

Werk

Titel: Dialog über Einwände gegen die Relativitätstheorie

Autor: Einstein , A.

Ort: Berlin

Jahr: 1918

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0006 | LOG_0421

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

WOCHENSCHRIFT FÜR DIE FORTSCHRITTE DER NATURWISSENSCHAFT, DER MEDIZIN UND DER TECHNIK

HERAUSGEGEBEN VON

DR. ARNOLD BERLINER UND PROF. DR. AUGUST PÜTTER

Sechster Jahrgang.

29. November 1918.

Heft 48.

Dialog über Einwände gegen die Relativitätstheorie

Von Prof. Dr. A. Einstein, Berlin.

Kritikus: Schon oft haben meinesgleichen in Zeitschriften Bedenken der verschiedensten Art gegen die Relativitätstheorie vorgebracht; nur selten aber hat einer von euch Relativisten¹⁾ darauf geantwortet. Wir wollen nicht untersuchen, ob Hochmut, ob Gefühl der Schwäche, ob Faulheit der Grund dieser Unterlassung gewesen ist — vielleicht wars eine besonders wirksame Mischung dieser seelischen Mächte; vielleicht auch verriet die Kritik nicht selten zur Evidenz, daß der Kritiker gar zu wenig Sachkenntnis an den Tag legte. Darüber soll — wie gesagt — nicht gesprochen werden; aber das will ich dir gleich sagen: heute habe ich dich persönlich aufgesucht, um es dir unmöglich zu machen, dich mühelos zu drücken wie andere Male. Denn sei versichert, daß ich nicht von der Stelle weichen werde, bevor du mir alle meine Fragen beantwortet hast.

Damit du aber nicht gar zu sehr erschrickst, ja vielleicht sogar mit einem gewissen Vergnügen an das Geschäft gehst (dem du doch nicht entrinnen kannst), sage ich dir auch gleich einiges Tröstliche. Ich bin nicht, wie manche meiner Kollegen, von der Würde meiner Gilde so sehr durchdrungen, daß ich als ein überlegenes Wesen von überirdischer Einsicht und Sicherheit auftrete (wie ein Berichterstatter über wissenschaftliche Literatur oder gar ein Theater-Kritiker). Sondern ich rede wie ein sterblicher Mensch, zumal ich wohl weiß, daß Kritik nicht selten den Mangel an eigenen Gedanken zum Vater hat. Auch will ich dir nicht — wie jüngst einer meiner Kollegen — wie ein Staatsanwalt auf den Leib rücken und dir Diebstahl geistigen Eigentums oder sonstige unehrenhafte Handlungen vorwerfen. Nur das Bedürfnis, zur Aufklärung einiger Punkte beizutragen, über welche die Meinungen noch gar weit auseinandergehen, hat meinen Überfall veranlaßt. Allerdings muß ich dich bitten, die Veröffentlichung dieses unseres Gespräches zu gestatten, nicht zuletzt deshalb, weil der Mangel an Papier nicht der einzige Mangel ist, welcher meinem Freunde, dem Redaktor Berolinensis, den Schlaf verkürzt.

Da ich dir die Bereitwilligkeit ansehe, gehe ich sofort auf das Sachliche über. Seit die spezielle Relativitätstheorie aufgestellt ist, hat deren Ergebnis über den verzögernden Einfluß der Be-

¹⁾ Unter „Relativist“ ist hier ein Anhänger der physikalischen Relativitätstheorie, nicht des philosophischen Relativismus zu verstehen.

wegung auf den Gang einer Uhr stets Widerspruch hervorgerufen, und zwar — wie mir scheint — mit gutem Grunde. Denn dies Ergebnis scheint notwendig zu einem Widerspruch mit den Grundlagen der Theorie zu führen. Damit wir uns vollkommen verstehen, sei dies Ergebnis der Theorie zunächst hinreichend scharf angegeben.

