

*Kurt Gödel*

EINE BEMERKUNG ÜBER DIE BEZIEHUNGEN  
ZWISCHEN DER RELATIVITÄTSTHEORIE  
UND DER IDEALISTISCHEN PHILOSOPHIE

Zu den Zügen der Relativitätstheorie, die philosophisch Gesinnte besonders fesseln müssen, gehört die Tatsache, daß sie neue und überraschende Einsichten über das Wesen der Zeit gab, jenes rätselhaften und scheinbar in sich widerspruchsvollen<sup>1</sup> Etwas, das doch die Grundlage für die Existenz der Welt und unserer selbst bildet. Schon der Ausgangspunkt der speziellen Relativitätstheorie ist die Entdeckung einer neuen und äußerst erstaunlichen Eigenschaft der Zeit, nämlich der Relativität der Gleichzeitigkeit, die weitgehend die der Sukzession zur Folge hat<sup>2</sup>. Die Behauptung, die Ereignisse *A* und *B* hätten gleichzeitig stattgefunden (und für eine große Gruppe von Ereignispaaren auch die Behauptung, *A* habe vor *B* stattgefunden), verliert ihren objektiven Sinn insofern, als ein anderer Beobachter mit dem gleichen Anspruch auf Richtigkeit behaupten kann, *A* und *B* hätten nicht gleichzeitig stattgefunden (oder *B* habe vor *A* stattgefunden).

Wenn wir die Konsequenzen dieses seltsamen Sachverhalts verfolgen, kommen wir zu sehr weitreichenden Schlüssen über das Wesen der Zeit. Es scheint, kurz gesagt, daß man einen eindeutigen Beweis für die Ansicht jener Philosophen erhält, die, wie Parmenides, Kant und die modernen Idealisten, die Objektivität des Wechsels leugnen und diesen als eine Illusion oder als eine Erscheinung betrachten, die wir unserer besonderen Art der Wahrnehmung verdanken<sup>3</sup>. Die Argumentation ist die folgende: Ver-

<sup>1</sup> Vgl. z. B. J. M. E. McTaggart, „The Unreality of Time“. „Mind“, S. 17, (1908).

<sup>2</sup> Zumindest dann, wenn man verlangt, daß irgend zwei Punktereignisse entweder gleichzeitig sind oder eines dem andern vorangeht, d. h., daß die zeitliche Aufeinanderfolge eine vollständige lineare Ordnung aller Punktereignisse definiert. Es gibt eine absolute partielle Ordnung.

<sup>3</sup> Kant spricht in der „Kritik der reinen Vernunft“ (2. Aufl. 1787, S. 54) seine Auffassung in den folgenden Worten aus: „Wenn aber ich selbst oder ein anderes Wesen mich, ohne diese Bedingung der Sinnlichkeit, anschauen könnte, so würden eben dieselben Bestimmungen, die wir uns jetzt als Veränderungen vorstellen, eine Erkenntnis geben, in welcher die Vorstellung der Zeit, mithin auch der Veränderung gar nicht vorkäme.“ Diese Formulierung stimmt so gut mit der

änderung wird nur durch das Vergehen der Zeit möglich. Die Existenz eines objektiven Zeitverlaufs<sup>4</sup> aber bedeutet (oder ist zumindest äquivalent damit), daß die Realität aus unendlich vielen Schichten des „jetzt Vorhandenen“ besteht, die nacheinander zur Existenz gelangen. Wenn aber die Gleichzeitigkeit in dem eben geschilderten Sinne etwas Relatives ist, kann die Realität auf eine objektiv bestimmte Weise nicht in solche Schichten aufgespalten werden. Jeder Beobachter hat seine eigene Reihe von solchen Schichten des „jetzt Vorhandenen“, und keines dieser verschiedenen Schichtensysteme kann das Vorrecht beanspruchen, den objektiven Zeitverlauf darzustellen<sup>5</sup>.

