewegungszustand des Trägheitssystems deduzieren ließe.

EINSTEIN, bekanntlich ein scharfer und klarer Logiker, bezeichnete diese Kovarianz niemals, in keinem einzigen seiner Werke als *Konklusion* aus Erfahrungstatsachen, im Gegenteil, er führte sie als ein aus der Erfahrung logisch niemals herleitbares *Postulat* ein, das sich höchstens intuitiv erahnenläßt.

A. D. ALEXANDROWS »Strahlungshintergrund« könnte für die Deutung der Lorentz-Transformation und der relativistischen Effekte nur dann eine tatsächlich materielle Grundlage abgeben, wenn unter Ausschaltung des logischen Fehlschlusses der Nachweis erbracht werden könnte, daß es in diesem Strahlungshintergrund nicht die vom materiellen Inhalt *abstrahierten und von ihm losgelösten* hypothetischen Gesetze von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und der absoluten Invarianz der Raumzeit, sondern die in der Struktur und Wechselwirkung der *konkreten* materiellen Objekte sich manifestierenden *konkreten* elektromagnetischen Beziehungen sind, die die *konkreten* raum-zeitlichen Beziehungen zwischen den einzelnen Objekten und den von ihnen repräsentierten Koordinatensystemen determinieren.

A. D. ALEXANDROW erhebt keinen Anspruch auf eine deterministische Deutung der relativistischen Effekte und erklärt unmißverständlich: » . . . nicht irgendein 'wirksamer Grund', sondern die absolute Struktur der Welt bildet die wirkliche Grundlage, den eigentlichen Inhalt der Theorie.« [35] Hiernach zu behaupten, diese *absolute raumzeitliche Struktur* verhalte sich zur physikalischen Welt selbst wie die Form zum Inhalt, kann nicht eben als konsequente Feststellung bezeichnet werden.

Mit dem dialektischen Materialismus steht eben das Postulat einer derartigen absoluten raumzeitlichen Konstruktion im Widerspruch, und nicht die dynamische Deutung der relativistischen Effekte, auch nicht die Anerkennung des materiellen Trägers und der anisotropen Fortpflanzung des Lichtes oder die Anerkennung der Auffassung, die scheinbare Invarianz der Lichtgeschwindigkeit sei eine Folge einander kompensierender Wirkungen. Das Tatsachenmaterial, welches die Relativitätstheorie experimentell sichert, bestätigt die Richtigkeit dieser dialektisch materialistischen Konzeption.

Zusammenfassung

Der Michelson—Morley-Versuch und andere Experimente haben den Beweis erbracht, daß sich die *Translationsbewegung* eines physikalischen Objektes, etwa eines starren Körpers relativ zum Äther, dem materiellen

Träger des Lichtes auf optisch-dynamischem Wege nicht nachweisen läßt. Die allgemeine mechanische Bewegung starrer Körper setzt sich jedoch stets aus Translations- und aus Rotationsbewegungen zusammen. Aus diesem Grunde könnten die Behauptungen, der Äther sei nicht nachweisbar, nur dann als richtig akzeptiert werden, wenn es sich herausstellte, daß sich auch die *Rotationsbewegung* der physikalischen Objekte relativ zum Äther nicht nachweisen läßt.

Die Versuche von M. G. SAGNAC, F. HARRESS, B. POGÁNY, A. A. MICHELSON und H. G. GALE beweisen jedoch eben das Gegenteil: mit ihren optischen Rotationsversuchen ist es ihnen gelungen, die Rotationsbewegung sich drehender Körper, u. a. auch die der Erde relativ zum Äther nachzuweisen. Diese Versuche ergaben, daß es unter jenen in unterschiedlichen Bewegungszuständen befindlichen Koordinatensystemen, deren eine Achse mit der Drehachse des gegebenen Rotationskörpers zusammenfällt, nur ein einziges System K_0 gibt, in welchem sich das Licht mit der Geschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm/sec und isotrop ausbreitet. Die Winkelgeschwindigkeit dieses Rotationskörpers relativ zum System K_0 läßt sich meßtechnisch ermitteln. Sie ändert ihre Größe auch in den relativ zu K_0 gleichförmig und geradlinig bewegten Systemen nicht, wogegen die *Lichtgeschwindigkeit* in diesen Systemen K_0^* weder die gleiche wie im System K_0 , noch auch unabhängig von der Fortpflanzungsrichtung sein wird. In den relativ zu K_0 rotierenden Systemen hingegen wird weder die Lichtgeschwindigkeit, noch die Winkelgeschwindigkeit des rotierenden Körpers die gleichen Werte aufweisen wie im System K_0 .

Philosophisch führen diese Versuche zu dem Schluß, daß die Auffassung EINSTEINS, das Licht hätte keinen materiellen Träger und jede elektromagnetische Wirkung sei lediglich eine physikalische Funktion des leeren, »feldfreien« Raumes, irrig ist. Andererseits bekräftigen sie die Richtigkeit jenes dialektisch materialistischen Standpunktes, daß *das Licht eine materielle Erscheinung*, d. h. die nach Ort und Zeit periodisch verlaufende elektromagnetische Zustandsänderung an einem als Träger des Lichtes funktionierenden materiellen Objekt darstellt.

