

# Die Relativitätstheorie als Lösung des Fresnelschen Paradoxons

Dierck-E.Liebscher,  
Astrophysikalisches Institut Potsdam,  
<http://www.aip.de/~lie/>, [deliebscher@aip.de](mailto:deliebscher@aip.de)

*Es wird daran erinnert, dass der Michelson-Versuch erst nach der Konstruktion der Relativitätstheorie seine endgültige Deutung gefunden hat und dass zunächst ein fast vergessener Schluss gezogen wurde.*

Wir sind uns alle einig, dass es die Leistung der Relativitätstheorie ist, das hypothetische Medium der Lichtausbreitung, den Äther, aus der Theorie eliminiert zu haben. Es bleibt aber im allgemeinen im Hintergrund, weshalb die Hypothese des Äthers überhaupt notwendig war. Dieser Grund war nicht eine einfach dem Zeitgeist oder dem eingeschränkten Anschauungsbereich geschuldete mechanistische Interpretation der Lichtwelle, sondern reflektiert die Notwendigkeit, die Aberration im Wellenbild zu erklären. Während Young ohne weiteres das Strömungsbild für die Welle im Teleskop unterstellte, sah Fresnel das Paradoxon: Die Wellennormalen zeigen bei Galilei-Transformationen keine Aberration, weil die Bestimmung der Normalen von einer Bewegung des Bestimmenden völlig unabhängig ist [1]. Die Aberration war bereits sowohl als Nachweis der Bahnbewegung der Erde als auch als Nachweis der von Newton vermuteten Teilchennatur des Lichts gefeiert worden, um so ägerlicher war es, dass die Wellenfronten paradoxerweise keine Aberration zeigten (Abb. 1). Fresnel war gezwungen, ein Medium zu unterstellen, damit die Interferenzfigur des von der Aperturblende ausgeschnittenen Teils so verschoben werden kann, dass das im Teleskop entstehende Bild die bereits gefundene Aberration wirklich zeigt (Abb. 2). Dazu muss es nicht nur ein Medium geben, es muss auch nach Passieren der Wände des Teleskops sich wie ausserhalb des Teleskops bewegen, die effektive Mitführung muss verschwinden. Das fand man zu Fresnels Zeiten schon schwer zu schlucken, aber es schien keinen anderen überzeugenden Ausweg zu geben. Es war Michelson mit der

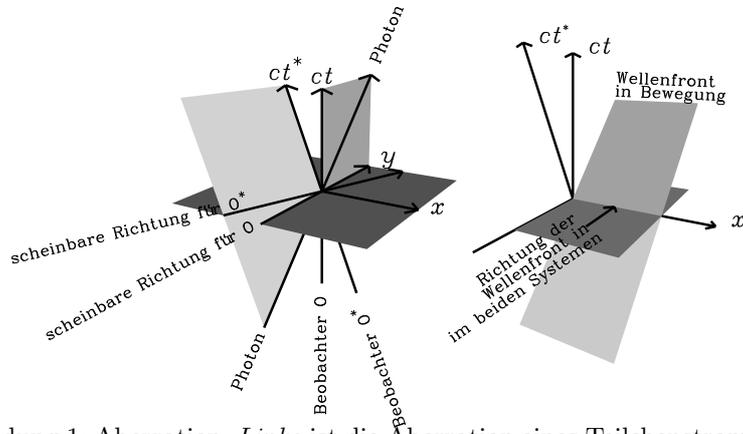


Abbildung 1: Aberration. *Links* ist die Aberration eines Teilchenstroms gezeichnet. Die Aberration entsteht durch verschiedene Projektion der Teilchenbahnen auf eine Ebene gleichzeitiger Ereignisse. *Rechts* ist gezeigt, dass die Richtung der Wellennormalen den Schnitt der Wellenfront mit der Ebene gleichzeitiger Ereignisse kennzeichnet und keine Projektion impliziert. Deshalb gibt es auch keine Änderung der Richtung, nur weil sich die Zeitachse (die Weltlinie des Beobachters) ändert

