

Erweiterte spezielle Relativitätstheorie

Das Michelson-Morley-Experiment als Schlüssel zur Vereinheitlichung von
spezieller Relativitätstheorie und Äthertheorie

von

Andreas Varesi

München, 7. Februar 2005

Abstract

Mit Hilfe des Michelson-Morley-Experiments sollte die Relativgeschwindigkeit, mit der sich die Erde durch den Äther bewegt, gemessen werden. Dabei sollten Interferenzänderungen eine Reduktion der Lichtgeschwindigkeit in Bewegungsrichtung der Erde nachweisen. Der Versuch scheiterte. Es wurde der Gedanke des Äthers als Lichtmedium aufgegeben und durch Einsteins spezielle Relativitätstheorie (SRT) ersetzt.

Zahlreiche moderne Experimente haben die Richtigkeit der SRT sowie die Gültigkeit des Michelson-Morley-Experiments nachgewiesen. Dennoch sind einige Postulate der SRT mit Widersprüchen behaftet, die es unmöglich machen, eine virtuelle Welt zu programmieren, die vollständig den Gesetzen der SRT entspricht. Insbesondere die Negierung eines ruhenden Bezugssystems als auch die Relativität der Zeitdilatation für alle bewegten Inertialsysteme führen zu programmiertechnisch unlösbaren Problemen.

Erst die Einführung eines ruhenden Bezugssystems, das dem kosmischen Hintergrundrauschen entspricht, erlaubt es, diese Widersprüche aufzulösen. Da dieses ruhende Bezugssystem aber dem ursprünglichen Äthermodell ähnelt, muss es für die Ergebnisse des Michelson-Morley-Experiments eine Erklärung geben, die sowohl das Äthermodell als auch die SRT umfasst. Dies gelingt durch die Erweiterung der ursprünglichen Berechnung um die Lorentzkontraktion und die Zeitdilatation. Dadurch werden die Interferenzeffekte, die für klassische Wellenmodelle gelten, kompensiert, obwohl dabei in Bewegungsrichtung eine um die Geschwindigkeit v reduzierte und entgegen der Bewegungsrichtung eine um v erhöhte Lichtgeschwindigkeit angenommen wird. In beide Richtungen gemessen ist die Lichtgeschwindigkeit jedoch stets c und es kommt auch zu keiner Interferenzänderung, egal wie schnell sich ein System gegenüber dem ruhenden Bezugssystem bewegt.

Da das Michelson-Morley-Experiment auf atomphysikalische Vorgänge übertragen werden kann, erlaubt dieser Ansatz nicht nur eine mathematische sondern auch allgemeinverständliche Erklärung für die beiden wesentlichen Phänomene der SRT, die Längenkontraktion und die Zeitdilatation. Der Vorteil dieses Lösungsansatzes besteht darin, dass er die bisherigen Widersprüche von SRT und Äthertheorie beseitigt, ohne dabei die Gültigkeit und die mathematischen Grundlagen der SRT in Frage zu stellen.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Inhaltsverzeichnis	3
Einleitung	4
Das Michelson-Morley-Experiment	4
Beweise für die Gültigkeit der SRT	5
Widersprüche der SRT	6
Relativistische Berechnung des Michelson-Morley-Experiments	8
Eingangsbedingungen	8
Perspektive IV: klassische Berechnung der Wellenmaxima	10
Perspektive IV: Berücksichtigung der Längenkontraktion	12
Perspektive IV: Berücksichtigung der Zeitdilatation	13
Perspektive II: Transformation senkrecht zur Bewegungsrichtung	14
Möglichkeit einer richtungsabhängigen Lichtgeschwindigkeit	17
Perspektive IV: Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit aus Sicht des ruhenden Betrachters	17
Perspektive V: Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit aus Sicht des bewegten Betrachters	19
Ermittlung der Anzahl der Wellenmaxima je Richtung für Perspektive IV und Perspektive V:	21
Transformationstabelle für alle Betrachterperspektiven	22
Experimenteller Nachweis	24
Erklärung der SRT mit Hilfe des Michelson-Morley-Experiments	25
Fazit	28
Literaturverzeichnis	30

Einleitung

Der vorliegende Artikel basiert auf dem Versuch, zum 100-sten Jahrestag der speziellen Relativitätstheorie SRT, eine virtuelle Welt zu entwickeln, die vollständig auf Einsteins Mathematik basiert. Dabei traten Widersprüche auf, die sich programmieretechnisch nicht lösen ließen. Erst die Einführung eines ruhenden Bezugssystems konnte diese Widersprüche beheben.

Im Folgenden wird gezeigt, dass ein solches bevorzugtes, ruhendes Bezugssystem durchaus mit der Mathematik der speziellen Relativitätstheorie SRT vereinbar ist. Anhand der relativistischen Berechnung des Michelson-Morley-Experiments wird nachgewiesen, dass es trotz Annahme eines ruhenden Bezugssystems zu keinerlei Interferenzänderungen kommen kann. Dabei wird die bisherige Unvereinbarkeit von SRT und Äthertheorie aufgelöst, ohne dabei die Gültigkeit und die mathematischen Grundlagen der SRT in Frage zu stellen. Es wird somit ein 100-jähriger Wissenschaftsstreit beendet.

Das Michelson-Morley-Experiment

Bis zum Jahr 1887 war die Wissenschaftsgemeinde der festen Überzeugung, dass sich Lichtwellen wie jede andere Welle in einem Medium ausbreiten. Dieses Medium sollte masselos und als ruhendes Bezugssystem das gesamte Universum ausfüllen und wurde als Äther bezeichnet. 1887 machten die beiden Physiker Albert Abraham Michelson und Edward Morley daran, die Existenz dieses Äthers nachzuweisen. Sie wollten die Relativgeschwindigkeit, mit der sich die Erde durch den Äther bewegt, messen. Dabei gingen sie davon aus, dass die Lichtgeschwindigkeit in Bewegungsrichtung der Erde um die Erdgeschwindigkeit geringer und in Gegenrichtung um diese Geschwindigkeit höher ist. Ganz so, wie ein Fahrradfahrer im Gegensatz zu einem Fußgänger einen

Rückenwind kaum wahrnimmt, ihm der Gegenwind jedoch wesentlich schneller ins Gesicht weht.

Da es zur Zeit des Versuchs nicht möglich war, die Lichtgeschwindigkeit in eine Richtung zu bestimmen, versuchten Michelson und Morley diese Geschwindigkeitsunterschiede indirekt zu bestimmen. Dafür bauten sie auf einer auf Quecksilber schwimmenden Steinplatte einen Versuch auf, bei dem ein monochromatischer Lichtstrahl über Spiegel im rechten Winkel aufgespalten und reflektiert wurde. Kleinste Veränderungen an der Geschwindigkeit der Lichtstrahlen sollten zu Veränderungen von Interferenzmustern auf einem Beobachtungsschirm führen.

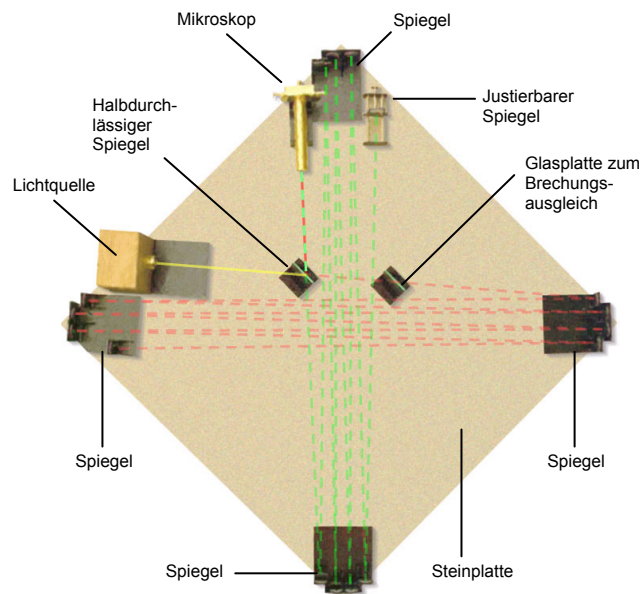
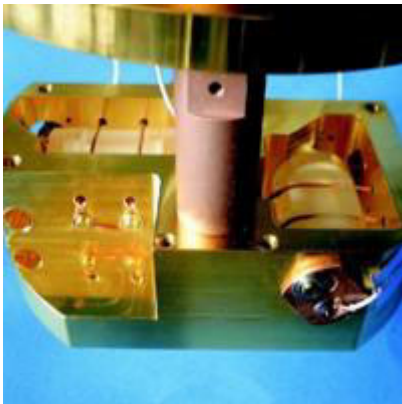


Abb. 1 Aufbau des historischen Michelson-Morley Experiments: Ein aufgespalteater Lichtstrahl wird über unterschiedliche Wege gespiegelt und in einem Mikroskop wieder zusammengeführt.

Durch Drehen der gesamten Versuchsanordnung sollten sich genau diese Veränderungen ergeben. Doch entgegen der vorherrschenden Theorie geschah nichts. [1] Es war, als würde sich das Licht in einem absolut ruhenden System ausbreiten und nicht auf einem Planeten, der mit über 100.000 km/h um die Sonne rast. Michelson und Morley versuchten eine Interpretation für diesen Effekt zu finden, doch erst Einstein gelang es 1905 mit seiner speziellen Relativitätstheorie ein stimmiges Modell zu liefern, das alle gleichförmig bewegten Systeme gegeneinander als gleichwertig postuliert. Alle Naturkonstanten sind dabei unabhängig von der Geschwindigkeit des betrachteten Systems konstant, selbst die Lichtgeschwindigkeit. Ein ruhender Äther als Bezugssystem wurde damit überflüssig.

Da die SRT jedoch seit ihrer Veröffentlichung massiven Anfeindungen ausgesetzt ist, wurde das Michelson-Morley-Experiment regelmäßig wiederholt und verfeinert. In einer Arbeitsgruppe an der Humboldt-Universität zu Berlin wird seit Oktober 2002 das Michelson-Morley-Experiment mit bisher unerreichter Genauigkeit experimentell



Das Herzstück des neuen Michelson-Morley Experiments: Vergoldete Halterung mit zwei optischen Resonatoren aus Saphir. Foto: Humboldt-Universität / idw

bestätigt. Die Gruppe um Professor Achim Peters misst in ihrem Experiment die Laufzeit eines Lichtstrahles, der in einem evakuierten optischen Resonator etwa 100.000-mal reflektiert wird. Dieser Resonator besteht aus zwei hochgenauen Saphirspiegeln, die, um störende Schwankungen des Spiegelabstandes zu vermeiden, auf minus 269 Grad Celsius abgekühlt sind. Bei dem Vergleich zweier senkrecht zueinander angeordneter Resonatoren müssten auch kleinste Abweichungen von der SRT messbar werden. Die häufigsten Kritikpunkte an der Gültigkeit der Messergebnisse von Michelson und Morley, wie zu geringe Messgenauigkeit, eine Mitführung der Lichtwellen durch das Trägermedium Luft oder auch eine teilweise Mitführung des Äthers durch das Gravitationsfeld der Erde, können somit ausgeschlossen werden. [2]

Beweise für die Gültigkeit der SRT

Neben den unbestreitbaren Ergebnissen des Michelson-Morley-Experiments gibt es für die umstrittenste Kernaussage der SRT, die Zeitdilatation, ebenfalls eindeutige Beweise.

