

Die Regel wurde merkwürdigerweise plötzlich vergessen. Führende Physiker sagten kein Wort über Einsteins Methode und seine logischen Bocksprünge, sondern lauschten seinen Darlegungen verzückt wie einer Offenbarung. Noch heute gibt es Einstein-Jünger (Prokhovnik 1967, Rosser 1971), die die Zulassung des Gedankenexperiments ungeschert für eine Bereicherung der Naturwissenschaft erklären und immer neue Gedankenexperimente ersinnen, um die aus den früheren Gedankenexperimenten der Relativitätstheorie entstandenen Probleme zu lösen¹². Zwar meldeten sich sofort Kritiker, die dieser Verderbnis der Wissenschaft entgegentraten, aber ihre Stimmen gingen in der allgemeinen Einstein-Begeisterung unter. Die Kritik hat seither nie geschwiegen, aber viel weniger Publizität gefunden als die Relativitätstheorie.

Einstein führt stillschweigend seine Hypostasierung durch: die Lorentz-Transformation wird für ihn zum Naturgesetz wie für andere Leute das Fallgesetz. Die Lorentz-Transformation und ihre Auslegung durch Einstein sind nicht dasselbe. Einstein hat die Behauptung hinzugefügt, daß alle bewegte Materie der Lorentz-Transformation gehorche; davon hatte Lorentz, der sich nur mit dem Elektromagnetismus beschäftigte, nichts gesagt.

Widersprüche der Ontologisierung

Nehmen wir einen Augenblick an, daß die Uhr in S' tatsächlich nachgeht. Damit wird ihre Zeit in S' zur Eigenzeit. Entgegen dem Ansatz der Relativitätstheorie sind die Eigenzeiten in S und S' nicht mehr gleich; das Nachgehen in S' entsteht nicht mehr durch das «Hinübermessen» von S aus, sondern ist autonom und faktisch. Den Überlegungen der Relativitätstheorie ist der Boden entzogen. Die Situation ist nicht mehr relativistisch und kann nicht aus der Relativitätstheorie abgeleitet werden.

Gegenseitigkeit und Symmetrie, bisher die betonten und wesensnotwendigen Kennzeichen der relativistischen Messungen, sind gestrichen. Die beiden Systeme sind nicht mehr gleichberechtigt. Es gibt nun ein bevorzugtes System S' , in dem die Uhr tatsächlich nachgeht, und ein zurückgesetztes System S , in dem das von S' aus beobachtete Nachgehen der Uhr ein metrischer Trug ist. Nach der Rückkehr zeigt der Zeigerstand

¹² Das «Gedankenexperiment» ist eine *contradictio in adiecto*. Ein Experiment muß real sein, sonst ist es eben kein Experiment, sondern nur ein Gedanke. Ein «Gedankenexperiment» ist ein fingiertes Experiment. Einstein hielt sich nicht an das Prinzip Newtons: *Hypotheses non fingo*.

der Uhr in S' ein wirkliches Nachgehen an, nicht jedoch der Zeigerstand der Uhr in S . Der aus S' ausgestiegene Beobachter stellt fest, daß die Uhr in S gegenüber seiner Borduhr vorgeht und nicht nachgeht.

Während der Fahrt sieht der Beobachter in S' die Uhr in S , die noch die alte Eigenzeit hat, langsamer gehen; sie geht nach seinen Messungen gleich mit seiner verlangsamtten Borduhr. Somit gilt $t = t'$. Die Relativitätsbedingung, wonach t nicht gleich t' ist, ist verschwunden. Infolgedessen stehen die beiden Systeme nicht mehr miteinander über die Lorentz-Transformation in Beziehung. Die Situation entspricht nicht mehr der Relativitätstheorie, die eine solche Beziehung zwischen bewegten Systemen voraussetzt. Wenn $t = t'$, so gilt die Lorentz-Transformation nur bei $v = 0$ (Wiegand 1964, Nordenson 1969, Essen 1971).

