

RÜDIGER VAAS

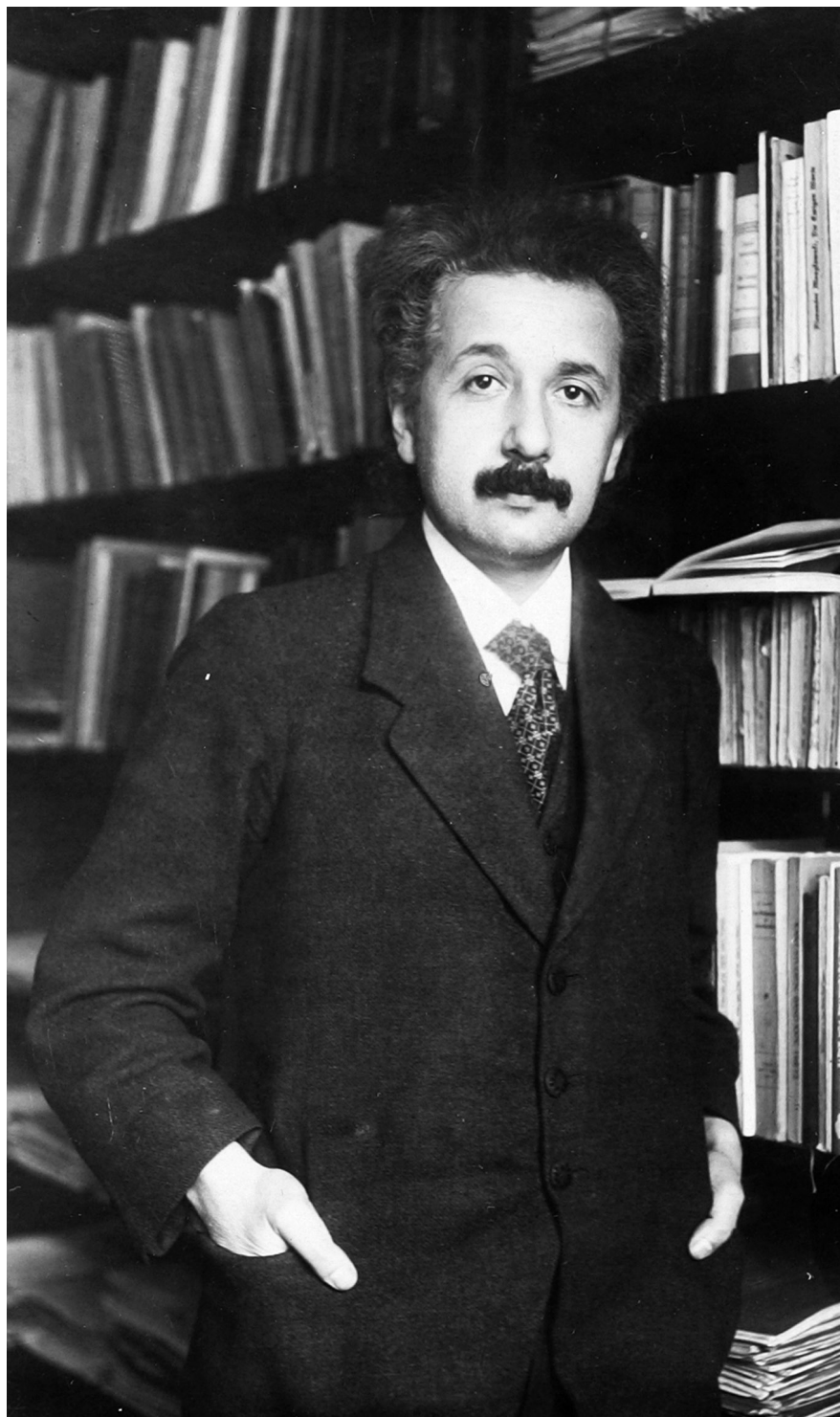
JENSEITS VON EINSTEINS UNIVERSUM

Von der Relativitätstheorie
zur Quantengravitation

**NIKOL**
VERLAG

Inhalt

- 6 › Anfangsbedingung und Weltgesetz
- 8 › **Revolution von Raum und Zeit**
Einsteins kühne Theorie des Universums
- 96 › **Der Kampf um die Relativitätstheorie**
Weite Wege, Sackgassen und der Durchbruch
- 200 › **Im Schatten der Raumzeit**
Löcher, Illusionen und die ganze Welt
- 278 › **Signale der Schwerkraft**
Lichtkrümmung und Gravitationswellen
- 404 › **Die Suche nach der Einheit**
Einsteins schwieriges Erbe
- 532 › Nachklang
- 564 › Raumzeitdank
- 565 › Paralleluniversen
- 566 › Lesezeitdilatation
- 575 › Photonenquellen



Anfangsbedingung und Weltgesetz

»Eines habe ich in meinem langen Leben gelernt, nämlich, dass unsere ganze Wissenschaft, an den Dingen gemessen, von kindlicher Primitivität ist – und doch ist es das Köstlichste, was wir haben«, meinte Albert Einstein 1951 in einem Brief an den Arzt Hans Mühsam. Der wohl bedeutendste Physiker des 20. Jahrhunderts, wenn nicht aller Zeiten, ist immer bescheiden und humorvoll geblieben; zugleich hat er sich seine Eigenständigkeit bewahrt und weit über die Wissenschaft hinaus gewirkt. Seine Allgemeine Relativitätstheorie, die 2016 mit der Entdeckung der Gravitationswellen erneut spektakulär bestätigt wurde, ist die Grundlage für die Erkenntnis des ganzen Universums.

