GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung
GEFÖRDERT DURCH DIE Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

Einstein inside

1907–1915: Die schwierige Geburt einer revolutionären Theorie

Wie entstand die Allgemeine Relativitätstheorie, die bis heute jeden Test bestanden hat?

Wichtige Schritte auf dem Weg zur Allgemeinen Relativitätstheorie

1939 – 1945
2. Weltkrieg

1936 – Einsteins zweite Ehefrau Elsa stirbt.

1933 NS-Machtergreifung

1933 – Einstein entschließt sich nach massiven antisemitischen Angriffen zur Emigration in die USA. Er wird nie wieder deutschen Boden betreten.

1933

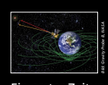
Professor am Institute for Advanced Study in Princeton bis zu seiner Emeritierung 1945

1922 – Einstein erhält rückwirkend für 1921 den Physik-Nobelpreis für seine Erklärung des Photoelektrischen Effekts von 1905.

1919

Bei einer Sonnenfinsternis kann eine der zentralen Vorhersagen der Allgemeinen Relativitätstheorie (Schwerkraft krümmt den Raum und lenkt damit das Licht ab) bestätigt werden. Einstein wird auf einen Schlag berühmt.

1919 – Einstein lässt sich von Mileva scheiden und heiratet seine Cousine Elsa Löwenthal-Einstein.

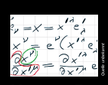


1914

Ein erster Zeitungsartikel „Vom Relativitätsprinzip" über die Relativitätstheorie erscheint in der Vossischen Zeitung, einer Berliner Tageszeitung.

1. Weltkrieg
1914 – 1918

1912 – Ordentlicher Professor an der ETH Zürich



1912

Metrischer Tensor repräsentiert das Potential der Gravitation.

1908 – Habilitation an der Universität Bern

1907

Korrespondenz Einsteins mit den bedeutendsten Physikern seiner Zeit – Planck, von Laue, Wien und Minkowski – über die Relativitätstheorie. Während der Vorbereitung eines Übersichtsartikels kommt ihm „der schönste Gedanke meines Lebens: die Allgemeine Relativitätstheorie".

1903 – Einstein heiratet seine ehemalige Studienkollegin Milena Maric, mit der er drei Kinder zeugt.

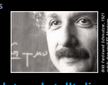
1927 – Die große wissenschaftliche Diskussion zwischen Einstein und Niels Bohr über die Grundlagen der Quantenmechanik beginnt.

1924 – Entdeckung der Bose-Einstein-Statistik

1924

Einweihung des Observatoriums „Einsteinturm" in Potsdam. Hier soll die Gültigkeit von Einsteins Relativitätstheorie experimentell bestätigt werden.

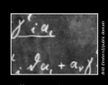
1917 – Er wird Direktor des neu gegründeten Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik in Berlin.



1915

Einstein vollendet und stellt die Allgemeine Relativitätstheorie an der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften vor.

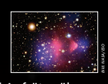
1913 – Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin



1913

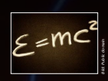
Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation, gemeinsam mit Marcel Großmann

1911 – Ordentlicher Professor für theoretische Physik an der deutschen Universität in Prag



1909

Er schreibt zwei Aufsätze über die Theorie der Strahlung von „Schwarzen Körpern" unter Anwendung der Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie (1915).



1905

Im „annus mirabilis", dem sog. Wunderjahr, schließt Einstein als 26-Jähriger seine Dissertation ab und veröffentlicht drei weitere bahnbrechende Arbeiten:

- Erklärung des lichtelektrischen Effekts
- Spezielle Relativitätstheorie
- Erklärung der Brownschen Molekularbewegung

Simulation einer Gaswolke, die sich dem ultra-massiven Schwarzen Loch im Zentrum der Milchstraße nähert. (Bild: ESO)

Die 1905 von Albert Einstein entwickelte spezielle Relativitätstheorie war eher ein Anfang als ein Abschluss: Das gesamte Wissen der klassischen Physik musste nun mithilfe der neuen Vorstellungen von Raum und Zeit neu erarbeitet werden. Das vordringlichste Ziel für Einstein war es, die Newton'sche Gravitationstheorie, einst der Anfangspunkt für die gesamte klassische Mechanik, mit der speziellen Relativitätstheorie zu vereinen.

Max von Laue etwa befasste sich mit einer relativistischen Formulierung der Kontinuumsmechanik, die das Verhalten kontinuierlicher Medien (z.B. Flüssigkeiten oder Gase) beschreibt.

