

Zur Relativitätstheorie.

Von Prof. Dr. Anton Weber in Dillingen a. D.

Im 3. Heft Jahrg. 1919 dieses Jahrbuches¹⁾ hat Herr Dr.-Ing. F. Spielmann eine Reihe von Bedenken gegen die Einsteinsche Relativitätstheorie erhoben. Er lässt diese Theorie nur als konventionelles Hilfsmittel der Rechnung und Darstellung gelten, aber nicht als positives Ergebnis der Forschung. Einen anderen Standpunkt vertritt Herr Hartmann, der dieses Thema im vorvorletzten Jahrgang dieses Jahrbuches²⁾ behandelt hat. Er gelangte zu dem Resultat³⁾, dass die Theorie Einsteins zum wenigsten den Rang einer sehr wahrscheinlichen Hypothese besitzt. Dieses Urteil Hartmanns dürfte auch heute noch zu Recht bestehen. Man muss allerdings unterscheiden zwischen einem physischen und einem metaphysischen Relativitätsprinzip. Das erstere beschränkt sich auf das Gebiet jener Tatsachen, die dem Experiment oder der Erfahrung zugänglich sind. So fasste man das Prinzip zur Zeit seiner Entdeckung. Bald aber begnügte man sich nicht mehr damit. Ohne durch zwingende Gründe veranlasst zu sein, dehnte man die Theorie auf metaphysische Probleme aus, und diese Erweiterung können wir das metaphysische Relativitätsprinzip nennen. Aus demselben folgte man konsequenter Weise, dass keines der unendlich vielen zulässigen Raum-Zeit-Systeme vor den andern ausgezeichnet ist, und dass es keine absoluten Zeit- und Raumgrößen gibt. Durch das erweiterte Prinzip wird auch die Existenz eines Weltäthers unmöglich. Denn dieser müsste in einem bestimmten System ruhen und dadurch wäre dasselbe vor den übrigen ausgezeichnet.

Die Ausdehnung des Prinzips auf das metaphysische Gebiet ist durch keinerlei Tatsachen geboten. Man kann recht gut sich zur physikalischen Relativitätstheorie bekennen und zugleich das metaphysische Prinzip ablehnen. Dann werden alle bedenklichen Folgerungen hinfällig. Von philosophischer Seite können nur gegen eine metaphysische Relativitätstheorie berechnigte Einwände erhoben werden. Die Bedenken des Herrn Spielmann richten sich aber gegen das physikalische Prinzip, und diese Bedenken hoffe ich im folgenden zerstreuen zu können. Hierbei werde ich mich ganz auf das ältere, das sogenannte spezielle Relativitätsprinzip beschränken.

¹⁾ 260 ff. — ²⁾ 30 (1917) 363. — ³⁾ 386.

I.

Spielmann gesteht der Einsteinschen Theorie nur die Bedeutung einer konventionellen Rechnungsmethode zu. Damit ist aber die Tragweite dieser Theorie nicht hinreichend gewürdigt. Die Relativitätstheorie will eine positive Erweiterung unserer Kenntnisse sein, sie will das zusammenfassen, was alte und neue Experimente ergeben haben. Dass sie das wirklich leistet, sieht man schon daraus, dass sich aus ihr neue, bisher unbekannte Tatsachen folgern lassen, und dass sich mit ihrer Hilfe die bisherigen Berechnungen ergänzen und korrigieren lassen. So zeigte Einstein bereits in seiner ersten Arbeit¹⁾ über diesen Gegenstand, dass die Masse eines Körpers mit seiner Geschwindigkeit wächst, sowie dass man zwischen longitudinaler und transversaler Masse zu unterscheiden hat. Er zeigte ferner, dass die Lichtgeschwindigkeit die obere Grenze aller physikalisch möglichen Geschwindigkeiten darstellt. Aus einer blossen konventionellen Rechnungsmethode könnte man solche Folgerungen nicht ziehen.