Dieses Buch beschreibt die Relativitätstheorie, ihre Voraussetzungen und Hintergründe, ihre Genese und ihren Glanz, ihre Bewährung und Grenzen, ihre Folgen, Irritationen und Umwälzungen für Physik und Philosophie – und vielleicht sogar ihren Untergang. Es ist eine Geschichte der Extreme, eine Besichtigungstour zu verwegenen Forschungsfronten und den Abgründen von Raum und Zeit, eine Reise mit kosmischen Kuriositäten und einem ungeheuerlichen Tempo, ein Abenteuer in schwerelosen Gedankenexperimenten und gedankenschweren Gravitationssenken. Mithilfe der neuen Einsichten von Wissenschaftshistorikern ist es möglich, Einstein & Co. beim Forschen über die Schulter zu blicken. Physiker und Kosmologen erkunden indessen ein seltsames Universum. Wissenschaftstheoretiker analysieren Voraussetzungen und Konsequenzen der kühnen Ideen, während Naturphilosophen fragen, was das alles bedeutet ... Willkommen in Einsteins Universum – und darüber hinaus!

Genialer Gedankenschmied: Albert Einstein 1916, kurz nach der Vervollständigung der Allgemeinen Relativitätstheorie in seinem Arbeitszimmer in Berlin.



Revolution von Raum und Zeit

Einsteins kühne Theorie des Universums

Hinter den Alltagserscheinungen verbergen sich bizarre Naturgesetze und verblüffende Zusammenhänge. Winzige Massen entfesseln ungeheure Energien, Zentimeter schrumpfen nahe der Lichtgeschwindigkeit und Sekunden dehnen sich endlos.

»Hier lebte Albert Einstein«: Karikatur von Herb Block in der *Washington Post*, einen Tag nach Einsteins Tod am 18. April 1955.

»Wenn auch die Öffentlichkeit den Einzelheiten der wissenschaftlichen Forschung nur in bescheidenem Maße folgen kann, so hat sie doch ein Großes und Wichtiges gewonnen – das Vertrauen in die Sicherheit des menschlichen Denkens und in die Gesetzlichkeit des Naturgeschehens.«