Diese Schlußfolgerung wurde von einigen, wenn auch überraschend we-

---

Auffassung der Relativitätstheorie überein, daß man fast versucht wäre hinzuzufügen: z. B. die Erkenntnis einer Neigung der materiellen Weltlinien relativ zueinander im Minkowski-Raum.

<sup>4</sup> Man kann sich auf den Standpunkt stellen, daß der Begriff eines objektiven Zeitverlaufs (der auf der Vorstellung beruht, daß nur die Gegenwart wirklich existiert) sinnlos sei. Aber das ist kein Ausweg aus dem Dilemma. Denn bei dieser Auffassung würde man in bezug auf das Wesen der Veränderung den idealistischen Standpunkt vertreten, genau wie jene Philosophen, die die Zeit als in sich widerspruchsvoll betrachten. Bei beiden Auffassungen leugnet man nämlich, daß ein objektiver Zeitverlauf ein möglicher Sachverhalt ist, umso mehr als er in Wirklichkeit existiert, und es bedeutet in diesem Zusammenhang nur einen kleinen Unterschied, ob unser Begriff von ihm als sinnlos oder als in sich widerspruchsvoll betrachtet wird. Freilich ist für die, die einen dieser Standpunkte einnehmen, das auf Grund der Relativitätstheorie (weiter unten) vorgebrachte Argument überflüssig. Aber selbst für sie müßte es von Interesse sein, daß es vielleicht einen zweiten Beweis für die Unwirklichkeit des Wechsels gibt, der auf ganz anderen Gründen beruht, insbesondere angesichts der Tatsache, daß die bewiesene Behauptung sich so radikal gegen den gesunden Menschenverstand richtet. Eine besonders klare Erörterung des Gegenstandes, unabhängig von der Relativitätstheorie, findet sich in: Paul Mongré, „Das Chaos in kosmischer Auslese“, 1898.

<sup>5</sup> Man kann einwenden, dieses Argument zeige nur, daß der Zeitverlauf etwas Relatives ist, was nicht ausschließt, daß er etwas Objektives sein könnte, während die Idealisten behaupten, er sei etwas bloß Vorgestelltes. Ein relativer Zeitverlauf aber, wenn dieser Ausdruck überhaupt einen Sinn haben soll, wäre bestimmt etwas völlig anderes als der Zeitverlauf im gewöhnlichen Sinn. Denn dieser bedeutet eine Veränderung im Existierenden und der Begriff der Existenz kann nicht relativiert werden, ohne daß man seinen Sinn völlig zerstört. Weiterhin kann eingewendet werden, das fragliche Argument beweise nur, daß die Zeit für verschiedene Beobachter in verschiedener Weise verläuft, während der Zeitverlauf selbst trotzdem eine immanente (absolute) Eigenschaft der Zeit oder der Realität sein könnte. Ich glaube aber, daß ein Zeitverlauf, der nicht ein Verlauf in einer bestimmten Weise wäre, ebenso absurd ist wie ein farbiger Gegenstand, der keine bestimmten Farben hat. Aber selbst wenn wir ein solches Ding begrifflich denken könnten, wäre es doch wieder total verschieden vom anschaulich vorgestellten Zeitverlauf, wie ihn die idealistische Behauptung meint.

