



Band 6. Die Weimarer Republik 1918/19–1933

Albert Einstein, „Was ist Relativitäts-Theorie?“ (28. November 1919)

Dieser Brief an die *London Times* belegt beispielhaft die für Albert Einstein charakteristische Mischung von direkter, dabei gleichzeitig gelehrter Erklärung, Wärme und Humor. Einstein beschreibt seine Relativitätstheorie und dankt seinen englischen Kollegen für ihr Interesse am Verstehen und Überprüfen seines Werks. Auch wenn eine frühere Überschrift in derselben Zeitung lautete: „Einstein gegen Newton“ (8. November 1919), betont Einsteins Brief die Kontinuität zwischen seinen Erkenntnissen und der „großen Schöpfung“ seines englischen Vorgängers.

Dem Ersuchen Ihres Mitarbeiters, für die „Times“ [London] etwas über „Relativität“ zu schreiben, komme ich gerne nach. Denn nach dem beklagenswerten Zusammenbruch der früher regen internationalen Beziehungen der Gelehrten ist mir dies eine willkommene Gelegenheit, mein Gefühl der Freude und der Dankbarkeit den englischen Astronomen und Physikern gegenüber auszusprechen. Es entspricht ganz den großen und stolzen Traditionen der wissenschaftlichen Arbeit in Ihrem Lande, daß bedeutende Forscher viel Zeit und Mühe Ihre wissenschaftlichen Institute, große materielle Mittel aufwandten, um eine Folgerung einer Theorie zu prüfen, die im Lande Ihrer Feinde während des Krieges vollendet und publiziert worden ist. Wenn es sich bei der Untersuchung des Einflusses des Gravitationsfeldes der Sonne auf Lichtstrahlen auch um eine rein objektive Angelegenheit handelte, so drängt es mich doch, den englische Fachgenossen auch meinen persönlichen Dank für ihr Werk zu sagen; denn ohne dasselbe hätte ich die Prüfung der wichtigsten Konsequenz meiner Theorie wohl nicht mehr erlebt.

Man kann in der Physik Theorien verschiedener Art unterscheiden. Die meisten sind konstruktive Theorien. Diese suchen aus einem relative einfachen zugrunde gelegten Formalismus, ein Bild der komplexeren Erscheinungen zu konstruieren. So sucht die kinetische Gastheorie die mechanischen, thermischen und Diffusionsvorgänge auf Bewegungen der Moleküle zurückzuführen, d.h. aus der Hypothese der Molekularbewegungen zu konstruieren. Wenn man sagt, es sei gelungen, eine Gruppe von Naturvorgängen zu begreifen, so meint man damit immer, daß eine konstruktive Theorie gefunden sei, die die betreffenden Vorgänge umfaßt.

Es gibt aber neben dieser wichtigsten Klasse von Theorien eine zweite, ich will sie Prinzip-Theorien nennen. Diese bedienen sich nicht der synthetischen, sondern der analytischen Methode. Ausgangspunkt und Basis bilden nicht hypothetische Konstruktionselemente, sondern empirisch gefundene, allgemeine Eigenschaften der Naturvorgänge, Prinzipien, aus denen dann mathematische formulierte Kriterien folgen, denen die einzelnen Vorgänge bzw. Deren

theoretische Bilder zu genügen haben. So sucht die Thermodynamik aus dem allgemeinen Erfahrungs-Resultat, daß ein perpetuum mobile unmöglich sei, auf analytischem Wege Bindungen zu ermitteln, denen die einzelnen Vorgänge genügen müssen.

Vorzug der konstruktiven Theorien ist Vollständigkeit, Anpassungsfähigkeit und Anschaulichkeit, Vorzug der Prinzip-Theorie ist logische Vollkommenheit und Sicherheit der Grundlage.

Die Relativitätstheorie gehört zu den Prinzip-Theorien. Um ihr Wesen zu erfassen, muß man also in erster Linie die Prinzipie kennen lernen, auf denen sie beruht. Bevor ich auf diese eingehe, muß ich aber bemerken, daß die Relativitätstheorie einem Gebäude gleicht, das aus zwei gesonderten Stockwerken besteht, der speziellen und der allgemeinen Relativitätstheorie. Die spezielle Relativitätstheorie, auf welcher die allgemeine ruht, bezieht sich auf alle physikalischen Vorgänge mit Ausschluß der Gravitation; die allgemeine Relativitätstheorie liefert das Gesetz der Gravitation und deren Relationen zu den andern Naturkräften.

