

Albert Einstein – Spezielle und allgemeine Relativitätstheorie

Die ältere der Schwestern erblickte am 30. Juni 1905 das Licht der Welt und wurde am 23. März 1906 in Berlin zum ersten Mal einem breiten Publikum vorgestellt. Dabei hatte ihr geistiger Vater schon von ihr geträumt, als er noch die Schulbank drückte. Die jüngere war die Frucht eines Einfalls in Bern 1907. Doch sie wurde erst acht Jahre später in Berlin geboren. Sie sollte 1919 – als sich die Sonne verfinsterte – den Weltruhm ihres Vaters endgültig begründen. Von da an kannte jeder seinen und ihren Namen: Albert Einstein und die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie. Ein Rätsel blieben sie dennoch. Nur zwölf Menschen sollen sie genau kennen, behauptet der englische Physiker Arthur Eddington.

Von Heinz Greuling

Schon in seiner Schulzeit träumte Einstein von der Natur des Lichtes. Was würde ein Beobachter "sehen", der so schnell wie das Licht neben einem Lichtstrahl liefe? Könnte er überhaupt etwas sehen? Wäre nicht alles für ihn dunkel? Er war ganz fasziniert von dem Problem: Was man anschauen wollte – das Licht – war genau das, mit dessen Hilfe man schaut – das Licht.

Bis die spezielle Relativitätstheorie das Licht der Welt 1905 erblicken sollte, brütete er immer wieder über Fragen nach dem Licht. Im Berner Patentamt hatte er die Zeit dazu – trotz einer 48-Stunden-Woche. Er war als Wissenschaftler noch völlig unbekannt.

Von 1902 bis 1909 saß er am Schreibtisch im oberen Stockwerk eines Gebäudes der Post- und Telegraphendirektion. Seine Arbeit zwang ihn, vielseitig zu denken, und "bot auch wichtige Anregungen für das physikalische Denken", so Einstein später über seinen damaligen Beruf. Nach seinen acht Dienststunden gab es für ihn weitere "acht Stunden Allotria und noch einen Sonntag", und mit Allotria – Unfug – meinte er keine Barbesuche oder Gelage. Er meinte damit Arbeitszeit für seine geistigen Kinder, seine Ideen an einem neuen Gebäude der Physik.

Die Antwort auf die Frage aus der Schulzeit – und damit die Grundidee der speziellen Relativitätstheorie – soll ihm, so hat er selbst später mitgeteilt, im Mai 1905 gekommen sein. Fünf Wochen später wurde sie offiziell, am 30. Juni 1905.

Die Grundidee hinter seiner neuen Physik war schon von anderen angedeutet worden, aber er fasste die Ergebnisse ihrer Experimente und Forschungen als erster präzise zusammen.

Dreh- und Angelpunkt ist eine Eigenschaft des Lichtes, die unserer Alltagserfahrung zu widersprechen scheint: Licht breitet sich, ganz gleich, wie sich die Lichtquelle bewegt, immer mit exakt der gleichen Geschwindigkeit aus – der Lichtgeschwindigkeit, rund 300.000 Kilometer in der Sekunde.

Beim Schall zum Beispiel ist das nicht so. Schall benötigt als Träger die Luft, um sich auszubreiten – und die Geschwindigkeit des Schalls hängt sehr wohl davon ab, wie sich die Schallquelle bewegt. Der Ton von einem Zug, der auf uns zukommt, klingt höher als von einem Zug, der sich von uns weg bewegt.

Licht ist völlig anders in seiner Natur. Zu seiner Ausbreitung benötigt es keinen materiellen Träger. Sein Träger ist sprichwörtlich nichts: das Vakuum. Licht hat die höchste Geschwindigkeit, mit der sich Vorgänge ausbreiten können. Darüber gibt es nichts.

Eine Konsequenz dessen, dass sich nichts schneller als Licht bewegen kann, ist die wohl berühmteste Formel der Welt – $E=mc^2$.

Diese Formel zauberte Einstein mit einer kleinen Überschlagsrechnung und einem Gedankenexperiment hervor: einem Kasten, in dem ein einziges Lichtteilchen eingeschlossen war. Einstein kannte die Energie E des Lichtteilchens und überließ das System sich selbst.

Licht pflanzt sich mit der Lichtgeschwindigkeit c fort. Also "stieß" das Licht auch – dann und wann – an die ideal gedachten Wände der Schachtel. Seinen Bewegungsimpuls würde das Licht aber nicht verlieren. Daraus konnte Einstein dann schließen, wie "schwer" das Lichtteilchen sein müsste: genau $E=mc^2$.