Es sei K ein galileisches Koordinatensystem im Sinne der speziellen Relativitätstheorie, d. h. ein Bezugskörper, relativ zu welchem isolierte, materielle Punkte sich geradlinig und gleichförmig bewegen. Es seien ferner U^1 und U^2 zwei genau gleich geschaffene, von außen nicht beeinflusste Uhren. Diese gehen gleich schnell, wenn sie unmittelbar nebeneinander oder auch in beliebiger Entfernung voneinander relativ zu K ruhend aufgestellt werden. Ist aber eine der Uhren, z. B. U^2 , relativ zu K im Zustande gleichförmiger Translationsbewegung, so soll sie nach der speziellen Relativitätstheorie — vom Koordinatensystem K aus beurteilt — langsamer gehen als die relativ zu K ruhend angeordnete Uhr U^1 . Dies Ergebnis berührt an sich schon seltsam. Schwere Bedenken bringt dasselbe mit sich, wenn man sich folgendes wohlbekannte Gedankenexperiment gegenwärtigt.

A und B seien zwei voneinander entfernte Punkte des Systems K . Zur Fixierung der Vorstellung sei angenommen, daß A der Anfangspunkt von K , B ein Punkt auf der positiven x -Achse sei. Die beiden Uhren mögen zunächst beim Punkte A ruhen. Sie gehen dann gleich schnell, und es sei ihre Zeigerstellung die gleiche. Wir erteilen nun der Uhr U^2 eine konstante Geschwindigkeit im Sinne der positiven x -Achse, so daß sie sich nach B hin bewegt. Bei B denken wir uns die Geschwindigkeit umgekehrt, so daß sich U^2 wieder gegen A bewegt. Bei A angekommen, wird die Uhr aufgehalten, so daß sie nun wieder relativ zu U^1 in Ruhe ist. Da die von K aus beurteilte Veränderung der Zeigerstellung von U^2 , welche eventuell während des Geschwindigkeitswechsels von U^2 eintreten könnte, sicherlich einen gewissen Betrag nicht übersteigt, und da U^2 während der gleichförmigen Bewegung längs der Strecke $A B$ (von K aus beurteilt) langsamer geht als U^1 , so muß bei hinreichender Länge der Strecke $A B$ die Uhr U^2 nach ihrer Rückkehr gegenüber der Uhr U^1 nachgehen. — Bist du mit diesem Schluß einverstanden?

Relativist: Unbedingt einverstanden. Mit Bedauern habe ich gesehen, daß einige Autoren, die sonst auf dem Boden der Relativitätstheorie stehen, diesem unvermeidlichen Ergebnis ausweichen wollten.

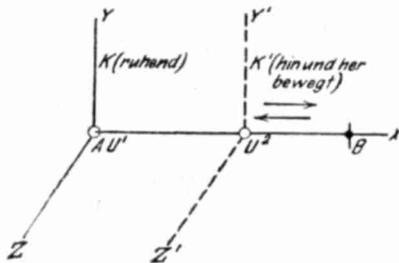
Krit.: Nun kommt der Haken. Nach dem Prinzip der Relativität muß doch der ganze Vorgang in genau gleicher Weise verlaufen, wenn er von einem Koordinatensystem K' aus dargestellt wird, welches die Bewegung der Uhr U^2 mitmacht. Relativ zu K' ist es dann die Uhr U^1 , welche die Hin- und Herbewegung ausführt, während die Uhr U^2 dauernd in Ruhe geblieben ist. Es folgt dann, daß am Ende der Bewegung U^1 gegenüber U^2 nachgehen müßte, in Widerspruch mit dem obigen Ergebnis. Es kann doch von den gläubigsten Anhängern der Theorie nicht behauptet werden, daß von zwei nebeneinander ruhend angeordneten Uhren jede gegenüber der anderen nachgehe.