Seit dem griechischen Altertum ist es wohl bekannt, daß es zur Beschreibung der Bewegung eines Körpers eines zweiten Körpers bedarf, auf welchen die Bewegung des ersten bezogen wird. Die Bewegung eines Wagens wird auf den Erdboden bezogen, die eines Planeten auf die Totalität der sichtbaren Fixsterne. In der Physik nennt man den Körper, auf den man die Vorgänge räumlich bezieht, Koordinatensystem. Es können zum Beispiel die Gesetze der Mechanik von Galilei und Newton nur unter Benutzung eines Koordinatensystems formuliert werden.

Der Bewegungszustand des Koordinatensystems darf aber nicht willkürlich gewählt werden, wenn die Gesetze der Mechanik gelten sollen (es muß „drehungsfrei“ und „beschleunigungsfrei“ sein). Man nennt ein in der Mechanik zugelassenes Koordinatensystem eine „Inertialsystem“. Der Bewegungszustand eines Inertialsystems ist aber nach der Mechanik kein durch die Natur eindeutig bestimmter. Es gilt vielmehr der Satz: ein relativ zu einem Inertialsystem gradlinig und gleichförmig bewegtes Koordinatensystem ist ebenfalls ein Inertialsystem. Unter dem „speziellen Relativitätsprinzip“ versteht man nun die Verallgemeinerung dieses Satzes auf beliebige Naturvorgänge: jedes allgemeine Naturgesetz, welches in bezug auf eine Koordinatensystem K gilt, muß auch unverändert gelten in Bezug auf ein Koordinatensystem K' , welches relativ zu K in gleichförmiger Translationsbewegung ist.

Das zweite Prinzip, auf dem die spezielle Relativitätstheorie beruht, ist das „Prinzip von der Konstanz der Vacuum-Lichtgeschwindigkeit“. Dieses sagt: Das Licht hat im Vacuum stets eine bestimmte Ausbreitungsgeschwindigkeit (unabhängig vom Bewegungszustand und der Lichtquelle). Das Vertrauen, welches der Physiker diesem Satz entgegenbringt, stammt aus den Erfolgen der Maxwell-Lorentzschen Elektrodynamik.

Die beiden genannten Prinzipie sind durch die Erfahrung mächtig gestützt, scheinen aber logische miteinander nicht vereinbar zu sein. Ihre logische Vereinigung gelang schließlich der speziellen Relativitätstheorie durch eine Abänderung der Kinematik, d.h. der Lehre von den Gesetzen, die Raum und Zeit (vom physikalischen Standpunkt aus) betreffen. Es zeigte sich,

daß die Aussage der Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse nur in Bezug auf ein Koordinatensystem Sinn habe, daß die Gestalt von Meßkörpern und die Ganggeschwindigkeit von Uhren von deren Bewegungszustand zum Koordinatensystem abhängen müsse.

Die alte Physik inklusive der Galilei-Newtonschen Bewegungs-Gesetze paßten aber nicht zu der angedeuteten relativistischen Kinematik. Aus letzterer flossen allgemeine mathematische Bedingungen, denen die Naturgesetze entsprechen mußten, wenn die beiden genannten allgemeinen Prinzipien wirklich zutreffen sollten. Diesen mußte die Physik angepaßt werden. Insbesondere gelangte man zu einem neuen Bewegungsgesetz für (rasch bewegte) Massenpunkte, welches an elektrische geladenen Teilchen vortrefflich bestätigt wurde. Das wichtigste Ergebnis der speziellen Relativitätstheorie betraf die träge Masse körperlicher Systeme. Es ergab sich, daß die Trägheit eines Systems von seinem Energie-Inhalt abhängen müsse, und man gelangte geradezu zu der Auffassung, daß träge Masse nichts anderes sei als latente Energie. Der Satz von der Erhaltung der Masse verlor seine Selbständigkeit und verschmolz mit dem von der Erhaltung der Energie.

Die spezielle Relativitätstheorie, welche nichts anderes war als eine systematische Fortsetzung der Maxwell-Lorentzschen Elektrodynamik, wies aber über sich selbst hinaus. Sollte die Unabhängigkeit der physikalischen Gesetze vom Bewegungszustand des Koordinatensystems auf gleichförmige Translationsbewegungen der Koordinatensysteme zu einander beschränkt sein? Was hat die Natur mit den von uns eingeführten Koordinatensystemen und deren Bewegungszustand zu tun? Wenn es schon für die Naturbeschreibung nötig ist, sich eines von uns willkürlich eingeführten Koordinatensystems zu bedienen, so sollte die Wahl von dess Bewegungszustand keiner Beschränkung unterworfen sein; die Gesetze sollten von dieser Wahl ganz unabhängig sein (Allgemeines Relativitätsprinzip).

