

Relativitätstheorie

WOLFGANG BÜCHEL SJ

Physik ist Erfahrungswissenschaft, und über die Richtigkeit einer physikalischen Theorie können nur Experimente entscheiden, nicht philosophische Überlegungen. Bei der speziellen Relativitätstheorie war jedoch lange Zeit hindurch und bei der allgemeinen Relativitätstheorie ist noch heute die experimentelle Basis ziemlich schmal; die entscheidenden Impulse zur Entwicklung der Theorie entsprangen vielmehr philosophischen Grundauffassungen.¹ Nur von daher ist der heftige Streit verständlich, der um diese physikalische Theorie weit über den Kreis der Fachphysik hinaus entbrannte (und der später in der Diskussion um die Interpretation der Quantenphysik ein gewisses Gegenstück fand. Interessanterweise vertrat Einstein, der „Revolutionär“ der Relativitätstheorie, gegenüber der Quantenphysik den „konservativen“ Standpunkt). Heute muß die Geltung der mathematischen Formeln der speziellen Relativitätstheorie als experimentell erwiesen angesehen werden.

Verkürzung und Verlangsamung

Was besagen diese Formeln? Wählen wir zur möglichst deutlichen Veranschaulichung ein utopisches Beispiel: ein Raumschiff, das mit einer Geschwindigkeit von 100 000 Kilometern in der Sekunde die Erde umkreise (natürlich außerhalb der Erdatmosphäre). Das Schiff sei kugelförmig gebaut mit einem Durchmesser von 100 m. Während des Fluges wird es von der Erde aus fotografiert; dann erscheint auf den Fotos — so lehrt die Relativitätstheorie — kein genau kugelförmiges Bild, sondern das Raumschiff ist in der Flugrichtung etwas abgeplattet. Die Auswertung der Fotos ergibt für den Durchmesser des Raumschiffs senkrecht zur Flugrichtung nach wie vor 100 m, für den Durchmesser in der Flugrichtung dagegen nur 94,3 m. Weitere Aufnahmen werden gemacht, während das Raumschiff allmählich bremst; bei einer Geschwindigkeit von 70 000 km/sec ergibt sich der Durchmesser in der Flugrichtung zu 97,3 m, bei 50 000 km/sec zu 98,6 m. Die Länge, d. h. die in der Flugrichtung gemessene Ausdehnung des Raumschiffs, „erscheint“ also

¹ Vgl. H. Weyl in der 1. Auflage von „Raum, Zeit, Materie“: „Ihre eigentliche Stütze findet sie (die Relativitätstheorie) weniger in der Erfahrung als in ihrer eigenen inneren Folgerichtigkeit, durch welche sie der klassischen Mechanik ganz erheblich überlegen ist, und darin, daß sie in einer die Vernunft aufs höchste befriedigenden Weise das Rätsel der Relativität der Bewegung und der Gravitation auf einen Schlag löst.“ Zitiert nach A. Kopff, Grundzüge der Einsteinschen Relativitätstheorie, Leipzig 1921, S. 192.

bei großen Geschwindigkeiten als verkürzt, „zusammengeschrumpft“ (über die Bedeutung des Ausdrucks „erscheint“ wird noch zu reden sein); bezeichnet l_0 die Länge des Raumschiffs im Ruhezustand und l_v die Länge, die bei der Fluggeschwindigkeit v von der Erde aus gemessen wird, so ist

$$l_v = l_0 \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (c = \text{Lichtgeschwindigkeit} = 300\,000 \text{ km/sec}).$$

Das Raumschiff sendet Radiosignale aus, und diese werden von einer im Raumschiff befindlichen Uhr so gesteuert, daß der Abstand zwischen je zwei Signalen genau 1 Sekunde beträgt, gemessen mit den Uhren der Raumschiffbesatzung. Die Signale werden von Bodenstellen aufgenommen, die Laufzeit, die das Signal für den Weg vom Raumschiff bis zur Bodenstelle benötigt, wird entsprechend eingerechnet und auf diese Weise ermittelt, in welchen Zeitabständen die Signale vom Raumschiff ausgesandt wurden. Es ergibt sich, daß die Zeitabstände zwischen den Signalen, gemessen mit den Uhren der Bodenstellen, um so größer werden, je höher die Fluggeschwindigkeit ist; bei der Fluggeschwindigkeit v beträgt der auf der Erde gemessene Zeitabstand zwischen zwei Signalen des Raumschiffs $1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ Sekunden. In gleicher Weise „erscheinen“ alle physikalischen Vorgänge am und im Raumschiff den Beobachtern auf der Erde verlangsamt.