Bereits 1963 konnten die Wissenschaftler Frisch und Smith anhand eines Myonen-Zählversuchs indirekt die Zeitdilatation nachweisen. Die Myonen entstehen in ca. 15km Höhe und haben nahezu Lichtgeschwindigkeit ($0,9994c$). Bei einer Halbwertszeit von nur $1,5\mu\text{s}$ würden nach herkömmlicher Rechnung $\tau = s \cdot t$ bereits nach 450m nur mehr die Hälfte der Myonen existieren, was bedeutet, dass auf der Erdoberfläche so gut wie keine Myonen mehr nachgewiesen werden könnten. Ganz anders sind die Ergebnisse unter Berücksichtigung der Formel für die Zeitdilatation, bei der die Zeit um den γ -Faktor gedehnt wird:

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

Gleichung 1

Wobei t für die Halbwertszeit aus Sicht des Beobachters, t' für die Halbwertszeit aus Sicht des Myons, v für die Geschwindigkeit des Myons und c für die Lichtgeschwindigkeit (299.792,458km/s) stehen.

Statt nur $t' = 1,5\mu\text{s}$ zu leben überdauert ein schnelles Myon eine Halbwertszeit von $t = 43,3\mu\text{s}$ und kann in dieser Zeit ca. 13km zurücklegen. Aus diesem Grund erreicht nahezu die Hälfte der Myonen, die in der oberen Atmosphäre entstehen, die Erdoberfläche. [3]

Zum besseren Nachweis werden im europäischen Kernforschungszentrum CERN bei Genf künstlich Myonen erzeugt und in einem speziellen Speicherring aufbewahrt. Die mit nahezu Lichtgeschwindigkeit fliegenden Myonen werden dabei von einem starken Magnetfeld auf einer Kreisbahn gehalten. Zerfällt ein Myon, so entsteht ein Elektron, das leichter ist als das Myon. Das Elektron wird von einem Zähler aufgefangen und auf diese Weise der Zerfall des Myons indirekt nachgewiesen. [4] Die sich daraus errechnende Halbwertszeit für ein Myon mit nahezu Lichtgeschwindigkeit stimmt mit einem Fehler von 1% mit der Formel für die Zeitdilatation überein.

Noch direkter ist der Nachweis für die Zeitdilatation den 1971 die amerikanischen Physiker Hafele und Keating an Bord von Linienflugzeugen erbrachten. Bei Messungen mit Atomuhren stellte sich heraus, dass auch diese entsprechend der Formel für die Zeitdilatation langsamer liefen, als vergleichbare Uhren am Erdboden. [5]

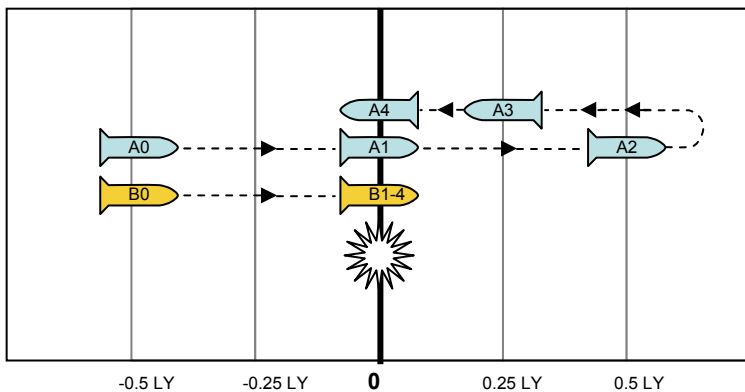
Neben diesen eindeutigen Belegen für die Richtigkeit der SRT wird sie heute in praktischen Anwendungen wie Atomuhren oder dem Satellitennavigationssystem GPS berücksichtigt, um die nötigen Zeit- und Positionsgenauigkeiten zu erreichen.

Widersprüche der SRT

Doch trotz der überwältigenden Beweislast ist die SRT auch von einem massiven Widerspruch behaftet.

Beispielsweise ist bei der Computersimulation eines relativistischen Universums ein festes Bezugssystem nötig, um bei der Berechnung des Zwillingsparadoxons nach Einstein nicht völlig absurde Ergebnisse zu erhalten. Im Allgemeinen wird zwar angeführt, dass bei der Berechnung des Zwillingsparadoxons ein Raumschiff gegenüber der Erde kein gleichberechtigtes Inertialsystem sei, da das Raumschiff mehreren Beschleunigungsphasen unterworfen ist. Doch sobald man eine virtuelle Welt mit mehreren Raumschiffen und unterschiedlich bewegten Sternsystemen berechnen möchte, hilft diese Aussage auch nicht weiter. Ein simples Beispiel soll das verdeutlichen:

Zwei Raumschiffe bewegen sich mit 50% Lichtgeschwindigkeit. Nach einem Jahr erreichen beide einen Fixstern (es könnte sich hierbei aber auch um ein drittes Raumschiff handeln). Raumschiff B bremst schlagartig auf Null ab. Ein weiteres Jahr danach bremst auch Raumschiff A ab und fliegt zwei Jahre lang mit 25% Lichtgeschwindigkeit zurück zu Raumschiff B. Beim Uhrenvergleich nach vier Jahren stellen die Bewohner des Sternsystems gemäß SRT fest, dass in Raumschiff A 3,67 Jahre und in Raumschiff B 3,87 Jahre vergangen sind.



danach bremst auch Raumschiff A ab und fliegt zwei Jahre lang mit 25% Lichtgeschwindigkeit zurück zu Raumschiff B. Beim Uhrenvergleich nach vier Jahren stellen die Bewohner des Sternsystems gemäß SRT fest, dass in Raumschiff A 3,67 Jahre und in Raumschiff B 3,87 Jahre vergangen sind.

Abb. 3 Uhrenvergleich mit einem Fixstern als Bezugssystem

Aus Sicht der Raumschiffe sieht die Situation jedoch anders aus. Während sie ein Jahr lang bewegungslos im Raum liegen, nähert sich ein Fixstern mit 50% Lichtgeschwindigkeit an. Wenn sie der Fixstern erreicht hat, nimmt Raumschiff B Fahrt mit 50% Lichtgeschwindigkeit auf und begleitet den Fixstern. Nach einem weiteren Jahr nimmt auch Raumschiff A Fahrt auf. Um den Fixstern einzuholen, der sich ja konstant mit 50% Lichtgeschwindigkeit entfernt, beginnt Raumschiff A nun mit 75% Lichtgeschwindigkeit nachzueilen. Im 4. Jahr erreicht Raumschiff A den Fixstern. Wird nun aus Sicht der beiden Raumschiffe die Formel für die Zeitdilatation angewandt, stellen die Besatzungsmitglieder der Raumschiffe fest, dass in Raumschiff A 3,32 Jahre, in Raumschiff B 3,60 Jahre und auf dem Stern lediglich 3,46 Jahre vergangen sind.

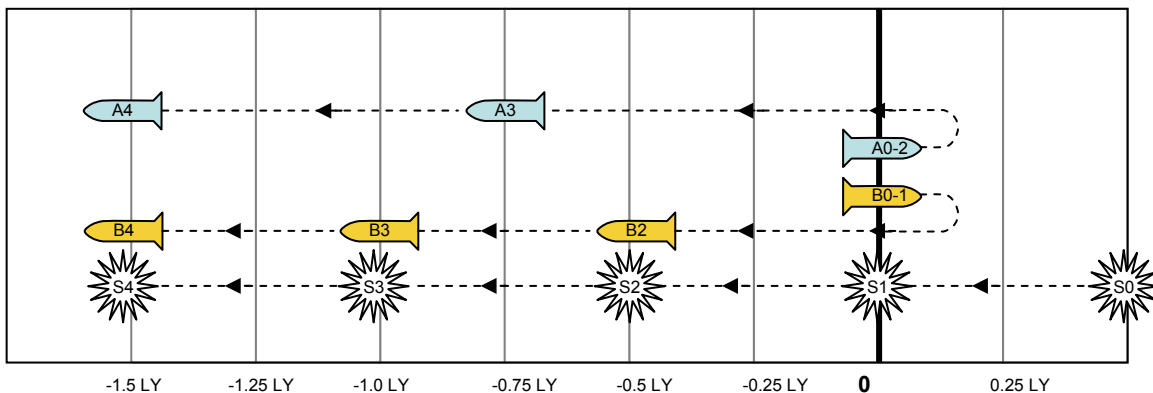


Abb. 4 Uhrenvergleich mit Raumschiff A als Bezugssystem

Erst durch die Einführung eines gemeinsamen Bezugssystems, das letztendlich dem durch die SRT überflüssig gemachten Äther entspricht, können solche Inkonsistenzen behoben werden.