Einstein stößt mit der einseitigen Ontologisierung sein eigenes System um. Er scheint es nicht zu bemerken. Er bemerkte auch nicht, daß mit der neuen Annahme das «Uhrenparadoxon» der ursprünglichen Theorie verschwunden war. Denn das Paradoxon bestand ja nicht darin, daß die eine Uhr nachging, sondern daß *beide* Uhren gleichzeitig nachzugehen schienen. Unbemerkt blieb auch, daß mit der Ontologisierung die Messung und die Wirklichkeit wieder zweierlei wurden, womit ein weiterer Grundpfeiler der Relativitätstheorie fiel: in S wird von S' aus ein Nachgehen gemessen, aber es ist nicht real.

Das sind aber noch nicht alle Widersprüche. Der Beobachter in S scheint vergessen. Untersucht man seine Eindrücke (was Einstein unterläßt), so zeigt sich, daß die Welt nicht mehr für alle Beobachter gleich aussieht, wie es die Relativitätstheorie fordert. Die Uhr in S geht laut Definition nicht nach. Sie kann es auch nicht, denn erstens würde das die Zwei-Wirklichkeiten-Theorie bedeuten, zweitens aber ist kein Grund zu sehen, warum sie nachgehen sollte. Das Nachgehen der Borduhr in S' ist eine (wenn auch mystische) Ontologisierung des von S aus gewonnenen metrischen Eindrucks. In S gibt es aber nichts zu ontologisieren, denn von S' aus beurteilt geht die Uhr in S gar nicht gegen die Uhr in S' nach, wenn die letztere wirklich langsamer geht. Außerdem ruht die Uhr real in S .

Der Beobachter S hat also unverändert seine alte Eigenzeit und beobachtet in S' eine Uhr, die um einen von der Lorentz-Transformation gegebenen Wert effektiv nachgeht. Sie muß ihm nochmals um die Lorentz-Differenz verlangsamt erscheinen. War bei beiderseits gleicher Eigenzeit 1 Sekunde in S' gleich 2 Sekunden in S , so ergibt sich nunmehr ein Verhältnis 1:4. Das entspricht nicht der Relativitätstheorie.

Ein weiterer Widerspruch ergibt sich daraus, daß nach der ursprüngli-

chen Relativitätstheorie die Beobachter in beiden Systemen ihre Messungen mit gleichgehenden, synchronisierten Uhren vorzunehmen haben. Wenn die Uhr in dem einen System automatisch effektiv nachgeht, ist dies nicht möglich.

Später erklärte Einstein (1918), die Uhr in S brauche gar nicht nachzugehen, denn sie sei nicht gleichberechtigt (S. 147). Damit besiegelte er den Widerspruch zu seiner eigenen Theorie.

Der Ontologisierungsfehler

Eine logische Analyse des ontologisierten «Uhrenparadoxons» führt also zu anderen Paradoxien als den von Einstein postulierten. Sie führt nach allen Richtungen entweder zu unmöglichen Annahmen oder zu Folgerungen, die der Relativitätstheorie widersprechen.

Der Ontologisierung haftet ein grundsätzlicher Fehler an, den wir in Hinkunft den «Ontologisierungsfehler» nennen wollen. Die Ontologisierung vernichtet die Relativitätstheorie. Der Ontologisierungsfehler macht jede Ableitung realer Erscheinungen aus dieser Theorie unmöglich. Die so oft zu lesende Aussage «Die bewegte Uhr geht auf Grund der Relativitätstheorie nach» enthält einen Widerspruch. Die Uhr *kann* gar nicht auf Grund der Relativitätstheorie nachgehen, denn bei einem tatsächlichen Nachgehen sind die Bedingungen der Relativitätstheorie nicht mehr gegeben. Die Uhr kann höchstens nachzugehen *scheinen*.

Spezielle Relativitätstheorie Nr. 2

Die Ontologisierung verändert die Relativitätstheorie grundlegend. Es handelt sich jetzt um eine neue Theorie, die keine Anwendung der ursprünglichen Relativitätstheorie ist, obwohl die Sache allgemein so dargestellt wird, als wäre dies der Fall. Die neue Theorie ist vielmehr mit der Theorie Nr. 1 unvereinbar. Sofern man ihr überhaupt den Namen einer Theorie beilegen kann – ohne ihre Basis in der ursprünglichen Theorie ist sie nur eine Behauptung –, muß man sie als spezielle Relativitätstheorie Nr. 2 bezeichnen.