Experimentelle Bestätigung

Soweit zunächst die Behauptungen der speziellen Relativitätstheorie. Mit welchem Recht werden sie aufgestellt?

Die Verlangsamung physikalischer Prozesse an sehr rasch bewegten Körpern ist unmittelbar experimentell beobachtet. Zunächst 1938 durch Ives und 1939 mit verbesserter Versuchsanordnung durch Otting an Atomen, die mit hoher Geschwindigkeit durch luftleere Röhren flogen und dabei Licht ausstrahlten. Die Lichtaussendung geht auf Schwingungen im Inneren der Atome zurück; wenn diese verlangsamt werden, ändert sich entsprechend die Wellenlänge des ausgesandten Lichts. Tatsächlich wurden die von der Relativitätstheorie vorausgesagten Wellenlängenänderungen beobachtet.²

Ein weiteres Beobachtungsobjekt bietet die Natur selbst dar. Wenn in den höchsten Schichten der Atmosphäre die aus dem Weltall kommenden Teilchen der kosmischen Strahlung mit den Atomkernen der atmosphärischen Luft zusammenstoßen, entstehen neue Elementarteilchen, Mesonen, die beinahe mit Lichtgeschwindigkeit zur Erde hinunterfliegen. Mesonen sind sehr kurzlebig: Ein im Ruhezustand befindliches Meson (man kann heute Mesonen im Laboratorium erzeugen und untersuchen) verwandelt sich nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von 0,000 002 Sekunden in andere Elementarteilchen. Fliegt das Meson mit angenäherter Lichtgeschwindigkeit durch die Atmosphäre, so könnte es während dieser Zeit von 0,000 002 Sekunden

² Ein Teil der Wellenlängenänderung geht auf den (linearen) Doppler-Effekt zurück, d. h. auf die Annäherung bzw. Entfernung der Lichtquelle vom Beobachter. Dieser Anteil muß natürlich abgezogen werden.

einen Weg von etwa 600 m zurücklegen. Tatsächlich zeigt jedoch die Beobachtung, daß die Mesonen eine mindestens 20mal dickere Luftschicht durchdringen. Die Erklärung liegt darin, daß nach der Relativitätstheorie an rasch bewegten Körpern alle Prozeßabläufe, also auch der Verwandlungsprozeß des Mesons, verlangsamt „erscheinen“.

Daß sich die Länge eines Körpers, d. h. seine Ausdehnung in der Bewegungsrichtung, mit wachsender Geschwindigkeit verkürzt, konnte so unmittelbar bisher nicht beobachtet werden. Diese Behauptung findet jedoch ihre indirekte Erhärtung in dem Erfolg der Diracschen Theorie des Elektrons. Bei der Begründung der modernen Quantenphysik in den Jahren 1925/26 hatten sowohl Schrödinger wie Heisenberg die Formeln der Relativitätstheorie nicht in Rechnung gestellt, obwohl die Überlegungen von de Broglie, die den Anstoß zu den Arbeiten Schrödingers gaben, ganz auf dem Boden der Relativitätstheorie gefußt hatten. Infolgedessen blieb in der neuen Atomphysik zunächst eine ganze Gruppe wichtiger experimenteller Tatsachen, nämlich alle Erscheinungen, die mit dem sogenannten „Elektronendrall“ zusammenhängen, ungeklärt. Sie fanden ihre befriedigende Erklärung erst, als es Dirac gelang, die neue Atomphysik den Formeln der Relativitätstheorie anzupassen (und diese Formeln enthalten eben auch die Längenverkürzung). Obendrein führte die Diracsche Theorie zur Voraussage einer bis dahin unbekannten Art von Elementarteilchen, der Positronen, die einige Jahre später tatsächlich entdeckt wurden.

