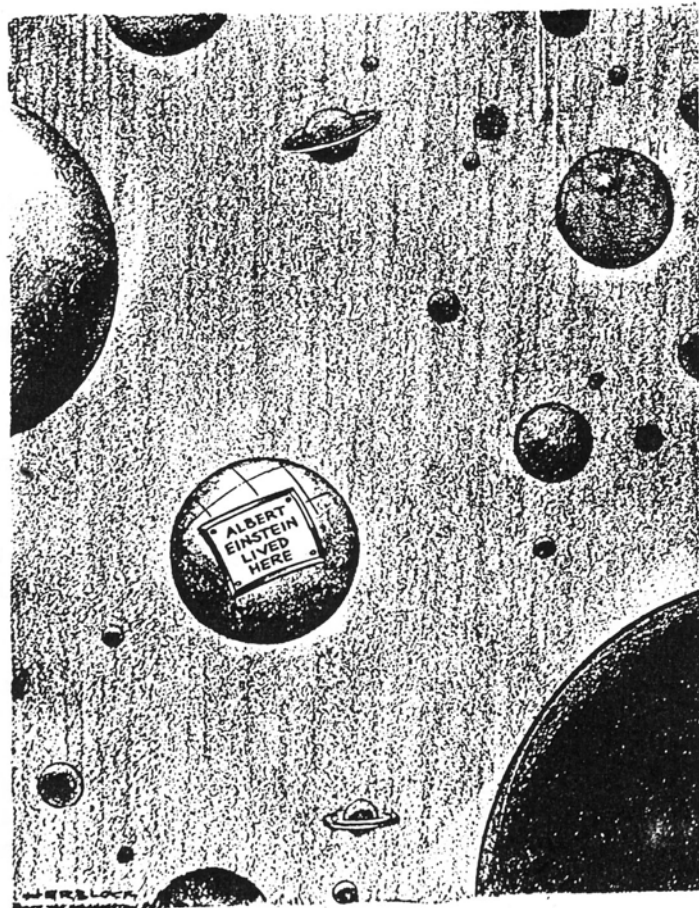


Relativitätstheorie und Materialismus



Im Jahre 1952 fiel ein berühmter Deutscher bei diversen Mitgliedern der sowjetischen Akademie der Wissenschaften in Ungnade. Sein Lebenswerk sei nicht vereinbar mit dem dialektischen Materialismus. Der so Disqualifizierte reagierte auf den Vorwurf mit folgendem sarkastischen Vers:

Weisheit des dialektischen Materialismus

Durch Schweiß und Mühe ohnegleichen
Ein Körnchen Wahrheit zu erreichen?
Ein Narr, wer sich so kläglich schinden muß:
Wir schaffen's einfach durch Parteibeschuß.

Und denen, die zu Zweifeln wagen,
Wird flugs der Schädel eingeschlagen.
Ja, so erzielt man wie noch nie
Der kühnen Geister Harmonie.

Der Verfasser beweist mit diesen Zeilen lyrische Begabung. Er scheint auf den Pfaden Heinrich Heines zu wandeln. Und dennoch ist er kein Dichter. Er ist der bedeutendste deutsche Naturwissenschaftler und einer der größten Physiker aller Zeiten: **Albert Einstein**.

Für viele gilt er als das Synonym für Genialität schlechthin. Wer hat nicht schon mal auf eine intellektuelle Überforderung mit der rhetorischen Frage "Bin ich Einstein?" geantwortet!

Zugleich war er ein hervorragender bürgerlicher Humanist und als Symbol für Menschlichkeit und Aufrichtigkeit ein Gelehrter jenseits des wissenschaftlichen Elfenbeinturms.