Und auch Einstein selbst sagte in einer Rede am 5. Mai 1920 an der Reichsuniversität Leiden: "Über die Rolle, welche der neue Äther im physikalischen Weltbild der Zukunft

zu spielen berufen ist, sind wir noch nicht im Klaren. Wir wissen, dass er die metrischen Beziehungen im raum-zeitlichen Kontinuum, z. B. die Konfigurationsmöglichkeiten fester Körper sowie die Gravitationsfelder bestimmt; aber wir wissen nicht, ob er am Aufbau der die Materie konstituierenden elektrischen Elementarteilchen einen wesentlichen Anteil hat. [...] Gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Raum ohne Äther undenkbar." [6]

Dass es offensichtlich einen solchen Äther tatsächlich gibt wurde 1965 nachgewiesen. Damals entdeckten Arno Penzias und Robert Wilson von den Bell-Telephone-Laboratories ein Hintergrundrauschen mit einer Energie von 3 Grad Kelvin. Heutzutage geht man davon aus, dass diese Hintergrundstrahlung auf den Urknall bei der Entstehung des Universums zurückgeht. 1976 und 1977 wollten Richard Muller und seine Mitarbeiter diese 3-K-Radioenergie mit höchster Präzision messen. Um möglichst alle erdnahen Störquellen auszuschließen führten sie ihre Versuche an Bord eines U2-Flugzeuges hoch oben in der Erdatmosphäre durch. Dabei entdeckten sie, dass die 3-K-Radioenergie in Richtung Sternbild Löwe stark rotverschoben war. Sie führten das auf den Dopplereffekt gegenüber der 3K-Radioenergie zurück. Bei einer gleichmäßig im Universum vorhandenen Strahlung wie dem Hintergrundrauschen kann anhand der Rot- bzw. Blauverschiebung ermittelt werden, wie schnell und in welcher Richtung sich ein Objekt gegenüber diesem Bezugssystem bewegt. Die Wissenschaftler leiteten aus diesem Effekt ab, dass sich die Erde nicht nur mit ca. 30km/s um die Sonne bewegt, sondern, dass die gesamte Milchstraße mit knapp 650km/s von einem imaginären Zentrum wegrast. [7]

Würde ein Raumschiff nun so lange seine Geschwindigkeit korrigieren, bis man die 3-K-Radioenergie in alle Richtungen völlig gleich sieht, so würde es gegenüber dem kosmischen Bezugssystem ruhen. Gemäß der SRT dürfte hier keine Zeitdilatation auftreten und ein Zwilling würde hier im Vergleich zu anders bewegten Brüdern am schnellsten altern.

Relativistische Berechnung des Michelson-Morley-Experiments

Wie gezeigt gibt es sowohl für die SRT, als auch die Äthertheorie experimentelle Bestätigungen. Darüber hinaus sind auch beide Theorien notwendig, um alle in unserem Universum auftretenden Effekte gleichmäßig bewegter Systeme beschreiben zu können. Was jedoch fehlt ist ein Modell, das die SRT, die Ergebnisse des Michelson-Morley-Experiments, als auch die Äthertheorie in Einklang zueinander bringt.

Das Prinzip des Michelson-Morley-Experiments basiert auf der Überlegung, dass sich ein Lichtstrahl quer zur Bewegungsrichtung wie in einem unbewegten System ausbreitet, in Bewegungsrichtung jedoch die Eigengeschwindigkeit des gesamten Systems den Versuch beeinflusst. Wie sich diese Veränderungen tatsächlich auswirken, kann durch Anwendung der Lorentz-Transformation auf die klassische Berechnung des Versuchs gezeigt werden.

Eingangsbedingungen

Obwohl sich die möglichen Effekte im Michelson-Morley-Experiment mit einfachen mathematischen Gleichungen darstellen lassen, schleichen sich jedoch leicht Fehler bei den Transformationsberechnungen ein. Dies liegt daran, dass fünf verschiedene

Betrachterperspektiven unterschieden werden müssen. Zum einen das absolut ruhende System. Dann für muss für das bewegte System sowohl der Strahlengang, der sich parallel zur Bewegung ausbreitet, aus Sicht des bewegten als auch des ruhenden Betrachters untersucht werden. Und schließlich muss auch noch der Strahlengang, der sich senkrecht zur Bewegungsrichtung ausbreitet, aus bewegter und ruhender Sicht betrachtet werden. Hinzu kommt noch, dass zwischen dem Spiegelabstand (=Länge l) und der tatsächlichen Strecke s , die ein Lichtstrahl gegenüber dem ruhenden System zu überbrücken hat, unterschieden werden muss.

Es ergibt sich somit folgende Transformationstabelle, wobei die im Michelson-Morley-Experiment überprüfaren Parameter farbig hinterlegt sind:

		Bewegtes System				
		I. ruhendes System	Senkrecht zur Bewegung		Parallel zur Bewegung	
			II. ruhender Betrachter	III. bewegter Betrachter	IV. ruhender Betrachter	V. bewegter Betrachter
1	Lichtgeschwindigkeit	c	c	c	c	c
2	Geschwindigkeit	v	v	v	v	v
3	Länge	l_0	l_H	l_T	l_V	l_M
4	Strahlstrecke hin und her	s_0	s_H	s_T	s_V	s_M
5	Strahlstrecke hin	s_1	s_{H1}	s_{T1}	s_{V1}	s_{M1}
6	Strahlstrecke her	s_2	s_{H2}	s_{T2}	s_{V2}	s_{M2}
7	Strahllaufzeit hin und her	t_0	t_H	t_T	t_V	t_M
8	Strahllaufzeit hin	t_1	t_{H1}	t_{T1}	t_{V1}	t_{M1}
9	Strahllaufzeit her	t_2	t_{H2}	t_{T2}	t_{V2}	t_{M2}
10	Relatives c in beide Richtungen	c_0	c_H	c_T	c_V	c_M
11	Relatives c in Strahlrichtung	c_1	c_{H1}	c_{T1}	c_{V1}	c_{M1}
12	Relatives c gegen Strahlrichtung	c_2	c_{H2}	c_{T2}	c_{V2}	c_{M2}
13	Emissionsfrequenz \neq Dopplerfrequenz	f_0	f_H	f_T	f_V	f_M
14	Anzahl Wellenmaxima hin u. her	N_0	N_H	N_T	N_V	N_M
15	Anzahl Wellenmaxima hin	N_1	N_{H1}	N_{T1}	N_{V1}	N_{M1}
16	Anzahl Wellenmaxima her	N_2	N_{H2}	N_{T2}	N_{V2}	N_{M2}
17	Wellenlänge λ hin	λ_1	λ_{H1}	λ_{T1}	λ_{V1}	λ_{M1}
18	Wellenlänge λ her	λ_2	λ_{H2}	λ_{T2}	λ_{V2}	λ_{M2}

Tabelle 1 Übersicht der Transformationsmöglichkeiten für das Michelson-Morley-Experiment

Beispielsweise haben aus Sicht des bewegten Beobachters die Abstände zwischen den Spiegeln entlang aber auch senkrecht zur Bewegungsrichtung, die gleiche Länge l_0 . Eine mögliche Längenkontraktion auf die Länge l_v kann lediglich der außen stehende Beobachter in Bewegungsrichtung messen. Das bedeutet jedoch nicht, dass es sich hierbei lediglich um eine optische Täuschung handelt. Vielmehr verkürzen sich in Bewegungsrichtung alle Maßstäbe gleichförmig, so beispielsweise auch die Messlatte, mit der der bewegte Beobachter versucht die Längenkontraktion zu messen.

Um nachweisen zu können, dass sowohl die SRT als auch ein Äthermodell mit einem absolut ruhendem Bezugssystem gleichermaßen gültig sind, muss für beide Modelle gelten, dass es beim Michelson-Morley-Experiment zu keinem Zeitpunkt zu messbaren Interferenzänderungen kommen kann. Diese Bedingung wird dann erfüllt, wenn die Anzahl von Wellenmaxima über die gesamt durchlaufene Strahlenstrecke immer konstant bleibt, unabhängig davon, wie schnell sich ein System bewegt, in welche Richtung es sich bewegt und welcher Betrachterstandpunkt eingenommen wird. Es muss also gelten: $N_0 = N_v = N_H$.

Zur besseren Übersichtlichkeit werden die im Folgenden aufgestellten Gleichungen nach der jeweiligen Betrachterperspektive (I-V) und der laufenden Parameternummer (1-18) durchnummeriert. Sollten mehrere Gleichungen den jeweiligen Parameter gleichermaßen beschreiben, so wird dies in einer zusätzlichen Klammer angegeben. So steht IV.14(3) für die dritte Gleichung mit der die Anzahl der Wellenmaxima in beide Richtungen beschrieben wird, wobei der Strahlengang parallel zur Bewegung aus einer ruhenden Perspektive betrachtet wird.

Perspektive IV: klassische Berechnung der Wellenmaxima

Sollte es ein absolut ruhendes Bezugssystem geben, so muss sich ein Lichtstrahl gegenüber einem bewegten System, je nach Bewegungsrichtung um die Geschwindigkeit v schneller, bzw. langsamer ausbreiten. Dies bedeutet, dass ein Lichtstrahl in Bewegungsrichtung längere Zeit benötigt um die Strecke l zu überbrücken:

$$t_{v1} = \frac{l_v}{c-v}$$

Parameter IV.8(1)

Analog dazu müssen sich die Geschwindigkeiten von Licht und bewegtem System in Gegenrichtung addieren, die Laufzeit des Strahls verkürzt sich entsprechend:

$$t_{v2} = \frac{l_v}{c+v}$$

Parameter IV.9(1)

Für beide Richtungen benötigt der Lichtstrahl die Zeit t_v die sich aus t_{v1} und t_{v2} berechnet:

$$t_v = t_{v1} + t_{v2} = \frac{l_v}{c-v} + \frac{l_v}{c+v}$$

Parameter IV.7(1)

Ähnlich wie bei der Lorentz-Transformation kann diese Gleichung so umgeformt werden, dass sie aus einem Anteil, der dem unbewegten System entspricht und einem variablen Faktor besteht:

$$\begin{aligned} t_v &= \frac{c+v}{c+v} \cdot \frac{l_v}{c-v} + \frac{c-v}{c-v} \cdot \frac{l_v}{c+v} = l_v \frac{c+v-v+c}{c^2+cv-cv+v^2} \\ &= l_v \frac{2c}{c^2-v^2} = \frac{2l_v}{c} \cdot \frac{c}{c-\frac{v^2}{c}} \\ \Rightarrow t_v &= \frac{2l_v}{c} \cdot \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \end{aligned}$$

Parameter IV.7(3)

Dabei ist auffällig, dass sich hier die Laufzeit des Lichtstrahls um den quadratischen γ -Faktor der Lorentz-Transformation verändert (siehe Gleichung 1).

Für alle Werte von $v > 0$ gilt dabei, dass $t_v > t_0$ wobei t_0 die Zeit ist, die ein Lichtstrahl benötigt um in einem ruhendem System die Strecke l in beide Richtungen zurückzulegen. Ist dies jedoch der Fall, so ist zu erwarten, dass die Symmetrie des Lichtstrahls gestört ist, was zu einer Verschiebung der Wellenmaxima und somit zu einer Veränderung der Interferenzmuster führt.

