

Korrekte Deutung des Michelson-Versuches

Horst P. H. Melcher

Auf die Frage, wie das Ergebnis des MICHELSON-Versuches (MV) zu verstehen sei, erhält man Antworten, die selten nur kurz und korrekt das Versuchsergebnis erklären. Auch zahlreiche Lehrbücher legt man unbefriedigt zur Seite. Viele Lehrbuchautoren stellen zwar lang und breit die Versuchsanordnung und die Funktionsweise des einzigartigen MICHELSONschen Interferometers dar, beenden dann aber ihre Darlegungen damit, daß sie auf die im Grunde genommen unphysikalische, weil tatsächliche, Längenverkürzung der Apparatur in Bewegungsrichtung verweisen. Damit wird häufig – und für den Leser enttäuschend – dieses Kapitel verlassen, insbesondere wenn sogar noch irreführend behauptet wird, daß es sich bei diesem Versuch um einen „Fundamental-Versuch“ oder um ein „Schlüssel-Experiment“ zur Speziellen Relativitätstheorie (SRT) handele.

Die kurze und korrekte Deutung des MV hat ALBERT EINSTEIN gegeben. Falls das nur erwähnt wird, bleibt der Sinn wohl unverstanden, wenn er nicht näher erläutert wird. EINSTEINS kurze Aussage lautet etwa: Das Ergebnis des MV ist von vornherein klar wegen des Relativitätsprinzips (RP). Dieses Prinzip geht über die experimentelle Erfahrung beim MV hinaus; es ist also allgemeiner als die Aussage, daß der MV gezeigt hätte, daß $c = \text{const}$ sei. Das zweite Prinzip, das die Basis der SRT bildet, nämlich das Unabhängigkeitsprinzip, demzufolge die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit (VLG), mit c bezeichnet, von der Bewegung der Lichtquelle oder/und der Empfängers unabhängig ist, hat mit dem MV nichts zu tun; denn hierbei war dann ein konstanter (unveränderlicher) Abstand zwischen Lichtquelle und Empfänger vorhanden.

MICHELSON, ein Meister der Lichtgeschwindigkeitsmessung, ging der Frage von J. C. MAXWELL nach, wie man experimentell einen seinerzeit hypothetischen Äther nachweisen könne. Bei diesem Äther sollte es sich um ein (hypothetisches) Medium handeln, das als Träger für Lichtwellen fungiere – in Analogie zur Schallausbreitung, wo sich Schallwellen auch nur in einem Medium ausbreiten können, also nicht im Vakuum. Im Falle der wellenförmigen Ausbreitung des Lichtes müßte es sich allerdings dann um ein Medium handeln, das den Weltraum zu erfüllen hätte, um zu erklären, wie denn Licht von Lichtquellen außerhalb der Erde zur Erde gelangen könne. Dieses Prinzip wird mißverständlich als Konstanz-Prinzip bezeichnet; es besagt aber in Kurzform aus, daß $c \pm v$ gleich der VLG ist.

Die Unzulänglichkeit der klassischen Gleichung und der *Lorentz*-Kontraktion

Das Prinzip des MV entspricht etwa jenem Versuch zur Messung der Schallgeschwindigkeit u in Luft bei einer Strömungsgeschwindigkeit v . Im Unterschied zur Luft- bzw. Windgeschwindigkeit sollte eine Geschwindigkeit des hypothetischen Äthers immer und überall vorhanden sein. Um diese vermutete Ätherwindgeschwindigkeit zu messen und damit einen Äther nachzuweisen, haben MICHELSON 1881, später MICHELSON und MORLEY 1887 und danach zahlreiche weitere Physiker mit einem dafür genial von MICHELSON erfundenen Interferometer derartige Ätherdriftversuche durchgeführt. Das Ergebnis aller dieser Versuche war: Die Hypothese bzw. Konzeption eines Äthers erwies sich in allen Fällen als „erroneous“ (irrig), wie MICHELSON schon festgestellt hatte. Die Hypothese

eines Äthers mußte man also fallen lassen. Ätherphysiker in überwiegender Mehrzahl gegenüber den „Relativisten“ haben aber an der Ätherauffassung festgehalten, und man findet gegenwärtig noch immer Rudimente in der unrichtigen bzw. unzulässigen „Interpretation der MICHELSON-Versuches“.