Rel.: Deine letzte Behauptung ist selbstverständlich unbestreitbar. Aber die ganze Schlußweise ist deshalb unstatthaft, weil nach der speziellen Relativitätstheorie die Koordinatensysteme K und K' keineswegs gleichberechtigte Systeme sind. In der Tat behauptet ja diese Theorie die Gleichwertigkeit nur aller galileischen (unbeschleunigten) Koordinatensysteme, d. h. solcher Koordinatensysteme, relativ zu welchen hinreichend isolierte, materielle Punkte sich geradlinig und gleichförmig bewegen. Ein solches Koordinatensystem ist wohl K , nicht aber das zeitweise

beschleunigte System K' . Es kann daher aus dem Ergebnis, daß die Uhr U^2 nach ihrer Hin- und Herbewegung gegenüber U^1 nachgehe, kein Widerspruch gegen die Grundlage der Theorie konstruiert werden.

Krit.: Ich sehe ein, daß du damit diesen Einwand unwirksam gemacht hast, muß aber doch sagen, daß ich mich durch dein Argument mehr überführt als überzeugt fühle. Übrigens aufsteht mein Einwand sogleich wieder von den Toten, wenn man sich auf den Boden der allgemeinen Relativitätstheorie stellt. Denn da nach dieser Koordinatensysteme von beliebigem Bewegungszustande berechtigt sind, so kann der vorhin betrachtete Vorgang ebensogut auf das mit U^2 dauernd verbundene System K' bezogen werden wie auf das System K .

Rel.: Es ist sicherlich richtig, daß wir uns vom Standpunkt der allgemeinen Relativitätstheorie aus ebensogut des Koordinatensystems K' bedienen können als des Koordinatensystems K . Aber man sieht leicht ein, daß die Systeme K und K' mit Bezug auf den betrachteten Vorgang keineswegs gleichwertig sind. Während nämlich der Vorgang von System K aus wie oben aufzufassen ist, gestaltet er sich von K' aus betrachtet, völlig verschieden, wie die nachfolgende Gegenüberstellung zeigt:

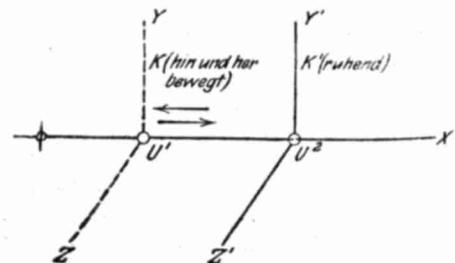


K ist Bezugssystem.

1. Die Uhr U^2 wird im Sinne der positiven x -Achse durch eine äußere Kraft beschleunigt, bis sie die Geschwindigkeit v angenommen hat. U^1 bleibt in Ruhe.

2. U^2 bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit v bis zu dem Punkte B der positiven x -Achse. U^1 bleibt in Ruhe.

3. Die Uhr U^2 wird durch eine nach der negativen x -Achse gerichtete äußere Kraft so lange beschleunigt, bis sie die Geschwindigkeit v in der negativen x -Richtung angenommen hat. U^1 bleibt ruhend.



K' ist Bezugssystem.

1. Es entsteht ein im Sinne der negativen x' -Achse gerichtetes Gravitationsfeld, in welchem die Uhr U^1 so lange beschleunigt fällt, bis sie die Geschwindigkeit v angenommen hat. Eine an der Uhr U^2 angreifende, im Sinne der positiven x' -Achse wirkende äußere Kraft verhindert, daß die Uhr U^2 durch das Gravitationsfeld in Bewegung gerät. Wenn die Uhr U^1 die Geschwindigkeit v erlangt hat, verschwindet das Gravitationsfeld wieder.

2. U^1 bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit v bis zu dem Punkte B' auf der negativen x' -Achse. U^2 bleibt in Ruhe.

3. Es entsteht ein nach der positiven x' -Achse gerichtetes homogenes Schwerfeld, unter dessen Einfluß die Uhr U^1 so lange im Sinne der positiven x' -Achse beschleunigt wird, bis sie in dieser Richtung die Geschwindigkeit v erlangt hat, hierauf verschwindet das Schwerfeld wieder. Eine an der Uhr U^2 angreifende in Richtung der negativen x' -Achse wirkende äußere Kraft verhindert hierbei, daß U^2 durch das genannte Schwerfeld in Bewegung gerät.