Damit war Einstein auf eine Formel gekommen, die auch für alle anderen Körper und nicht nur für Licht gilt. Die Konsequenzen für das praktische Leben im Kleinen und das der großen Welt waren enorm. Schließlich führte diese Formel indirekt zur Kernspaltung und damit zu einer furchtbaren Waffe: der Atombombe.

Einstein war erst 17 und drückte noch die Schulbank in der Schweiz. Da beschäftigte er sich schon mit einer Frage, die in sich den Keim für eine neue Theorie der Schwerkraft trug.

Die Frage, die den jungen Schüler umtrieb, lautete: Was passiert eigentlich in einem Fahrstuhl, wenn man die Kabel durchschneidet und alles – der Fahrstuhl mitsamt der Insassen – frei nach unten fiel. Das war kein Horrortraum, sondern eine ernste physikalische Frage. Der Schüler Einstein ahnte, dass dieses Bild der Schlüssel war, um hinter das Geheimnis der Schwerkraft zu kommen.

1907, also acht Jahre vor der eigentlichen Geburt der allgemeinen Relativitätstheorie, hatte Einstein endlich die entscheidende Antwort.

Er schrieb rückblickend: "Ich saß im Berner Patentamt in einem Sessel, als mir plötzlich der Gedanke kam: Wenn sich ein Mensch im freien Fall befindet, wird er seine eigene Schwere nicht empfinden können. Mir ging ein Licht auf. Dieser einfache Gedanke beeindruckte mich nachhaltig. Die Begeisterung, die ich da empfand, trieb mich dann zur Gravitationstheorie."

Einsteins Idee: Kein Physiker könnte durch ein noch so ausgeklügeltes Experiment entscheiden, ob er sich in einem Schwerfeld eines Körpers befindet oder in einem beschleunigten Bezugsrahmen, eben dem Aufzug. Dieses "Äquivalenzprinzip" wurde der Dreh- und Angelpunkt der allgemeinen Relativitätstheorie.

Dieses Beispiel führte Einstein auch zur Ablenkung der Lichtstrahlen. Wieder stellte er sich einen Physiker vor, der in dem Aufzug einen Lichtstrahl parallel zum Boden justiert hat. Nun fällt der Aufzug frei. Er sieht den Lichtstrahl zum Boden hin gebogen. Da nun aber beide Situationen – der beschleunigte Fall und der Fall in einem Schwerfeld – nicht zu unterscheiden sind, muss ein Lichtstrahl auch im Schwerfeld eines Körpers zu diesem Körper hin gebogen werden.

Einstein brauchte noch die mathematischen Werkzeuge, damit diese Theorie auf die Welt kommen konnte. Im Juni 1911 hatte er eine Zahl berechnet. Er überlegte sich: Sterne würden doch in der Nähe der Sonne zur Sonne hin abgelenkt. Das müsste man doch bei einer Sonnenfinsternis beobachten können. Er errechnete eine Ablenkung von 0,84 Bogensekunden hin zur Sonne. Ein winziger Wert, aber doch messbar.

1915 war die ganze Theorie entwickelt. Die allgemeine Relativitätstheorie beschrieb nun, warum Körper sich gegenseitig durch die Schwerkraft anziehen. Sie verwendete dazu eine neue Sprache, ein neues Bild für dieses Phänomen: das der Krümmung von Raum und Zeit.

Die Sonnenfinsternis am 29. Mai 1919 bestätigte Einsteins Vorhersage und den Wert, den er berechnet hatte, glänzend. Am 24. September schrieb Einstein stolz an seine Mutter: "Heute eine freudige Nachricht. Lorentz hat mir telegraphiert, dass die englischen Expeditionen die

Lichtablenkung an der Sonne endlich bewiesen haben." Er sorgte sich um seine Mutter Pauline, schließlich lag sie mit einem Krebsleiden in einem Schweizer Sanatorium in Luzern. Am 8. Oktober schrieb das Berliner Tageblatt: "Die Sonne bracht' es an den Tag." Die Londoner Times folgte am 8. November mit "The Revolution in Science" – "die Revolution in der Wissenschaft". Aber die Glückwünsche seiner deutschen Kollegen ließen noch auf sich warten. Erst am 20. Februar 1920 wollte die Deutsche Physikalische Gesellschaft Einsteins Vorhersage bestätigen – doch an diesem Tag fehlte einer: Einstein. Es war der Todestag seiner Mutter Pauline.