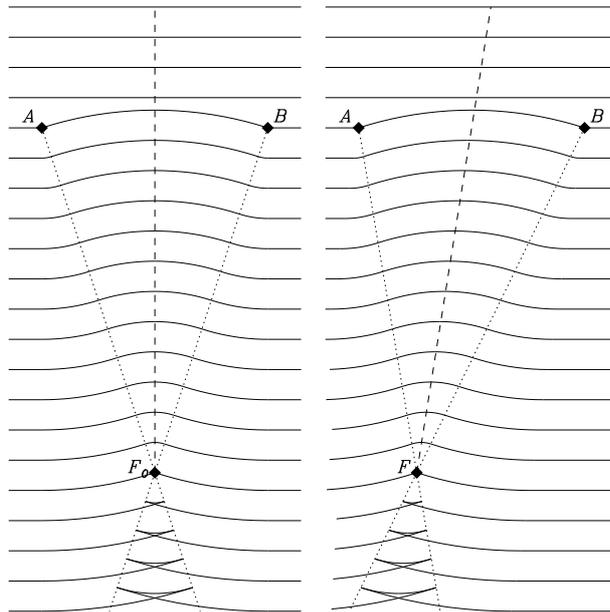


Abbildung 2: Fresnels Konstruktion der Verschiebung der Interferenzfigur

von ihm beherrschten Interferometrie, der als erster versuchen konnte, einen Effekt dieser freien Ätherströmung zu messen [4]. Er fand nichts zur Beruhigung aller, die eine Mitführung des Äthers ohnehin erwarteten, und zur Beunruhigung derer, die das Aberrationsparadoxon noch nicht vergessen hatten. Lorentz und Drude untersuchten wieder direkt die Frage der Aberration der Wellenfronten selbst. Sie kamen bereits zu dem Schluss, dass es eine (für sie fiktive und von ihnen *lokal* genannte) Zeit geben muss, die bei der Beobachtung von Wellenfronten eine Rolle spielen muss [2, 3]. Diese fiktive Zeit ist eine Funktion des Ortes und kann so die Richtungsänderung einer Wellenfront darstellen. Diese fiktive Zeit war aber eine ebenso merkwürdige Konstruktion wie der Äther selbst.

Einstein wurde vermutlich nicht von dieser Diskussion angeregt, sondern von der schlichten Vorstellung, dass man Licht nicht sollte abbremsen können, dass am bewegten Spiegel die Differenz der Geschwindigkeiten von Spiegel und Licht keine Rolle spielt [5]. Ausgehend von der Konstanz (d.h. der Unveränderlichkeit bei Zusammensetzungen mit anderen Geschwindigkeiten, nicht etwa der Unveränderlichkeit in Zeit und Raum) erhält man geometrische Verhältnisse in der Raum-Zeit, die von den entsprechend unseren wohlbe-gründeten Vorurteilen in der klassischen Mechanik benutzten abweichen. Die Relativitätstheorie übertrug die dadurch festgelegte Bewegungsgruppe auf die Mechanik. Sie löste damit auch das Fresnelsche Paradoxon. Die von Lorentz und Drude gefundene formale Zeit wurde nun zur einzigen erfahrbaren und realen Zeit. Das Merkwürdige ist, dass diese Relativität der Gleichzeitigkeit notwendig aus der Forderung folgt, dass Wellenfronten die gleiche Aberration zeigen wie ein Teilchenstrom (Abbildung 3), wenn verwendet werden kann, dass die Substitutionen der Inertialsysteme eine Gruppe bilden. In dem Maße wie nun die Aberration eines Photonenstroms mit der einer Wellenfront übereinstimmt, wird die Fresnelsche Ausrede eines Mediums, das von Materie nicht gebremst und mitgenommen wird, überflüssig. Die Relativität der Gleichzeitigkeit wird in der Folge zur Grundlage aller kinematischen Merkwürdigkeiten, die die alltägliche Erfahrung so sehr herausfordern.

Die Aberration, so prinzipiell geometrisch ihre Fragestellung auch ist, spielt in der praktischen Physik nur eine untergeordnete Rolle. Dessen ungeachtet oder vielleicht gerade deswegen halten sich noch heute viele Missverständnisse auch in der referierten Literatur.

