

VERTIEFUNGEN

Die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit vom Bewegungszustand der Quelle	103
Gibt es Überlichtgeschwindigkeiten?	106
Das Experiment von Kennedy und Thorndike	111
Das Experiment von Ives und Stilwell	116
Der derzeitige experimentelle Status der SRT	117
Synchronisation durch Transport von Uhren	120

ANHANG

Glossar	123
Symbole, Einheiten und Konstanten	126
Literaturhinweise	127

1. HERKUNFT UND BEDEUTUNG DER SPEZIELLEN RELATIVITÄTSTHEORIE

Das Jahr 1905 wird allgemein als Einsteins Annus Mirabilis bezeichnet. In diesem Jahr veröffentlichte der damals gerade 26 Jahre alte Albert Einstein (1879–1955) – zu dieser Zeit Patentamtsangestellter in Bern und in den wissenschaftlichen Kreisen ein noch weitgehend unbeschriebenes Blatt – fünf Arbeiten, von denen jede Physikgeschichte schrieb. In der ersten Arbeit entwickelte er seine so genannte Lichtquantenhypothese und erklärte damit den Photoelektrischen Effekt, was ihm 1922 den Nobelpreis (für das Jahr 1921) einbrachte. Einzig diese Arbeit bezeichnete Einstein selbst einmal als »sehr revolutionär«. Die zweite war seine Dissertation, in der er eine mathematische Beziehung zwischen der wahren Größe von Molekülen einer gelösten Substanz und der Viskosität der Lösung ableitete. Durch die zahlreichen Anwendungen, die diese Beziehungen in der Petrochemie besitzt, war diese Arbeit Einsteins bis in die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts nachweislich seine meistzitierte und ist es möglicherweise immer noch. Die dritte Arbeit handelt von der statistischen Theorie der Wärme, die Einstein benutzte, um die damals phänomenologisch längst bekannte, aber theoretisch unverstandene so genannte Brown'sche Bewegung als statistische Schwankungserscheinung zu erklären. (Unter »Brownscher Bewegung« versteht man allgemein eine irreguläre Zitterbewegung von sehr kleinen – jedoch mit dem Mikroskop noch beobachtbaren – in Flüssigkeiten suspendierten Teilchen.) Damit war eine direkt beobachtbare Konsequenz der aufgrund ihres fundamental atomistischen Ansatzes damals noch umstrittenen statistischen Wärmetheorie gewonnen, die ihr letztendlich zum Durchbruch verhalf. Die vierte Arbeit trägt den Titel *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* und beinhaltet im Wesent-

lichen das, was wir heute die Spezielle Relativitätstheorie nennen und im Folgenden mit »SRT« abkürzen werden. Die fünfte Arbeit ist der vierten direkt zugeordnet und enthält als Nachtrag auf drei Druckseiten die Ableitung der mittlerweile wohl berühmtesten Gleichung der Physik: $E = mc^2$.

Die SRT ist eine *Rahmentheorie* und keine Theorie eines wohlumrissenen Phänomenbereichs, obwohl sie aus einer solchen hervorgegangen ist, wie bereits der Titel der Originalarbeit feststellt. Die Elektrodynamik bewegter Körper bzw. Medien war eines der großen Themen sowohl der theoretischen als auch der experimentellen Physik des ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts, die sich zunehmend in Widersprüche verwickelte, bis schließlich Einstein mit seiner Arbeit den Gordischen Knoten auf überraschende Weise zerschlug: nicht durch eine raffinierte Verbesserung desjenigen Theorieteils, der den direkten Anschluss an die zur Erklärung stehenden Phänomene hält, sondern durch eine grundsätzliche Hinterfragung unerschütterlich geglaubter Begriffe betreffend raumzeitliche Feststellungen wie die eines »räumlichen Abstands«, einer »zeitlichen Dauer« oder einer »Gleichzeitigkeit«.

Da sich aber *alle* physikalischen Prozesse in Raum und Zeit abspielen, betrifft die damit eingeläutete Revision raum-zeitlicher Begriffe auch die gesamte Physik. Obwohl also die SRT ihre Entstehung spezifischen Fragestellungen der Elektrodynamik verdankt, ist sie logisch nicht an diese gebunden. Mit Ausnahme der Gravitation, die durch die Allgemeine Relativitätstheorie beschrieben wird, werden alle weiteren fundamentalen Wechselwirkungen – der Elektromagnetismus, die Kernkraft oder starke Wechselwirkung und die schwache Wechselwirkung – heute durch Theorien beschrieben, die den Axiomen der SRT genügen. Insbesondere trifft dies für das Standardmodell der Elementarteilchen zu, in dem die letzten drei der genannten Wechselwirkungen theoretisch zusammengefasst sind. Die moderne Hochenergie- und Teilchenphysik ist ohne die SRT nicht denkbar.

Aber nicht nur in der der Alltagserfahrung eher fern stehenden Welt der Elementarteilchen ist die SRT von grundlegender Bedeutung. So basieren zum Beispiel moderne Technologien der Navigation und Geodäsie ganz wesentlich auf Prinzipien der SRT, insbesondere der *Universalität der Lichtgeschwindigkeit*. Damit meint man, dass die Lichtgeschwindigkeit, die ein Beobachter misst, sowohl unabhängig vom Bewegungszustand des Beobachters als auch vom Bewegungszustand der Licht aussendenden Quelle ist.

Es ist nicht zu bestreiten, dass gewisse Ergebnisse der SRT für das am Alltagsgeschehen sich intuitiv herausgebildete Verständnis raumzeitlicher Relationen durchaus paradoxe Züge tragen können, wobei hier ausdrücklich die Unterscheidung von »paradox«, also »der (hergebrachten) Meinung entgegen«, zu »widersprüchlich« im logischen Sinne gemacht wird. Logische Widersprüche treten in der SRT nicht auf. Physikalisch hat diese Situation ihren Ursprung in der Größe der Lichtgeschwindigkeit, deren genauer Wert in Einheiten von Kilometer (km) pro Sekunde (s) gegeben ist durch:

$$c = 299\,792,458 \frac{\text{km}}{\text{s}} . \quad (1)$$

Diese enorme Geschwindigkeit ist bei Weitem größer als alle Geschwindigkeiten, die uns im Alltag anhand materieller Objekte begegnen. Es ist deshalb nur allzu natürlich, dass unser Alltagsverstand von einer instantanen Lichtausbreitung ausgeht. Wie wir jedoch sehen werden, erzwingt die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit und ihr Charakter als Grenzgeschwindigkeit aller Signalgeschwindigkeiten eine Revision der raum-zeitlichen Alltagsbegriffe, insbesondere dem der Gleichzeitigkeit räumlich distanter Ereignisse. Bis heute haben sich die von der SRT gelieferten Konzepte von Raum und Zeit überall dort vollständig bewährt, wo von einer wesentlichen Einflussnahme der Gravitation abgesehen werden kann. In diesem Bereich testen moderne Präzisionsexperimente immer wieder ihre Vorausagen und fanden bis heute keinerlei Anzeichen einer Abweichung.