Seitdem sind die Formeln der speziellen Relativitätstheorie aus der modernen Atomphysik nicht mehr wegzudenken. Besonders gilt dies von der Äquivalenz von Masse und Energie, d. h. der Behauptung, daß jedem Energiebetrag eine bestimmte träge und schwere Masse zukommt und umgekehrt. In voller Allgemeinheit ergibt sich diese Äquivalenz erst aus der Relativitätstheorie; bei der Erzeugung von Atomenergie wie bei der künstlichen Erzeugung neuer Elementarteilchen im Laboratorium findet sie ihre unmittelbare experimentelle Bestätigung. Die modernen Riesenmaschinen, in denen atomare Teilchen auf Geschwindigkeiten gebracht werden, die knapp unter der Lichtgeschwindigkeit liegen, bestätigen auch eine andere These der Relativitätstheorie: Es kann keine größere Geschwindigkeit als die Lichtgeschwindigkeit geben.

Relativität der Längen- und Zeitmessung

Wir sagten, daß bewegte Körper in der Bewegungsrichtung verkürzt und alle physikalischen Vorgänge an ihnen verlangsamt „erscheinen“. Nach der experimentellen Bestätigung der speziellen Relativitätstheorie konzentriert sich die mit ihr zusammenhängende philosophische Problematik auf die Frage, in welchem Sinn dieses „erscheinen“ zu verstehen ist. Bevor man eine Antwort versucht, muß man sich die Folgerungen vergegenwärtigen, zu denen die Einsteinschen Formeln führen.

Greifen wir zur Veranschaulichung auf das Beispiel unseres Raumschiffs zurück. Das Schiff möge jedoch die Erde nicht umkreisen, sondern es möge, aus grenzenloser Ferne kommend, im Geradeausflug mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit an der Erde vorbeifliegen und wieder im fernen Weltenraum verschwinden. Von der Anziehungskraft und Rotation der Erde werde abgesehen; wir denken uns also die Erde als eine masselose, nicht rotierende Kugel. Unter diesen Voraussetzungen sei einmal versuchsweise angenommen, daß das Raumschiff in objektiver Wirklichkeit die Zusammenschrumpfung in der Flugrichtung und die Verlangsamung aller physikalischen Vorgänge erfahre, die der Beobachter auf der Erde aus seinen Messungen in völlig einwandfreier Weise erschließt.

Im Innern des Raumschiffs sitze ein Beobachter, der von der Schrumpfung seiner Apparate und Verlangsamung seiner Uhren nichts weiß und genau in der gleichen Weise die Erde fotografiert und von der Erde kommende Radiosignale aufnimmt, wie dies der Beobachter auf der Erde mit dem Raumschiff macht. Wenn dann der Beobachter im Raumschiff nach den gleichen Prinzipien wie der irdische Beobachter seine Messungen auswertet — unter der Voraussetzung, daß seine Meßapparate und Uhren „normal“ funktionieren —, kommt er zu dem Ergebnis, daß die *Erde* in der Flugrichtung des Raumschiffs zusammengeschrunpft und alle Vorgänge *auf der Erde* verlangsamt seien. Wie dieses Ergebnis sich im einzelnen ableitet, kann hier nicht beschrieben werden; die Formeln der speziellen Relativitätstheorie sind eben gerade daraufhin angelegt, daß jedem (gleichförmig-gradlinig bewegten) Beobachter die Maßstäbe und Uhren *des anderen* als verändert „erscheinen“.

Welcher Beobachter hat nun recht, der auf der Erde oder der im Raumschiff? Natürlich der auf der Erde, möchten wir sagen; denn der Irrtum des Mannes im Raumschiff ergibt sich doch gerade aus der ihm unbekannten Deformation seiner Maßstäbe und Verlangsamung seiner Uhren. Dies letztere ist richtig; aber wir müssen bedenken, daß wir ja nur *angenommen* hatten, daß die Apparate und Uhren im Raumschiff verändert seien. Wir könnten statt dessen auch annehmen, daß die Erde und die Vorgänge auf ihr in Wirklichkeit so beschaffen seien, wie sie dem Beobachter im Raumschiff „erscheinen“. Auch von einer in Wirklichkeit abgeplatteten Erde aus und mit einem zusammengedrückten Fotoapparat würde ein irdischer Beobachter von einem in Wirklichkeit genau kugelförmigen Raumschiff ein abgeplattetes Bild erhalten. Von hier aus gesehen erscheint es als etwas willkürlich, dem einen Beobachter einen Vorzug vor dem anderen geben zu wollen.