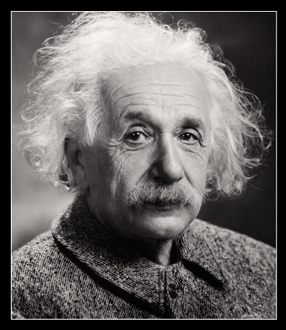


Foto: Oren Jack Turner/Princeton, N.J.

Im Gegensatz zu anderen Physikern hatte Einstein jedoch schon sehr früh erkannt, dass eine relativistische Gravitationstheorie im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie nicht zu haben sein würde. Man würde über deren Prinzipien hinausgehen müssen, um die Schwerkraft einzubeziehen. Eine Schlüsselrolle spielte dabei für Einstein das Äquivalenzprinzip. Es postuliert, dass Trägheitskräfte und Schwerkraft eine sehr ähnliche Bedeutung haben.

Schon 1908 schloss Einstein, dass hieraus eine Veränderung der Lichtgeschwindigkeit im Gravitationsfeld folgt. Da die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ein zentrales Postulat der speziellen Relativitätstheorie war, folgerte er, dass eine relativistische Theorie der Gravitation eine Verallgemeinerung des Relativitätsprinzips mit sich ziehen würde.

Während seines Aufenthalts in Prag, im Jahr 1912, kam Einstein zu der Erkenntnis, dass eine Raumzeit-abhängige Lichtgeschwindigkeit durch eine dynamische Raumzeit-Metrik dargestellt werden kann.

Die Suche nach einer relativistischen Theorie der Gravitation war somit zu einer Suche nach einer allgemeinen Relativitätstheorie, insbesondere zu der Suche nach einer Feldtheorie der Raumzeit-Metrik, geworden. Zurück in Zürich, machte sich Einstein gemeinsam mit dem Mathematiker Marcel Grossmann auf die Suche nach den Feldgleichungen einer solchen Theorie. Hieraus resultierte ein erster Satz Feldgleichungen, die sogenannte Entwurf-Theorie, die er im Jahr 1913.

Im November 1915 – Einstein war inzwischen nach Berlin berufen worden – folgten dann Einsteins vier grundlegenden Arbeiten zur Allgemeinen Relativitätstheorie. Darin finden sich zum ersten Mal die endgültigen Feldgleichungen, heute als Einstein-Gleichungen bekannt, sowie die Berechnung der Verschiebung des Perihels der Merkurbahn. Diese Perihel-Verschiebung hatte Einstein schon 1913, gemeinsam mit seinem engen Freund Michele Besso, im Rahmen der Entwurf-Theorie berechnet. Das errechnete Ergebnis hatte jedoch nicht mit den astronomischen Beobachtungen übereingestimmt. Mit den neuen Feldgleichungen konnte der richtige Wert reproduziert werden. Dies stellte also gleich die erste empirische Bestätigung der neuen Theorie dar.

Michele Besso, bester Freund Einsteins und Kollege während seiner Zeit im Berner Patentamt. Einstein beschrieb ihn als „idealen Resonanzboden", mit dem er seine Ideen in unzähligen Diskussionen ausprobieren und schärfen konnte.

Einstein publizierte diese Arbeiten in schneller Folge, da sich inzwischen der Göttinger Mathematiker David Hilbert des Problems angenommen hatte und eine Art Wettlauf entstanden war.

Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin

Am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin wird erforscht, wie sich in der jahrhundertelangen Wechselwirkung zwischen den Wissenschaften und den sie umgebenden Kulturen neue Kategorien des Denkens, des Beweisens und der Erfahrung herausgebildet haben. In ihren Forschungsprojekten fragen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nach den sich wandelnden Bedeutungen von wissenschaftlichen Grundbegriffen und untersuchen, wie sich Experimentier- und Argumentationspraktiken mit der kulturellen Entwicklung verändern.

Mehr Infos unter: www.mpiwg-berlin.mpg.de
Prof. Dr. Jürgen Renn, Direktor
Dr. Alexander Blum, Co-Autor dieses Beitrags

Der schweizer Mathematiker Marcel Grossmann. Er konnte Einstein bei der Suche nach den Feldgleichungen unterstützen, da er mit den dafür notwendigen Methoden der Differentialgeometrie vertraut war.

Auch der Mathematiker David Hilbert hatte sich, zeitgleich mit Einstein, mit der Formulierung einer Allgemeinen Relativitätstheorie befasst. Daraus entstand ein Prioritätsstreit, der mittlerweile durch historische Arbeiten recht eindeutig zu Einsteins Gunsten entschieden ist. Hilbert leistete jedoch zweifellos wichtige Beiträge zur mathematischen Formulierung der Theorie, etwa die sogenannte Hilbert-Wirkung.

Fotos: Besso, Grossmann, Hilbert/ Wikimedia Commons.

Design: www.gd90.de