Doch was es mit dem anfangs zitierten Vorwurf auf sich? Ist er berechtigt? Um diese Fragen zu beantworten, muß man sich mit Albert Einsteins Werk befassen. Dies soll im folgenden skizzenhaft geschehen. Doch zuvor ein kurzer Überblick über sein Leben und seine Person:

Biographische Daten

- | | |
|---------------|--|
| 14. März 1879 | Albert Einstein wird in Ulm als Sohn eines jüdischen Kaufmanns und einer Hausfrau geboren. |
| 1880 | Die Familie gibt ihr Ladengeschäft in Ulm auf und übersiedelt nach München, wo Einsteins Vater eine kleine Manufaktur für elektrische Geräte eröffnet. |
| 1882 | Der erst Dreijährige zeigt größtes Interesse an einem Kompaß. Stundenlang betrachtet er die sich unbeeindruckt nach Norden ausrichtende Nadel. Stellt er bereits in diesem zarten Alter Mutmaßungen über die Ursache der Erscheinung an? |
| 1885 | Einschulung in das Luitpold-Gymnasium, heute Einstein-Gymnasium, in München.

Einstein ist ein ausgesprochener Spätentwickler: er kann im Alter von sieben Jahren immer noch nicht richtig sprechen und ist zudem nach heutigen Maßstäben als Legastheniker zu bezeichnen. |
| 1885-1895 | Die Schulzeit ist unglücklich, weil es an den bayerischen Gymnasien Ende des 19. Jahrhunderts äußerst preußisch zugeht.

"Aus dem wird nie etwas": Diese düstere Zukunftsprognose wird von einem Lehrer ausgerechnet in Gegenwart der Eheleute Einstein geäußert, deren Sohn allergrößte Eltern-Hoffnungen um ein Vielfaches übertreffen wird.

Irgendwann setzt eine radikale Vorwärtsentwicklung ein: Einstein liest ein anspruchsvolles Buch über die Euklidische Geometrie mit neun und die <i>Kritik der reinen Vernunft</i> von Immanuel Kant mit zwölf Jahren. |
| 1895 | Des Unterrichtsdrills überdrüssig, verläßt Einstein ein Jahr vor der Hochschulreife die Schule.

Besuch der Aarauer Kantonatsschule in der Schweiz - eine wesentlich liberalere und angenehmere Lehrereinrichtung als das Münchner Gymnasium. |
| 1896 | Aufgabe der deutschen Staatsbürgerschaft.

Immatrikulation im Fachbereich Physik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. Hier ist ein Studium ohne Abitur möglich. |