Mathematisch ausgedrückt bedeutet das, dass sich die Anzahl der Wellenmaxima über die gesamte Weglänge verändert. Im ruhenden System berechnet sich diese Anzahl aus der Frequenz f des monochromatischen Lichtstrahls sowie seiner Gesamtlaufzeit t_0 , bzw. aus der durchlaufenen Weglänge und der Lichtgeschwindigkeit:

$$N_0 = f_0 t_0$$

Parameter I.14(1)

Für das bewegte System gilt die verlängerte Gesamtlaufzeit t_v :

$$N_v = f_v t_v$$

Parameter IV.14(1)

Setzt man nun die Gleichungen für t_0 und t_v ein, so wird deutlich, dass in Bewegungsrichtung für alle $v > 0$ aufgrund der längeren Laufzeit mehr Wellenmaxima durchlaufen werden als quer zur Bewegungsrichtung. Hieraus sollte ein verändertes Interferenzmuster zu erwarten sein:

$$N_v = f_v \frac{2l_v}{c} \cdot \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \neq N_0 = f_0 \frac{2l_0}{c}$$

Setzt man als Wert für die Erdbewegung lediglich die 30.000 m/s ein, mit der sie sich erwiesenermaßen um die Sonne bewegt, so sollte sich bei einem 10m langen Versuchsaufbau und einer Wellenlänge von 600nm eine Verschiebung der Wellenmaxima um 0,33 Wellenlängen ergeben, nicht viel aber ausreichend um eine sichtbare Änderung des Interferenzmusters am Detektor auszuweisen.

Perspektive IV: Berücksichtigung der Längenkontraktion

Wie eingangs schon gezeigt, besteht jedoch kein Zweifel an der Gültigkeit der zwei Kernaussagen der SRT, nämlich der Zeitdilatation und der Längenkontraktion. Betrachten wir daher den Versuch aus relativistischer Sicht unter Einbeziehung aller gemessener Werte die wir auf ein ruhendes Bezugssystem transformieren. Zunächst müssen wir also die Verkürzung der Strecke l in Bewegungsrichtung gemäß der Formel für die Längenkontraktion berücksichtigen:

$$l_v = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Parameter IV.3

Dabei entspricht l_0 der ursprünglichen Strecke und l_v der neuen, aus Sicht des außen stehenden Beobachters verkürzten Strecke. Es ergibt sich eine neue Gleichung für die Gesamtlaufzeit in Bewegungsrichtung:

$$t_v = \frac{2l_v}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Parameter IV.7(3)

$$\begin{aligned} t_v &= l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{2}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ &= \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \end{aligned}$$

Nachdem der Bruch im Zähler und im Nenner mit dem Wurzelausdruck multipliziert wurde, kann der bisherige Nenner herausgekürzt werden. Es ergibt sich der γ -Faktor für die Zeitdilatation bei der Gesamtlaufzeit in Bewegungsrichtung:

$$\Rightarrow t_v = \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Parameter IV.7(4)

Obwohl nun die Längenkontraktion und die Zeitdilatation in die Berechnung für den Michelson-Morley-Versuch eingeflossen sind, ergibt sich jedoch für die Anzahl der Wellenmaxima noch immer eine Abweichung:

$$N_v = f_v \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \neq N_0 = f_0 \frac{2l_0}{c}$$

Setzt man in diese verbesserte Gleichung die Werte für die Erdbewegung ein, so sollte sich bei demselben 10m langen Versuchsaufbau und einer Wellenlänge von 600nm eine Verschiebung der Wellenmaxima um 0,17 Wellenlängen ergeben. Bei dem Versuchsaufbau von 1887 wäre eine solche Abweichung nur schwer zu messen gewesen, doch der neue Versuchsaufbau an der Humboldt-Universität in Berlin würde auch eine solch geringe Abweichung nachweisen.

Perspektive IV: Berücksichtigung der Zeitdilatation

Bei genauerer Untersuchung der obigen Gleichung stellt sich jedoch heraus, dass ein zeitabhängiger Faktor noch nicht gemäß der SRT kompensiert wurde, nämlich die Frequenz. D.h. in dem durch die Zeitdilatation verlangsamten System erscheint die Frequenz wie im Zeitraffer höher als aus Sicht eines ruhenden Beobachters. Berücksichtigen wir also die Frequenz f als inverse Funktion der Zeit, muss auch auf sie der inverse γ -Faktor für die Zeitdilatation angewandt werden:

$$\Rightarrow f_v = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Parameter IV.13

In die Gleichung für die Wellenmaxima eingesetzt ergibt sich folgendes Ergebnis:

$$N_v = f_v \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Es kürzen sich die beiden Kompensationsfaktoren heraus und es gilt sowohl für die Anzahl der Wellenmaxima in Bewegungsrichtung als auch im ruhenden System dazu die Gleichung:

$$N_v = f_0 \frac{2l_0}{c} = N_0 \quad \text{q.e.d.}$$

Parameter IV.14(2)

Das bedeutet, egal wie schnell sich ein Inertialsystem bewegt, es wird aus Sicht eines ruhenden Bezugssystems in Bewegungsrichtung immer die gleiche Anzahl an Wellenmaxima wie im ruhenden Zustand zu messen sein.

Perspektive II: Transformation senkrecht zur Bewegungsrichtung

Nun gilt es jedoch auch zu untersuchen, wie sich bei dieser Transformation die Wellenmaxima N_H senkrecht zur Bewegungsrichtung verhalten. Denn auch hierfür muss gelten $N_H = N_0$.

Da senkrecht zur Bewegungsrichtung keine Längenkontraktion auftritt, ist anzunehmen, dass folgende Gleichung gilt:

$$t_H = \frac{2l_0}{c}$$

Wobei t_H die Laufzeit ist, die der Lichtstrahl senkrecht hin und zurück benötigt. Die Anzahl der Wellenmaxima N_H errechnet sich aus:

$$N_H = f_H t_H$$

Parameter II.14(1)

Wobei f_H die Frequenz ist, mit der das Licht im bewegten System emittiert wird. Bei der Emissionsfrequenz handelt es sich nicht um die Dopplerfrequenz, die aufgrund der Laufzeitunterschiede gemessen wird, sondern um die Frequenz, mit der eine monochrome Strahlungsquelle Licht abgibt. Diese Frequenz muss jedoch innerhalb des gesamten bewegten Inertialsystems konstant sein. D.h. es gilt $f_H = f_v$:

$$f_H = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Parameter II.13

Berücksichtigen wir dies in Parameter II.14, so ergibt sich, dass es nun im Lichtstrahl, der sich senkrecht zur Bewegung ausbreitet, zu Interferenzänderungen kommt:

$$N_H = f_0 \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \neq N_0 = f_0 \frac{2l_0}{c}$$

Dieses Ergebnis ist überraschend, da sich eigentlich der senkrecht zur Bewegung laufende Lichtstrahl so verhalten sollte, wie im ruhenden System. Doch bei genauer Betrachtung stellt sich heraus, dass dem nicht so ist.

Zunächst muss davon ausgegangen werden, dass die Zeit für alle Richtungen eines Inertialsystems gleichermaßen verzögert wird und somit auch auf alle Achsen die Zeitdilatation angewandt werden muss. Doch betrachten wir den senkrecht zur Bewegung verlaufenden Lichtstrahl, so kommen wir zu einer paradoxen Problematik. Da senkrecht zur Bewegung keine Längenkontraktion auftritt, muss sowohl für den bewegten, als auch den unbewegten Betrachter folgende Gleichung gelten:

$$t_0 = \frac{2l_0}{c}$$

Parameter I.7

Wobei t_0 die Zeit ist, die ein Lichtstrahl mit seiner Geschwindigkeit c benötigt um die Weglänge l_0 in Vor- und Rückwärtsrichtung zu überbrücken.

Stellen wir uns nun für diesen Fall vor, dass sich eine 1500km lange Stange mit 99% der Lichtgeschwindigkeit quer durch den Raum bewegt. Am einen Ende der Stange sitzt ein Wissenschaftler mit einer Stoppuhr, am anderen Ende hat er einen Spiegel befestigt. Wenn die Stange eine Lichtquelle passiert, startet der Wissenschaftler seine Stoppuhr, wenn er am anderen Ende die Lichtquelle im Spiegel erblickt, hält er die Stoppuhr an.

Gemäß obiger Gleichung benötigt das Licht 0,01 Sekunden um die Gesamtstrecke von 3000km für beide Richtungen zu durchlaufen. Ein außen stehender Beobachter würde jedoch feststellen, dass alle Uhren auf dieser Stange um den Faktor 7 langsamer laufen als im unbewegten Raum. Eigentlich dürfte aus Sicht des Wissenschaftlers auf der Stange der Lichtstrahl daher nur 0,0014 Sekunden benötigen um die Strecke von 3000km zu durchlaufen. Des Rätsels Lösung liegt nun darin, dass sich während der, aus Sicht des mitreisenden Wissenschaftlers, 0,02 Sekunden dauernden Messung der Stab mit 99% der Lichtgeschwindigkeit weiterbewegt hat. Aus Sicht des unbewegten Beobachters wären das, die Zeitdilatation einberechnet, immerhin 0,14 Sekunden mit nahezu Lichtgeschwindigkeit. Der von unserem Wissenschaftler beobachtete Lichtstrahl muss also ein gleichschenkliges Dreieck mit einer Höhe von 3000km und einer Breite von 42.500km, also eine Strecke von knapp 43.000km, durchlaufen um wieder bei ihm anzukommen. Und genau dieser Effekt führt dazu, dass trotz langsamerer Uhren im bewegten System ein Lichtstrahl genau so lange für dieselbe Strecke wie im ruhenden System benötigt.