Die Umdeutung der imaginären Meßeffekte in reale physikalische Prozesse ist von Haus aus antirelativistisch, denn sie erfordert ein ausgezeichnetes System, also gerade das, was die Relativitätstheorie Nr. 1 verbietet. Einstein gibt in Theorie Nr. 2 faktisch das Relativitätsprinzip auf. Er kehrt in Bezug auf die Uhr zu dem von ihm abgelehnten vorrelativistischen Lorentz zurück, der behauptet hatte, daß der bewegte Stab eine tatsächliche physische Kontraktion erfährt.

Das vieldiskutierte «Uhrenparadoxon» beruht in seiner ontologisierten Form, die allein ihm den sensationellen Charakter verliehen hat, auf flagranten logischen Fehlern. Es ist nicht aus der ursprünglichen Relativitätstheorie abzuleiten, was immer man von ihr halten mag, sondern widerspricht ihr.

Noch ein Widerspruch: Die Theorie Nr. 1 beruht auf Überlegungen über den Gang und Empfang von Lichtsignalen. Sie kann also nur auf Vorgänge angewendet werden, von denen man Kenntnis durch Lichtsignale erhält. Die Theorie Nr. 2 behauptet aber, daß die Verlangsamung auch ohne Lichtsignale stattfindet; auch wenn während der Bewegung keine Signale ausgesandt werden, geht die Uhr nach. Der Vorgang wird also aus dem Zusammenhang mit der Lichtgeschwindigkeit und aus dem metrischen Verband der Theorie Nr. 1 herausgelöst, die ohne die entscheidende Rolle des Lichts keinen Augenblick existieren kann. Die Theorie Nr. 2 ontologisiert bei näherer Betrachtung nicht den in Theorie Nr. 1 postulierten, an Lichtsignale geknüpften Vorgang, sondern postuliert einen völlig neuen Vorgang, der mit dem ersten nur die Lorentz-Formel gemein hat.

Wenn die Uhr wirklich langsamer geht, wird in der Tat die Relativitätstheorie Nr. 1, die eigentliche Relativitätstheorie, mit all ihren Gedankenexperimenten, Begriffsumwälzungen und Paradoxien überflüssig. Es liegt dann einfach eine (aus der Luft gegriffene) Behauptung über den Gang bewegter Uhren vor, die nur eines experimentellen Beweises und einer Begründung mit einem verständlichen physikalisch-technischen Prozeß bedarf. Bisher gibt es weder das eine noch das andere. (Über die bisher vorliegenden Versuche vgl. S. 151¹³.)

Uhr und Zeit

Eine Frage für sich bleibt es, wie der Gang einer Uhr – schließlich gehen Uhren oft vor oder nach – den tatsächlichen Ablauf der Zeit verändern soll. Diese Frage ist fast noch schwieriger zu beantworten als die umgekehrte Frage, wie ein verlangsamter Zeitablauf, was immer man sich darunter vorstellen soll, den Gang einer Uhr verändern soll. Einstein bleibt darüber unklar, welche dieser beiden Möglichkeiten er eigentlich meint. Seine These scheint eher die zweite zu sein. Er arbeitet sie nicht heraus,

¹³ In jedem Fall sind Annahmen über eine vierte Dimension und über multiple Zeiten unnötig; der Vorgang könnte sich, wenn es ihn gäbe, ohne weiteres im Rahmen der traditionellen dreidimensionalen Welt und in der absoluten Zeit abspielen.

obwohl sie doch fundamental für seine Argumentation wäre. Das Halbgedachte und Impressionistische, das diese angeblich die ganze Welt bis in ihre letzten Tiefen erklärende Theorie kennzeichnet, bleibt auch hier vorherrschend.