Verschiedene Auffassungen ergeben sich auch, wenn es darum geht, die zeitliche Aufeinanderfolge zweier Ereignisse A und B an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche zu bestimmen. Der Beobachter auf der Erde wird etwa zu dem Ergebnis kommen, daß A und B zur gleichen Zeit stattfanden; der Beobachter im Raumschiff wird finden, daß A vor B stattfand, und ein Beobachter in einem zweiten Raumschiff, das in die entgegengesetzte Richtung fliegt, wird finden, daß B vor A stattfand. Wieder ist eine eindeutige Ent-

scheidung zugunsten der einen und gegen die anderen Auffassungen unmöglich.

Objektivität der Gleichzeitigkeit?

Gleichzeitigkeit räumlich entfernter Ereignisse ist physikalisch nicht eindeutig feststellbar — ist damit schon gesagt, daß es für solche Ereignisse Gleichzeitigkeit „in Wirklichkeit“ gar nicht gebe? Ohne weiteres natürlich nicht. Man muß sich jedoch überlegen, zu welchen Folgerungen man gelangt, wenn man an der objektiven, wenn auch physikalisch nicht feststellbaren Gleichzeitigkeit räumlich entfernter Ereignisse festhält.

Man wird sich dann immer einen Beobachter in einem mit passender Geschwindigkeit fliegenden Raumschiff denken können, dessen Meßapparate für objektiv gleichzeitige Ereignisse auch gemessene Gleichzeitigkeit ergeben. Daraus folgt dann, wie man aus den relativistischen Formeln unmittelbar ableitet, daß auch die übrigen Messungen dieses Beobachters die objektive Wirklichkeit ergeben: Körper, die sich relativ zu diesem besonderen Beobachter rasch bewegen, wären in objektiver Wirklichkeit so verkürzt und die physikalischen Vorgänge in ihnen in objektiver Wirklichkeit so verlangsamt, wie sie von diesem Raumschiff aus verkürzt und verlangsamt gemessen werden. In der gleichen bevorzugten Lage befänden sich alle anderen Raumschiffe, die mit gleicher Richtung und Geschwindigkeit wie das erste flögen. Es gäbe also eine ganz bestimmte Flugrichtung und Geschwindigkeit, die man einnehmen müßte, damit die Meßinstrumente keinerlei Deformierung und Gangveränderung erfahren. Und doch wäre die Natur merkwürdiger- und raffinierterweise so eingerichtet, daß kein Physiker eindeutig entscheiden könnte, ob sein Raumschiff diese bevorzugte Richtung und Geschwindigkeit hat oder nicht, ob seine Meßapparate die objektive Wirklichkeit wiedergeben oder deformiert sind.

Ehe man diese Folgerung in Kauf nimmt, wird man fragen, ob entsprechend gewichtige Gründe für die Objektivität der absoluten Gleichzeitigkeit sprechen.

Grenzen der Relativität

Zuvor sei jedoch der Überblick über die physikalischen Gegebenheiten ergänzt durch den Hinweis auf die Grenzen, die der beschriebenen Relativität der Zeit- und Längenmessung gesetzt sind.

Wir hatten ausdrücklich angenommen, daß unser Raumschiff, aus dem Unendlichen kommend, gradlinig und mit stets gleichbleibender Geschwindigkeit an der Erde vorbeifliege und wieder im Unendlichen verschwinde. Das war wesentlich; denn nur wenn zwei Beobachter sich *gradlinig* und mit *gleichbleibender* Geschwindigkeit aneinander vorbeibewegen, sind ihre Meßresultate, obwohl sie verschieden ausfallen, physikalisch gleichberechtigt. Anders ist es, wenn das Raumschiff die Erde umkreist. Dann treten nämlich bei der hohen Geschwindigkeit von 100 000 km/sec große Fliehkräfte auf, die

das Raumschiff von der Erde wegtrieben, wenn ihnen der Schub des Raketenmotors nicht das Gleichgewicht hielte. Im Inneren des Raumschiffs hat das zur Folge, daß der Beobachter mit großer Kraft an die der Erde abgekehrte Wand des Raumschiffs gepreßt wird. Unten auf der Erde ist jedoch nichts derartiges der Fall; denn wir wollen uns wieder die Schwerkraft und Rotation der Erde ausgeschaltet denken.