Albert Einstein

Erkenntnisse für die Ewigkeit

Als Albert Einstein am 18. April 1955 in Princeton gestorben war, erschien am nächsten Tag in der *Washington Post* eine Karikatur von Herb Block, die eine Vielzahl von Welten im öden All zeigt. Nur eines dieser kosmischen Staubkörnchen sticht heraus: Es trägt ein riesiges Schild mit der Aufschrift *Albert Einstein lived here*. Für Armin Hermann, der bis 2001 an der Universität Stuttgart als Professor für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik lehrte, trifft diese Karikatur »trotz aller Übertreibung etwas Wesentliches«. Und er betont: »Ob wir Physiker sind oder nicht – wir müssen uns alle mit Einstein auseinandersetzen. Wesentlich von ihm angeregt hat die Wissenschaft tiefe Einsichten über die im Makrokosmos und Mikrokosmos wirkenden Kräfte zutage gefördert und dabei auch ein ganz neues Verständnis für das Wesen menschlicher Erkenntnis erzielt.«

Einsteins Beiträge – keineswegs nur in der Physik, sondern auch in der Politik und Philosophie – sind vielfältig und einflussreich. Sie haben ein ganz neues Universum erschlossen oder erst geschaffen. Und dies ist noch keineswegs ausgelotet – ja noch nicht einmal zu Ende gedacht.

Mit der Speziellen Relativitätstheorie hat Einstein den Raum mit der Zeit (als der vierten Dimension) vereinigt und die Relativität von Zeitspannen und Streckenlängen erkannt. Außerdem entdeckte er, dass die Lichtgeschwindigkeit für alle Beobachter absolut konstant und identisch ist; und er fand heraus, dass (träge) Masse und Energie erstaunlicherweise äquivalent sind wie zwei Seiten derselben Medaille. Ähnlich verhält es sich mit der trägen und der schweren Masse. Das führte Einstein dann zur Allgemeinen Relativitätstheorie, in der er die Raumzeit mathematisch mit Materie und Energie verbunden hat: Raum und Zeit bilden demnach nicht die passive Bühne des Geschehens, sondern werden von den Körpern und sogar von Licht beeinflusst – sowie auch umgekehrt. Daher ist die Gravitation Einstein zufolge eigentlich keine Kraft, sondern eine Eigenschaft der Raumzeit-Geometrie – die Folge der durch Masse »gekrümmten« Raumzeit. Denn Masse verlangsamt die Zeit (relativ zu einem Bezugssystem in einem schwächeren Gravitationsfeld), deformiert den Raum und zwingt Lichtstrahlen auf krumme Bahnen. Die Welt ist eine dynamische und zugleich unverbrüchliche Einheit, wie es sich vor Einsteins Erkenntnissen niemand hätte vorstellen können.

Experimente haben die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie mittlerweile glänzend bestätigt. Und das teils mit einer Präzision, die fast alles an wissenschaftlichen Messungen übertrifft. Trotzdem erscheinen die Theorien vielen Menschen nach wie vor unverständlich oder sogar paradox. Doch obschon Einsteins Meisterwerke noch immer als extrem exotisch gelten, sind sie inzwischen sogar im Alltag angekommen: Ohne sie gäbe es weder Navigationsgeräte im Auto noch Antimaterie in der medizinischen Diagnostik oder Kernkraftwerke zur Stromerzeugung. Auch unser Weltbild wäre völlig anders: Ohne Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie ließe sich nicht verstehen, warum die Sonne scheint, wie mechanische und elektromagnetische Vorgän-

ge zusammenpassen, wie sich die Elementarteilchen verhalten, weshalb Raum und Zeit zusammengehören und zu schwingen vermögen, und was es mit Schwarzen Löchern sowie einem seit dem Urknall sich ausdehnenden Weltraum auf sich hat.

Das Abenteuer des Denkens

Wissenschaft ist Ordnungssuche – der Versuch, Regelmäßigkeiten in einer komplizierten, schwer durchschaubaren Welt aufzuspüren, vorherzusagen und nutzbar zu machen. In diesem Sinn gibt es nichts Praktischeres als eine gute Theorie, wie Einstein einmal bemerkte. Aber Anwendungen stellen nicht das vordringliche Ziel der Forschung dar. Neugier und Staunen bilden die Triebkraft und sind wohl eine der wertvollsten Merkmale des Menschlichen.