Unter der Annahme, daß ein Ätherwind der Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne entsprechen müßte, hat man seit MICHELSON in Anlehnung an Schall-Wind-Versuche die Geschwindigkeit des Windes aus folgenden Vergleichs-Messungen ermittelt: Die Zeitsumme ist bei gleicher Meßstrecke l naturgemäß größer bei einer Hin- und Herbewegung des Schallsignals (oder eines Projektils) in – und entgegengesetzt zur Strömung als senkrecht dazu; die Differenz ist also größer als Null: $\Delta t = t_x - t_y > 0$.

Es ist demzufolge

$$\Delta t = l \cdot \left(\frac{1}{u+v} + \frac{1}{u-v} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{u^2+v^2}} + \frac{1}{\sqrt{u^2+v^2}} \right) > 0. \quad (1)$$

Die Geschwindigkeitszusammensetzungen für u und v ergeben sich für verschiedene Richtungen (Winkel φ) zwischen u und v aus dem (klassischen) Kosinussatz

$$w_{kl} = \sqrt{u^2 + v^2 + 2uv \cos \varphi}. \quad (2)$$

Im vorliegende Fall (Gl.1) ist also für φ zu substituieren: 0° , 180° bzw. 90° und 270° .

Die Messungen MICHELSONS und die vielen nachfolgenden modifizierten Interferometerversuche erbrachten im Gegensatz zur theoretischen Erwartung gemäß Gl. (1) das Resultat (innerhalb der Meßfehlergrenzen) $\Delta t = 0$.

Der Widerspruch konnte nur in Voraussetzungen der Gl. (1) liegen. Am einfachsten löste sich der Widerspruch, indem man das Meßergebnis akzeptierte: Es gibt keinen Äther, mithin keinen Ätherwind, also $v = 0$, so daß in der Ausgangsgleichung (1) das Meßergebnis auch im Fall für das Licht mit $u = c$ völlig natürlich erscheint. Damit wäre das RP nicht nur auf mechanische Sachverhalte und Prozesse beschränkt, sondern auch für die Optik (Elektrodynamik) gültig.

Unter anderen (hier wegen widerlegter Bedeutung nicht mehr zu nennenden) Erklärungsmöglichkeiten wird aber an einer bis in die Gegenwart wirkenden (mirakelhaften) Interpretation des MV durch die „LORENTZ-Kontraktion“, wie es scheint, zäh festgehalten. Die Fehlerhaftigkeit oder „Sünde“ beginnt damit – und wird kritik- und kommentarlos bis in die Gegenwartsliteratur fortgesetzt, daß man in der Gl. (1) die Größe u einfach durch die VLG, also durch c ersetzt. Damit wird dann in den folgenden Überlegungen auf der Grundlage dieser dann fragwürdigen Gleichung unzulässig weiterhin mit Geschwindigkeit in klassischer, also linearer Weise addiert; beispielsweise führt doch dann $c + v$ zu „Überlichtgeschwindigkeiten“, die nicht real sind. Die Gleichung (1), die für $u \gg c$ Gültigkeit besitzt, verliert diese für $u = c$.

Faßt man Gl. (1) mit $u = c$ zusammen, so ändert das zunächst nichts an dem theoretischen Ergebnis $\Delta t = 0$. Man mußte nun dieser Erwartung durch eine Änderung in der Formel begegnen, um in Übereinstimmung mit dem experimentellen Nullresultat zu kommen. Deshalb unterstellte man dem Äther eine Eigenschaft, die Körper in Bewegungsrichtung gerade in dem Maße zu verkürzen (kontrahieren), daß sich damit das zu erwartende Nullresultat ergibt – und zwar in Abhängigkeit von der jeweiligen Geschwindigkeit. Natürlich

besteht eine gewisse Winkelabhängigkeit der Kontraktion von der Richtung zwischen c und v .