1900	Diplom als Physiklehrer.
1900-1902	Zeit ohne feste Anstellung - eine Phase voller Hoffnungslosigkeit und Zukunftsängste.
1902-1909	Beamter am "Eidgenössischen Amt für Geistiges Eigentum" (Patentamt) in Bern.
1905	<p>In diesem Jahr publiziert Einstein in den <i>Annalen der Physik</i> drei teilweise während seiner Arbeit im Patentamt verfaßte Artikel, die die Physik bis in die Grundfesten erschüttern werden.</p> <p>Zunächst seien die zwei "unbedeutenderen" genannt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erklärung der Brownschen Molekülbewegung: grundsätzliche Elemente der Statistischen Physik werden entwickelt. • Deutung des Photo-Effekts: Geburtsstunde der sogenannten Quantentheorie und damit der modernen Atomphysik. <p>Allein diese beiden Arbeiten hätten Einstein zu einem der herausragendsten Physiker des 20. Jahrhunderts werden lassen. Noch bedeutender ist allerdings der dritte Beitrag, veröffentlicht unter dem Titel <i>Zur Elektrodynamik bewegter Körper</i> - die legendäre Spezielle Relativitätstheorie. Sie läßt ihren Verfasser in den exklusiven Kreis der größten Naturwissenschaftler aller Zeiten eintreten.</p> <p>Diese Theorie krempelt die gesamte Physik und grundlegende philosophische Begriffe wie Raum und Zeit radikal um.</p>
1905-1913	<p>Einstein hat mit seinen drei Veröffentlichungen die physikalische Fachwelt aufgerüttelt. Einige halten ihn für einen Spinner, die meisten erkennen jedoch seine Kompetenz an.</p> <p>Dies zieht ab 1909 eine Karriere als Universitätsprofessor nach sich, die Einstein nach Zürich, nach Prag und wegen des massiven Antisemitismus in der Tschechoslowakei wieder zurück nach Zürich führt.</p>
1913-1933	Mitglied und später Direktor der <i>Preußischen Akademie der Wissenschaften</i> in Berlin, was Einstein hervorragende Arbeitsmöglichkeiten eröffnet.
1914	<p>Mutiges Auftreten gegen den Krieg: im chauvinistischen Freudentaumel nach der Entfesselung des 1. Weltkrieges wagen es nur drei Vertreter der Intelligenz, einen pazifistischen Aufruf zu unterzeichnen - der Berliner Physiologe Georg Friedrich Nicolai, der Astronom Wilhelm Foerster und Albert Einstein.</p> <p>93 bedeutende Kulturschaffende unterzeichnen hingegen einen militaristisch-nationalistischen Aufruf - unter ihnen Geistesgrößen wie Thomas Mann, Gerhard Hauptmann und Einsteins hochangesehener Kollege Max Planck.</p> <p>Im März 1915 schreibt Einstein an den französischen Schriftsteller und Humanisten Romain Rolland:</p> <p><i>"Sogar die Gelehrten gebärden sich, wie wenn ihnen vor acht Monaten das Großhirn amputiert worden wäre."</i></p>
1915/1916	Die Allgemeine Relativitätstheorie als Erweiterung der Speziellen Relativitätstheorie um das Problem der Gravitation erscheint - eine der abstraktesten, mathematisch anspruchsvollsten und schwierigsten wissenschaftlichen Theorien der Menschheitsgeschichte.
November 1917	<p>In Rußland siegt die Revolution. Einstein begrüßt als überzeugter Pazifist die Absage der neuen bolschewistischen Regierung an den Krieg und schätzt deren Führer folgendermaßen ein:</p> <p><i>"Ich verehere in Lenin einen Mann, der seine ganze Kraft unter völliger Aufopferung seiner Person für die Realisierung sozialer Gerechtigkeit eingesetzt hat. Seine Methoden halte ich nicht für zweckmäßig. Aber eins ist sicher: Männer wie er sind die Hüter und Erneuerer des Gewissens der Menschheit."</i></p>
9. November 1918	<p>Mit dem in Deutschland beginnenden Revolutionsversuch ist der Frieden in greifbare Nähe gerückt. Wer sollte sich über den am Boden liegenden deutschen Militarismus mehr freuen als der erklärte Pazifist Albert Einstein?</p> <p>An diesem Tag ist in seinem Vorlesungskalender ein höchst kurioser Eintrag zu finden:</p> <p><i>"Ausgefallen wegen Revolution."</i></p>