Nun behauptet Spielmann, das Gleichungssystem der Relativitätstheorie sei nicht das einzig brauchbare. Man könne beliebig viele andere Gleichungssysteme aufstellen, welche ebenfalls die Grösse der Lichtgeschwindigkeit unangetastet lassen. Unter allen möglichen Systemen habe man willkürlich die Einsteinschen Gleichungen ausgewählt. Daraus folge der konventionelle Charakter der Einsteinschen Relativitätstheorie. Das ist Spielmanns Gedankengang. Er behauptet sogar, man könne den Gleichungen für x' , y' und z' „eine beliebige Form vorschreiben und dann aus der Bedingung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit die entsprechende Gleichung für t' ableiten“²⁾ Um diese Behauptung ad oculos zu demonstrieren, führt er selbst ein solches Gleichungssystem an³⁾. Dasselbe erfüllt aber keineswegs die Forderung, die er selbst an dasselbe stellt. Verwendet man es nämlich zur Berechnung eines neuen Raum-Zeit-Systems, so breitet sich darin eine Lichtwelle nur dann mit konstanter Lichtgeschwindigkeit aus, wenn sie im Augenblick $t' = 0$ von einem Punkt der $y'z'$ -Ebene ausgeht. Für jede frühere und jede spätere Welle sowie für jede Welle, die von einem Punkt ausserhalb der $y'z'$ -Ebene ausgeht, ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit nicht bloss in jeder Richtung eine andere, sondern sie variiert sogar innerhalb einer beliebigen Richtung zeitlich und räumlich.

¹⁾ Ann. der Physik 17 (1905) 919. — ²⁾ 269 al. 2.

³⁾ 269. Gleichung 3 und 4. Ausserdem gibt Spielmann noch zwei weitere Gleichungssysteme an, welche Spezialfälle des erst genannten darstellen und somit der gleichen Beurteilung unterliegen wie jenes. In diesen Gleichungen sind folgende Druckfehler zu verbessern: In Gl. 2 sind unter dem Wurzelzeichen die zwei ersten Summanden in Klammern zu stellen und mit t^2 zu multiplizieren. In 5 setze man x' statt t' . In 6 ist im Zähler v statt v^2 zu schreiben und ausserdem ist aus dem Zähler die Quadratwurzel zu ziehen.

Somit leisten die Spielmannschen Gleichungen nicht das, was er von ihnen verlangt. Wir müssen aber an solche Gleichungen noch viel grössere Forderungen stellen. Wir müssen verlangen, dass sie nicht bloss die Gesetze der Lichtausbreitung, sondern auch alle übrigen Naturgesetze unangetastet lassen, wenigstens soweit letztere auf gesicherten Beobachtungen beruhen. Diese übrigen Naturgesetze gehen aber bei den Spielmannschen Transformationen samt und sonders verloren. Sie bleiben auch nicht für Ausnahmefälle gültig, während wir für die Lichtausbreitung wenigstens einen Ausnahmefall konstatieren konnten. So gilt in dem neuen Raum-Zeit-System nicht einmal das Trägheitsprinzip; es ist nie und nirgends mehr erfüllt. Die Körper bewegen sich, ohne von Kräften beeinflusst zu sein, mit stets wechselnder Geschwindigkeit und in der Regel sogar auf gekrümmten Bahnen.

Ausser den Gleichungen der heutigen Relativitätstheorie gibt es überhaupt keine, bei welchen alle genannten Forderungen oder auch nur die Gesetze der Lichtausbreitung berücksichtigt wären. Man braucht nur die mathematischen Entwicklungen bei Einstein oder bei einem anderen Vertreter dieser Theorie nachzuprüfen, um sich davon zu überzeugen. Die Transformationsgleichungen der Relativitätstheorie ergeben sich mit mathematischer Notwendigkeit aus den angeführten Voraussetzungen. Sie sind also nicht durch konventionelle Festsetzung entstanden.

Die Spielmannschen Formeln sind gleichwohl von Interesse. Sie zeigen, wie dehnbar der Raum- und Zeitbegriff ist. Man kann noch weiter gehen als Spielmann und kann für x', y', z', t' beliebige ein-eindeutige Funktionen von x, y, z, t festsetzen. Dann bleibt das neue Raum-Zeit-System so lange brauchbar, als man nur Ort und Zeit der Ereignisse registrieren will. Mehr darf man davon nicht erwarten. Namentlich kommt in dem neuen System die Gesetzmässigkeit des Naturgeschehens nicht zum Ausdruck. Man könnte allerdings auch für ein solches System die Naturgesetze formulieren. Sie würden aber eine sehr komplizierte Form annehmen, und was die Hauptsache ist, sie würden von der absoluten Lage im Raum, von der Richtung und vom Zeitpunkt abhängen. Für jeden Raumpunkt und für jeden Zeitmoment würden besondere Gesetze gelten. Die Spielmannschen Gleichungen bilden hierfür ein Beispiel.

II.