Die Zusammenfassung der Gl. (1) mit $u = c$ ergibt zunächst die bereits zu kritisierende Form

$$\Delta t = \frac{2l}{c} \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) > 0.$$

Einen Nullwert erreicht man nun formal dadurch, daß man die Differenz in der Klammer zum Verschwinden bringt. Das ergibt sich durch Multiplikation des ersten Bruches mit $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. In x -Richtung erhält man dann für die Länge als LORENTZ-Kontraktion den Ausdruck $l \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Ein sich gegenüber dieser Längsrichtung sich dauernd drehender Körper würde seine Längsdimension fortwährend ändern. Abgesehen davon, daß eine Geschwindigkeit v der Erde auf ihrer Bahn auf Versuche beliebiger Art auf der Erde (oder im Labor) keinen Einfluß hat, ist dann auch wegen $v = 0$ keine LORENTZ-Kontraktion (LK) vorhanden. Damit spielt die LK für eine Erklärung des MV auch keine Rolle. Diese LK wurde eingeführt, um eine gar nicht festgestellte Geschwindigkeit eines Ätherwindes, woran Ätherphysiker aber glauben, zu kompensieren.

Wie aber lautet das Ergebnis von physikalischen Versuchen, wenn im Gegensatz zum MV doch eine Relativgeschwindigkeit v zwischen der VLG und Emitter oder/und Empfänger besteht? Das wäre beispielsweise bei der Lichtgeschwindigkeitsmessung der Fall, wenn man von der Sonne, von Planeten oder Fixsternen ausgestrahltes Licht verwendet. Auf Grund des EINSTEINSchen Invarianz- bzw. Konstanzprinzips von 1905 „ c plus oder minus v gleich VLG“ wäre bereits vorauszusagen gewesen, daß ein solcher Versuch, wie er dann tatsächlich von TOMASCHEK 1923/24 ausgeführt worden ist, ein Nullresultat ergeben würde. Das müßte bedeuten, daß in der Gl. 1 der Nenner $u + v$, also nun $c + v$ den Wert c ergeben müßte – wie bei den anderen Nennern auch. Ein solches Resultat konnte 1905 noch durch kein Experiment begründet werden. Diesen nichttrivialen Fall eines Nullresultates haben dann Versuche von TOMASCHEK bestätigt. (Im übrigen hat EINSTEIN als Fußnote in seiner kurzen Arbeit ($E = mc^2$) von 1905 „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energiegehalt abhängig?“ die Quelle seines „Konstanzprinzips“ genannt: „...das Prinzip ist natürlich in den Maxwellschen Gleichungen enthalten“).

Ersetzt man die resultierenden klassischen Geschwindigkeitswerte durch die relativistischen, also $w_{kl} = u \pm v$ durch $w_{kl} = \frac{u \pm v}{1 \pm \frac{uv}{c^2}}$ und die beiden dazu orthogonalen Geschwindigkeiten durch $w_{rel} = \sqrt{u^2 + v^2 - \left(\frac{uv}{c}\right)^2}$, so erhält man in allen Fällen $w_{rel} = c$ und damit wie selbstverständlich nicht nur für die ausgewählten orthogonalen Richtungen Übereinstimmung zwischen dem experimentellen und theoretischen Nullresultat. Das ist für $u = c$ in allen Richtungen der Fall: $0 \leq \varphi \leq 360^\circ$. Man hat einfach an Stelle der klassischen Beziehungen für die Geschwindigkeitszusammensetzung (1) und (2) das relativistische Additionstheorem für Geschwindigkeiten zu berücksichtigen, den sog. relativistischen Kosinussatz, der die Resultante zweier Geschwindigkeiten für die jeweiligen Winkel liefert. Im klassischen Fall wäre die Resultante die Diagonale eines Geschwindigkeitsparallelogrammes. Ein Parallelogramm ist nur sinnvoll für $u \ll c$. Die Resultanten w von Parallelogrammen können den Wert der VLG nicht überschreiten.

