

Lineal aus Licht

Mehr Details

Licht als supergenaues Messwerkzeug

Licht, egal ob Laserstrahl oder Kerzenschein, ist nichts anderes als elektromagnetische Strahlung, die sich als Welle durch den Raum fortpflanzt. Jede Wellenlänge, sprich der Abstand zwischen zwei Wellenbergen, entspricht einer ganz bestimmten Lichtfarbe. Das rote Laserlicht hat eine Wellenlänge von etwa 600 Nanometern (0,0006 mm); das bedeutet $5 \cdot 10^{14}$, also 500.000.000.000.000, Schwingungen pro Sekunde. Dabei erzeugt der Laser äußerst gleichmäßige Lichtwellen, anders als eine Glühbirne, die diffusen „Lichtmatsch“ produziert. Mit diesen schnellen und hochpräzisen Schwingungen lassen sich kleinste Veränderungen messen: Im Michelson-Interferometer spaltet ein halbdurchlässiger Spiegel das Laserlicht in zwei exakt gleiche Teilstrahlen, die sich nun einzeln auf ihren Weg machen, an zwei Spiegeln reflektiert werden und schließlich auf der Leinwand wieder zusammentreffen.

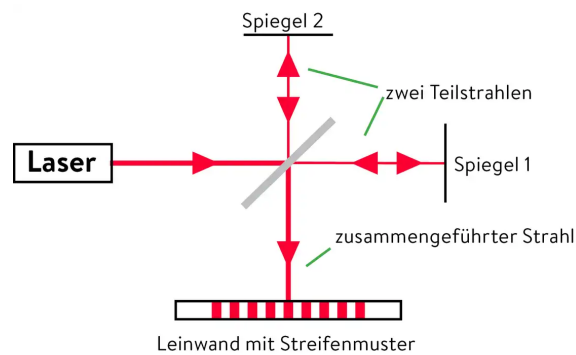


Abb. 1: Aufbau des Michelson Interferometers.

Hier wird sichtbar, was ihnen unterwegs begegnet ist: War zum Beispiel der Weg des einen Strahls nur eine halbe Wellenlänge (0,0003 mm) länger als der des anderen, so treffen beim Zusammenführen immer Wellenberg und Wellental aufeinander, die Strahlen interferieren – ihre Summe ergibt nichts als Dunkelheit, einen schwarzen Streifen auf der Leinwand. Ist der Weg eines der beiden Strahlen genau eine Wellenlänge länger, verstärken sich die Strahlen durch Interferenz – es entsteht ein heller Streifen auf der Leinwand.

Aus diesem Streifenmuster kann die Strecke, die jeder Teilstrahl durchlaufen hat, genau bestimmt werden. Auch die Geschwindigkeit des Lichts kann daraus berechnet werden: Läuft der eine Strahl durch Luft, der andere durch ein Vakuum, so ist der zweite um eine Winzigkeit schneller – und verändert das Muster.

Albert Abraham Michelson und die Äthertheorie

Wie kann sich Licht überhaupt bewegen? Das war die große Frage der Physik im späten 19. Jahrhundert. Man wusste, wie sich Schallwellen in der Luft und Wellen im Wasser bewegen und dachte, es müsse einen Stoff geben, in dem sich die Lichtwellen ähnlich fortbewegen: den Äther.

Dieser Äther sollte das ganze All durchfluten. Die Erde flöge auf ihrem Weg um die Sonne durch ihn hindurch und deshalb würden Lichtstrahlen auf der Erde von ihm ganz leicht abgelenkt, so wie ein Flugzeug bei Seitenwind. Besonders fasziniert von dieser Theorie war der 1852 in Polen geborene amerikanische Physiker Albert Michelson. Er versuchte ab 1887 mit seinem Interferometer diese Abweichungen zu messen, doch wie er es auch drehte und wendete: er konnte keine Abweichung feststellen.

Zu seinem Leidwesen widerlegte Michelson die Äthertheorie praktisch, aber erst Einstein konnte 1905 mit der speziellen Relativitätstheorie theoretisch erklären, wie sich Licht ausbreitet.

Abb. 1: Albert Abraham Michelson
(1852-1931).

Schwerkraft und Raum – lag Einstein richtig?

Nach Einsteins Relativitätstheorie breiten sich Veränderungen der Schwerkraft (sie entstehen z.B. wenn Sterne explodieren oder sich schnell umkreisen) als Wellen mit Lichtgeschwindigkeit aus. Diese Gravitationswellen verformen die Raumzeit und schütteln die ganze Erde durch, uns eingeschlossen. Klingt merkwürdig – und ist auch schwer zu messen, denn die Verformungen sind nicht größer als der Durchmesser eines Atomkerns! Will man winzigste Veränderungen messen, ist das Michelson-Interferometer erste Wahl.

Dafür wurde das LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) mit zwei riesigen Interferometern in Hanford und Livingston in den USA gebaut. Die dort verwendeten Instrumente und Techniken wurden zum Teil in einem weiteren riesigen Interferometer, dem GEO 600, entwickelt, das bei Hannover in einem Acker vergraben liegt (Abb. 3). Die größte Herausforderung bei den Messungen liegt darin, störende Erschütterungen, wie die Brandung der Nordsee oder der Verkehr in Hannover, aufwändig aus den Messdaten herauszufiltern.

Lange mussten die Wissenschaftler warten, doch am 14. September 2015 war es endlich so weit: Mit beiden LIGO-Interferometern wurde das erste Mal eine Gravitationswelle nachgewiesen! 1,3 Milliarden Lichtjahre entfernt waren zwei schwarze Löcher mit 29 und 36 Sonnenmassen zusammengestoßen, nachdem sie sich in einem Doppelsystem umkreist hatten, wodurch sehr starke Gravitationswellen abgestrahlt wurden. Wichtig war, dass das Signal bei beiden Interferometern des LIGOs gemessen wurde, sodass die Wissenschaftler Störungen durch andere Erschütterungen aus der näheren Umgebung ausschließen konnten. Mit dem ersten Nachweis einer Gravitationswelle konnten die Wissenschaftler Einsteins Raumzeit-Theorie belegen. Dafür erhielten Rainer Weiss, Barry Barish und Kip Thorne 2017 den Nobelpreis für Physik.



Abb. 3: GEO 600 bei Hannover aus der Luft. Deutlich zu erkennen: die beiden 600 m langen Arme für die Teilstrahlen des Interferometers. Der Rest des Interferometers mit Laser und Mess-Station befindet in dem Gebäude im roten Kreis.