nigen, philosophischen Schriftstellern ausgesprochen, aber sie ist nicht unbestritten geblieben. Tatsächlich kann man gegen das Argument in der soeben geschilderten Form folgendes einwenden: Die vollständige Äquivalenz aller Beobachter (die sich mit verschiedenen, aber gleichförmigen Geschwindigkeiten bewegen) — welche der wesentliche Punkt des Beweises ist — besteht nur in dem abstrakten Raum-Zeit-Schema der speziellen Relativitätstheorie und in gewissen leeren Welten der allgemeinen Relativitätstheorie. Die Existenz der Materie dagegen, ebenso wie die besondere Art der Krümmung von Raum-Zeit, die durch sie hervorgerufen wird, beseitigt weitgehend die Äquivalenz verschiedener Beobachter<sup>6</sup> und bevorzugt einige von ihnen sehr deutlich vor den übrigen, nämlich diejenigen, welche in ihrer Bewegung der mittleren Bewegung der Materie folgen<sup>7</sup>. Nun schließen sich in allen kosmologischen Lösungen der Gravitationsgleichungen (also in allen möglichen Universen), soweit sie bisher bekannt sind, die Lokalzeiten aller *dieser* Beobachter zu einer einzigen Weltzeit zusammen. Dadurch wird es offenbar möglich, diese Zeit als die „wahre“ zu betrachten, die objektiv verläuft, während die Diskrepanzen der die Zeit betreffenden Meßresultate anderer Beobachter so verstanden werden können, daß sie auf dem Einfluß beruhen, den eine Bewegung relativ zum mittleren Bewegungszustand der Materie auf die Meßvorgänge und überhaupt die physikalischen Vorgänge ausübt.

Aus diesem Sachverhalt hat James Jeans (angesichts der Tatsache, daß unsere Welt anscheinend durch eine der bekannten kosmologischen Lösungen dargestellt werden kann) geschlossen<sup>8</sup>, es sei kein Grund vorhanden, die Vorstellung einer absoluten und objektiv verlaufenden Zeit aufzugeben. Ich glaube nicht, daß die Sachlage diese Schlußfolgerung

<sup>6</sup> Natürlich sind nach der Relativitätstheorie alle Beobachter insofern äquivalent, als die Gesetze der Bewegung der Materie und der Wechselwirkung für Materie und Feld für sie alle die gleichen sind. Aber das steht nicht in Widerspruch damit, daß die Struktur der Welt, d. h. die Anordnung von Materie, Bewegung und Feld, verschiedenen Beobachtern ganz verschiedene Aspekte darbietet, und daß sie manchen von ihnen einen „natürlichen“ und anderen einen verzerrten Aspekt darbieten kann. Der Beobachter spielt übrigens bei diesen Betrachtungen keine wesentliche Rolle. Der Hauptpunkt ist natürlich der, daß die 4-dimensionale Welt selbst gewisse ausgezeichnete Richtungen hat, die direkt gewisse ausgezeichnete Lokalzeiten definieren.

<sup>7</sup> Die Geschwindigkeit und Richtung der mittleren Bewegung der Materie kann wesentlich von der Größe der Bereiche abhängen, für die man dieses Mittel nimmt. Was man die „wahre mittlere Bewegung“ nennen könnte, erhält man, wenn man die Bereiche so groß nimmt, daß eine noch weitere Zunahme in ihrer Größe den erhaltenen Wert nicht mehr wesentlich verändert. In unserer Welt ist das der Fall für Bereiche, die viele galaktische Systeme umfassen. Natürlich muß eine mittlere Bewegung in diesem Sinne nicht notwendig existieren.

<sup>8</sup> Vgl. „Man and the Universe“, Sir Halley Stewart Lecture (1935), S. 22—23.

rechtfertigt, und begründe meine Auffassung hauptsächlich<sup>9</sup> mit folgenden Tatsachen und Überlegungen:

Es gibt kosmologische Lösungen von anderer Art<sup>10</sup> als die heute bekannten, auf die das vorher erwähnte Verfahren zur Definition einer absoluten Zeit nicht anwendbar ist, weil die Lokalzeiten der einzelnen Beobachter, wie wir sie oben benützt haben, nicht in eine einzige Weltzeit zusammengeslossen werden können. Noch kann es für diese Universa irgendein anderes Verfahren zur Definition einer „absoluten“ Zeit geben. Diese Welten besitzen nämlich derartige Symmetrie-Eigenschaften, daß es für jede mögliche Weltzeit andere gibt, die von ihr durch keinerlei rein begrifflich faßbare Eigenschaften unterschieden werden können, sondern nur durch Bezugnahme auf Einzelobjekte, z. B. ein spezielles galaktisches System.