»Das Schönste, was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Kunst und Wissenschaft steht. Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern, nicht mehr staunen kann, der ist sozusagen tot und sein Auge erloschen«, hat Albert Einstein einmal sein »Glaubensbekenntnis« beschrieben. Diese Worte sind oft zitiert worden, nicht selten mit mystizistischen Absichten. Einstein war aber kein Verklärer und Irrationalist. Vielmehr war er – und vielleicht ist allerdings dies irrational oder verklärend – »von einer tiefen Verehrung für die in dem Seienden sich manifestierenden Vernunft ergriffen«. Dieses »Vertrauen in die vernünftige und der menschlichen Vernunft wenigstens einigermaßen zugängliche Beschaffenheit der Realität« äußerte er bei vielen Gelegenheiten im Lauf der Jahrzehnte hinweg. Sein Motto: »Bewunderung für die Schönheit und Glaube an die logische Einfachheit der Ordnung und Harmonie, welche wir demütig und nur unvollkommen fassen können.« Mehrfach bezog er sich auf den rationalistischen Philosophen Spinoza, dessen

Stufen von Weltbildern	Beschreibung	Erklärungswert	innere Widerspruchsfreiheit	äußere Widerspruchsfreiheit	Prüfbarkeit	Beispiele
magisch-animistisch	+	?	–	–	–	Schamanismus
theologisch-mystisch	+	+	?	–	–	Babylonier Germanen
philosophisch-rational	+	+	+	?	–	griechische Philosophie
wissenschaftlich-rational	+	+	+	+	?	moderne Naturwissenschaft

Erweiterung der Erkenntnis: Der Philosoph Gerhard Vollmer hat vier Stufen von Weltbildern beziehungsweise -erklärungsweisen unterschieden und Kriterien zu ihrer Beurteilung vorgeschlagen. Das Schema mag stark simplifizieren, doch es gibt eine gute Orientierung und lässt sich auch als einen kulturellen Fortschritt lesen. Für die verschiedenen Weltbildstufen lassen sich unzählige Beispiele anführen, etwa die Vorstellung von der Entstehung des Universums. Das Erfolgsrezept des wissenschaftlich-rationalen Ansatzes besteht vor allem im engen Wechselspiel von Kritik, Theorie und empirischen Tests durch Beobachtungen und Experimente, neuerdings auch durch Simulationen. Dabei sind die innere und äußere Widerspruchsfreiheit entscheidend, also die Selbstkonsistenz und die Verträglichkeit mit der Erfahrung. Doch jede Überprüfbarkeit hat ihre Grenzen; und je weiter die Theorien in den Mikro- und Makrokosmos vorstoßen, aber auch in komplexe Systeme wie Leben, Gehirn und Gesellschaften, desto schwieriger und unanschaulicher werden die Erklärungsversuche. Letzte Wahrheiten kann die Wissenschaft ohnehin nicht finden und beweisen – aber das geht prinzipiell auch auf keine andere Art.

Werk er schätzte, ohne dass er dessen komplexe Philosophie als Ganzes freilich übernommen hätte.

»Je mehr nun ein Mensch durchdrungen ist von der gesetzlichen Ordnung allen Geschehens, desto fester wird seine Überzeugung, dass neben jener gesetzlichen Ordnung für Ursachen anderen Charakters kein Platz mehr bleibt«, schrieb Einstein, und nahm sich davon nicht aus. »Für ihn gibt es weder ein Walten menschlichen noch göttlichen Willens als selbständige Ursache im Naturgeschehen.« Die schon zu Einsteins Lebzeiten erfolgten

zahlreichen Versuche, ihn religiös zu vereinnahmen, sind daher so haltlos wie frech. Einstein hatte sich auch stets dagegen verwahrt. »Ich glaube nicht an einen persönlichen Gott und ich habe dies niemals geleugnet, sondern habe es deutlich ausgesprochen. Falls es in mir etwas gibt, das man religiös nennen könnte, so ist es eine unbegrenzte Bewunderung der Struktur der Welt, so weit sie unsere Wissenschaft enthüllen kann«, heißt es in einem Brief vom 24. März 1954. Und wenige Monate zuvor, am 3. Januar 1954, schrieb er an den Philosophen Eric Gutkind: »Das Wort Gottes ist für mich nicht mehr, als der Ausdruck und das Produkt menschlicher Schwächen. Die Bibel ist eine Sammlung ehrbarer, aber dennoch primitiver Legenden, welche doch ganz schön kindisch sind. Keine Interpretation, wie feinsinnig sie auch sein mag, kann das (für mich) ändern.« Für Einstein war jede Religion »der Inbegriff des kindischsten Aberglaubens.«