Einstein macht bestimmte Voraussetzungen über den Zusammenhang des Zeitablaufs mit dem Ablauf von Vorgängen. Er knüpft an das gängige Bild von der Zeit als einem dahinströmenden Fluß an. Aber dieser Fluß kann bei ihm, anders als bei Kant und Newton, seine Strömungsgeschwindigkeit ändern. Der Fluß trägt, wieder anders als bei Kant und Newton, die Ereignisse wie treibende Nachen: fließt er schneller, bewegen sie sich ebenfalls schneller, und bei Verlangsamung der Strömung treiben sie langsamer dahin. Einstein begibt sich in eine metaphysische Nebelzone, die allerdings den Vorteil hat, daß hier die Frage nach dem physikalisch-technischen Mechanismus der Uhrenverlangsamung durch Bewegung nicht entsteht. Die Zeit verläuft langsamer, damit verlaufen auch alle mechanischen Vorgänge in der Uhr langsamer: alles scheint klar zu sein.

Es ist aber nicht klar. Über eine Frage, die der gründlichsten philosophischen Überprüfung bedarf, gleitet Einstein mit charakteristischer Leichtfertigkeit hinweg. Selbst bei der unvorstellbaren Annahme eines verschiedenen Zeitablaufs ist noch nicht gesagt, daß die Vorgänge sich im Tempo der Zeit anpassen müssen. Ein Schiff kann schneller oder langsamer fahren als die Strömung. Die Zeit fließt nach der klassischen Anschauung gleichmäßig dahin, die in ihr stattfindenden Vorgänge zeigen aber sehr verschiedene Geschwindigkeiten. Sie sind also, *sit venia verbo*, mit der Zeit nicht synchron. Einstein setzt aber eine Synchronie zwischen Zeit und Vorgängen voraus.

Doch ehe man sich den Kopf über die angebliche Veränderung des Zeitflusses und deren Effekte zerbricht, muß man wohl fragen, wie sich eine solche Veränderung denn feststellen ließe; sonst hat es kaum Sinn, darüber zu sprechen. Nun ergibt sich, da man nach Einstein nur auf dem Weg über Uhren etwas von der Zeit erfahren kann, ein Zirkelschluß: die Uhren gehen langsamer, weil die Zeit langsamer verläuft, und den langsameren Zeitverlauf ersieht man daraus, daß die Uhren langsamer gehen.

Obwohl die quasi-experimentellen Darstellungen der Relativitätstheorie einen naturwissenschaftlichen Ausgangspunkt vortäuschen, handelt es sich um reine Metaphysik, und nicht die beste. Zu dem veränderten Zeitablauf kommt Einstein durch die Ontologisierung und Generalisierung der Lorentz-Transformation, die er für seine eigentliche, epochema-

chende Entdeckung hält. Dazu postuliert er einen nebelhaften Zusammenhang zwischen Zeitablauf und Vorgangsgeschwindigkeit.

Mit der Veränderung des Zeitablaufs ist wieder eine unbeobachtbare Größe eingeführt worden. Einstein weicht von seinem von Mach übernommenen Prinzip ab, nur beobachtbare Größen zu verwenden. Man kann die Widersprüche in Einsteins Theorie kaum noch zählen.

Auf das sogenannte Uhrenparadoxon und die ungeheure Diskussion, die darum entstanden ist, kommen wir noch einmal zurück (vgl. 19. Kapitel). Da auch die allgemeine Relativitätstheorie hineingezogen wird, müssen wir den Leser erst mit der letzteren bekanntmachen. Auch über den Zeitbegriff wird noch einmal zu sprechen sein.