Die Lichtgeschwindigkeit ist tatsächlich unabhängig vom Bewegungszustand der *Lichtquelle*, nicht unabhängig ist sie dagegen vom Bewegungszustand des *Bezugssystems*. Den Nachweis der Anisotropie der Lichtausbreitung ermöglichen die optischen Translationsversuche deshalb nicht, weil die Beschleunigung das beschleunigte materielle System deformiert und weil diese Deformation die Anisotropie der Lichtausbreitung kompensiert. Dialektisch materialistisch kann auch die Invarianz der Lichtgeschwindigkeit (ebenso wie jede andere Invarianz) nur als gemeinsames Auftreten einander ausgleichender Wirkungen gedeutet werden. Die Anerkennung der beschleunigungsbedingten Deformation zieht mit logischer Zwangsläufigkeit auch die Anerkennung der Anisotropie der Lichtausbreitung nach sich. Das experimen-

tell erschlossene Tatsachenmaterial bestätigt die Richtigkeit dieser Auffassung.

Literatur

1. SCHILPP, P. A.: Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1955, pp. 8-9.
2. EINSTEIN, A.: Die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie. Gondolat Verlag, Budapest 1963, p. 60 (ungarisch).
3. BUDO, Á.: Mechanik. Tankönyvkiadó, Budapest 1964, pp. 196/198 (ungarisch).
4. LAUE, M. v.: Die Relativitätstheorie Bd. I. Vieweg Verlag, Braunschweig 1961, p. 16.
5. Philosophical Magazine **48**, 716 (1904).
6. LAUE, M. v.: Über einen Versuch zur Optik bewegter Körper. Münch. Sitz.-Ber. 405 (1911).
7. SAGNAC, M. G.: Effet tourbillonnaire optique. Journal de Physique **IV**, 177 (1914).
8. Die Beschreibung des Versuchs siehe bei M. v. Laue: l. c., pp. 15-16.
9. Siehe bei M. G. Sagnac: l. c., pp. 194-195.
10. HARRESS, F.: Diss., Jena, 1912.
11. Annalen der Physik, **80**, 217 (1926) und **85**, 244 (1928), ferner: Die Naturwissenschaften, **8**, 177 (1927).
12. Astrophysical Journal, **3**, 137 (1925).
13. Annalen der Physik, **62**, 448 (1920).
14. PAULI, W.: Relativitätstheorie. Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. V., Heft IV., Art. 19. (1921). Teubner Verlag, Leipzig, p. 565.
15. С. И. ВАВИЛОВ: Экспериментальные основания теории относительности. Госиздат, Москва — Ленинград 1928, pp. 74-88.
16. LORENTZ, H. A.: Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. Leiden 1895, pp. 89-92.
17. LORENTZ, H. A.: Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light, Proceedings Acad. Sc., Amsterdam 1904, p. 809.
18. PAULI, W.: l. c., p. 560.
19. LAUE, M. v.: l. c. pp. 38-39.
20. FOK, W. A.: Woprosi Filosofii, **12**, 45 (1961).
21. EINSTEIN, A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper, Annalen der Physik, **17**, 891 (1905).
22. JÁNOSY, L.—ELEK, T.: Die philosophischen Probleme der Relativitätstheorie, Verlag d. Ung. Ak. d. Wissenschaften, Budapest 1962, p. 125. (ungarisch).
23. EINSTEIN, A.: Grundzüge der Relativitätstheorie. Vieweg Verlag, Braunschweig 1956, p. 24.
24. l. c. pp. 18-19.
25. LAUE, M. v.: l. c. pp. 21 und 26-27.
26. l. c., pp. 25-26, 94-96 und 166-169.
27. LORENTZ, H. A.: »Weiterbildung der Maxwellschen Theorie. Elektronentheorie.« Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. V. l. c., pp. 152-155.
28. MARX—ENGELS: Ausgewählte Werke, Bd. II. Szikra Verlag, Budapest, p. 384 (ungarisch).
29. ENGELS, F.: Die Dialektik der Natur, Szikra Verlag, Budapest 1952, p. 59. (ungarisch).
30. l. c., pp. 128—129.
31. LENIN, W. I.: Werke, Bd. XIV. Szikra Verlag, Budapest 1954, pp. 275-283 (ungarisch).
32. ALEXANDROW, A. D.: »Der philosophische Inhalt und die Bedeutung der Relativitätstheorie« im Sammelband »Die philosophischen Probleme der modernen Naturwissenschaften«. Verlag d. Ung. Ak. d. Wissenschaften, Budapest 1962, pp. 144-145.
33. l. c., p. 146.
34. l. c., p. 147.
35. l. c., p. 159.

Prof. Dr. Tibor ELEK, Budapest XI., Műgyetem rkp. 3. Ungarn