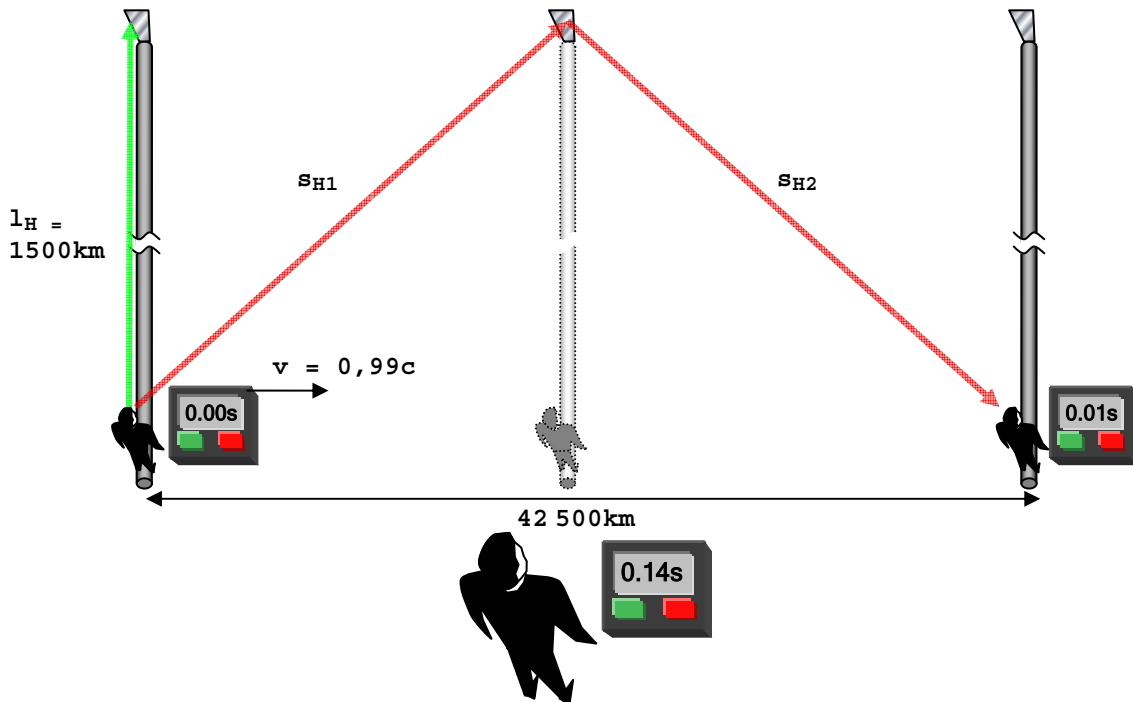


Abb. 4 Auch senkrecht zur Bewegungsrichtung wirkt die Zeitdilatation

Mathematisch ausgedrückt bedeutet das, dass senkrecht zur Bewegungsrichtung zwar auch die Zeitdilatation auftritt, aber die größeren Weglängen, die das Licht aufgrund der Bewegungsgeschwindigkeit zurücklegen muss, kompensieren diesen Effekt und beide

Betrachter werden trotz Zeitdilatation den gleichen Wert für die Lichtgeschwindigkeit erhalten. Was aber nicht aus der Gleichung für Parameter I.7 hervorgeht ist, dass ein Lichtstrahl, der von einem ruhenden Betrachter beobachtet wird, in Wirklichkeit eine längere Strecke s_H zurücklegen muss und dafür natürlich auch länger benötigt. Es ergeben sich daraus folgende Transformationen:

$$s_H = s_{H1} + s_{H2} = 2l_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Parameter II.4(1+2)

$$t_H = t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Parameter II.7(1)

$$t_H = \frac{s_H}{c}$$

Parameter II.7(2)

Wobei s_H die vergrößerte Weglänge und t_H die längere Zeitdauer aus Sicht des ruhenden Beobachters sind. Löst man diese Gleichungen nach t_0 auf, so ergibt sich wieder die Gleichung für Parameter I.7.

Verwenden wir nun diese neuen Gleichungen für die Berechnung der Wellenmaxima senkrecht zur Bewegungsrichtung, ergibt sich folgende Gleichung:

$$N_H = f_H t_H = f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} t_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Nach Herauskürzen des γ -Faktors ergibt sich auch für die Anzahl der Wellenmaxima senkrecht zur Bewegungsrichtung, dass diese identisch mit denen im ruhenden System ist:

$$N_H = f_0 t_0 = N_0 \quad \text{q.e.d.}$$

Parameter II.14(2)

Mit den bisherigen Transformationen konnte also gezeigt werden, dass aus Sicht eines unbewegten Betrachters unabhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit immer die gleiche Anzahl an Wellenmaxima gemessen werden kann. Doch wie steht es um die Anzahl an Wellenmaxima aus Sicht des bewegten Systems? Vergleichen wir einfach die Anzahl der errechneten Wellenmaxima mit den Schlaglöchern einer Straße. Es ist dabei gleichgültig, von welchem Betrachterstandpunkt aus beobachtet wird, über wie viele Schlaglöcher ein Auto rast. Sowohl der unbewegte Beobachter als auch der bewegte Beobachter werden die gleiche Anzahl an Schlaglöchern bzw. Wellenmaxima zählen.

Mit anderen Worten, in Systemen, auf die sowohl die SRT als auch das Äthermodell zutrifft, kann der Michelson-Morley-Versuch zu keinen Interferenzverschiebungen führen. Somit eignet sich dieser Versuch auch nicht, Aussagen darüber zu treffen, ob sich die Lichtgeschwindigkeit in eine Bewegungsrichtung schneller oder langsamer als im ruhenden System ausbreitet.

Möglichkeit einer richtungsabhängigen Lichtgeschwindigkeit

Nachdem gezeigt wurde, dass beim Michelson-Morley-Experiment aus relativistischer Sicht keine Interferenzveränderungen auftreten können, entfällt das bisher stärkste Argument gegen ein ruhendes Bezugssystem. Ein solches ruhendes Bezugssystem kann sowohl als Äther oder wie in der allgemeinen Relativitätstheorie auch als Raum-Zeit-Kontinuum bezeichnet werden.

Mit der Einführung eines bevorzugten Bezugssystems, in dem die Lichtgeschwindigkeit c in alle Ausbreitungsrichtungen konstant ist, wird es innerhalb des Systems möglich, eine rechnerische Gleichzeitigkeit zu definieren. Diese Gleichzeitigkeit entspricht natürlich nicht der optisch erlebbaren Gleichzeitigkeit des Alltagslebens. So wird ein Betrachter von einem absolut ruhenden Planeten aus weiterhin, je nach Entfernung zum beobachteten Objekt, nur ein Abbild aus dessen Vergangenheit zu Gesicht bekommen. Andererseits ist es aber möglich, zwischen zwei dieser ruhenden Planeten Atomuhren aufgrund der Einbeziehung relativistischer Signallaufzeiten zu synchronisieren.

Im Folgenden soll untersucht werden, welche Konsequenzen sich aus der Verknüpfung von SRT und Äthertheorie für die Messung der Lichtgeschwindigkeit aus Sicht des ruhenden Bezugssystems und aus Sicht eines bewegten Systems ergeben.

Perspektive IV: Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit aus Sicht des ruhenden Betrachters

Zunächst stellt sich die Frage, wie sich ein Lichtstrahl verhält, der sich entlang eines fliegenden Pfeils ausbreitet. Aus Sicht des ruhenden Betrachters muss der Lichtstrahl sich konstant mit c ausbreiten. Da sich aber der Pfeil mit der Geschwindigkeit v mit dem Lichtstrahl mitbewegt, muss der Lichtstrahl eine längere Strecke s_{v1} zurücklegen, bis er an der Spitze des Pfeils ankommt. Diese Strahlstrecke s_{v1} berechnet sich aus der Länge des Pfeils l_v und der Strecke, um die sich der Pfeil während der Strahllaufzeit t_{v1} weiterbewegt hat:

$$s_{v1} = l_v + t_{v1}v \quad \text{Parameter IV.5(1)}$$

Ein Lichtstrahl, der dem Pfeil entgegenkommt, erreicht etwas früher das Ende des Pfeils, da die Strahlstrecke s_{v2} um den entsprechenden Weg verkürzt wird, den der Pfeil während der Strahllaufzeit t_{v2} zurückgelegt hat:

$$s_{v2} = l_v - t_{v2}v \quad \text{Parameter IV.6(1)}$$

Dabei errechnen sich die Zeiten t_{v1} und t_{v2} aus der Strahlstrecke und der Lichtgeschwindigkeit:

$$t_{v1} = \frac{s_{v1}}{c} \quad \text{Parameter IV.8(2)}$$

$$t_{v2} = \frac{s_{v2}}{c}$$

Parameter IV.9(2)

Werden nun die Laufzeiten in die Gleichungen für s_{v1} und s_{v2} eingesetzt, so ergeben sich folgende neue Gleichungen:

$$s_{v1} = l_v \cdot \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$$

Parameter IV.5(2)

$$s_{v2} = l_v \cdot \frac{1}{1 + \frac{v}{c}}$$

Parameter IV.6(2)

Daraus lässt sich nun die Gesamtstrahlänge s_v ermitteln:

$$s_v = s_{v1} + s_{v2} = l_v \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{v}{c}} + \frac{1}{1 + \frac{v}{c}} \right)$$

$$\Rightarrow s_v = 2l_v \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Parameter IV.4

Nachdem nun die Strahlstrecken bekannt sind, lassen sich daraus die eingangs bereits postulierten Gleichungen für die Strahllaufzeiten aufstellen:

$$t_{v1} = \frac{l_v}{c-v} = \frac{l_0}{c-v} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Parameter IV.8(1)

In Gegenrichtung ergibt sich analog:

$$t_{v2} = \frac{l_v}{c+v} = \frac{l_0}{c+v} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Parameter IV.9(1)

Werden diese beiden Zeiten addiert, die ein Lichtstrahl benötigt um sich in und entgegen der Bewegungsrichtung auszubreiten, ergibt sich wieder die unstrittige Formel der Lorentz-Transformation:

$$t_v = t_{v1} + t_{v2} = \frac{l_v}{c-v} + \frac{l_v}{c+v} = \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Parameter IV.7(4)

Das bedeutet, mit einer entsprechenden Erweiterung der SRT wäre es mathematisch zulässig, für die Einzelrichtungen unterschiedliche Zeiten anzunehmen, mit der ein Lichtstrahl die Strecke l_v überbrückt.

Aus diesen unterschiedlichen Zeiten errechnen sich relative Geschwindigkeiten für c_v , die entlang der Strecke l_0 gemessen werden können:

$$c_{v1} = \frac{l_v}{t_{v1}} = c - v \quad \text{Parameter IV.10(1+2)}$$

$$c_{v2} = \frac{l_v}{t_{v2}} = c + v \quad \text{Parameter IV.11(1+2)}$$

In beide Richtungen ergibt sich aus Parameter IV.7(4) analog dazu folgende Gleichung:

$$c_v = \frac{2l_v}{t_v} = \frac{2l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}} = c \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right) \quad \text{Parameter IV.10(1+2)}$$

Das bedeutet, dass aus Sicht des ruhenden Betrachters entlang des Pfeils eine relative Lichtgeschwindigkeit in beide Richtungen gemessen wird, die deutlich von c abweicht.