Jetzt befindet sich der Beobachter im Raumschiff mit seinen Meßapparaten in einer ganz anderen physikalischen Situation als der auf der Erde; denn auf seine Apparate und Uhren wirkt ja die Fliehkraft, und das könnte ihn veranlassen, den Messungen des Beobachters auf der Erde mehr Vertrauen zu schenken als seinen eigenen. In der Tat ist der Beobachter in dem kreisenden Raumschiff auch überhaupt nicht mehr in der Lage, den Zeitunterschied zweier räumlich getrennter Ereignisse auf der Erde zu messen. Er müßte dazu das gleiche Verfahren anwenden, das er früher — in dem geradeaus fliegenden Raumschiff — anwandte und das der Beobachter auf der Erde immer noch mit gutem Erfolg anwendet; dieses Verfahren führt aber jetzt — infolge des Kreisens des Raumschiffs — zu inneren Widersprüchen: Für ein und dasselbe Ereignis an dem gleichen Punkt der Erdoberfläche ergeben sich nach dem gleichen Verfahren verschiedene Werte! Das Versagen der Zeitmessung macht auch Längenmessungen unmöglich; denn die genauere Untersuchung zeigt, daß für jede Längenmessung schon Gleichzeitigkeitsbestimmungen für räumlich entfernte Ereignisse erforderlich sind; solche kann aber der Beobachter im kreisenden Raumschiff nicht mehr vornehmen.

Denselben Schwierigkeiten bei Zeit- und Längenmessung begegnet ein Beobachter in einem Raumschiff, das von der Erde startet, mit ununterbrochen arbeitendem Raketenmotor, also dauernder Beschleunigung zu einem Himmelskörper fliegt, dort bremst, umkehrt und schließlich wieder auf der Erde landet. Ein Beobachter auf der Erde stellt bei der Auswertung der von dem Raumschiff ausgesandten Radiosignale fest, daß während des Flugs die physikalischen Vorgänge am und im Raumschiff verlangsamt sind; und tatsächlich: Nach der Landung zeigen die Uhren im Raumschiff eine kürzere Dauer des gesamten Fluges an als die auf der Erde gebliebenen Uhren. Genau so liegen die Dinge, wenn das Raumschiff von der Erde startet, längere Zeit um die Erde kreist, wie oben beschrieben, und dann wieder landet. Auch dann zeigen die Borduhren für den gesamten Flug eine geringere Zeitdauer an als die Uhren auf der Erde; bei den Leuten im Raumschiff waren während des Flugs die Lebensvorgänge langsamer, und sie haben weniger Lebensmittel verbraucht, weil mit den physikalischen Prozessen auch alle physiologischen Prozesse im Organismus verlangsamt waren.

Doch warum zeigen sich die Fliehkräfte und die anderen Erscheinungen gerade bei dem Raumschiff? Weil es sich nicht gleichförmig und gradlinig bewegt, sondern kreist bzw. beschleunigt und abgebremst wird — so haben wir gesagt. Aber könnte man sich nicht auch umgekehrt auf den Standpunkt stellen, daß die Erde um das Raumschiff kreise bzw. daß die Erde sich ent-

ferne und wieder zurückkehre? Gewiß, man könnte es — wenn Erde und Raumschiff allein in der Welt vorhanden wären! Aber außerdem ist noch die Gesamtheit des Fixsternhimmels da; und weil das Raumschiff gegenüber der Gesamtheit des Fixsternhimmels³ eine kreisförmige bzw. eine beschleunigte oder verzögerte Bewegung ausführt, *darum* treten die Fliehkräfte und die übrigen Erscheinungen auf. So lehrt nicht mehr die spezielle, sondern die allgemeine Relativitätstheorie, die die gedanklich konsequente, aber experimentell noch nicht sicher bestätigte Weiterführung der speziellen Relativitätstheorie darstellt.⁴

Hier stoßen wir also auf eine gewisse Grenze der Relativität. Und man könnte, zurückkommend auf die Frage der Objektivität der Gleichzeitigkeit, sagen: Sollten nicht vielleicht die Messungen desjenigen Beobachters die objektiv „richtigen“ sein, der sich gegenüber der Gesamtheit des Fixsternhimmels in Ruhe befindet? Ein derartiger Beobachter nimmt in der Tat eine Sonderstellung ein; denn soviel wir heute wissen, nehmen die auf die Welt als Ganzes bezüglichen Naturgesetze in seinem Maßsystem eine besonders einfache Form an. Ist dies allein aber schon eine Gewähr dafür, daß die Gleichzeitigkeitsbestimmungen dieses Beobachters der objektiven Wirklichkeit entsprechen?⁵