Man erkennt, daß auch für den Fall, daß zwischen Lichtquelle bzw. Sender und Empfänger eine Relativgeschwindigkeit besteht, experimentelle und theoretische Nullresultate übereinstimmen, wenn das relativistische Additionstheorem der Geschwindigkeiten berücksichtigt wird. Eine künstlich zu konstruierende „LORENTZ-Kontraktion“ ist nicht erforderlich, obwohl hier im Gegensatz zum MV eine von Null verschiedene Relativgeschwindigkeit vorhanden ist.

Bei dem künstlichen Konstrukt einer Gleichung, die bei den Ätherdrift-Versuchen der MICHELSONschen Art noch außer der nichtzutreffenden klassischen Addition noch die kausale „LORENTZ-Kontraktion“ enthält, handelt es sich um eine Mixtur oder um ein Hybrid einer physikalisch fragwürdigen Gleichung. Häufig wird mit dieser kuriosen Gleichung wegen des Wurzelausdrucks der LK sogar der Eindruck befördert, als ob diese Gleichung mit der SRT etwas zu tun haben könnte. Ein aus der SRT hergeleiteter Ausdruck für die Längenverkürzung stimmt zwar formal mit der LK überein, er ist aber kinematischer und nicht kausaler Art; deshalb sind beide begrifflich zu unterscheiden. Die Sichtbarkeit der relativistischen Längenverkürzung, natürlich bei hohen Geschwindigkeiten, betrifft Körper, die dann gedreht erscheinen; das wurde erst in den fünfziger und sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts festgestellt. Jedenfalls tritt eine aus der SRT folgende Gleichung jener Art mit der LK nicht auf. Eine solche kann aus der SRT auch nicht hergeleitet werden, da – wie bereits betont – im Zusammenhang damit eine Addition von Geschwindigkeiten in linearer Weise ausgeschlossen ist. Eine solche Gleichung ist ein Kuriosum.

Es ist also unreal, zur „Erklärung“ des MV eine LK zu verwenden und womöglich noch daraus zu folgern, daß demzufolge alle Körper permanent einem Wechsel von Schrumpfung unterworfen wären. (Ein solches monströses Spiel kann der Schöpfer seinen lebenden und toten Objekten nicht verordnet haben). Eine dauernd wechselnde Kontraktion ist ein Rudiment der Ätherauffassung und eben kein Ergebnis des MV; denn durch ihn wurde gezeigt, daß die Auffassung eines Äthers „erroneous“ (irrig) ist.

Aus dem Dargelegten sind Ziel und Ergebnis des MV ersichtlich. Es hat mitunter den Anschein, daß der Versuch in Sphären eines Mythos gelangt sei. Ohne Zweifel ist das von MICHELSON verwendete Versuchsinstrumentarium und die damit erreichte extreme Präzision höchster Anerkennung wert, was auch durch die Verleihung des Nobelpreises (1907) gewürdigt wurde. Der Leser möge aber selber prüfen, inwieweit dieser wohl am häufigsten zitierte Versuch in der Physikgeschichte als „Fundamentalversuch der SRT“ bezeichnet werden kann und ob es tatsächlich begründbar ist, daß EINSTEIN die Bedeutung des MV „heruntergespielt“ hätte.

Die Notwendigkeit, große Geschwindigkeiten relativistisch zu addieren, besteht nachweislich auch beim FIZEAU-Versuch, mit dem die Lichtgeschwindigkeit im strömenden Wasser gemessen wird. Das experimentelle Ergebnis widerspricht der klassischen Addition von Lichtgeschwindigkeit im ruhenden Wasser c/n (hierbei ist n der Brechungsindex) und der Geschwindigkeit v des strömenden Wassers. Das experimentelle Ergebnis ist allein mit dem relativistischen Additionstheorem zu rechtfertigen.