4. U^2 bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit v im Sinne der negativen x -Achse zurück bis in die Nähe von U^1 . U^2 bleibt in Ruhe.
5. Die Uhr U^2 wird durch eine äußere Kraft zur Ruhe gebracht.

4. U^1 bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit v in Richtung der positiven x -Achse bis in die Nähe von U^2 . U^2 bleibt in Ruhe.

5. Es entsteht ein nach der negativen x -Achse gerichtetes Schwerfeld, welches die Uhr U^1 zur Ruhe bringt. Dann verschwindet das Schwerfeld wieder. U^2 wird hierbei durch eine äußere Kraft im Zustand der Ruhe gehalten.

Es ist wohl im Auge zu behalten, daß in der linken und in der rechten Spalte genau der nämliche Vorgang beschrieben ist, nur bezieht sich die Beschreibung links auf das Koordinatensystem K , die Beschreibung rechts auf das Koordinatensystem K' . Gemäß beiden Beschreibungen ist die Uhr U^2 am Ende des betrachteten Prozesses gegenüber der Uhr U^1 um einen bestimmten Betrag zurückgeblieben. Bei Beziehung auf das Koordinatensystem K' erklärt sich dies Verhalten folgendermaßen: Während der Teilprozesse 2 und 4 geht zwar die mit der Geschwindigkeit v bewegte Uhr U^1 langsamer als die ruhende Uhr U^2 . Aber dies Zurückbleiben wird überkompensiert durch einen schnelleren Gang von U^1 während des Teilprozesses 3. Nach der allgemeinen Relativitätstheorie geht nämlich eine Uhr desto schneller, je höher das Gravitations-Potential an dem Orte ist, an dem sie sich befindet, und es befindet sich während des Teilprozesses 3 U^2 tatsächlich an einem Orte höheren Gravitations-Potentials als U^1 . Die Rechnung ergibt, daß dies Vorauseilen gerade doppelt so viel ausmacht, als das Zurückbleiben während der Teilprozesse 2 und 4. Durch diese Betrachtung wird das von dir angeführte Paradoxon vollständig aufgeklärt.

Krit.: Ich sehe in der Tat, daß du dich sehr geschickt aus der Schlinge gezogen hast, aber ich müßte lügen, wenn ich mich für vollkommen befriedigt erklärte. Der Stein des Anstoßes ist nicht beseitigt, sondern nur an eine andere Stelle gerückt. Deine Überlegung zeigt mir nämlich nur den Zusammenhang der soeben erörterten Schwierigkeit mit einer andern Schwierigkeit, die ebenfalls schon oft vorgebracht worden ist. Du hast das Paradoxon gelöst, indem du den Einfluß eines relativ zu K' herrschenden Gravitationsfeldes auf die Uhren in Rechnung zogst. Ist aber dieses Gravitationsfeld nicht etwas bloß Fingiertes? Seine Existenz wird doch nur durch die Koordinatenwahl vorgetäuscht. Wirkliche Gravitationsfelder sind doch stets durch Massen erzeugt, und können nicht durch geeignete Koordinatenwahl zum Verschwinden gebracht werden. Wie sollte man glauben können, daß ein bloß fingiertes Feld auf den Gang von Uhren einen Einfluß haben könnte?