Die Durchführung dieses allgemeinen Relativitätsprinzips wird nahe gelegt durch eine längst bekannte Erfahrung, nach welcher die Schwere und die Trägheit eines Körpers durch die selbe Konstante beherrscht werden. (Gleichheit der trägen und schweren Masse). Man denke etwa an ein Koordinatensystem, welches relativ zu einem Inertialsystem im Sinne Newtons in gleichförmiger Rotation begriffen ist. Die relativ zu diesem System auftretenden Zentrifugalkräfte müssen im Sinne von Newtons Lehre als Wirkungen der Trägheit aufgefaßt werden. Diese Zentrifugalkräfte sind aber genau wie die Schwerkraft proportional der Masse der Körper. Sollte es da nicht möglich sein, das Koordinatensystem als ruhend und die Zentrifugalkräfte als Gravitationskräfte aufzufassen? Die Auffassung liegt nahe, aber die klassische Mechanik verbietet es.

Diese flüchtige Überlegung läßt ahnen, daß eine allgemeine Relativitätstheorie die Gesetze der Gravitation liefern muß, und die konsequente Verfolgung des Gedankens hat die Hoffnung gerechtfertigt.

Aber der Weg war schwerer als man denken sollte, weil er das Aufgeben der Euklidischen Geometrie verlangte. Dies bedeutet: Die Gesetze, nach welchen sich die festen Körper im Raume anordnen lassen, stimmen nicht genau überein mit den Lagerungsgesetzen, welchen

die Euklidische Geometrie den Körpern zuschreibt. Dies meint man, wenn man von „Krümmung des Raumes“ redet. Die Grundbegriffe „Gerade“, „Ebene“ etc. verlieren dadurch ihre exakte Bedeutung in der Physik.

In der allgemeinen Relativitätstheorie spielt die Lehre von Raum und Zeit, die Kinematik, nicht mehr die Rolle eines von der übrigen Physik unabhängigen Fundamentes. Das geometrische Verhalten der Körper und der Gang der Uhren hängt vielmehr von den Gravitationsfeldern ab, die selbst wieder von der Materie erzeugt sind.

Die neue Theorie der Gravitation weicht in prinzipieller Hinsicht von der Theorie Newtons bedeutend ab. Aber ihre praktischen Ergebnisse stimmen mit denen der Newtonschen Theorie so nahe überein, daß es schwer fällt, Unterscheidungskriterien zu finden, die der Erfahrung zugänglich sind. Solche haben sich bis jetzt gefunden:

- 1) In der Drehung der Ellipsen der Planetenbahnen um die Sonne (beim Merkur bestätigt).
- 2) In der Krümmung der Lichtstrahlen durch die Gravitationsfelder (durch die englische Sonnenfinsternis-Aufnahmen bestätigt).
- 3) In einer Verschiebung der Spektrallinien nach dem roten Spektralende hin des von Sternen bedeutender Masse zu uns gesandten Lichtes (bisher nicht bestätigt¹).

Der Hauptreiz der Theorie liegt in ihrer logische Geschlossenheit. Wenn eine einzige aus ihr geschlossene Konsequenz sich als unzutreffend erweist, muß sie verlassen werden; eine Modifikation erscheint ohne Zerstörung des ganzen Gebäudes unmöglich.

Niemand aber soll denken, daß durch diese oder irgendeine andere Theorie Newtons große Schöpfung im eigentlichen Sinne verdrängt werden könne. Seine klaren und großen Ideen werden als Fundament unserer ganzen modernen Begriffsbildung auf dem Gebiete der Naturalphilosophie ihre eminente Bedeutung in aller Zukunft behalten.

Zusätzliche Bemerkung: Die meine Person und Lebensverhältnisse betreffenden Bemerkungen Ihrer Zeitung zeugen zum Teil von erfreulicher Phantasie des Verfassers. Noch eine Art Anwendung des Relativitätsprinzips zum Ergötzen des Lesers: Heute werde ich in Deutschland als „Deutscher Gelehrter“, in England als „Schweizer Jude“ bezeichnet; sollte ich aber einst in die Lage kommen, als „bête noire“ präsentiert zu werden, dann wäre ich umgekehrt für die Deutschen ein „Schweizer Jude“, für die Engländer eine „Deutscher Gelehrter“.

Quelle: Albert Einstein, *Mein Weltbild*. Amsterdam: Querido Verlag, 1934, S. 220-28.

¹ Auch dieses Kriterium ist inzwischen bestätigt worden.
Anmerkung des Herausgebers.