Perspektive V: Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit aus Sicht des bewegten Betrachters

Für den bewegten Betrachter in Perspektive V ergibt sich die relative Lichtgeschwindigkeit aus der Länge des Pfeils und der Zeit, die der Lichtstrahl benötigt den Pfeil in beide Richtungen zu passieren:

$$c_M = \frac{2l_M}{t_M} \quad \text{Parameter V.10(1)}$$

Dabei lassen sich die Pfeillänge l_M und die Strahllaufzeit t_M mit Hilfe des Korrekturfaktors Gamma aus Perspektive IV ableiten:

$$l_M = l_v \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{Parameter V.3(1)}$$

$$t_M = t_v \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{Parameter V.7(1)}$$

Somit ergibt sich für c_M folgende Gleichung:

$$c_M = \frac{2l_V}{t_V} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = c \cdot \frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = c$$

Das bedeutet für den bewegten Beobachter, dass die relative Lichtgeschwindigkeit entlang des Pfeils in beide Richtungen in Summe identisch ist mit c . Dabei erfolgt die Transformation der relativen Lichtgeschwindigkeit von Perspektive IV nach Perspektive V durch Multiplikation mit dem quadratischen Korrekturfaktor Gamma γ^2 .

Für die Einzelrichtungen ergeben sich somit folgende Transformationen:

$$c_{M1} = c_{v1} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = (c - v) \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{Parameter V.11(2)}$$

$$c_{M2} = c_{v2} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = (c + v) \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{Parameter V.12(2)}$$

Es muss daher auch für den bewegten Beobachter in den Einzelrichtungen eine Abweichung der relativen Lichtgeschwindigkeit von c messbar sein.

Ermittlung der Anzahl der Wellenmaxima je Richtung für Perspektive IV und Perspektive V:

Warum diese Abweichung im Michelson-Morley-Experiment nicht messbar ist, soll im Folgenden nochmals genauer analysiert werden.

Die Gleichungen für die einzelnen Wellenmaxima leiten sich folgendermaßen her:

$$N_{V1} = \frac{f_V s_{V1}}{c} = \frac{f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c} \cdot \frac{l_V}{1 - \frac{v}{c}} = \frac{f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c} \cdot \frac{l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v}{c}}$$

$$N_{V1} = \frac{f_0 l_0}{c - v} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Parameter IV.15(2)

$$N_{V2} = \frac{f_V s_{V2}}{c} = \frac{f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c} \cdot \frac{l_V}{1 + \frac{v}{c}} = \frac{f_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{c} \cdot \frac{l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c}}$$

$$N_{V2} = \frac{f_0 l_0}{c + v} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Parameter IV.16(2)

Dabei wird deutlich, dass sich die Wellenmaxima je nach Bewegungsrichtung um den quadratischen Gammafaktor und die relative Lichtgeschwindigkeit vom ruhenden System unterscheiden. Werden die beiden Gleichungen addiert, ergibt sich wieder der für alle Perspektiven konstante Wert an Wellenmaxima für beide Richtungen:

$$N_V = N_{V1} + N_{V2} = \left(\frac{f_0 l_0}{c - v} + \frac{f_0 l_0}{c + v} \right) \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

$$N_V = f_0 l_0 \left(\frac{2c}{c^2 - v^2} \cdot \frac{c^2 - v^2}{c^2} \right) = \frac{f_0 2l_0}{c}$$

Parameter IV.14(2)

Genau das gleiche Ergebnis ergibt sich nach Einsetzen der Werte für $f_m = f_0$ und $s_{M1} = s_{V1} / \gamma$ für die Wellenmaxima aus Sicht des bewegten Systems in Perspektive V:

$$N_{M1} = \frac{f_M s_{M1}}{c} = \frac{f_0 l_0}{c - v} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Parameter V.15(1+2)

$$N_{M2} = \frac{f_M s_{M2}}{c} = \frac{f_0 l_0}{c + v} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Parameter V.16(1+2)

Zwar konnte eingangs gezeigt werden, dass die Summe der Wellenmaxima für alle Betrachterebenen gleich ist, doch es ist überraschend, dass eine unterschiedliche Anzahl von Wellenmaxima je nach Strahlrichtung im Michelson-Morley-Experiment zu keinen messbaren Interferenzen führt. Die folgende grafische Darstellung zeigt auf, dass trotz dieser Unterschiede ein Wellenzug aus Sicht des bewegten Betrachters für seinen Weg hin und zurück sowohl die gleiche Laufzeit, die gleiche Anzahl an Wellenmaxima als auch die gleiche Phase (farbig hinterlegte Kreise) aufweist wie dies im ruhenden System zu erwarten ist. Das Beispiel zeigt zudem auf, dass dies in Einzelrichtung betrachtet, vereinbar ist mit abweichenden Werten für Strahllänge, Strahllaufzeit, Anzahl der Wellenmaxima und einer Phasenverschiebung bei der Reflexion auf der rechten Seite.

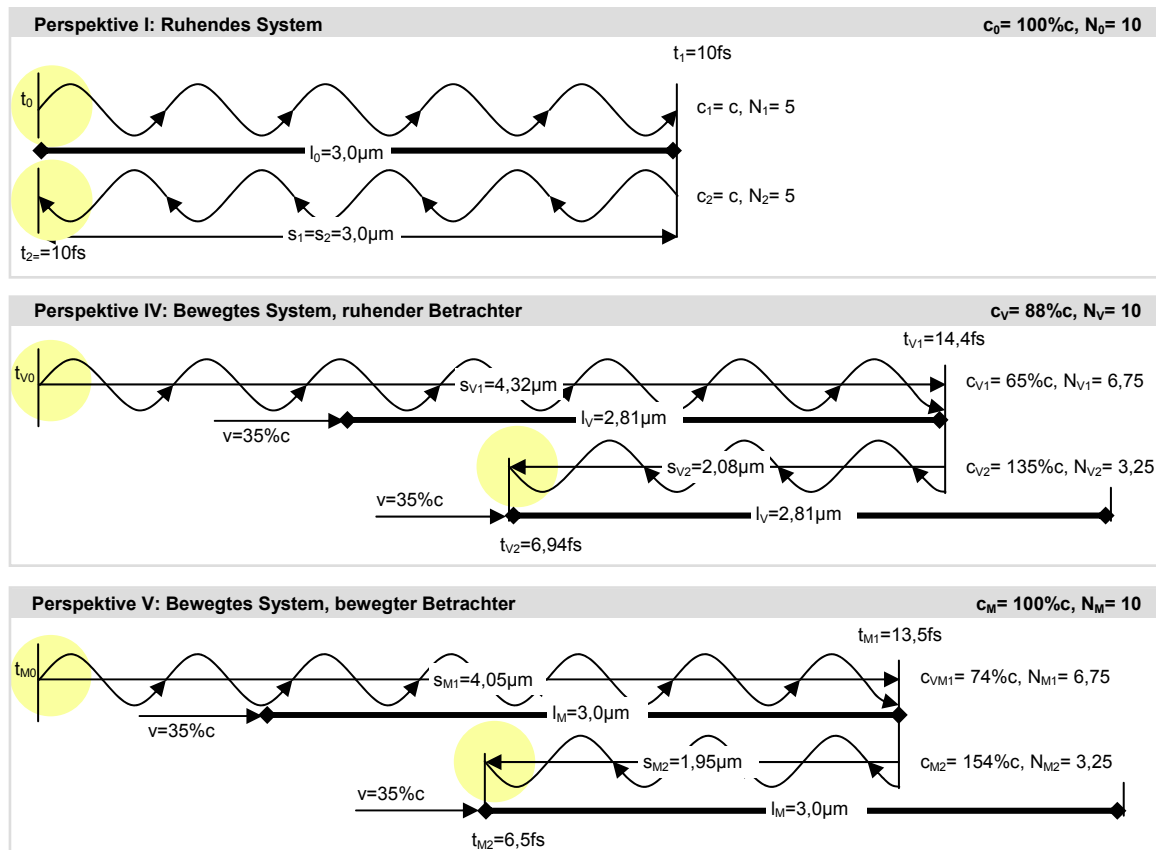


Abb. 5 Trotz unterschiedlicher relativer Lichtgeschwindigkeit für die Einzelstrecken ergibt sich für den bewegten Betrachter aus der Summe beider Richtungen eine stets konstante Anzahl der Wellenmaxima, sowie die Lichtgeschwindigkeit c

Transformationstabelle für alle Betrachterperspektiven

Nachdem für den ruhenden Betrachter alle wesentlichen Gleichungen bestimmt wurden, können diese auf die Perspektiven eines bewegten Betrachters transformiert werden. Werden Zahlenwerte, z.B. für die Bewegung der Erde, in die Transformationstabelle eingesetzt, so stellt sich heraus, dass ein Großteil der Ergebnisse mit dem ruhenden System übereinstimmt (hinterlegte Gleichungen). Lediglich die Werte für die Einzelrichtungen weichen davon ab.