Die relativistische Physik wurde im Lauf der Jahre ausgebaut und kann heute in den Hauptzügen als abgeschlossen gelten. Ihre Durchführung hat gezeigt, dass sie in sich widerspruchlos ist. Es mussten die früheren Formeln für Energie, Impuls usw. abgeändert werden, aber die neuen Formeln bilden wieder ein geschlossenes einheitliches System. Ein wesentlicher Bestandteil desselben wird allerdings von Spielmann nicht anerkannt, nämlich das Gesetz, dass die Geschwindigkeit materieller Körper

niemals so gross werden kann wie diejenige des Lichtes. „Es erscheint bedenklich“, so schreibt er ¹⁾, „daraus, dass gewisse mathematische Formeln . . . sinnlos werden, wenn das Verhältnis zweier in ihnen vorkommender Grössen gewisse Werte annimmt, zu schliessen, dass diese Werte in der Natur nicht vorkommen können“. Die fragliche Formel ist $\sqrt{1 - \frac{q^2}{c^2}}$. Hierin bedeutet q die Geschwindigkeit des Körpers, c die Lichtgeschwindigkeit. Falls q grösser angenommen wird als c , ist die Wurzel sinnlos; für $q = c$ wird die Wurzel gleich Null und, da diese Wurzel im Nenner verschiedener Formeln vorkommt, wie z. B. für Masse, Impuls, Energie, so werden diese Formeln auch für $q = c$ sinnlos. Hieraus darf allerdings nicht unmittelbar geschlossen werden, dass ein Körper niemals die Geschwindigkeit des Lichtes erreichen kann und ebensowenig, dass der Körper bei dieser Geschwindigkeit vernichtet wird. Darin müssen wir Spielmann Recht geben. Wo eine mathematische Formel für bestimmte Werte oder Wertbereiche einer Variablen sinnlos wird, folgt unmittelbar nur, dass die Formel für diesen Wertbereich unbrauchbar ist, und dass man zur Auffindung der richtigen Lösung eine andere Rechnungsmethode anwenden muss. Das letztere gelingt aber in unserem Fall. Man kann nämlich zeigen, dass keine Kraft imstande ist, die Geschwindigkeit eines Körpers bis zu derjenigen des Lichtes zu steigern.

Lassen wir auf einen Körper die Kraft F wirken! Dieselbe darf beliebig gross und auch der Grösse nach veränderlich sein. Sie erteilt dem Körper den Impuls.

$$G = \sqrt{Fdt}.$$

Das ist offenbar eine endliche Grösse. Wählt man die Kraft konstant, so wird der Impuls gleich Ft . Infolge der Kraftwirkung nimmt der Körper eine steigende Geschwindigkeit q an, und aus diesem q berechnet sich der Impuls mittels der Formel

$$G = \frac{mq}{\sqrt{1 - \frac{q^2}{c^2}}}$$

Darin bedeutet m die konstante Ruhmasse des Körpers. Aus dieser Gleichung folgt durch Auflösung

$$q = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{m^2 c^2}{G^2}}}$$

Hierin ist G , wie vorhin gezeigt, stets endlich. Also bleibt die Wurzel dauernd grösser als 1 und q dauernd kleiner als c . Man bemerkt, dass in dieser Entwicklung keine sinnlosen Ausdrücke vorkommen. Damit ist also in einwandfreier Weise gezeigt, dass innerhalb der Relativitätstheorie kein materieller Körper die Lichtgeschwindigkeit erreichen kann.

Dieses Beispiel mag dazu mithelfen, das Vertrauen in die mathematischen Entwicklungen der Relativitätstheorie zu stärken. Man sei

¹⁾ 267 al. 3.

überzeugt, dass sie wenigstens in sich widerspruchsfrei ist. Auch Spielmann scheint im allgemeinen die mathematische Korrektheit der Theorie nicht anzuzweifeln; sonst könnte er diese Theorie nicht als „wertvolles Hilfsmittel der mathematischen Physik“ anerkennen¹⁾.

III.

Das Gebäude der relativistischen Physik ruht an vielen Stellen auf dem Fundament der Einsteinschen Transformationsgleichungen. Nachdem aber aus diesen Gleichungen die erforderlichen Schlüsse gezogen sind, benötigen wir in der Regel diese Gleichungen nicht mehr, und man vermeidet sie um so lieber, als sich die Rechnung mit denselben meist sehr kompliziert gestaltet. Nur wenn neue Begriffe formuliert werden sollen, muss man unter Umständen auf die Transformationsgleichungen zurückgreifen. Sonst aber bleibt man in der Regel innerhalb eines einzigen Raum-Zeit-Systems.

