



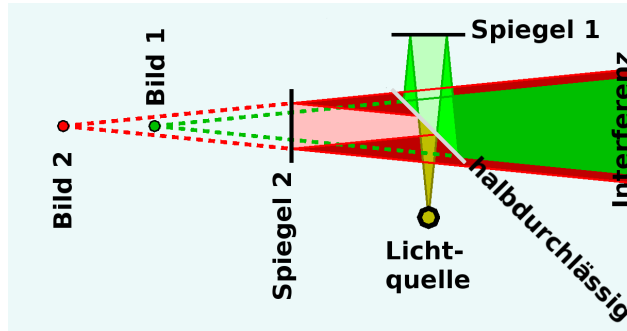
# Das Michelson-Experiment von 1881 in Potsdam

Hier, im Ostkeller des früheren Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam auf dem Telegrafenberg, steht an originaler Stelle eine Kopie des von A.A. Michelson erfundenen Interferometers. Mit ihm versuchte er, den Einfluss der Bewegung der Erde auf die Lichtausbreitung zu messen. Zusammen mit der Relativitätstheorie wurde das Experiment so berühmt, dass es sogar in die Schulbücher aufgenommen wurde als eines der wenigen, die dort im Einzelnen behandelt werden können.



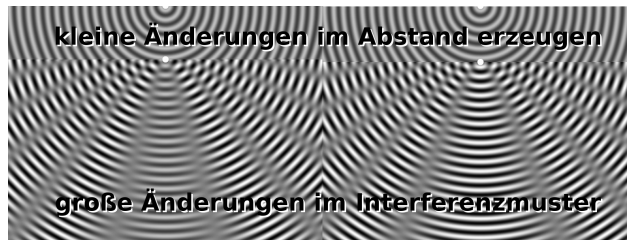
Das Interferometer

Ein Interferometer kann kleinste Längenänderungen messen, und sein Prinzip ist darin ungeschlagen. Das Interferometer ist eine Spiegelanordnung, die es gestattet, zwei Spiegelbilder einer Lichtquelle an fast gleicher Stelle zu sehen. Das von ihnen ausgehende Licht interferiert und der Beobachter sieht eine Interferenzfigur nach Art der Newtonschen Ringe. Ändert ein Lichtweg seine Länge auch nur um 30 Nanometer, kann man das an der Lageänderung der Interferenzfigur sehen.



Der Strahlenverlauf

**Das berühmte Experiment:** Michelson wollte zeigen, dass sein Interferometer zu dieser besonders kniffligen Messung in der Lage war, nämlich den Einfluss der Bewegung der Erde auf die Lichtausbreitung nachzuweisen. Man erwartete natürlich, dass sich die Lichtgeschwindigkeit mit der Bahngeschwindigkeit der Erde ebenso zusammensetzt, wie die von einer fahrenden Streife gemessene Geschwindigkeit mit der eines Streifenwagens. Das der Erde entgegenkommende Licht sollte 30 km/s schneller sein als das die Bahn der Erde querende Licht. Der Abstand der Spiegelbilder müsste dann von der Orientierung der Interferometerarme abhängen. Michelson wurde enttäuscht. Das Interferometer fand die Differenz nicht. Michelson musste schließen, dass sich die Lichtausbreitung ebenso an den Kellerwänden orientierte, wie sich die Schallausbreitung in der im Keller eingeschlossenen Luft an ihnen orientiert.



Interferenz

**Das Problem:** Was ist daran seltsam? Wenn man erwartet, dass die Lichtausbreitung von einem Äther getragen wird wie der Schall von der Luft, dann ist der Äther eben auch wie die Luft im Keller eingeschlossen. Das Problem besteht nun nicht darin, dass alle mechanischen Modelle eines Äthers die Erwartungen nicht erfüllen, sondern in einer unscheinbaren und wenig spektakulären Beobachtung. Das Problem liegt in der Aberration des Sternenlichts. Diese Aberration ist eine Art Regenschirmeffekt, der uns allen schon begegnet ist, wenn wir im Regen auf den Bus warten. Er lässt die Sterne scheinbar in der Richtung der momentanen Bewegung der Erde zusammenrücken. Der Effekt ist nur mit einem Teleskop sichtbar und messbar, aber er zeigt, dass sich die Erde wirklich gegen die Sternumgebung bewegt. Nur ist das Licht kein Regen, sondern eine Welle, und Wellenfronten zeigen zunächst **keine** Aberration. Fresnel fand eine Ausrede. Er wies darauf hin, dass Fernrohre keine Wellenfronten messen, sondern aus ihnen eine Art Schaumkronen ausschneiden und diese dann wie die Regentropfen durch das Teleskop rutschen. Das funktioniert aber nur, wenn Teleskop und Wände, anders als Michelson es fand, die Lichtausbreitung **nicht** beeinflussen. Viele Sackgassen wurden abgesucht, um eine Lösung dieses Dilemmas zu konstruieren oder zu finden.



Regenschirm und Aberration

**Die Lösung:** Der Widerspruch zwischen Fresnel und Michelson kann nur aufgelöst werden, wenn man das doch naheliegende Vorurteil aufgibt, die Lichtgeschwindigkeit müsse sich mit der Geschwindigkeit der Erde ebenso über Addition bzw. Subtraktion zusammensetzen wie etwa im Beispiel des Streifenwagens. Wenn man jedoch akzeptiert, dass die Lichtgeschwindigkeit ihren Betrag bei Zusammensetzungen **nicht** ändert, fallen alle Probleme mit der Lichtgeschwindigkeit in sich zusammen.