		Bewegtes System				
		I. ruhendes System	Senkrecht zur Bewegung		Parallel zur Bewegung	
			II. ruhender Betrachter	III. bewegter Betrachter	IV. ruhender Betrachter	V. bewegter Betrachter
1	Lichtgeschwindigkeit	c	c	c	c	c
2	Geschwindigkeit	v	v	v	v	v
3	Länge	l_0	$l_H=l_0$	$l_T=l_0$	$l_V=l_0/\gamma$	$l_M=l_V*\gamma=l_0$
4	Strahlstrecke hin und her	$s_0=2l_0$	$s_H= s_{H1}+s_{H2}=2l_0*\gamma$	$s_T=s_H/\gamma$	$s_V=2l_V*1/(1-v^2/c^2)$	$s_M=s_V/\gamma$
5	Strahlstrecke hin	$s_1=l_0$	$s_{H1}=s_H/2$	$s_{T1}=s_{H1}/\gamma$	$s_{V1}=l_V+t_{V1}v= l_V*1/(1-v/c)$	$s_{M1}=s_{V1}/\gamma$
6	Strahlstrecke her	$s_2=l_0$	$s_{H2}=s_H/2$	$s_{T2}=s_{H2}/\gamma$	$s_{V2}=l_V-t_{V2}v= l_V*1/(1+v/c)$	$s_{M2}=s_{V2}/\gamma$
7	Strahllaufzeit hin und her	$t_0=2l_0/c$	$t_H=t_0*\gamma=s_H/c$	$t_T=t_H/\gamma=t_0$	$t_V=t_{V1}+t_{V2}=s_V/c=2l_V/c*1/(1-v^2/c^2)=2l_0/c*\gamma$	$t_M=t_V/\gamma=t_0$
8	Strahllaufzeit hin	$t_1=s_0/(2c)$	$t_{H1}=t_H/2$	$t_{T1}=t_{H1}/\gamma$	$t_{V1}=l_V/(c-v)=s_{V1}/c$	$t_{M1}=t_{V1}/\gamma$
9	Strahllaufzeit her	$t_2=s_0/(2c)$	$t_{H2}=t_H/2$	$t_{T2}=t_{H2}/\gamma$	$t_{V2}=l_V/(c+v)=s_{V2}/c$	$t_{M2}=t_{V2}/\gamma$
10	Relatives c in beide Richtungen	$c_0=c$	$c_H=2l_H/t_H$	$c_T=2l_T/t_T=c$	$c_V=2l_V/t_V=c*(1-v^2/c^2)$	$c_M=2l_M/t_M=c$
11	Relatives c in Strahlrichtung	$c_1=c$	$c_{H1}=l_H/t_{H1}$	$c_{T1}=l_T/t_{T1}$	$c_{V1}=l_V/t_{V1}=c-v$	$c_{M1}=l_M/t_{M1}=(c-v)*\gamma^2$
12	Relatives c gegen Strahlrichtung	$c_2=c$	$c_{H2}=l_H/t_{H2}$	$c_{T2}=l_T/t_{T2}$	$c_{V2}=l_V/t_{V2}=c+v$	$c_{M2}=l_M/t_{M2}=(c+v)*\gamma^2$
13	Emissionsfrequenz ≠ Dopplerfrequenz	$f_0=c/\lambda_1$	$f_H=f_0/\gamma$	$f_T=f_0$	$f_V=f_0/\gamma$	$f_M=f_0$
14	Anzahl Wellenmaxima hin u. her	$N_0=f_0t_0=f_02l_0/c$	$N_H=f_Ht_H=f_0t_0$	$N_T=N_{T1}+N_{T2}$	$N_V=f_Vt_V=f_02l_0/c=N_{V1}+N_{V2}$	$N_M=N_{M1}+N_{M2}$
15	Anzahl Wellenmaxima hin	$N_1=f_0/t_1$	$N_{H1}=f_H*s_{H1}/c$	$N_{T1}=f_T*s_{T1}/c$	$N_{V1}=f_V*s_{V1}/c=f_0l_0/(c-v)*1/\gamma^2$	$N_{M1}=f_M*s_{M1}/c=f_0l_0/(c-v)*1/\gamma^2$
16	Anzahl Wellenmaxima her	$N_2=f_0/t_2$	$N_{H2}=f_H*s_{H2}/c$	$N_{T2}=f_T*s_{T2}/c$	$N_{V2}=f_V*s_{V2}/c=f_0l_0/(c+v)*1/\gamma^2$	$N_{M2}=f_M*s_{M2}/c=f_0l_0/(c+v)*1/\gamma^2$
17	Wellenlänge λ hin	λ_1	$\lambda_{H1}=s_{H1}/N_{H1}=\lambda_1*\gamma$	$\lambda_{T1}=s_{T1}/N_{T1}$	$\lambda_{V1}=s_{V1}/N_{V1}=\lambda_1*\gamma$	$\lambda_{M1}=s_{M1}/N_{M1}$
18	Wellenlänge λ her	$\lambda_2=\lambda_1$	$\lambda_{H2}=s_{H2}/N_{H2}=\lambda_2*\gamma$	$\lambda_{T2}=s_{T2}/N_{T2}$	$\lambda_{V2}=s_{V2}/N_{V2}=\lambda_2*\gamma$	$\lambda_{M2}=s_{M2}/N_{M2}$
Korrekturfaktor γ		$\gamma=1/\sqrt{1-v^2/c^2}$				

Tabelle 2 Übersicht der Transformationsgleichungen der erweiterten speziellen Relativitätstheorie

Experimenteller Nachweis

Die um den Ätheransatz erweiterte SRT ist dann gültig, wenn die Lichtgeschwindigkeit je nach Bewegungsrichtung von c abweicht. Wie bereits gezeigt, eignet sich das Michelson-Interferometer nicht zu diesem Nachweis und auch andere klassische Interferometer sind hier ebenfalls ungeeignet. So lange lediglich ein Lichtstrahl durch Aufspaltung und Führung über unterschiedliche Wege zur Interferenz gebracht wird, kommt es zu den gezeigten Kompensationseffekten. Dies rührt daher, dass der Lichtstrahl immer eine geschlossene Figur mit allen Richtungsanteilen durchläuft und somit die Wellenmaxima unabhängig von der Bewegungsrichtung konstant bleiben. Lediglich ein Interferometer, das mit zwei unabhängigen Lichtquellen arbeitet, kann theoretisch je nach Richtung unterschiedliche Interferenzmuster bilden. Da jedoch der Aufwand sehr hoch ist, zwei unabhängige Lichtquellen so genau zu synchronisieren, dass es zu sichtbaren Interferenzen kommt, scheint die direkte Messung der Lichtgeschwindigkeit in die jeweilige Einzelrichtung praktikabler zu sein. Dies kann am einfachsten mit Hilfe von zwei weit entfernten, synchronisierten Atomuhren erfolgen, zwischen denen zum vereinbarten Zeitpunkt t ein Lichtstrahl in beide Richtungen geschickt wird. Sollten sich Unterschiede zwischen den beiden Laufzeiten t_{M1} und t_{M2} ergeben, so ist damit die Gültigkeit der erweiterten SRT erwiesen.

Wenn wir davon ausgehen, dass die Messungen von Richard Muller korrekt sind, und sich die Milchstraße mit 650km/s vom Sternbild Löwe entfernt, so müssten sich für einen 1km langen Versuchsaufbau folgende Zeiten t_{M1} und t_{M2} ergeben:

$$t_{M1} = \frac{1\text{km}}{299\,792\text{km/s} - 650\text{km/s}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{650\text{km/s}^2}{299\,792\text{km/s}^2}}} = 3,34287\mu\text{s}$$

$$t_{M2} = \frac{1\text{km}}{299\,792\text{km/s} + 650\text{km/s}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{650\text{km/s}^2}{299\,792\text{km/s}^2}}} = 3,32841\mu\text{s}$$

Das bedeutet, der Lichtstrahl, der in Richtung Sternbild Löwe geschickt wird, müsste um $14,46\text{ns}$ schneller den Versuchsaufbau durchheilen, als der entgegengesetzt gerichtete Lichtstrahl. Aufgrund der zu erwartenden deutlichen Abweichung dürfte sich dieser Effekt mit heutigen Meßmethoden eindeutig nachweisen lassen.

Erklärung der SRT mit Hilfe des Michelson-Morley-Experiments

Die relativistische Betrachtung des Michelson-Morley-Experiments eröffnet eine neue, leicht verständliche Erklärung für die Effekte der SRT. Wie bereits gezeigt, treten trotz hoher Relativgeschwindigkeit der Erde für einen bewegten Betrachter keinerlei direkt messbare Unterschiede zu einem unbewegten System auf. Anhand des Michelson-Morley-Versuchs konnte auch bewiesen werden, dass selbst die Frequenzgänge einer elektromagnetischen Strahlung für den mitbewegten Beobachter unverändert bleiben. Es kommt innerhalb des bewegten Systems auch zu keinerlei Rotverschiebungen oder Interferenzstörungen. Da dies für alle Kräfte gültig ist, die mit Lichtgeschwindigkeit übertragen werden, müssen auch alle Naturkonstanten, die darauf basieren, innerhalb eines linear bewegten Systems unverändert bleiben. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass sich Materie, egal wie schnell sie sich bewegt, immer gleich verhält. Wäre dem nicht so, so würden sich elektromagnetische und chemische Kräfte, die für die Bildung von Atomen und Molekülen verantwortlich sind, bei hohen Geschwindigkeiten so stark verändern, dass sowohl Atome, als auch Moleküle instabil würden. Die bekannte Materie wäre in einem Weltall, das der klassischen Äthertheorie entspricht, nur nahe dem absoluten Stillstand denkbar.

Trotzdem wollen wir uns dem Begriff der Längenkontraktion und der Zeitdilatation aus Sicht der klassischen Äthertheorie nähern.

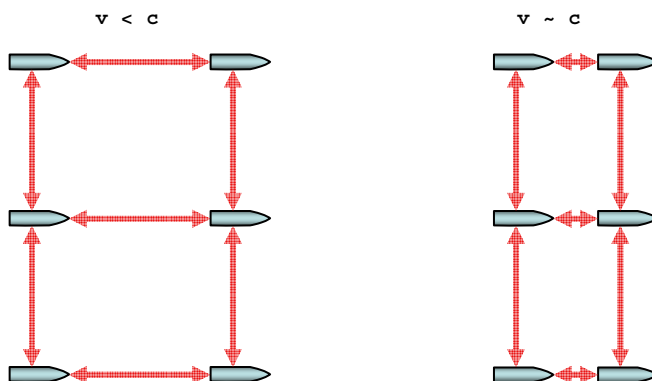


Abb. 5 Ein Flottenverband, der seine Abstände per Laserlaufzeiten bestimmt, muss auch im klassischen Äthermodell bei hoher Geschwindigkeit enger zusammenrücken

Man stelle sich einen riesigen Flottenverband von Raumschiffen vor, die in exakt der gleichen Entfernung zueinander fliegen. Mit Hilfe regelmäßiger Laserpulse messen die Raumschiffe ihre Entfernung untereinander. Wenn ein Raumschiff sich von einem benachbarten Schiff entfernt, vergrößert sich die Zeit, die ein Laserpuls benötigt, um von dem Nachbarraumschiff beantwortet zu werden. In diesem Fall regeln Bordcomputer der betroffenen Raumschiffe ihre Position nach,

um wieder gegenüber allen Nachbarraumschiffen die gleiche Entfernung einzunehmen. Wenn sich nun dieser Flottenverband mit sehr großer Geschwindigkeit in eine Richtung bewegt, so benötigt das Licht in Flugrichtung länger um das vorauseilende Raumschiff zu erreichen, als es auf dem Rückweg wieder an Zeit gewinnt. Obwohl die Distanz zwischen den Raumschiffen unverändert ist, erkennen die Bordcomputer die längere Laufzeit als Vergrößerung der Distanz in Flugrichtung. Als Reaktion darauf verkürzen sie den Abstand zu den Nachbarraumschiffen so lange, bis wieder die voreingestellte Laufzeit erreicht ist. Als Resultat zieht sich der Flottenverband in Flugrichtung mit steigender Geschwindigkeit immer enger zusammen.

Diese tatsächliche Längenkontraktion in Bewegungsrichtung lässt sich einfach herleiten.