Das gilt speziell auch, wenn es sich um die Zeitmessung handelt. Man kann die Zeit genau nach denselben Methoden messen, wie sie in der früheren Mechanik üblich waren. Das bezweifelt Spielmann. Er beschreibt eine dieser Methoden, die sich auf das Trägheitsprinzip stützt. Es wird hierbei das Zusammenfallen der Endpunkte zweier gegeneinander bewegter Strecken in dem Augenblick beobachtet, wo sie einander passieren. Diese Methode, so behauptet Spielmann²⁾, ist „nach der Relativitätstheorie nicht ohne weiteres möglich, weil nach ihr von einer absoluten Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse, die an verschiedenen Körpern geschehen, nicht gesprochen werden kann, sondern zwei Ereignisse gleichzeitig oder nicht gleichzeitig sein können, je nachdem sie auf den einen oder andern Körper bezogen werden“.

Dieser Satz kann einen doppelten Sinn haben. Wörtlich aufgefasst würde er besagen, dass innerhalb eines gegebenen Raum-Zeit-Systems die Zeit irgendwie von den vorhandenen Körpern abhängt und dass die Zeitmessung verschieden ausfällt je nach dem Körper, auf welchen man die Zeit bezieht. In diesem Sinn aufgefasst wäre der Inhalt des Zitates falsch, denn die Relativitätstheorie statuiert innerhalb ein und desselben Raum-Zeit-Systems eine einheitliche und eindeutige Zeitrechnung. Weder der Zeitpunkt noch die Zeitdauer hängt von Beziehungen zu den vorhandenen Körpern ab, und Ereignisse, die für einen Körper gleichzeitig sind, bleiben es auch für jeden anderen.

Man muss also die zitierte Stelle in einem anderen Sinn auffassen. Sie befindet sich nur dann in Einklang mit der Relativitätstheorie, wenn man die Körper als Repräsentanten von Raum-Zeit-Systemen betrachtet, und zwar jeden Körper als Vertreter jenes Systems, in welchem er ruht. Dieser korrekte Sinn wäre deutlicher zum Ausdruck gekommen, wenn

¹⁾ 270 al. 5. — ²⁾ 263 al. 4.

Spielmann geschrieben hätte: „Zwei Ereignisse können gleichzeitig oder nicht gleichzeitig sein, je nachdem sie auf das eine oder andere Raum-Zeit-System bezogen werden“. In diesem Sinn wollen wir das Zitat auffassen. Dann erklärt Spielmann die betreffende Methode der Zeiteilung als unausführbar, weil sie für verschiedene Raumzeitsysteme verschiedene Resultate gibt. Dieser Schluss ist nicht zulässig. Die Aufstellung eines Zeitmasses und die Einteilung von Zeiträumen in gleiche Abschnitte wird innerhalb eines bestimmten Raum-Zeit-Systems vorgenommen, mag das Experiment ein bloss theoretisch erdachtes oder ein praktisch ausführbares sein. Wir kümmern uns bei der Zeitmessung und Zeiteilung um andere Raum-Zeit-Systeme überhaupt nicht und fragen nicht, wie dort die Zeitverhältnisse liegen. Man arbeitet also stets in der gleichen Weise, einerlei ob man das Relativitätsprinzip anerkennt oder sich zur alten Mechanik bekennt.

Noch eine zweite Methode der Zeitmessung bespricht Spielmann. Sie beruht auf der Annahme, dass „identische Vorgänge an Körpern in gleichen Zeiten verlaufen“¹⁾. Diese Methode bezeichnet Spielmann als ungeeignet, weil „zum Begriff identischer Naturvorgänge schon gehört, dass sie gleiche Zeit in Anspruch nehmen“²⁾. Wie Spielmann den Begriff identisch auffasst, zeigt folgendes Beispiel, das er selbst anführt. Ein fallender Körper legt nacheinander gleiche Strecken in immer kürzeren Zeitabschnitten zurück. Diese Zeitabschnitte, meint Spielmann³⁾, müssten wir „als identisch betrachten, wenn wir nicht Grund hätten, die Zeiten, in denen die gleichen Strecken durchlaufen werden, als ungleich anzusehen“. Hier wird der Begriff identisch zu weit gefasst. Zur Identität zweier Vorgänge gehört, dass sie in allen wesentlichen Stücken übereinstimmen. Namentlich müssen gleiche wirkende Kräfte und gleicher Anfangszustand vorhanden sein. Unter diesen Voraussetzungen wissen wir auch ohne Zeitmessung, dass die beiden Vorgänge gleich lang dauern. Sollen z. B. zwei Fallbewegungen identisch sein, dann müssen beide aus der Ruhelage beginnen und sich über gleiche Fallhöhen erstrecken. Dann dauern beide Bewegungen gleich lang. Beobachten wir hingegen bei ein und derselben Fallbewegung zwei aufeinander folgende Zeitabschnitte, so haben wir verschiedene Anfangsgeschwindigkeit und somit keine identischen Vorgänge. Nur wirklich identische Vorgänge können zur Zeitmessung und Zeiteinteilung Verwendung finden. Das Pendel bietet hierfür das wichtigste Beispiel.