Rel.: Zunächst muß ich darauf aufmerksam machen, daß die Unterscheidung real — nichtreal uns wenig fördern kann. In bezug auf K' „existiert“ das Gravitationsfeld in demselben Sinne wie irgendwelcher andere physikalische Gegenstand, der bloß mit bezug auf ein Koordinaten-

system definiert werden kann, trotzdem es in bezug auf das System K nicht vorhanden ist. Hierin liegt keine besondere Merkwürdigkeit, wie man leicht an folgendem, der klassischen Mechanik entnommenen Beispiel erkennt. Niemand zweifelt an der „Realität“ der kinetischen Energie, da man sonst dazu käme, die Realität der Energie überhaupt zu leugnen. Es ist aber klar, daß die kinetische Energie eines Körpers von dem Bewegungszustand des Koordinatensystems abhängig ist; durch passende Wahl des letzteren kann man es offenbar herbeiführen, daß die kinetische Energie der fortschreitenden Bewegung eines Körpers in einem bestimmten Augenblick irgend einen vorgegebenen, positiven Wert oder den Wert Null annimmt. In dem speziellen Fall, daß alle Massen gleich gerichtete und gleich große Geschwindigkeit haben, kann man durch passende Wahl des Koordinatensystems die gesamte kinetische Energie zu Null machen. Die Analogie scheint mir eine vollständige zu sein.

Statt zwischen „real“ und „nichtreal“ wollen wir deutlicher unterscheiden zwischen Größen, welche dem physikalischen System als solchem zukommen (unabhängig von der Wahl des Koordinatensystems) und solchen Größen, welche vom Koordinatensystem abhängen. Das Nächstliegende wäre, zu verlangen, daß die Physik in ihre Gesetze nur Größen der ersteren Art einführen solle. Es hat sich jedoch erwiesen, daß dieser Weg praktisch nicht realisierbar ist, wie schon die Entwicklung der klassischen Mechanik deutlich gezeigt hat. Man könnte z. B. daran denken, und hat auch wirklich versucht, in die Gesetze der klassischen Mechanik statt der Koordinaten nur die Abstände der materiellen Punkte von einander einzuführen; man könnte a priori erwarten, daß auf solche Weise sich das Ziel der Relativitätstheorie am einfachsten erreichen ließe. Die wissenschaftliche Entwicklung aber hat diese Vermutung nicht bestätigt. Sie kann das Koordinatensystem nicht entbehren, muß also in den Koordinaten Größen verwenden, die sich nicht als Ergebnisse von definierbaren Messungen auffassen lassen. Nach der allgemeinen Relativitätstheorie sind die vier Koordinaten des raum-zeitlichen Kontinuum sogar ganz willkürlich wählbare, jeder selbständigen physikalischen Bedeutung ermangelnde Parameter. Ein Teil jener Willkür haftet aber auch denjenigen Größen (Feldkomponenten) an, mit deren Hilfe wir die physikalische Realität beschreiben. Nur gewissen, im allgemeinen ziemlich komplizierten Ausdrücken, die aus Feldkom-

ponenten und Koordinaten gebildet werden, entsprechen vom Koordinatensystem unabhängig meßbare (d. h. reale) Größen. So entspricht beispielsweise den Komponenten des Gravitationsfeldes in einem Raum-Zeitpunkt noch keine von der Koordinatenwahl unabhängige Größe; dem Gravitationsfeld an einer Stelle entspricht also noch nichts „physikalisch Reales“, wohl aber diesem Gravitationsfelde in Verbindung mit anderen Daten. Man kann deshalb weder sagen, das Gravitationsfeld an einer Stelle sei etwas „Reales“, noch es sei etwas „bloß Fiktives“.

In dem Umstand, daß gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie der Zusammenhang zwischen den in den Gleichungen auftretenden Größen und den meßbaren Größen ein viel indirekterer ist als gemäß den gewohnten Theorien; liegt wohl die Hauptschwierigkeit, die sich beim Studium dieser Theorie darbietet. Auch dein letzter Einwand beruht darauf, daß du diesen Umstand nicht konsequent im Auge behalten hast.