29. Mai 1919 Britische Forschungs Expeditionen führen in Brasilien und Westafrika anlässlich einer totalen Sonnenfinsternis Präzisionsmessungen durch. Hierbei wird die im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagte Lichtkrümmung im Gravitationsfeld bestätigt.
- 1919/1920 Die exakte Auswertung der Meßergebnisse zeigt eine schier sensationelle Übereinstimmung zwischen theoretisch vorhergesagten und experimentell bestätigten Werten.
- Das eindeutig nachgewiesene Phänomen der Lichtkrümmung kann durch die bisherigen physikalischen Disziplinen nicht erklärt werden: Albert Einstein hat mit seiner theoretischen Arbeit das Fundament naturwissenschaftlicher Erkenntnis tiefer gelegt als Galilei, Newton und Maxwell.
- Plötzlich wird er mit den bedeutendsten Physikern aller Zeiten in einem Atemzug genannt. Seine Führungsrolle als Naturwissenschaftler ist von nun an unumstritten. Mit einem Schlag ist der bisher nur in Fachkreisen Bekannte weltberühmt - ein für ihn vollkommen neues und höchst befremdendes Phänomen.
- 1921 Einstein erhält den Physik-Nobelpreis für seine 1905 veröffentlichte Arbeit zum Photo-Effekt. Die Relativitätstheorie mit ihren atemberaubenden Konsequenzen konnte noch nicht ausreichend experimentell überprüft worden, weswegen ihr die höchste wissenschaftliche Auszeichnung versagt bleibt.
- 1928-1932 Einstein warnt verstärkt vor den Faschisten, was ihn bei diesen sehr unbeliebt macht.
- Außerdem hält er mehrere Vorträge vor Berliner Arbeitern, in denen er durch sein natürliches und bescheidenes Wesen besticht und den Anwesenden die Grundzüge seiner höchst unalltäglichen Theorien tatsächlich verständlich macht.
- 1933 Machtergreifung der Faschisten. Einstein emigriert nach Princeton, New Jersey, U.S.A., wo ihn eine hochangesehene Professur erwartet, beantragt die amerikanische Staatsbürgerschaft und verabschiedet sich endgültig von seiner deutschen, deren Wiedererlangung im Jahre 1913 er als den schwersten Fehler seines Lebens bezeichnet.
- Bis an sein Lebensende betritt Einstein niemals wieder deutschen Boden und steigert sich in einen bisweilen undifferenzierten Deutschlandhaß hinein.
- 1937 Otto Hahn und Fritz Straßmann entdecken in Berlin die Atomspaltung und die damit einhergehende Energiegewinnung.
- 1939 In die USA emigrierte Atomphysiker warnen Einstein vor der Atomspaltung und der mit ihr verbundenen Möglichkeit, den deutschen Faschisten die Produktion einer Superbombe zu ermöglichen.
- Diese erschreckende Perspektive veranlaßt ihn trotz seiner pazifistischen Grundüberzeugung zu dem berühmten Warnbrief an Präsident Franklin D. Roosevelt. Da dieser aufgrund Einsteins überragender naturwissenschaftlicher Kompetenz keinen Zweifel an der bestehenden Gefahr haben kann, startet er umgehend die US-amerikanische Atombombenentwicklung.
- 1939-1945 Das unter dem Codenamen **Project Manhattan** durchgeführte Mammutunternehmen erweist sich als ein Meisterwerk der Geheimhaltung: zeitweilig sind mehr als 100.000 Personen beteiligt - aber nur eine Handvoll von ihnen ist über die tatsächlichen Zusammenhänge informiert. Die US-amerikanische Bevölkerung ist (einschließlich des Vizepräsidenten) ohnehin vollkommen ahnungslos.
- 1945 Als immer deutlicher wird, daß die deutschen Faschisten nicht mehr bis zum Ende des II. Weltkrieges über eine thermonukleare Waffe verfügen werden, versuchen Einstein und andere, die US-amerikanische Atombombenproduktion zu stoppen, was ihnen nicht gelingt.
- August 1945 Die Opfer von Hiroshima und Nagasaki stürzen Einstein in die schwerste Gewissenskrise seines Lebens.
18. April 1955 Albert Einstein stirbt in seiner amerikanischen Wahlheimat, betrauert von der ganzen Welt. Er selbst sieht seinem Ende gelassen entgegen - auf den besorgten Blick einer Krankenschwester reagiert er seelenruhig mit den Worten:

"Alle Menschen müssen sterben."

Einsteins Hauptwerk: Die Relativitätstheorie

Sie zerfällt in einen speziellen und in einen allgemeinen Teil. Für ihr Verständnis ist ein immenses Abstraktionsvermögen und die Beherrschung eines umfassenden mathematischen Apparates notwendig. Dennoch dauert es selbst für gestandene Physiker oft Jahre, sich mit Einsteins Konsequenzen vertraut zu machen, da fundamentalste Begriffe wie Raum und Zeit einer umfassenden Neubewertung unterzogen werden. Eine allgemeinverständliche und auf Mathematik verzichtende Darstellung der Relativitätstheorie kann daher nur auf ihre Grundidee eingehen, was im folgenden geschehen soll.

Ein jahrhundertaltes Prinzip gilt auch für die moderne Physik

Am Anfang von Einsteins Überlegungen steht das sogenannte Relativitätsprinzip:

Die physikalischen Gesetze sind in allen gleichförmig bewegten Systemen gleich.

Hierbei handelt es sich um eine uralte Forderung, die bereits von Galileo Galilei (1564-1642) im 17. Jahrhundert formuliert wurde. Ihm ist es auch gelungen, seine physikalischen Gesetze mit der im Relativitätsprinzip vorgesehenen Allgemeingültigkeit zu versehen: wenn für einen Beobachter ein Stein nach unten und nicht nach oben fällt, so muß dies auch ein zweiter Betrachter feststellen, der sich an seinem Kollegen mit konstanter Geschwindigkeit vorbeibewegt.