Das Bedenken Spielmanns gegen eine derartige Zeitmessung ist also nicht gerechtfertigt. Man bemerkt übrigens, dass sich dieses Bedenken nicht gegen die Relativitätstheorie richtet. Es würde auch in der alten Mechanik Geltung haben, und tatsächlich verwirft Spielmann die genannte Methode ganz allgemein, auch für die frühere Mechanik.

¹⁾ 262 al. 5. — ²⁾ 262 al. 6. — ³⁾ 262 al. 6

IV.

Wenn es feststeht, dass eine physikalische Theorie innerhalb eines bestimmten Raum-Zeit-Systems frei von Widersprüchen ist, dann steht es ebenso fest, dass durch Umrechnung auf ein anderes Raum-Zeit-System keine Widersprüche entstehen können. Was einmal logisch möglich ist, kann durch keinerlei Rechenkünste logisch unmöglich gemacht werden. Höchstens gelangt man zu paradox klingenden Resultaten. Das ist allerdings der Fall, wenn man mittels der Einsteinschen Gleichungen zu neuen Raum-Zeit-Systemen übergeht. Dieser Umstand bildet aber keinen Beweis gegen die Relativitätstheorie.

Da ist vor allem die Tatsache paradox, dass zwei räumlich getrennte Ereignisse in dem einen System zusammenfallen, während sie in den übrigen ungleichzeitig sind. Beim Studium der Relativitätstheorie wird jeder mit grossem Unbehagen diese Wahrnehmung machen. Ein Paradoxon erregt aber nur so lange Unbehagen, als man nicht seine vollständige Erklärung kennt. In unserm Fall ist die Erklärung nicht schwer zu finden. Man braucht sich nur an die Unterscheidung zwischen physischem und metaphysischem Relativitätsprinzip erinnern. Die Gleichzeitigkeit in dem absolut ruhenden Raum-Zeit-System ist eine absolute, in den übrigen Systemen eine relative, rechnungsmässige. Für den Metaphysiker ist die absolute Zeitrechnung die Hauptsache, für den Physiker, oder sagen wir gleich für alle Nicht-Metaphysiker, kommt nur die relative Zeitrechnung in Betracht. Die relative Zeit allein ist der Beobachtung zugänglich. Man wird also nicht sagen wollen, der Ausdruck „gleichzeitig“ sei für die relative Zeitrechnung unpassend gewählt.

So lange wir den Unterschied zwischen absoluten und relativen Grössen im Auge behalten, können wir zwar auf Paradoxa stossen, aber zugleich wissen wir a priori, dass es eine Lösung für sie geben muss. Das gilt auch für die folgende von Spielmann besprochene paradoxe Tatsache. Eine Strecke $A_1 B_1$ bewegt sich so, dass sie in einem gegebenen Augenblick t mit einer zweiten gleich grossen Strecke $A_2 B_2$ zusammenfällt. Beobachtet man diesen Vorgang im gestrichenen System, dann fallen in einem gegebenen Zeitpunkt t' wohl die Anfangspunkte A_1 und A_2 der beiden Strecken zusammen, nicht aber die Endpunkte B_1 und B_2 . Die beiden Endpunkte treffen einander allerdings auch, aber zu einem andern Zeitpunkt. In dem Moment also, wo die beiden Anfangspunkte zusammenfallen, hat die Strecke $B_1 B_2$ in den beiden Raum-Zeit-Systemen ungleiche Länge. Sie ist im ungestrichenen System gleich Null, im gestrichenen aber von Null verschieden.

Dieses Paradoxon löst sich sehr einfach durch den Hinweis, dass im gestrichenen System die Zeitrechnung eine Verschiebung erfahren hat und zwar für die Anfangspunkte um einen anderen Betrag als für die Endpunkte. Wenn daher in dem einen System das Zusammentreffen für beide

Paare gleichzeitig stattfindet, dann muss es im andern System zu verschiedenen Zeitpunkten erfolgen. Auch wenn wir diese Lösung nicht so gleich zur Hand haben, entsteht keine Schwierigkeit. Absolute Geltung hat die Grösse von $B_1 B_2$ nur im absolut ruhenden Raum-Zeit-System, in allen übrigen Systemen hat sie nur relative Bedeutung.