Du erklärtest die in dem Uhrenbeispiel herangezogenen Felder auch noch deshalb als bloß fiktive, weil die Kraftlinien wirklicher Gravitationsfelder notwendig von Massen erzeugt sein müßten; beim behandelten Beispiele seien aber keine Massen vorhanden, welche diese Felder erzeugen könnten. Hierauf ist zweierlei zu erwidern. Einmal ist es keine a priori notwendige Forderung, daß sich die der Newtonschen Theorie eigene Auffassung, nach welcher sich jedes Gravitationsfeld als durch Massen erzeugt auffassen läßt, auch in der allgemeinen Relativitätstheorie aufrecht erhalten lasse. Es hängt diese Frage eben wieder mit dem vorhin erwähnten Umstande zusammen, daß die Bedeutung der Feldkomponenten eine viel weniger direkt definierte ist als in der Newtonschen Theorie. Zweitens aber kann nicht behauptet werden, es seien keine Massen vorhanden, denen die Erzeugung des Feldes zugeschrieben werden könnte. Allerdings können als Realursachen für das Feld nicht die beschleunigten Koordinatensysteme herangezogen werden, welche Meinung ein humorvoller Kritiker mir einmal zuschreiben zu müssen glaubte. Aber es können alle Sterne, welche im Weltall sind, als an der Erzeugung des Gravitationsfeldes beteiligt aufgefaßt werden; denn sie sind während der Beschleunigungsphasen des Koordinatensystem K' relativ zu letzterem beschleunigt und können dadurch ein Gravitationsfeld induzieren, ähnlich wie beschleunigt bewegte elektrische Ladungen ein elektrisches Feld induzieren. Angenäherte Integration der Gravitationsgleichungen hat in der Tat ergeben, daß derartige Induktionswirkungen beschleunigt bewegter Massen wirklich auftreten müssen. Aus dieser Überlegung ist klar, daß eine restlose Aufklärung der von dir aufgeworfenen Frage nur dadurch erlangt werden kann, daß man sich über die geometrisch-mechanische Konstitution des Weltganzen eine mit der Theorie vereinbare Vorstellung bildet. Dies habe ich letztes Jahr versucht, und

bin zu einer — wie mir scheint — vollkommen befriedigenden Auffassung gelangt; aber hierauf einzugehen, würde zu weit führen.

Krit.: Nach deinen letzten Ausführungen scheint es mir in der Tat, daß sich aus dem Uhren-Paradoxon innere Widersprüche der Relativitätstheorie nicht deduzieren lassen. Ja, es scheint mir jetzt nicht unwahrscheinlich, daß der Theorie innere Widersprüche überhaupt nicht anhaften, aber daraus folgt noch nicht, daß man die Theorie ernsthaft in Erwägung ziehen müsse. Ich sehe wirklich nicht ein, warum man um einer gedanklichen Vorliebe willen — nämlich der für die Relativitätsidee — so schauerliche Komplikationen und rechnerische Schwierigkeiten auf sich nehmen müßte. Daß diese nicht gering sind, hast du in deiner letzten Antwort selbst deutlich genug gezeigt. Wird es z. B. je jemand in den Sinn kommen, von der durch die Relativitätstheorie gebotenen Möglichkeit Gebrauch zu machen, die Bewegungen der Himmelskörper des Sonnensystems auf ein geozentrisches Koordinatensystem zu beziehen, das obendrein an der Drehbewegung der Erde teilnimmt? Wird man wirklich dies Koordinatensystem als „ruhend“ und als gleichberechtigt ansehen dürfen, relativ zu welchem die Fixsterne mit ungeheuren Geschwindigkeiten um die Erde herumsausen? Verstößt solches Beginnen nicht gegen den gesunden Menschenverstand und gegen die Forderung der Ökonomie des Denkens? Ich kann es mir nicht versagen, hier einige drastische Worte zu wiederholen, die Lenard neulich über den Gegenstand geäußert hat. Nachdem er die spezielle Relativität besprochen hat, indem er das „bewegte“ Koordinatensystem durch einen fahrenden Eisenbahnzug versinnlicht hat, sagte er: „Man lasse nun den gedachten Eisenbahnzug eine deutlich ungleichförmige Bewegung machen. Wenn hierbei durch Trägheitswirkung alles im Zuge in Trümmer geht, während draußen alles unbeschädigt bleibt, so wird, meine ich, kein gesunder Verstand einen andern Schluß ziehen wollen als den, daß es eben der Zug war, der mit Ruck seine Bewegung geändert hat, nicht die Umgebung. Das verallgemeinerte Relativitätsprinzip verlangt es, seinem einfachen Sinne nach, auch in diesem Falle zuzugeben, daß es möglicherweise doch die Umgebung gewesen sei, welche die Geschwindigkeitsänderung erfahren habe, und daß dann das ganze Unglück im Zuge nur Folge dieses Rucks der Außenwelt sei, vermittelt durch eine „Gravitationswirkung“ der Außenwelt auf das Innere des Zuges. Für die naheliegende Frage, warum denn der Kirchturm neben dem Zuge nicht umgefallen sei, wenn er mit der Umgebung den Ruck gemacht habe — warum solche Folgen des Rucks so einseitig nur im Zuge sich zeigen, während dennoch kein einseitiger Schluß auf den Sitz der Bewegungsänderung möglich sein solle — hat das Prinzip anscheinend keine den einfachen Verstand befriedigende Antwort.“