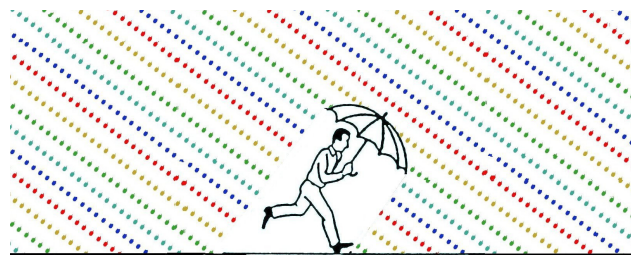
Zusammensetzung der Geschwindigkeiten nach Einstein

Es war Einstein, der dies unerschrocken feststellte. Sein Argument war einmal die Relativität der Geschwindigkeit, wie sie von Galilei schon über 200 Jahre zuvor ausgesprochen wurde. (Setzte sich die Lichtgeschwindigkeit mit der Bewegung eines Meßgeräts so zusammen, wie u.a. Michelson des erwartet hatte, fände man eine Geschwindigkeit zunächst ohne Bezugsobjekt. Die sollte es nicht geben.) Sein zweites Argument war die Art, wie man entfernte Uhren mittels Funksignalen synchronisiert. Wenn man dazu die Lichtgeschwindigkeit einsetzen muss, kann man danach nur diese Geschwindigkeit als Messergebnis erhalten. Die Lichtgeschwindigkeit gehört also zu den (nicht unmittelbar nachprüfbar) Voraussetzungen.

Alle Zeichnungen und mehr auf [www.dierck-e-liebscher.de](http://www.dierck-e-liebscher.de)

**Das Erstaunen:** Einsteins Axiom, das etwas mehrdeutig *Konstanz der Lichtgeschwindigkeit* genannt wird, meint **nur** die Unveränderlichkeit ihres Betrags bei Zusammensetzungen. Dieses Axiom erklärt viele Merkwürdigkeiten, die schon vorher nach verwickelten Konstruktionen in den Sackgassen vermutet wurden, jetzt als einfache logische Folgen. Am bekanntesten ist hier der Zusammenhang zwischen Masse und Energie, aber die grundlegende Konsequenz ist wohl die Relativität der Gleichzeitigkeit.

**Die Relativität der Gleichzeitigkeit:** Wir kommen zur Aberration des Sternenlichts zurück. Wenn man verlangt, dass auch Wellenfronten Aberration zeigen, also in Bewegungsrichtung kippen, wenn wir loslaufen, treffen sie vor uns früher als erwartet und hinter uns später als erwartet auf den Boden.



Gekippte Wellenfronten

Was für uns gleichzeitig war, ist nun, nachdem wir losgelaufen sind, nicht mehr gleichzeitig: Wenn sich zwei Personen gegeneinander bewegen, erhalten sie bei der Prüfung der Gleichzeitigkeit distanter Ereignisse verschiedene Ergebnisse. Dieser Schluss auf die Relativität der Gleichzeitigkeit wurde schon fünf Jahre vor Einsteins Relativitätstheorie von H.Lorentz gezogen, aber als Ausrede eingestuft. Schließlich wird sie im täglichen Leben nie erfahren. Die Analyse der Frage, wie man denn nun wirklich Uhren synchronisieren kann, gab Einstein den letzten Anstoß zu versuchen, aus seinem Axiom die Physik zu entwickeln.

Das wurde die Relativitätstheorie. Wir nennen sie heute speziell, weil noch ein weiterer Schritt nötig war, um auch die Schwerkraft zutreffend einzubinden. Einsteins Axiom führt bereits mit elementargeometrischen Schritten auf diese Relativität der Gleichzeitigkeit, und es bedarf keines Äthers, um das Fresnelsche Dilemma aufzulösen und das Ergebnis des Michelson-Experiments zu klären. Es gibt viele oft beschriebene Merkwürdigkeiten rund um die Relativität der Gleichzeitigkeit, die manchmal auch Paradoxon getauft werden. Alle lösen sich auf, wenn man sie korrekt berücksichtigt.

**Anerkennung:** Als Michelson für die Technik des Interferometers 1907 den Nobelpreis bekam, verblasste die Bedeutung der logischen Voraussetzungen und Zwischenschritte zur Relativitätstheorie und das Experiment wurde nicht nur als deren Stütze gesehen, sondern als deren Grundlage, und gelegentlich wurde es sogar als Beweis gefeiert, was es aber nicht sein kann. Michelson hat nicht nur diese Sicht immer abgelehnt, sondern weiter nach dem Äther gesucht. Einstein bekam den Nobelpreis des Jahres 1921 auch nicht für die Relativitätstheorie, sondern für seine Erklärung des Photoeffekts. Manche Stimmen glauben, ein Mitglied des Nobelkomitees habe eine eigene Alternative zur Relativitätstheorie zu entwickeln versucht (wie das heute noch viele Interessierte vergeblich tun) und auch deshalb eine Ehrung für die Relativitätstheorie verhindert.

Die (spezielle) Relativitätstheorie ist eine besonders gut gestützte Theorie: Ihre Gestalt allein hat bereits Erklärungen (des Elementarteilchenspins) und Voraussagen (der Existenz von Antiteilchen) geliefert, die anders nicht so einfach – wenn überhaupt – erhalten werden. Auf spezielle Effekte kommt es da kaum noch an, aber die sind natürlich auch bestätigt.