Allem Anschein nach hätte Spielmann weniger einzuwenden, wenn die Strecke $B_1 B_2$ in den verschiedenen Systemen geringere Längenunterschiede aufwiese. Dass sie aber in dem einen System gleich Null wird, also ganz verschwindet, geht nach seiner Ansicht zu weit. Er findet es nicht zulässig¹⁾, dass man „etwas in einer Beziehung als ein ausser uns existierendes Ding, in anderer Beziehung dagegen als ein Nichts betrachtet“. Nun bemerkt man aber, dass die fragliche Strecke $B_1 B_2$ nicht ein materielles Ding, sondern nur eine mathematische Grösse ist, selbst wenn die ursprünglichen Strecken $A_1 B_1$ und $A_2 B_2$ materielle Strecken sind. Die Strecke $B_1 B_2$ ist etwas Analoges wie der Gesichtswinkel, unter dem wir eine gegebene Strecke sehen. Befindet sich unser Auge ausserhalb derselben und auch ausserhalb ihrer Verlängerung, so erscheint sie unter einem von Null verschiedenen Gesichtswinkel, der je nach der Lage unseres Auges sehr verschieden gross ausfallen kann. Betrachtet man aber die Strecke von einem Punkte ihrer Verlängerung aus, dann wird der Gesichtswinkel gleich Null. Wie hier, so kann es niemals bei rein mathematischen Objekten Wunder nehmen, wenn sie, von verschiedenen Standpunkten aus betrachtet, verschiedene Grösse aufweisen, ja sogar gleich Null werden. Das gilt auch für die Strecke $B_1 B_2$.

Für materielle Körper lässt sich nicht ohne Weiteres das Gleiche behaupten. Es ist darum von Bedeutung, darauf hinzuweisen, dass innerhalb der Relativitätstheorie die Länge materieller Körper niemals gleich Null werden kann. Aber selbst wenn letzteres der Fall wäre, liesse sich daraus nicht die Unmöglichkeit der Relativitätstheorie folgern. Man könnte höchstens sagen, ihre Transformationsgleichungen seien unzweckmässig, sie gäben im neuen System ein verzerrtes Bild der Wirklichkeit.

V.

Das Wichtigste in Spielmanns Abhandlung sind seine Bemerkungen über das Verhältnis der Relativitätstheorie zur Psychologie, speziell zum Selbstbewusstsein des Menschen. Das Bewusstsein ist einheitlich. Es ist unmöglich, dass zwei Ereignisse in dem einen Raum-Zeit-System für unser Bewusstsein gleichzeitig, im anderen ungleichzeitig sind. Hier liegt ein höchst interessantes psychologisches Problem vor.

Wir wollen zunächst die angedeutete Schwierigkeit klar herausstellen und damit zugleich eine Rechnungsgrundlage schaffen. Unser Bewusstsein steht durch Vermittlung des Gehirns mit der Aussenwelt in Berührung. Obwohl die Seele nicht bloss dem Gehirn, sondern auch der Netzhaut des

¹⁾ 266 al. 1.

Auges innewohnt, erhält unser Bewusstsein von dem Eintreffen eines Lichtstrahls nicht in dem Moment Kunde, wo derselbe in der Netzhaut einen Reiz hervorruft. Es muss vielmehr erst ein Strom durch die Sehnerven an eine bestimmte Stelle des Gehirns laufen, bis unser Bewusstsein von dem Vorgang erfährt. Diese Gehirnpartie ist vielleicht nicht gross, aber doch wahrscheinlich grösser als ein mathematischer Punkt. Zur Vereinfachung der Rechnung wollen wir trotzdem annehmen, die Meldestelle im Gehirn für einen einzelnen Reiz sei punktförmig. In dem Augenblick, wo der Nervenstrom zu diesem Punkt gelangt, trete die Empfindung ins Bewusstsein. In diesem Punkt steht also sozusagen unser Bewusstsein in Kontakt mit der Aussenwelt; wir wollen ihn Kontaktpunkt nennen. Jeder der Sinne habe einen eigenen Kontaktpunkt. Nun mögen zu gleicher Zeit zwei Empfindungen, etwa eine Gesichts- und eine Gehörsempfindung, ins Bewusstsein treten. Das ist der Fall, wenn beide Nervenströme gleichzeitig in den zugehörigen Kontaktpunkten anlangen.