Philosophisches zur Gleichzeitigkeit

Welche Gründe sprechen nun für die Objektivität einer absoluten Gleichzeitigkeit auch räumlich getrennter Ereignisse? Gewöhnlich wird die Auffassung vertreten, daß die Objektivität der absoluten Gleichzeitigkeit unzertrennlich mit der Objektivität des zeitlichen Charakters des Naturgeschehens, mit der Objektivität des zeitlichen „Nacheinander“ verbunden sei. Da nun die Preisgabe der Objektivität des zeitlichen Nacheinander zu ziemlichlichen Schwierigkeiten führen würde (sehr unmittelbares Erleben des Nacheinander der Bewußtseinsinhalte; Willensfreiheit), scheint man auch an der Objektivität der Gleichzeitigkeit festhalten zu müssen.

Zur Klärung wird es dienlich sein, die Begriffe „Zeit“ und „zeitliches Nacheinander“ voneinander abzuheben. Die „Zeit“ ist jener vorstellungsmäßige „Rahmen“, in dem das zeitliche Nacheinander des Geschehens abläuft — so wie der „Raum“ der „Rahmen“ ist, in den wir die wahrgenommenen ausgedehnten Gegenstände vorstellungsmäßig hineinprojizieren. Der vorstellungsmäßige Rahmen, also die „Zeit“, ist nach der Auffassung der Philo-

³ Im Fall eines sich ausdehnenden oder zusammenziehenden Universums muß es hier und im folgenden heißen: gegenüber der Gesamtheit der Himmelskörper in der „näheren“ Umgebung (die für die Erde das Milchstraßensystem und die nächsten Spiralnebel einschließt).

⁴ Einiges zur allgemeinen Relativitätstheorie siehe in dieser Zeitschrift 158 (1956) 413.

⁵ Im Fall eines statischen, in sich selbst zurücklaufenden Universums (Einsteinsche „Zylinderwelt“) wäre die Gleichzeitigkeitsbestimmung dieses ruhenden Beobachters allerdings die einzige, die sich widerspruchsfrei durch das ganze Universum hindurch durchführen ließe. Ein Gleiches ließe sich wohl für einen zeitlich veränderlichen geschlossenen, kaum aber für einen offenen Kosmos sagen.

sophia perennis nur ein Gedankending, begründet in der Struktur unseres sinnlichen Erkenntnisvermögens; objektiv-wirklich ist allein das zeitliche Nacheinander des Geschehens. In der Struktur unseres sinnlichen Erkenntnisvermögens ist es begründet, daß wir uns eine „leere“ Zeit, also den leeren Rahmen der Zeit ohne ein darin ablaufendes Geschehen, sehr wohl vorstellen können, ja sogar vorstellen müssen, wenn wir uns etwa den Zustand „vor“ der Erschaffung der Welt vorzustellen versuchen, wo es noch kein in zeitlichem Nacheinander ablaufendes Geschehen, sondern nur den absolut unveränderlichen Gott gab. Dieses letztgenannte Beispiel zeigt besonders deutlich, daß dem Rahmen der „Zeit“, für sich allein genommen, keinerlei Wirklichkeit entspricht.

Betrachten wir zwei Ereignisse A und B. Vorstellungsmäßig müssen wir sie immer in den Rahmen der „Zeit“ hineinprojizieren, und dort ist dann notwendig A entweder früher als B, später als B oder mit B gleichzeitig. Entspricht der zeitlichen Zuordnung, die so zwischen den beiden Ereignissen hergestellt wird, immer auch eine objektive Wirklichkeit? Wenn man bedenkt, daß der Rahmen der „Zeit“ nur ein Gedankending ist, wird man vorsichtig sein. Interessanterweise hat die Naturphilosophie des Mittelalters, fußend auf dem aristotelischen Zeitbegriff, zwar nicht unsere Frage selbst behandelt, aber Grundsätze aufgestellt, die zu einer befriedigenden Lösung führen könnten.⁶ Demgemäß wäre, kurz zusammengefaßt, etwa zu sagen: Den zeitlichen Beziehungen des „früher“, „später“ und „gleichzeitig“ zwischen den Ereignissen A und B entspricht nur dann eine objektive Wirklichkeit, wenn es ein reales, in zeitlichem Nacheinander ablaufendes Geschehen gibt von der Art, daß die Ereignisse A und B mit irgendeinem Stadium dieses Geschehens in unmittelbarem realen Zusammenhang stehen, sei es, daß A mit einem früheren und B mit einem späteren Stadium in unmittelbarem Zusammenhang steht (oder umgekehrt), sei es, daß A und B mit dem gleichen Stadium des Geschehens in unmittelbarem Zusammenhang stehen. In letzterem wäre die Objektivität der „Gleichzeitigkeit“ von A und B begründet. Dabei ist unter einem „unmittelbaren“ Zusammenhang ein solcher verstanden, der nicht selbst wieder durch ein in zeitlichem Nacheinander ablaufendes Geschehen hergestellt wird.