Rel.: Aus mehreren Gründen müssen wir die

Komplikationen, in welche uns die Theorie führt, willig auf uns nehmen. Einmal bedeutet es für einen konsequent denkenden Menschen eine große Befriedigung, einzusehen, daß der Begriff der absoluten Bewegung, dem kinematisch kein Sinn zuerkannt werden kann, in die Physik nicht eingeführt zu werden braucht; es kann nicht geleugnet werden, daß das Fundament der Physik durch Vermeidung dieses Begriffes an Folgerichtigkeit gewinnt. Ferner verlangt die Tatsache der Gleichheit der Trägheit und Schwere der Körper gebieterisch nach Aufklärung. Abgesehen davon braucht die Physik eine Methode, um zu der Nahwirkungstheorie der Gravitation zu gelangen. Ohne ein wirksam einschränkendes Prinzip konnten sich die Theoretiker an dieses Problem kaum heranwagen, weil *gar viele Theorien* aufgestellt werden könnten, die den ziemlich beschränkten Erfahrungen auf diesem Gebiete gerecht werden. *Embarras de richesse* ist einer der böartigsten Gegner, die dem Theoretiker das Leben sauer machen. Durch das Postulat der Relativität wurden die Möglichkeiten derart eingeschränkt, daß der Weg vorgezeichnet war, den die Theorie gehen mußte. Endlich mußte die säkulare Perihel-Bewegung des Planeten Merkur erklärt werden, deren Existenz von den Astronomen sicher konstatiert war, und deren Erklärung auf dem Boden der Newtonschen Theorie nicht befriedigend gelingen wollte. — Mit der Behauptung der *prinzipiellen* Gleichwertigkeit der Koordinatensysteme ist nicht gesagt, daß jedes Koordinatensystem für die Untersuchung eines bestimmten physikalischen Systems in gleichem Maße *bequem* sei; dies ist schon der Fall bei der klassischen Mechanik. Streng genommen darf man z. B. nicht sagen, die Erde bewege sich in einer Ellipse um die Sonne, weil diese Aussage ja ein Koordinatensystem voraussetzt, in welchem die Sonne ruht, während die klassische Mechanik doch auch Systeme zuläßt, relativ zu welchen die Sonne gradlinig und gleichförmig bewegt ist. So wenig es aber jemand in den Sinn kommen wird, sich bei der Untersuchung der Erdbewegung eines Koordinatensystems der letzteren Art zu bedienen, so wenig wird er aus der Betrachtung dieses Beispiels den Schluß ziehen, die Koordinatensysteme, deren Anfangspunkt dauernd im Schwerpunkt des betrachteten mechanischen Systems liegt, seien gegenüber jenen andern Koordinatensystemen prinzipiell bevorzugt. So ist es auch bei dem von dir genannten Beispiel. Niemand wird sich bei Untersuchung des Sonnensystems eines relativ zum Erdkörper ruhenden Koordinatensystems bedienen, weil dies unpraktisch wäre. *Prinzipiell* ist aber ein solches Koordinatensystem nach der allgemeinsten Relativitätstheorie durchaus gleichberechtigt mit jedem anderen. Der Umstand, daß die Fixsterne mit ungeheuren Geschwindigkeiten umlaufen, wenn man ein solches Koordinatensystem der Betrachtung zugrunde legt, bedeutet kein Argument gegen die *Zulässigkeit*, sondern lediglich gegen die Zweck-