Das ist kein Widerspruch zu Einsteins beinahe verzückt-verzaubertem Blick auf das Universum – sondern sogar eher eine Voraussetzung dafür. »Wichtig ist, dass man nicht aufhört zu fragen«, zitierte der Redakteur William Miller Einstein in der Zeitschrift *Life* 1955. »Neugier hat ihren eigenen Seinsgrund. Man kann nicht anders als die Geheimnisse von Ewigkeit, Leben oder die wunderbare Struktur der Wirklichkeit ehrfurchtsvoll zu bestaunen. Es genügt, wenn man versucht, an jedem Tag lediglich ein wenig von diesem Geheimnis zu erfassen. Diese heilige Neugier soll man nie verlieren.« Mit dieser Haltung, der ernsthaften wie spielerischen Abenteuerlust des Denkens sowie der staunenden Neugier, steht Einstein in direkter Tradition mit der Wahrheitssuche der griechischen Philosophen zweieinhalb Jahrtausende früher. Mit ihnen hat, soweit die Überlieferung reicht, die Exploration des Universums spätestens begonnen. (Die Astronomie stellt vielleicht die älteste Wissenschaft dar und wurde noch viel früher praktiziert, wie neolithische Steinsetzungen und babylonische Aufzeichnungen

vermuten lassen.) Philosophie als Wahrheitssuche ist eine uralte Manifestation der Neugier und sicherlich eine der edleren Eigenschaften des Menschen. Einstein hat das jedenfalls so gesehen: »Das Streben nach Wahrheit und Erkennen gehört zum Schönsten, dessen der Mensch fähig ist«, sagte er in einer Rundfunksendung am 11. April 1943 und ergänzte augenzwinkernd: »... wenn auch der Stolz auf dieses Streben meist im Munde derjenigen ist, die am wenigsten von solchem Streben erfüllt sind.«

Die Wahrheitssuche, die durchaus auch Wahrheiten findet – Einsteins Lebenswerk zählt zu den besten Beispielen – ist allerdings nicht mit Dogmatismus, zweifelsfreien Letzterkenntnissen und unverbrüchlichen Sicherheiten zu verwechseln. Genau das Gegenteil ist richtig. Naturwissenschaftliche Erkenntnis, und auch dies zeigten Einsteins Einsichten, ist immer vorläufig. Aus Bescheidwissen folgt Bescheidenheit, nicht Überheblichkeit und ideologische Engstirnigkeit. »Es ist mir genug, diese Geheimnisse staunend zu ahnen und zu versuchen, von der erhabenen Struktur des Seienden in Demut ein mattes Abbild geistig zu erfassen«, meinte Einstein. Und musste sich eingestehen, bei allem Vertrauen in eine rationale Grundstruktur des Kosmos: »Das Unverständlichste am Universum ist im Grunde, dass wir es verstehen.«

1921 beschrieb er, was bereits die vorsokratischen Philosophen auszeichnete: »Der Naturwissenschaftler findet seinen Lohn in dem, was Henri Poincaré die Freude des Begreifens nennt und nicht in den Möglichkeiten der Anwendung, zu denen Entdeckungen führen können.«

Naturwissenschaft lässt sich grob charakterisieren als

- (1) eine systematische Erforschung der Welt
- (2) mit akzeptierten Theorien und Methoden
- (3) und ergebnisoffenen, undogmatischen Untersuchungen im Rahmen von (2),
- (4) was eine Weiterentwicklung und Revision von (2) erlaubt