Betrachten wir nun diesen Vorgang in einem anderen Raum-Zeit-System! Hier erreichen die zwei Nervenströme ihre Kontaktpunkte nicht gleichzeitig. Zwischen den beiden Ankunftszeiten liegt ein Zeitraum, dessen Grösse von der Wahl des Bezugssystems abhängt. Er kann Sekunden und Minuten, aber auch Jahre und Jahrtausende betragen. In solchen Systemen muss das Bewusstsein den Zeitunterschied zwischen beiden Empfindungen deutlich wahrnehmen. Noch mehr, wir erleben unter Umständen die zweite Empfindung überhaupt nicht. Wie lässt sich das mit der Relativitätstheorie vereinbaren?

Nehmen wir zunächst an, dass sich das Selbstbewusstsein nicht den Forderungen des Einsteinschen Prinzips fügt! Was schadet das? Die physikalischen Prinzipien gelten ja nur für die materielle Welt. Das Selbstbewusstsein und überhaupt alle seelischen Vorgänge sind andern Gesetzen unterworfen. Im Menschen vereinigen sich Leib und Seele, also ein materieller und ein geistiger Bestandteil zu einem einheitlichen Wesen. Dieses Wesen untersteht sowohl den materiellen wie den geistigen Gesetzen, und da kann es ohne Reibungen nicht abgehen. Wir müssen uns wundern, dass die Reibungen so geringfügig sind. Wären wir nicht imstande, innerhalb unseres Nervenzentrums wenigstens einzelne Naturgesetze vorübergehend zu übertreten, dann gäbe es keine freien körperlichen Handlungen. Ob wir das Energie- oder Impulsprinzip, das Entropie- oder Wechselwirkungsprinzip oder mehrere davon zugleich übertreten, ist eine nebensächliche Frage. Die Uebertretungen sind aber so klein, dass sie bisher nicht der Beobachtung zugänglich geworden sind. Infolgedessen stören sie keineswegs die Weltordnung.

Nachdem einmal solche Uebertretungen zugelassen werden müssen, ist es nichts Unerhörtes, wenn wir für die seelischen Vorgänge auch dem Relativitätsprinzip gegenüber Ausnahmen fordern. Wir können also folgende Theorie aufstellen. Für das Bewusstsein sei dauernd ein bestimmtes Raum-Zeit-System massgebend. Was in diesem System gleichzeitig ist, wird in unserm Bewusstsein auch als gleichzeitig empfunden. Wenn dagegen in einem andern System die Nervenströme gleichzeitig an ihre

Kontaktpunkte gelangen, dann sind sie in dem für unser Bewusstsein massgebenden System ungleichzeitig und wir empfinden sie auch als ungleichzeitig. Für unser Bewusstsein hat also der eine Nervenstrom eine Verspätung gegen den andern. Diese Verspätung kann aber nur dann bemerkt werden, wenn sie merkliche Grösse hat. In der Wirklichkeit kommen jedoch nur solche Raum-Zeit-Systeme in Frage, für welche die Verspätung unmerklich klein ausfällt.

Um eine zahlenmässige Schätzung der tatsächlich zu erwartenden Verspätung zu ermöglichen, machen wir folgende Annahmen. Die beiden in Betracht kommenden Kontaktpunkte in unserm Gehirn seien zehn Zentimeter von einander entfernt. Ferner sei für unser Bewusstsein jenes Raum-Zeit-System massgebend, in welchem der Schwerpunkt unseres Sonnensystems ruht. Unsere Beobachtungen können wir selbstverständlich nur in jenem System anstellen, das sich mit der Erde bewegt. Es besitzt eine Geschwindigkeit von ca. 30 Kilometern in der Sekunde relativ zu dem erstgenannten. Unter diesen Voraussetzungen berechnet sich die Verspätung des einen Nervenstroms auf weniger als ein Trilliontel-Sekunde. Das liegt natürlich jenseits aller Beobachtungsmöglichkeit.