Zwischen Galilei und Einstein liegen allerdings mehr als dreihundert Jahre. In dieser Zeit ist das physikalische Wissen, das zu Zeiten Galileis, Keplers und Newtons ausschließlich auf die Mechanik beschränkt war, immens angewachsen - was sich im Hinzutreten ganzer Disziplinen wie Optik, Elektrodynamik und Akustik äußert.

Einstein macht jedoch Galileis Prinzip zum Ausgangspunkt seiner theoretischen Überlegungen und fordert dessen uneingeschränkte Gültigkeit auch für die physikalischen Gesetze der nachmechanischen Epoche. Seine Relativitätstheorie hat es sich zur Aufgabe gemacht, die für diese Verallgemeinerung notwendigen Rahmenbedingungen zu untersuchen.

Die Rückbesinnung auf Galileis Forderung ist der zutiefst materialistische Ansatz Albert Einsteins. **Ausschließlich durch universell geltende Gesetzmäßigkeiten läßt sich die Welt aus sich selbst heraus erklären.**

Die Maxwell-Theorie als Synthese der nachmechanischen Physik

Die Zusammenfassung der Physik des 18. und 19. Jahrhunderts findet Einstein in der Elektrodynamik vor. Deren Grundgesetze sind in den sogenannten **Maxwell-Gleichungen** beschrieben.

Hierbei handelt es sich um vier relativ einfache physikalische Formeln, die der geniale englische Physiker James Clerk Maxwell (1831-1879) als Synthese der gesamten nachmechanischen Physik hergeleitet hat und die das elektromagnetische Feld höchst zuverlässig beschreiben.

Was versteht man übrigens unter dem Begriff des Feldes? Nichts anderes als den Wirkungsraum physikalischer (hier elektromagnetischer) Fernwirkungsvorgänge.

Es ist für das weitere Verständnis zweckmäßig, die vier Maxwell-Gleichungen einmal etwas näher zu betrachten.

Die ersten beiden Gleichungen betrachten das elektrische und das magnetische Feld zunächst unabhängig voneinander:

1. Gleichung: Das elektrische Feld besitzt nur Quellen. Anders ausgedrückt: es gibt nur einen Pol in Form von elektrischer Ladung, die in den Raum hineinwirkt.

2. Gleichung: Das magnetische Feld besitzt Quellen und Senken. Das heißt: es gibt immer zwei Pole (Nord- und Südpol). Das magnetische Feld ist nur in dieser Struktur denkbar.

Es existieren zwar mittlerweile diverse Theorien, die von magnetischen Monopolen ausgehen, aber in der Natur gibt es bis heute hierfür keine Nachweise.

Die anderen beiden Gleichungen verknüpfen das elektrische und das magnetische Feld miteinander:

3. Gleichung: Faradays Induktionsgesetz. Am Rande einer geschlossenen Fläche entsteht immer dann ein elektrisches Feld, wenn sich der Fluß (d.h. die Ausrichtung oder die Stärke) des magnetischen Feldes durch dieses Flächensegment mit der Zeit ändert.

Veranschaulichung: ein Fahrrad-Dynamo sorgt während der Fahrt deswegen für Elektrizität, weil sich in ihm ein kreisförmiges Stromkabel permanent durch ein Magnetfeld bewegt.

4. Gleichung: Oersteds Gesetz (quasi als Umkehrung des Faraday-Gesetzes). Am Rande einer geschlossenen Fläche entsteht immer dann ein magnetisches Feld, wenn sich der Fluß des elektrischen Feldes durch dieses Flächensegment mit der Zeit ändert oder es von konkreten elektrischen Ladungen durchströmt wird.

Veranschaulichung: im Umfeld eines aktiven Stromkabels kann man mit einem Kompaß eine magnetische Wirkung nachweisen.

Der Wellencharakter des Lichtes

Die eben beschriebene Verknüpfung elektrischer und magnetischer Phänomene führt zur Elektrodynamik, der Theorie des elektromagnetischen Feldes. Die "Substanz", die sich in diesem Feld fortbewegt, nennt man elektromagnetische Wellen.