mäßigkeit dieser Koordinatenwahl, ebensowenig der komplizierte Bau des relativ zu diesem Koordinatensystem herrschenden Gravitationsfeldes, welches z. B. auch den Zentrifugalkräften entsprechende Komponenten hätte. Ähnlich verhält es sich mit Herrn *Lenards* Beispiel. Man darf im Sinne der Relativitätstheorie den Fall nicht in dem Sinne auffassen, „daß es *möglicherweise* doch die Umgebung (des Zuges) gewesen sei, welche die Geschwindigkeitsänderung erfahren habe“. Es handelt sich nicht um zwei verschiedene, einander ausschließende Hypothesen über den Sitz der Bewegung, sondern vielmehr um zwei prinzipiell gleichwertige Arten, denselben Sachverhalt darzustellen¹⁾. Welche Darstellung man zu wählen hat, darüber können nur Zweckmäßigkeitsgründe, aber nicht Argumente prinzipieller Art entscheidend sein. Wie wenig es aber angezeigt ist, in solchen Dingen den sogenannten „gesunden Verstand“ als Schiedsrichter anzurufen, zeigt folgendes Gegenbeispiel. *Lenard* selbst sagt, es hätten sich gegen die Gültigkeit des *speziellen* Relativitätsprinzips (d. h. des Relativitätsprinzips bezüglich gleichförmiger Translationsbewegung der Koordinatensysteme) bisher keine zutreffenden Einwände erheben lassen. Der gleichmäßig fahrende Zug könne ebensogut als „ruhend“, das Geleise samt der ganzen Gegend als „gleichförmig bewegt“ angesehen werden. Wird dies der „gesunde Verstand“ des Lokomotiv-Führers zulassen? Er wird einwenden, daß er doch nicht *die Gegend* unausgesetzt heizen und schmieren müsse, sondern die Lokomotive, und daß es dementsprechend die letztere sein müsse, in deren Bewegung sich die Wirkung seiner Arbeit zeige.

Krit.: Nach diesem Gespräch muß ich doch zugeben, daß die Widerlegung eurer Auffassung nicht so einfach ist, als es mir früher erschien. Wohl habe ich noch manche Einwände in petto. Aber ich will dich damit nicht behelligen, bevor ich unser heutiges Gespräch genau durchdacht habe. Bevor wir scheiden, noch eine Frage, die keinen Einwand betrifft, sondern die ich aus reiner Neugierde stelle: Wie steht es denn jetzt mit dem kranken Mann der theoretischen Physik, dem Äther, den manche von euch als endgültig tot erklärt haben?

Rel.: Ein wechselvolles Schicksal hat er hinter sich, und man kann durchaus nicht sagen, daß er nun tot sei. Vor *Lorentz* existierte er als alles durchdringende Flüssigkeit, als gasähnliche Flüssigkeit und sonst noch in den verschiedensten Daseinsformen, verschieden von Autor zu Autor. Mit *Lorentz* wurde er starr und verkörperte das

¹⁾ Daß der Turm nicht umfällt, kommt gemäß der zweiten Darstellungsweise daher, daß dieser samt dem Boden und der ganzen Erde in einem (während des Ruckes vorhandenen) Gravitationsfelde *frei fällt*, während der Zug durch äußere Kräfte (Bremskräfte) am freien Fall verhindert wird. Ein frei fallender Körper verhält sich bezüglich der inneren Vorgänge wie ein allen äußeren Einflüssen entzogener, frei schwebender Körper.