Es ist unzutreffend bzw. Legende, aus dem MICHELSON-Versuch auf die Notwendigkeit der LK zu schließen. Schließlich ist gar keine Geschwindigkeit v vorhanden, die sich mit c überlagern könnte. Die einzelnen speziellen Fälle ergeben sich aus der allgemeingültigen und winkelabhängigen Resultante w der folgenden explizit bereits in EIN-

STEINS Gründerarbeit der SRT, die offenbar bei der Betrachtung der Ätherversuche unbeachtet geblieben ist:

$$w_{rel} = \frac{\sqrt{u^2 + v^2 + 2uv \cos \varphi - \left(\frac{uv \sin \varphi}{c}\right)^2}}{1 + \frac{uv \cos \varphi}{c^2}} \quad (3)$$

Diese Gleichung umfaßt die Spezialfälle:

1. Die klassische Gleichung (1), also der klassische Kosinussatz (2) ist in (3) für $\frac{uv}{c^2} \ll 1$ enthalten; Gl. (1) ist voll gültig ($\Delta t > 0$) bei Schallgeschwindigkeiten für alle Winkel. Es ist berechtigt, die Differenz der in (1) enthaltenen Ausdrücke durch die sich ergebende Näherungsbeziehung $\Delta t = \frac{2l}{u} \cdot \frac{v^2}{u^2}$ zu berechnen. Für $l = 30$ m, $v = 30$ m/s und $u \approx 300$ m/s erhält man etwa 10^{-5} s, was bequem meßbar ist.
2. MICHELSON-Versuch ($\Delta t = 0$), wenn $v = 0$ und $u = c$
Da die Differenz aus beiden inadäquaten Ausdrücken in Gl. (1) gebildet wird, ist auch eine Näherungsformel, wenn u einfach durch c ersetzt worden ist, physikalisch nicht real. Häufig wird aber daraus ein zu messender Zeitunterschied von ca. $\Delta t = 10^{-16}$ s angegeben. Das ist wegen der Voraussetzungen unzutreffend. Tatsächlich müßte ein Zeitunterschied $\Delta t = 0$ Sekunden angegeben werden. Da $v = 0$, ist auch eine LORENTZ-Kontraktion illusorisch.
3. Versuch von TOMASCHEK ($\Delta t = 0$), wenn $v \neq 0$ und $u = c$. Dieser Versuch führt trotz $c \pm v$ zum Ergebnis $\Delta t = 0$ und ohne daß in diesem Fall von einer LORENTZ-Kontraktion gesprochen wird.
4. Versuch von FIZEAU ($\Delta t > 0$), wenn $v \neq 0$ und $u = \frac{c}{n} < c$. Bei diesem Versuch zeigte es sich nach über 50 Jahren, daß sein Ergebnis zwanglos und selbstverständlich ohne Strapazieren von Ätherhypothesen relativistisch aus der Überlagerung von Geschwindigkeiten aus der Gl. (3) folgt.

Der Glaube an eine Ätherhypothese und die Zahl der „Ätherphysiker“ waren so dominierend, daß sie sich gegen das Wissen der „Relativisten“ lange behaupten konnte. Rudimente der „Ätherphysik“ findet man aber noch in der heutigen Literatur, was die Auffassung der („ätherischen“) LORENTZ-Kontraktion betrifft. EINSTEIN sah sich noch 1954 veranlaßt, in einem Brief an seinen früheren Mitarbeiter W. J. DE HAAS zu schreiben:

„Es hat keinen Sinn mehr, den Äther in dem gedanklichen Handwerkszeug mitzuschleppen. Deshalb kommt mir Ihr Plan etwa so vor, wie wenn ein Psychologe sich bemühte, durch überaus sorgfältiges Studium der Träume die Existenz von Gespenstern zu beweisen. Wenn Sie diesen Vergleich ernsthaft durchdenken, wird Ihnen mein Standpunkt in dieser Sache besonders klar werden.“

Die Ätherphysik mit ihren Irr- und Umwegen erschwert einen Zugang zur SRT. Es kommt darauf an, das physikalische Denken auszubilden und zu fördern; deshalb sollte man auf Darlegungen der historisch überholten Ätherphysik verzichten.

Prof. Dr. Dr. Horst Melcher
D-14471 Potsdam
Auf dem Kiewitt 23
Germany
Homepage: www.horst-melcher.de