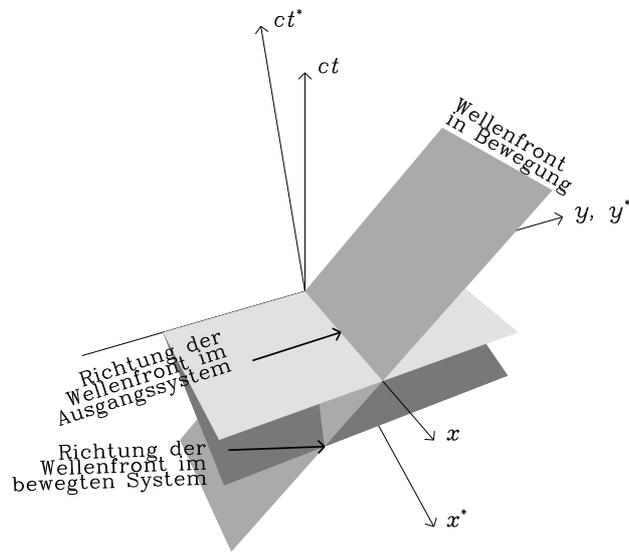


Abbildung 3: Aberration der Wellenfronten erzwingt Relativität der Gleichzeitigkeit

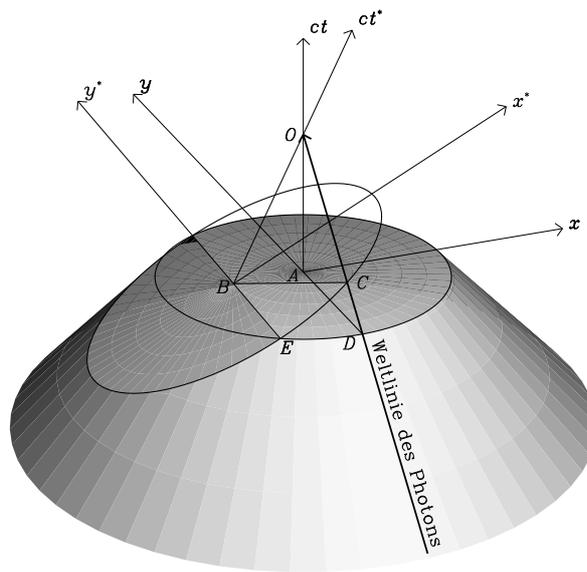


Abbildung 4: Aberration ist die bewegungsabhängige Projektion des Vorkegels auf den Raum gleichzeitiger Ereignisse. Sie betrifft den scheinbaren Ort eines Ereignisses, nicht die Bewegung der Lichtquelle zu diesem Ereignis

Der Hauptpunkt ist immer das Argument, es gebe keine Abhängigkeit der Aberration von der Geschwindigkeit der Lichtquelle, obwohl doch ‘alles nur von der Relativgeschwindigkeit abhängen’ dürfe. Die Antwort ist einfach: Aberration ist ein Effekt zwischen zwei gegeneinander bewegten Beobachtern (Inertialsystemen), und nur von deren Relativgeschwindigkeit hängt der Effekt ab. Beobachtet wird das Ereignis, zu dem die Weltlinie der Lichtquelle den Vorkegel des Beobachters durchsticht (Abbildung 4).

## Literatur

- [1] Fresnel,A.: Lettre à son frère Léonor, 4.Juillet 1814, *Oeuvres complètes* **2** (1814), 820-824, Paris, Imprimerie impériale 1868.  
Fresnel,A.: Sur l’influence du mouvement de terre dans quelques phénomènes d’optique, *Oeuvres complètes* **2** (1818), 627, Paris, Imprimerie impériale 1868.
- [2] Lorentz,H.A.: Simplified theory of electromagnetic and optic phenomena in moving systems, *Proc.Kon.Ned.Akad.Weten.* **1** (1899), 427.
- [3] Drude,P.: *Lehrbuch der Optik*, Hirzel, Leipzig (1900).
- [4] Michelson,A.A.: The relative motion of the earth and the luminiferous aether, *Amer.J.Science (3)* **22** (1881), 120-129.  
Michelson,A.A., Morley,E.W.: Influence of motion of the medium on the velocity of light, *Amer.J.Science (3)* **31** (1886), 377-386.
- [5] Einstein,A.: Zur Elektrodynamik bewegter Körper, *Ann.d.Phys.(Lpz.)* **17** (1905), 891-921.  
Einstein,A.: Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Ann.d.Phys.(Lpz.)* **18** (1905), 639-641.
- [6] Born, M.: *Die Relativitätstheorie Einsteins*, 4. Aufl., Spinger, Berlin (1964).
- [7] Liebscher, D.-E.: *Einsteins Relativitätstheorie und die Geometrien der Ebene*, Teubner, Leipzig (1999). : *La geometria del tempo*, Bibliopolis, Napoli (2001). : *The Geometry of Time*, Wiley-VCH, Berlin (2005).