Demzufolge gilt der Schluß, den wir oben in bezug auf den nichtobjektiven Charakter der Veränderung gezogen haben, mindestens in diesen Welten. Ferner ergibt sich, daß die zeitlichen Verhältnisse in diesen Universen (zumindest in denen, auf die am Ende der Fußnote 10 Bezug genommen ist) andere überraschende Züge aufweisen, die wiederum die idealistische Auffassung beweisen. Wenn wir nämlich auf einem Raumschiff eine Rundfahrt in einer genügend großen Kurve machen, ist es in diesen Welten möglich, in eine beliebige Region der Vergangenheit, Gegenwart oder Zukunft und wieder zurück zu reisen, genau so wie es in anderen Welten möglich ist, in entfernte Teile des Raums zu reisen.

Diese Sachlage scheint eine Absurdität zu enthalten, denn es wäre uns

<sup>9</sup> Ein anderer Umstand, der gegen das Argument von Jeans spricht, ist der, daß das oben beschriebene Verfahren nur eine angenäherte Definition der „absoluten“ Zeit ergibt. Zweifellos ist es möglich, das Verfahren so zu verfeinern, daß man eine genaue Definition erhält, aber vielleicht nur durch Einführung mehr oder weniger willkürlicher Elemente (z. B. der Größe der Bereiche oder der Gewichtsfunktion, die man zur Berechnung der mittleren Bewegung der Materie verwendet). Es ist zweifelhaft, ob es eine genaue Definition gibt, die so große Vorteile hätte, daß man mit Recht gerade die durch sie erhaltene Zeit als die „wahre“ Zeit betrachten könnte.

<sup>10</sup> Die am meisten in die Augen fallende physikalische Eigenschaft, die diese Lösungen von den jetzt bekannten unterscheidet, ist die, daß der Trägheitskompaß in ihnen überall (in derselben Richtung) relativ zur Materie rotiert, was in unserer Welt bedeuten würde, daß er relativ zur Gesamtheit aller galaktischen Systeme rotiert. Diese Welten können daher mit einem passenden Namen „rotierende Universa“ genannt werden. Bei den folgenden Betrachtungen denke ich an eine besondere Art rotierender Universa, die die zusätzlichen Eigenschaften haben, statisch und räumlich homogen zu sein und deren kosmologische Konstante  $< 0$  ist. Für die mathematische Darstellung dieser Lösungen vergleiche man meine Arbeit in den *Reviews of Modern Physics*, 21 (1949), S. 447 und für eine allgemeine Diskussion rotierender Universa meinen Vortrag in *Proc. Int. Cong. Math.*, Harvard 1950, I, S. 175.

dann z. B. möglich, in die nahe Vergangenheit der Orte zu reisen, an denen wir selbst gelebt haben. Dort würde ein solcher Reisender eine Person finden, die er selbst in einem früheren Abschnitt seines Lebens wäre. Nun könnte er dieser Person etwas zufügen, von dem er seiner Erinnerung nach weiß, daß es ihm niemals zugestoßen ist. Dieser und ähnliche Widersprüche setzen aber, um die Unmöglichkeit derartiger Welten zu beweisen, voraus, daß man die Reise in seine eigene Vergangenheit wirklich machen kann. Die Geschwindigkeiten jedoch, die notwendig wären, um die Reise in einer vernünftigen Zeitspanne zu machen, finden sich weit jenseits von allem, wovon zu erwarten ist, daß es je eine praktische Möglichkeit werden könnte<sup>11</sup>. Darum kann man a priori nicht ausschließen, zumindest nicht auf Grund des eben behandelten Arguments, daß die raum-zeitliche Struktur der realen Welt dem beschriebenen Typus angehört.