Gespenster im Einstein-Zug

Inzwischen sei noch ein für die Denkweise der Relativitätstheoretiker charakteristisches Gedankenexperiment (Süßmann 1965) zitiert, in dem die Längenkontraktion mit der ontologisierten Zeitdehnung verknüpft wird. Der «Einstein-Zug», dieses merkwürdige Beweismittel wissenschaftlicher Argumentation, fährt mit einer Geschwindigkeit von 240 000 km/sek an einem 2 400 000 km langen Bahnsteig vorbei. Ein Beobachter auf dem Bahnsteig zählt 10 Sekunden für die Durchfahrt des Zuges. Der Zug erscheint ihm um 40% verkürzt. Die Fahrgäste des Gespensterzugs lesen dagegen an ihren infolge der schnellen Bewegung langsamer gehenden Uhren für die Durchfahrt nur 6 Sekunden ab. Sie schließen daraus, daß der Bahnsteig nur $6 \times 240\,000 = 1\,440\,000$ km lang ist. Nach der Theorie Nr. 1 hätte es geheißen: der Bahnsteig erscheint ihnen optisch auf 1 440 000 km verkürzt. Um den Schwierigkeiten des «Sehens» unter solchen Umständen auszuweichen, wird die Verkürzung indirekt aus dem gemäß Theorie Nr. 2 verlangsamten Gang der Uhren gefolgert.

Auf diese Geschichte soll, obwohl sie unverkennbar den Charakter der *science fiction* trägt, kurz eingegangen werden. Die Folgerung ist nicht ausreichend begründet; es müßten noch andere Faktoren geprüft werden. Die Gespenster im Zug machen sich keine Gedanken über die anders gehende Uhr auf dem Bahnsteig; sie denken auch nicht an die Alternative, daß sich vielleicht die Geschwindigkeit des Zugs erhöht haben könnte und der Geschwindigkeitsmesser falsch geht. Die von Einstein verordnete Beschränkung des Denkens reicht bis ins Geisterreich. Die Gespenster verhalten sich so, wie die Relativitätstheorie es von ihnen fordert – damit die Relativitätstheorie herauskommt.

In diesem Beispiel wird die Zeitdehnung als real, die Längenkontraktion nur als metrischer Eindruck angesehen. Zwar hat Einstein die physikalische Kontraktion nach Lorentz abgelehnt; er hat die Längenkontraktion aber als reziprokes Korrelat zur Zeitdehnung erklärt. Wenn die Zeitdehnung ontologisiert wird, muß somit auch die Kontraktion des Bahnhofs ontologisiert werden. Sonst entsteht ein neuer Widerspruch. In dieser «Theorie» scheint sich selten ein Satz zu finden, der nicht einem anderen Satz der Theorie widerspricht.

10. Die vierdimensionale Welt von Minkowski

Einsteins Gedanken wurden unter Außerachtlassung (richtiger: Übernahme) ihrer logischen Widersprüche von dem Göttinger Mathematiker Minkowski in ein geometrisches System gebracht. Er konstruierte unter dem Beifall Einsteins das «vierdimensionale Raumzeitkontinuum». In der Längenrelativierung steckt eine Relativierung des Raums, der ja aus der Multiplikation dreier Längenmaße entsteht. Daß die Zeit dabei die Rolle einer vierten Dimension spielt, haben wir schon bemerkt. Raum und Zeit werden nicht nur relativiert, sondern als selbständige Begriffe abgeschafft und zu einer vierdimensionalen «Raumzeit» vereinigt. Auf der Jahrestagung deutscher Naturforscher und Ärzte von 1908 erklärte Minkowski:

«Von Stund an sollen Raum und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren.»

Weltpunkt und Weltlinie

Das vierdimensionale Raumzeitkontinuum Minkowskis ist die graphische Darstellung der Lorentz-Transformationen. Es ist ein vierdimensionales Koordinatensystem, in welchem die Zeit die vierte Koordinate ist, allerdings nicht die Zeit an sich, sondern das Produkt aus Zeit und konstanter Lichtgeschwindigkeit ct , der «Lichtweg». Der Lichtweg ist die Strecke, die das Licht in der Zeit t zurücklegt. Aus mathematischen Gründen wird $\sqrt{-1}$, der imaginäre Operator i , benutzt, sodaß der Faktor ict wird. In der nachfolgenden Darstellung soll der Einfachheit halber nur ct verwendet werden; am Ergebnis ändert sich dadurch nichts.

In diesem System wird die Position jedes Körpers durch vier Koordinaten x, y, z und ct beschrieben. Damit ist seine räumliche wie seine zeitliche Position erfaßt. Bewegt er sich auf einer Raumachse, so bewegt er sich