

Vom Regenschirm zur Relativitätstheorie

Dierck-E.Liebscher, Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam, www.aip.de/People/deliebscher/

Im Keller unter der Ostkuppel des ehemaligen Astrophysikalischen Observatoriums auf dem Telegrafenberg in Potsdam wollte Michelson 1881 den Ätherwind messen. So verkürzt kann man es allenthalben lesen. Wieso aber Ätherwind, vor allem **warum Wind in einem Keller?**

Die Geschichte des Michelson-Versuchs beginnt mit einem Effekt, den wir alle kennen, aber über den wir nicht weiter nachdenken. Wer im Regen steht, hält den Schirm nach oben, um nicht nass zu werden. Wenn man aber doch nicht mehr auf den Bus warten will und losläuft, muss man den Schirm etwas nach vorn halten. Die Richtung, aus der uns der Regen trifft, ist in die Bewegungsrichtung geneigt. — Diesen Effekt kennt man seit 300 Jahren auch am Licht der Sterne: Bewegt sich die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne auf das Sternbild Wassermann zu (Anfang Juni) scheinen die Sterne dorthin zu rücken (nicht viel, nicht mehr als ein Zehntausendstel des Kreisbogens), bewegt sie sich auf das Sternbild Löwe zu (Anfang Dezember) rücken die Sterne dorthin zusammen. Dieser Effekt heißt **Aberration des Sternenlichts**. Er wurde um 1725 von J.Bradley gefunden und bewies, dass die Erde sich tatsächlich mit Jahresperiode bewegt.

Das Licht ist aber kein Teilchenregen, sondern eine Welle (metaphorisch „Ätherwelle“), wie die Interferenzerscheinungen lehren. Wellen zeigen aber keine Aberration.

Wenn wir am Strand die Meereswellen betrachten, sehen wir, dass deren Fronten ganz unabhängig von unserer Bewegung am Strand immer den gleichen Winkel zum Strand haben.

Wie kommt also nun die Aberration zustande? Die Ausrede, die man mehr oder weniger klar auch in den meisten Büchern findet und die auf Auguste Fresnel zurückgeht, beruft sich auf die Funktion des Teleskops: Das Objektiv schneidet aus der Welle eine Art Schaumkrone heraus, die sich wie ein Regentropfen durch das Rohr bewegt und deshalb die Aberration zeigt. Das funktioniert aber nur, wenn die Lichtausbreitung durch die Teleskopwände überhaupt nicht berührt wird.

Wenn wir am Strand stehen, können wir mit einer Reuse ein Schaumkronenstück einfangen, die auf einer Welle reitet. Ihre Einfallrichtung bildet mit den Wellenfronten einen rechten Winkel. Laufen wir am Strand entlang, müssen wir die Reuse in Bewegungsrichtung vorhalten, damit die Schaumkrone ungestört hineinläuft. Die Einfallrichtung der Schaumkrone zeigt die Aberration, steht aber nicht mehr senkrecht auf den Wellenfronten. Damit die Schaumkrone wirklich ungestört hineinläuft, darf die Reuse das Wasser nicht umrühren, muss also aus einem idealen Netz gefertigt sein.

Wände dürfen den Äther der Ätherwellen nicht behindern oder zurückhalten. Dies zu akzeptieren, ist den Zeitgenossen Fresnels sehr schwer gefallen, aber die beobachtete Aberration und die manipulierbare Interferenz des Lichts ließen vorläufig keine andere Wahl.

Wenn sich das Licht im Äther mit einer bestimmten Geschwindigkeit ausbreitet und das Messgerät sich gegen den Äther bewegt, sollte sich seine Geschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit addieren. Licht aus der Richtung, in die sich die Erde bewegt, sollte um die Erdgeschwindigkeit schneller sein, Licht aus der Gegenrichtung entsprechend langsamer, und das ohne Rücksicht auf die Wände um das Messgerät.

So rechnet zumindest die Streife auf der Autobahn, wenn sie überholende oder entgegenkommende Fahrzeuge anpeilt.

1881 konnte nun Michelson damit beginnen, diese Zusammensetzung der Lichtgeschwindigkeit mit der Geschwindigkeit der Erde direkt zu prüfen. Dazu benutzte er seine Erfindung des Interferometers. Wie hier zu sehen ist, besteht es aus einer Spiegelanordnung, die es ermöglicht, zwei Spiegelbilder derselben Lichtquelle im Okular zu sehen, genauer das Interferenzmuster, das durch kleine Positionsunterschiede dieser Spiegelbilder entsteht. Die Beobachtung dieser Muster gestattete, kleinste Abstandsänderungen bis in den Nanometerbereich zu messen. Für diese Technik gab es 1907 den Nobelpreis. Die Interferometertechnik gehört noch heute zu den genauesten Messverfahren der Physik. Unter anderem sollen Interferometer mit Armlängen von 600m (Hannover) bis zu mehreren Millionen km (LISA) nach Gravitationswellen suchen.