Was die Schlußfolgerungen betrifft, die man aus dem geschilderten Sachverhalt für unsere Hauptfrage ziehen kann, so ist der entscheidende Punkt dieser: Für *jede* mögliche Definition einer Weltzeit könnte man in diesen Welten in Bereiche des Universums reisen, die gemäß dieser Definition der Vergangenheit angehören<sup>12</sup>. Dies aber zeigt, daß die Annahme eines objektiven Zeitverlaufs in diesen Welten jede Berechtigung verlieren würde. Denn auf welche Weise man auch eine verlaufende Zeit annehmen wollte, es würden immer mögliche Beobachter existieren, deren subjektivem Zeitverlauf kein objektiver Zeitverlauf entspricht (insbesondere auch mögliche Beobachter, deren sämtliche Erlebnisse objektiv gleichzeitig wären). Wenn man aber die Erfahrung des Zeitverlaufs ohne einen

<sup>11</sup> Wenn wir der Berechnung eine mittlere Materiedichte zugrunde legen, die der in unserer Welt beobachteten gleich ist, und annehmen, wir könnten Materie vollständig in Energie verwandeln, dann müßte das Gewicht des mitzunehmenden „Brennstoffs“, um die Reise in  $t$  Jahren (nach dem Zeitmaß des Reisenden) auszuführen, die Größenordnung von  $\frac{10^{22}}{t^2}$  mal dem Gewicht des Schiffes haben (vorausgesetzt, daß auch das Bremsen durch Rückstoß bewirkt wird). Diese Schätzung gilt für  $t \ll 10^{11}$ . Ohne Rücksicht auf den Wert von  $t$  muß die Geschwindigkeit des Raumschiffes mindestens  $1/\sqrt{2}$  der Lichtgeschwindigkeit sein.

*Zusatz des Autors zu Fußnote 11 der deutschen Auflage:* Ein zweiter Grund, die obigen Universen a priori auszuschließen, könnte in der Möglichkeit eines „Telegraphierens in die eigene Vergangenheit“ gefunden werden. Doch dürften die dabei auftretenden praktischen Schwierigkeiten kaum geringer sein. Die Grenze zwischen praktischen und prinzipiellen Schwierigkeiten ist übrigens durchaus nicht unverrückbar. Was früher in der Mikrophysik eine praktische Schwierigkeit war, ist heute, infolge der Unbestimmtheitsrelation, eine prinzipielle Unmöglichkeit geworden; und dasselbe könnte eines Tages auch für die Schwierigkeiten eintreten, die nicht auf einem „zu klein“, sondern auf einem „zu groß“ beruhen.

<sup>12</sup> Für diesen Zweck würden unvergleichlich kleinere Geschwindigkeiten genügen. Unter den in Fußnote 11 gemachten Annahmen müßte das Gewicht des Brennstoffes bloß die gleiche Größenordnung haben wie das Gewicht des Schiffes.

objektiven Zeitverlauf haben kann, ist kein Grund vorhanden, warum man einen objektiven Zeitverlauf überhaupt annehmen sollte.

Allerdings könnte man fragen: Was nützt es, wenn solche Verhältnisse in gewissen *möglichen* Welten herrschen? Hat das irgendeine Bedeutung für die uns interessierende Frage, ob in *unserer* Welt ein objektiver Zeitverlauf existiert? Ich denke, ja. Denn 1. kann man zwar unsere Welt kaum darstellen durch die besonderen, oben behandelten, rotierenden Lösungen (weil diese Lösungen statisch sind und darum für entfernte Objekte keine Rotverschiebung ergeben); aber es existieren auch Lösungen, die rotieren und expandieren. In solchen Universen braucht ebenfalls eine absolute Zeit nicht definierbar zu sein<sup>13</sup>, und es ist nicht unmöglich, daß unsere Welt ein Universum dieser Art ist. 2. Die bloße naturgesetzliche Möglichkeit von Welten<sup>14</sup>, in denen keine absolute Zeit definierbar ist und in denen es