Für die mittelalterliche Naturphilosophie war der gemeinsame Geschehensablauf, mit dessen verschiedenen Stadien alle irdischen Geschehnisse in unmittelbarem realen Zusammenhang stehen sollten, in der Bewegung des „äußersten Himmels“ gegeben und dadurch auch die Objektivität der Gleichzeitigkeit räumlich entfernter Ereignisse begründet. Diese Auffassung ist natürlich nicht mehr haltbar. Die einzige Möglichkeit, zwischen zwei räumlich getrennten, angeblich „gleichzeitigen“ Ereignissen noch einen unmittelbaren (im angegebenen Sinn) realen Zusammenhang herzustellen und so ihrer

⁶ Vgl. A. Maier, Scholastische Diskussionen über die Wesensbestimmung der Zeit, Scholastik 26 (1951) 520, sowie die dort angeführte Arbeit von A. Mansion. — F. Selvaggi, Problemi della fisica moderna, Brescia 1953, S. 86 ff.

„Gleichzeitigkeit“ eine objektive Realität zu verleihen, wäre eine zeitlose Fernwirkung zwischen den beiden Ereignissen (d. h. eine Fernwirkung, die den räumlichen Abstand mit unendlich großer Geschwindigkeit überbrücken würde). Eine zeitlose Fernwirkung ist aber gerade nach der speziellen Relativitätstheorie unmöglich; physikalische Wirkungen können sich höchstens mit Lichtgeschwindigkeit durch den Raum ausbreiten. In den Fällen aber, in denen (nicht „gleichzeitige“) Ereignisse durch ein reales, in zeitlichem Nacheinander ablaufendes physikalisches Geschehen miteinander verbunden werden können, in denen also dem „früher“ und „später“ nach dem Gesagten eine objektive Wirklichkeit entspricht, ist nach der Relativitätstheorie eine Umkehr der zeitlichen Reihenfolge dieser Ereignisse in keinem Maßsystem irgendeines Beobachters möglich.

Es ergäbe sich also, daß man auch von philosophischer Seite aus an der Objektivität der zeitlichen Beziehungen „früher“, „später“ und „gleichzeitig“ nur insoweit festzuhalten brauchte, als von der Relativitätstheorie her keine Schwierigkeiten bestehen.

Das Gesagte bedürfte natürlich genauerer Ausführung und Begründung. Es wäre auch zu bemerken, daß sich aus dem Verzicht auf die Objektivität der Gleichzeitigkeit Folgerungen für den Begriff der räumlichen Länge (Breite usw.) ergeben; denn die Länge z. B. eines Stabes ist doch der Abstand zwischen den Raumpunkten, die *zur gleichen Zeit* mit dem Anfang bzw. Ende des Stabes zusammenfallen. Auch von der Atomphysik her müßte der Begriff des zeitlichen Nacheinander und räumlichen Nebeneinander einer Prüfung unterworfen werden, um seinen Realitätsgehalt festzustellen.⁷

Paul Cézanne: Die neue Welt

HERBERT SCHADE SJ

Die seelische Zerrissenheit, die den modernen Menschen charakterisiert, ist nicht immer Zeichen einer physischen Krankheit oder Ausdruck moralischen Versagens. Oft ist sie die Folge eines fehlenden Weltbildes. Die Ergebnisse der Naturwissenschaften und die Erkenntnisse der Geisteswissenschaften haben das alte Weltbild zerstört, ohne daß es bis jetzt gelungen wäre, ein neues Bild der Welt zu entwerfen, das den Forderungen aller Wissenschaften in gleicher Weise gerecht würde.

Nach Auffassung des modernen Menschen sind die Vorgänge im Weltall

⁷ Einiges siehe *W. Büchel*, *Scholastik* 30 (1955) 233, bes. 235 ff.; 31 (1956) 1, bes. 15 ff.