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l_v}{c-v} + \frac{l_v}{c+v}$$

Gleichung 2

$$\Rightarrow t = \frac{2l_v}{c} \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Gleichung 3

Wenn wir voraussetzen, dass die Pulszeit t und die Lichtgeschwindigkeit c konstant sein sollen, so muss sich für die Strecke s eine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit nach folgender Gleichung ergeben:

$$l_v = \frac{tc}{2} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)$$

Gleichung 4

Im Gegensatz zur Längenkontraktion in der SRT fehlt bei dem Klammerausdruck die Wurzel, d.h. der so ermittelte Korrekturfaktor führt zu einer wesentlich stärkeren Längenkontraktion als bei Einstein.

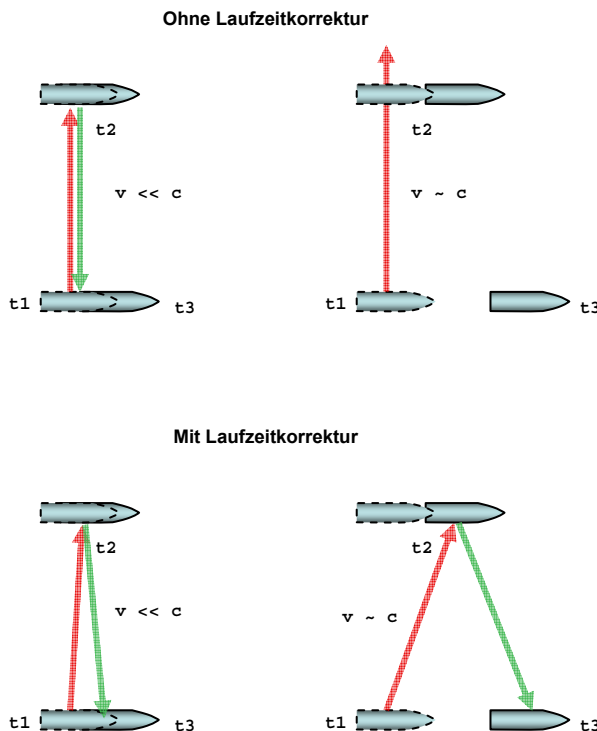


Abb. 6 Ab einer gewissen Geschwindigkeit verfehlen die Lichtpulse das Nachbarraumschiff. Die Lichtquellen müssen schräg gestellt und die dabei entstehenden Laufzeitverluste müssen kompensiert werden.

Doch wie bereits weiter vorne erwähnt, wirken sich auch die Laufzeiten des Lichts auf die Entfernungsmessung quer zur Bewegungsrichtung aus. Sobald ein Lichtpuls abgeschickt wird, bewegt sich das anvisierte Raumschiff ein Stück weiter und das gleiche gilt auch für den Rückweg des Strahls. So lange der Flottenverband langsam genug ist, dass der Strahl noch das Nachbarraumschiff trifft, so lange kommen die quer ausgesandten Lichtimpulse ohne Verzögerung zurück. Ab einer gewissen Geschwindigkeit wird sich das angepeilte Raumschiff jedoch so weit vorwärts bewegt haben, dass der senkrecht abgeschickte Strahl ins Leere geht. Die Lösung besteht nun darin, dass die Lichtquelle schräg gestellt werden muss. Durch die Schrägstellung wird jedoch die

Weglänge, die der Strahl überbrücken muss, vergrößert. Auf Basis einfacher trigonometrischer Berechnungen kann der Bordcomputer eine Laufzeitkorrektur vornehmen und in seine Entfernungsberechnungen einfließen lassen. Da sich die

Raumschiffe die Lichtpulse im Pingpong-Verfahren zusenden wird durch diese erhöhte Laufzeit die Frequenz der Lichtpulse reduziert. Ein außen stehender Beobachter gewinnt den Eindruck, dass die Zeit in den Raumschiffen langsamer vergeht.

Auch diese Frequenzverzögerung lässt sich einfach mathematisch herleiten. Wie in Abbildung 6 gezeigt, durchlaufen die Lichtpulse aufgrund der hohen Fluggeschwindigkeit ein gleichschenkliges Dreieck. Die zeitliche Verzögerung errechnet sich aus der Strecke die das Raumschiff zwischen Senden und Empfangen des Lichtpulses zurückgelegt hat.

In die Grundformel für Dreiecke $a^2 + b^2 = c^2$ können wir folgende Werte eintragen: für a setzen wir die Entfernung l_0 zwischen den beiden Raumschiffen ein, b steht für die Strecke, die die Raumschiffe im Zeitraum t (Zeitpunkt t_1 bis t_2) zurückgelegt haben und c steht für die Strecke, die der Lichtstrahl in der Diagonalen ebenfalls im Zeitraum t zurücklegen musste. Es ergibt sich folgende Gleichung:

$$l_0^2 + (vt)^2 = (ct)^2$$

Gleichung 5

Als nächstes lösen wir diese Gleichung nach t auf:

$$t^2 = \frac{l_0^2}{c^2 - v^2} = l_0^2 \frac{\frac{1}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{l_0^2}{c^2} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t = \frac{l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Gleichung 6

Da wir bisher nur den Zeitraum für einen Lichtstrahl von einem Raumschiff zum anderen betrachtet haben, ergibt sich die Berechnung für den gesamten Zeitraum aus der doppelten Strecke l_0 , was letztendlich zur Gleichung für Parameter IV.7(4) mit relativistischer Zeitdilatation führt.

Wenn nun unsere Raumschiffflotte diese Laufzeitverzögerung auch bei den Raumschiffen in Bewegungsrichtung berücksichtigt (Gleichung 4) ergibt sich genau die Längenkontraktion aus der Lorentz-Transformation:

$$l_v = \frac{2l_0}{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \frac{c}{2} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$l_v = l_0 \frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Gleichung 7

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Raumschiffflotte, die mit Lichtpulsen ihre Abstände im klassischen Äther bei allen Geschwindigkeiten konstant halten möchte, auf die gleichen Formeln kommen muss, wie Einstein in der SRT.

Stellen wir uns nun noch vor, dass es sich bei unserer Flotte nicht um Raumschiffe handelt, sondern um Atome in einem Atomgitter, dann bekommt dieser Ansatz eine völlig neue Bedeutung. Denn das, was die Lichtpulse zwischen den Raumschiffen koordinieren, übernehmen im Atomgitter Kräfte, die ebenfalls mit Lichtgeschwindigkeit dafür sorgen, dass die Atome möglichst bei allen Geschwindigkeiten ihre relative Position im Atomgitter beibehalten.

Diese zeitlichen und räumlichen Anpassungen im Raumschiffverband bzw. im Atomgitter sind aus Sicht des bewegten Systems die einzige Möglichkeit, keinerlei messbare Veränderung an der eigenen Struktur zuzulassen. Darüber hinaus wird, wie bereits bei der relativistischen Analyse des Michelson-Morley-Experiments gezeigt, sichergestellt, dass alle periodisch ausgetauschten Signale ohne richtungsabhängige Verzerrung übermittelt werden. Somit sind die relativistische Längenkontraktion und Zeitdilatation die Grundvoraussetzung für die Konstanz aller Naturgesetze in gleichförmig bewegten Systemen.

Die erhöhte Lebensdauer von Myonen beweist darüber hinaus, dass selbst innerhalb von Elementarteilchen diese Gesetzmäßigkeiten Gültigkeit haben. D.h. selbst in kleinsten Bausteinen der Materie wird, egal wie schnell sich diese bewegen, durch Längenkontraktion und Zeitdilatation sichergestellt, dass alle Naturkonstanten auch tatsächlich konstant bleiben.

Fazit

Die erweiterte spezielle Relativitätstheorie zeigt anhand der Lorentz-Transformation auf, dass das Michelson-Morley-Experiment für alle gleichmäßig bewegten Systeme stets die gleichen Interferenzmuster liefert. Das macht den Weg frei für die Einführung eines absolut ruhenden Bezugssystems in die klassische SRT. Dadurch werden die bekannten Widersprüche der SRT aufgelöst ohne die Gültigkeit der SRT in Frage zu stellen.

Der wesentliche Unterschied zur SRT besteht darin, dass in der erweiterten speziellen Relativitätstheorie die Lichtgeschwindigkeit nur im ruhenden Bezugssystem und bei Messungen in beide Richtungen konstant ist. Bei Messungen in nur eine Richtung ist eine relative Lichtgeschwindigkeit die von c abweicht zulässig. Der Nachweis für die Gültigkeit der erweiterten speziellen Relativitätstheorie lässt sich daher mit einem Versuchsaufbau zur Messung der Laufzeit von Lichtpulsen in nur eine Richtung erbringen. Der dabei zu erwartende Effekt ist deutlich genug, um mögliche Messfehler auszuschließen.

Dabei sei betont, dass die relative Lichtgeschwindigkeit in nur einer Richtung für die Prozesse der Natur keine Relevanz hat und somit auch nicht die Qualität einer Naturkonstante besitzt. Erst die elektromagnetische Wechselwirkung zweier Partikel oder Körper führt zu physikalischen Effekten. Eine Wechselwirkung bedingt jedoch, dass die Lichtgeschwindigkeit in beide Richtungen berücksichtigt werden muss und die ist, wie schon von Einstein postuliert, auch in der erweiterten speziellen Relativitätstheorie immer konstant c .

Schließlich bietet die erweiterte spezielle Relativitätstheorie eine einfache Erklärung, aus welchem Grund und in welchem Maß die Zeitdilatation und die Längenkontraktion in stabilen atomaren Strukturen auftreten muss.

In der praktischen Anwendung wird die erweiterte spezielle Relativitätstheorie noch genauere Berechnungen in der Raumfahrt, in der Satellitennavigation und in der Astrophysik ermöglichen und helfen, physikalische Vorgänge in Teilchenbeschleunigern besser zu interpretieren.

Literaturverzeichnis

- [1] Michelson, Morley, The American Journal of Science, No 203, pp. 333 (Nov 1887)
- [2] Holger Müller, Achim Peters: Einsteins Theorie auf dem optischen Prüfstand: Spezielle Relativitätstheorie. Physik in unserer Zeit 35(2), 2004, 70-75 (2004)
- [3] D.H. Frisch and J.H. Smith, American Journal of Phys., 31, 342-355 (1963)
- [4] Joachim Grehn: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen, die Spezielle Relativitätstheorie, Vieweg Physik, Teil 4, 349 (1981)
- [5] J.C. Hafele and R.E. Keating, Science 177, 166-168 and 168-170 (1972)
- [6] A. Einstein, Antrittsrede zur Gastprofessur in Leiden am 5.5.1920, Springer, 15 pages (1920)
- [7] Calder, Nigel, Einstein's Universe, British Broadcasting Corporation, Chapt. 17 (1979)