<sup>13</sup> Zumindest dann nicht, wenn verlangt wird, daß zwei durch ein Zeitintervall getrennte Erfahrungen eines Beobachters in der absoluten Zeit niemals gleichzeitig sind, oder (was das gleiche besagt) daß die absolute Zeit in ihrer Richtung mit den Zeiten aller möglichen Beobachter übereinstimmt. Ohne diese Forderung kann eine absolute Zeit in einer expandierenden (und homogenen) Welt immer definiert werden. Wenn ich überhaupt von einer „absoluten“ Zeit spreche, muß das natürlich mit der in Fußnote 9 erläuterten Einschränkung verstanden werden, die für alle möglichen Definitionen einer absoluten Zeit gilt. *Zusatz des Autors bei der Übersetzung*: Unter einer „absoluten Zeit“ verstehe ich eine Weltzeit, die man ohne Bezugnahme auf Einzelobjekte definieren kann und die der zu Beginn dieser Fußnote formulierten Forderung genügt. Genauer sollte man dies eine „mögliche absolute Zeit“ nennen, da es in einer Welt mehrere geben kann, wenn das auch in räumlich homogenen Universen nur ausnahmsweise der Fall ist.

<sup>14</sup> Die oben betrachtete Lösung beweist nur deren Vereinbarkeit mit der allgemeinen Form der Feldgleichungen, in denen der Wert der kosmologischen Konstanten offengelassen ist. Dieser Wert, der zur Zeit nicht mit Sicherheit bekannt ist, bildet aber offenbar einen Bestandteil der Naturgesetze. Doch könnten andere rotierende Lösungen das Ergebnis vom Wert der kosmologischen Konstante unabhängig machen (d. h. von ihrem Verschwinden oder Nichtverschwinden und von ihrem Vorzeichen, da ihr numerischer Wert für dieses Problem keine Bedeutung hat). Auf jeden Fall wären diese Fragen zunächst in ungünstigem Sinne zu beantworten, bevor man daran denken könnte, einen Schluß wie den oben erwähnten von Jeans zu ziehen. Nachträglicher Zusatz vom 2. September 1949: Inzwischen habe ich gefunden, daß für *jeden* Wert der kosmologischen Konstante Lösungen existieren, in denen es keine Weltzeit gibt, die die Forderung der Fußnote 13 erfüllt. *Zusatz des Autors bei der deutschen Übersetzung zu Fußnote 14*: Auch der Entropiesatz dürfte mit den obigen Lösungen durchaus verträglich sein. Denn man kann in ihnen für alle zeitartigen Linien in eindeutiger und stetiger Weise eine positive Richtung definieren. Ferner ist es unendlich unwahrscheinlich, daß irgendein materielles System *genau* in sich zurückläuft. Wenn das aber nur ange nähert geschieht, so bedeutet es bloß, daß irgendwo 2 Exemplare desselben Systems (im allgemeinen mit verschiedenen Entropiewerten) gleichzeitig nebeneinander vorhanden sind. Die Anfangsbedingungen sind allerdings in solchen Welten nicht vollkommen frei wählbar.

Kurt Gödel

daher auch keinen objektiven Zeitverlauf geben kann, wirft Licht auf die Bedeutung der Zeit auch in jenen Welten, in denen eine absolute Zeit definierbar *ist*. Denn wenn jemand behauptet, diese Zeit habe einen Verlauf, nimmt er die Folgerung in Kauf, daß die Frage, ob es einen objektiven Zeitverlauf gibt oder nicht (d. h. ob eine Zeit im gewöhnlichen Sinne des Wortes existiert oder nicht), von der besonderen Weise abhängt, in der die Materie und ihre Bewegung in der Welt angeordnet sind. Das ist kein zwingender Widerspruch. Aber eine philosophische Anschauung, die zu solchen Konsequenzen führt, kann kaum als befriedigend betrachtet werden.

Institute for Advanced Study  
Princeton, New Jersey

*Kurt Gödel*