Nun ist es allerdings bekannt, dass auch unser Sonnensystem sich relativ zum System der Milchstrasse mit einer Geschwindigkeit von 7,6 Kilometern in der Sekunde bewegt, und die Milchstrasse kann ihrerseits wieder eine Bewegung relativ zu dem absolut ruhenden Raum-Zeit-System besitzen. Sollte nun dieses letztere für unser Bewusstsein massgebend sein, dann berechnet sich für die Erde eine grössere Geschwindigkeit als vorhin angenommen. Wenn wir ihre Geschwindigkeit zu 240 000 Kilometern in der Sekunde annehmen, d. h. sie gleich vier Fünfteln der Lichtgeschwindigkeit setzen, dann haben wir jedenfalls das Mass der Wahrscheinlichkeit weit überschritten. Selbst dann beträgt die Verspätung des einen Nervenstroms noch nicht ein Milliontel-Sekunde. Betrachtet man eine Verspätung von einem Tausendstel Sekunde als zulässig, dann wäre noch ein Raum-Zeit-System brauchbar, welches hinter der Lichtgeschwindigkeit nur um ein Sechzigstel Millimeter pro Sekunde zurückbleibt. Dabei ist zu bedenken, dass die volle Geschwindigkeit des Lichtes überhaupt von keinem Raum-Zeit-System erreicht werden kann. Wir können also ruhig behaupten, dass die Uebertretungen der Relativitätsgesetze durch unser Bewusstsein niemals zur Beobachtung gelangen werden. Infolgedessen entfällt auch die Möglichkeit, aus den unendlich vielen zulässigen Raum-Zeit-Systemen das absolut ruhende herauszufinden. Ueberhaupt ist ein Konflikt zwischen Selbstbewusstsein und Relativitätstheorie nicht zu befürchten.

Dabei sind wir von der Voraussetzung ausgegangen, dass sich unser Selbstbewusstsein nicht mathematisch genau mit der Einsteinschen Theorie in Einklang bringen lässt. Das steht aber noch keineswegs fest. Sind denn bereits nach dieser Richtung Erklärungsversuche gemacht worden? Es ist nicht der Zweck meiner gegenwärtigen Darlegungen, dieses Problem zu lösen; es wird überhaupt nicht ganz leicht und einfach zu lösen sein. Gleichwohl möchte ich nicht versäumen, auf zwei Erklärungsmöglichkeiten aufmerksam zu machen, die zwar nicht voll befriedigen können, die sich

aber in erster Linie darbieten und vielleicht einen Weg zur vollen Lösung andeuten.

Der erste dieser Erklärungsversuche nimmt an, dass für das Bewusstsein nicht das absolut ruhende Raum-Zeit-System massgebend ist, sondern dass sich das Bewusstsein jeweils nach demjenigen System richtet, in welchem das betreffende Individuum keine Relativbewegung besitzt. Man kann es das Ruh-System nennen. Als Analogiebeweis könnte man die Begriffe Ruh-Masse, Ruh-Volumen usw. der materiellen Physik heranziehen, welche sich ebenfalls auf das jeweilige Ruh-System beziehen. Wir leben uns tatsächlich in dieses Ruh-System so vollkommen ein, dass wir es unwillkürlich als das absolut ruhende anzusehen geneigt sind. Nur ungern und nur auf zwingende Gründe hin trennen wir uns von dieser Auffassung. Daher ist die Annahme sehr plausibel, dass unser Bewusstsein an dieses System gebunden ist.

Die angegebene Lösung wäre sicher die idealste, wenn sich im vorliegenden Fall das Ruhsystem einwandfrei definieren liesse. Aber hierin begegnen wir einer Schwierigkeit. Selbst wenn das Gehirn und alle Kontaktpunkte mitsammen einen starren Körper bilden würden, hätten wir bei jeder Geschwindigkeitsänderung für jeden Punkt des Gehirns ein eigenes Ruh-System. Um so mehr ist das der Fall, weil das Gehirn kein absolut starrer Körper ist. Welches von allen einschlägigen Ruh-Systemen soll nun für das Bewusstsein Geltung haben? Diese Schwierigkeit liesse sich vielleicht beseitigen durch die Annahme, dass der Seele nicht durch ein mathematisches Gesetz das Ruh-System exakt vorgeschrieben ist, dass ihr vielmehr ein gewisser Spielraum für instinktive Wahl zur Verfügung steht.

Ein zweiter Versuch, Selbstbewusstsein und Relativitätstheorie in Einklang zu bringen, wäre auf die Annahme zu gründen, dass für alle Sinnesempfindungen ein gemeinsamer Kontaktpunkt existiert. Was in einem einzelnen Punkt für ein bestimmtes Raum-Zeit-System gleichzeitig ist, bleibt dann auch für alle übrigen Systeme gleichzeitig. Dieser eine Kontaktpunkt könnte eine feste Lage innerhalb des Gehirns einnehmen oder er könnte seine Lage nach irgend welchen Regeln ändern.

Ich möchte mich für keine von beiden Hypothesen entscheiden, weil weder für die eine noch für die andere feste Anhaltspunkte vorhanden sind. Ich zweifle überhaupt, ob eine befriedigende Lösung so rasch gelingen wird. Einstweilen müssen wir uns mit der Erkenntnis zufrieden geben, dass auf psychologischem Gebiet ebensowenig ein Hindernis für die Relativitätstheorie gefunden werden kann wie auf anderen Gebieten.