Die Zusammensetzung der Ausbreitungsgeschwindigkeit **im** Äther mit der Bewegung der Erde **durch** den Äther müsste eine Korrektur zum Abstand der Spiegelbilder bewirken. Diese allein wäre nicht von anderen Fehlern unterscheidbar, hinge sie nicht von der Orientierung des Interferometers ab. Wenn es gedreht wird, sollte eine Änderung der Interferenzmuster zu sehen sein, weil mal der eine, mal der andere Arm in die Bewegungsrichtung der Erde zeigt, während der jeweils andere quer zu dieser Richtung liegt. Der Abstand der Spiegelbilder muss sich also ändern. Diese Änderung des Abstands ist zwar nur ein Bruchteil der Wellenlänge des verwendeten Lichts, Michelson hätte ihn aber messen können. Zu seiner Enttäuschung fand Michelson die erwarteten Änderungen **nicht**. Michelson musste schließen, dass der Äther ganz plausibel wie die Luft im Keller eingeschlossen ist und eben doch durch Wände behindert und eingeschlossen wird: Fresnel Ausrede zur Aberration bricht zusammen. **Dies** hat der Versuch bewiesen, nicht etwa eine universelle Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, wie man oft lesen kann.

Die Aberration des Sternenlichts, so klein und technologisch unbedeutend sie ist und so sehr sie zur Zeit ihrer Entdeckung die Himmelsmechanik zu bestätigen schien, wurde zum Stolperstein gerade dieser Mechanik. Hendrik A. Lorentz, nach dem später die Umrechnungsregeln zwischen gegeneinander bewegten Beobachtern benannt wurden, stellte sich die Frage, was es bedeuten würde, wenn die Wellenfronten selbst Aberration zeigen. Er fand, dass dann die Frage, ob zwei bestimmte Ereignisse gleichzeitig sind, von zueinander bewegten Beobachtern **verschieden** beurteilt werden muss.

Wenn der am Ufer Stehende sieht, dass die Wellen senkrecht auf das Ufer zulaufen, müsste der am Ufer entlang Laufende sehen, dass die Wellen nun gegen das Ufer geneigt sind. Während also der Stehende sieht, dass die Wellenfronten rechts und links neben ihm gleichzeitig das Ufer erreichen, sieht der Läufer, dass sie vor ihm früher anlaufen als hinter ihm.

Das ist die **Relativität der Gleichzeitigkeit**. Lorentz traute ihr nicht. Auf Grund der vielen verwirrend verbundenen Fragen einer an die Mechanik gebundenen Lichtausbreitung war man schon bereit, den Äther aufzugeben und **mit ihm** Galileo's Relativitätsprinzip. Dieses Prinzip unterstellte, dass Geschwindigkeiten **ausschließlich** in Bezug auf andere reale Gegenstände messbar sind. Man erwartete nun, dass dieses Prinzip nur noch für die Mechanik gilt, nicht aber für elektromagnetische Phänomene.

Einstein's Geistesblitz entwirrte und löste all diese Probleme. In seiner ersten Arbeit setzte er das Relativitätsprinzip wieder ein und änderte dafür die Regel für die Zusammensetzung von Geschwindigkeiten. Die neue Regel — als Axiom unterstellt — sollte ergeben, dass sich die Lichtgeschwindigkeit mit anderen Geschwindigkeiten nur so zusammensetzt, dass der **Betrag** der Lichtgeschwindigkeit unverändert bleibt. (Man nennt dies verkürzt Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, obwohl es **nichts** mit einer Konstanz in Raum und Zeit zu tun hat.) Dieses Axiom Einsteins war weniger das indirekte Ergebnis des Michelson-Experiments, sondern eher das Ergebnis des Gauss'schen Konzepts der Definition elektrischer Einheiten mit mechanischen Mitteln.

*Dieses Konzept inspirierte R.Kohlrausch und W.Weber (1856) zu einer Messung, bei der die Lichtgeschwindigkeit als **ungerichtete** Größe gefunden wurde, die sich deshalb in keiner Weise mit den üblichen **gerichteten** Geschwindigkeiten zusammensetzen lässt. Der **Betrag** der Lichtgeschwindigkeit ist eine Konstante in der Umrechnung von elektrischen auf magnetische Einheiten.*

Ob Einstein 1905 den Michelson-Versuch kannte oder nicht, die Relativitätstheorie kann aus seinem Ergebnis nicht direkt gefolgert werden. Erst **nach** der Konstruktion der Relativitätstheorie durch Einstein konnte man den Versuch als Bestätigung der neuen Regel der Zusammensetzung von Geschwindigkeiten und als Grundlage der Relativitätstheorie sehen. Der Versuch wurde wichtig, nachdem Michelson für das Interferometer den Nobelpreis erhalten hatte. Weil der Aufbau des Versuchs so einsichtig und seine Erklärung durch Einsteins Axiom so kurz war, ebnete er den Weg der Relativitätstheorie zur allgemeinen Anerkennung. Michelson selbst hat sich dagegen immer gestäubt, diese Rolle zu akzeptieren. Michelson sah in seinem Ergebnis nur die Widerlegung der Fresnelschen Konstruktion entsprechend der Erwartung, dass es kein Medium geben kann, das widerstandslos durch die Erde strömt. Er hat den Ätherwind noch viele Jahre im Freien gesucht, immer vergeblich.

Die Relativitätstheorie hat heute weit bessere Stützen als den Michelson-Versuch, der ja nur einen kleinen Effekt messen konnte. Diese Stützen sind insbesondere die Voraussage der Antiteilchen und die Erklärung des Elektronenspins. Beides ist ganz unabhängig von irgendwelchen Vergleichen gegeneinander bewegter Messgeräte.