Die kreative Verwendung der Elektrodynamik ermöglicht außerdem die Ableitung wesentlicher Grundlagen der gesamten nachmechanischen Physik.

Diese Abstraktion ist Maxwells Großtat: er hat in seiner Theorie ca. zweihundert Jahre intensivster physikalischer Tätigkeit komprimiert!

Und noch etwas erweist sich als sehr wichtig: die Elektrodynamik beschreibt viele wichtige Eigenschaften des Lichtes, welches aus Maxwells Perspektive nichts anderes als eine elektromagnetische Welle ist.

Die Lichtgeschwindigkeit, deren Betrachtung in den folgenden Ausführungen von zentralster Bedeutung sein wird, ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen.

Die beiden Wirkungsformen

Es lohnt sich, auch die philosophische Bedeutung der Lichtgeschwindigkeit zu erwähnen, die in ihrer Relevanz für das Kausalprinzip besteht.

Wirkungsausbreitungen lassen sich wie folgt unterscheiden:

Nahwirkungen: Sie liegen immer dann vor, wenn eine Ursache ihre Wirkung nur aufgrund eines direkten physischen Kontaktes hervorrufen kann. Im wesentlichen handelt es sich hierbei um Stoß- und Reibungsvorgänge.

Fernwirkungen: Sie vollziehen sich über größere Distanzen ohne einen direkten Kontakt zwischen den beteiligten Objekten (Beispiel: Kompaßnadel). Derartige Phänomene waren im Mittelalter stark mystifizierte, weil nicht erklärbare Erscheinungen.

Zur Lösung des Dilemmas mußte man den Begriff des **Feldes** als des **Wirkungsraumes vermittelnder physikalischer Vorgänge** einführen.

Auf dieser Grundlage wird die Fernwirkung verständlich und darüber hinaus zum häufigsten naturwissenschaftlichen Phänomen, das in allen fundamentalen physikalischen Theorien (nicht nur in der Elektrodynamik) von zentraler Bedeutung ist.

So spricht Newton in seiner Mechanik zum ersten Mal vom **Gravitationsfeld**. Maxwell definiert das Feld als den **Ausbreitungsraum elektromagnetischer Wellen**.

Auch die von modernen physikalischen Theorien dieses Jahrhunderts vorhergesagten sogenannten **starken Wechselwirkungen** setzen für die Erklärung der Vorgänge in den Atomkernen das Fernwirkungsprinzip voraus (so unangebracht es angesichts inneratomarer Distanzen auch erscheinen mag). Dies geschieht aber nicht mehr auf der Grundlage des klassischen Maxwellschen Feldbegriffes.

Das Kausalprinzip weist eine zeitliche Verzögerung auf

In der Epoche der klassischen Mechanik ist man von der falschen Annahme eines unverzögerten Aufeinanderfolgens von Ursache und Wirkung ausgegangen. Dies geschah aufgrund der unvollkommenen Meßmethoden, auf die man damals angewiesen war.

Später konnte experimentell nachgewiesen werden, daß es bei Fernwirkungen keine sofortige Ausbreitung physikalischer Erscheinungen gibt. Zwischen einer an einem ersten Objekt festgestellten Veränderung und deren Fortsetzung in einem zweiten vollzieht sich im dazwischen liegenden Feld ein vermittelnder Prozeß, der sich mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet. Hierfür ist zwangsläufig eine gewisse Zeitspanne erforderlich, die von der Distanz zwischen den beiden Körpern abhängig ist.

Es konnte durch keinen Zweifel zulassende Präzisionsmessungen nachgewiesen werden, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Fernwirkung und des Lichtes identisch sind! Der exakte Wert beläuft sich auf 299.792,15 km/sec.

Da es sich hierbei um eine extrem hohe, aber dennoch endliche Größe handelt, können sich somit weder Licht noch Fernwirkung ohne zeitliche Verzögerung ausbreiten. Ihre Geschwindigkeit ist allerdings so unvorstellbar, daß man sie in der mechanischen Epoche getrost als unendlich groß annehmen konnte, was die geschilderten falschen Folgerungen nach sich zog.

Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze der Erfahrungswelt

Die Tatsache, daß die Lichtgeschwindigkeit als das Kausalprinzip regulierende Größe endlich ist, hat eine schwerwiegende erkenntnistheoretische Konsequenz: im Rahmen der bekannten Naturwissenschaft darf sich somit kein Körper schneller als das Licht bewegen, da er ansonsten nicht mehr planmäßig von physikalischen Methoden erfaßt werden könnte und sich jenseits (transzendental) der erfahrbaren Welt befinden würde.

Unabhängig von dieser metaphysischen Begründung liefert die Relativitätstheorie auch hieb- und stichfeste physikalische Beweise, daß die Lichtgeschwindigkeit den Charakter einer unerreichbaren Obergrenze besitzt.

Das Licht benimmt sich auf einmal sehr seltsam

Doch zurück zu Einsteins Überlegungen. Von Galileis Forderung ausgehend, stellt er die folgende Frage:

"Wie muß die Welt beschaffen sein, damit die Maxwell-Theorie als Zusammenfassung der gesamten moderneren Physik in allen gleichförmig bewegten Bezugssystemen gilt?"

Durch höchst raffinierte Symmetrieannahmen (einer der wichtigsten Methoden der Theoretischen Physik) findet Einstein auch die Lösung seines Rätsels: die Elektrodynamik und das Relativitätsprinzip lassen sich nur dann vereinbaren, wenn man eine vollkommen überraschende und der menschlichen Erfahrung total widersprechende Eigenschaft des Lichtes voraussetzt. Sie lautet:

Die Lichtgeschwindigkeit ist absolut konstant, das heißt von der Geschwindigkeit der Lichtquelle unabhängig!

Diese sensationelle Feststellung stellt neben dem Relativitätsprinzip die zweite Forderung Einsteins dar und ist der grundlegende Schlüssel zum Verständnis seiner Relativitätstheorie: deren Konsequenzen lassen sich unmittelbar aus der bereits erwähnten Endlichkeit und der absoluten Konstanz der Lichtgeschwindigkeit herleiten.

Die Personen, die gelegentlich mit einer gewissen Hochnäsigkeit behaupten, alles sei relativ, können Einstein somit gar nicht verstanden haben.

Die Addition von Geschwindigkeiten: wohlvertraut, aber falsch

Die absolute Konstanz der Lichtgeschwindigkeit läßt sich am besten anhand eines modernen Beispiels begreifen.

Man stelle sich den ICE München-Hamburg auf seiner Hochgeschwindigkeits-Trasse vor. Die konstante Geschwindigkeit betrage 250 km/h.

Im Zug bewege sich eine Person mit einer im ICE gemessenen gleichförmigen Geschwindigkeit von 5 km/h in Fahrtrichtung. Außerhalb des Zuges sollte man dann für den sich fortbewegenden Fahrgast eine Geschwindigkeit von 255 km/h (= 250 km/h + 5 km/h) feststellen.

Jetzt ersetze man den Fahrgast durch einen Lichtstrahl, der von einer im Zug befindlichen Lampe ausgestrahlt wird und sich ebenfalls in Fahrtrichtung mit der Geschwindigkeit c (c = Lichtgeschwindigkeit, seit Einstein eine der wichtigsten physikalischen Konstanten) bewegt. Nun sieht der Vorgang grundlegend anders aus:

1. Die Geschwindigkeit des Lichtimpulses ist sehr viel größer als die des Fahrgastes: statt 5 km/h beträgt sie nämlich $c = 299.792,15$ km/sec!
2. Die Geschwindigkeit von $c = 299.792,15$ km/sec für den sich im Zug fortbewegenden Lichtstrahl wird innerhalb und außerhalb des ICE gemessen.

Das heißt, der Beobachter am Bahndamm mißt für das Ereignis dieselbe Geschwindigkeit wie sein Kollege im Zug – und nicht $c + 250$ km/h, was sich durch die Addition der beiden Einzelgeschwindigkeiten ergeben würde.

Also: die Lichtgeschwindigkeit hängt nicht von der Geschwindigkeit der Lichtquelle ab!

Physiker am Rande des Nervenzusammenbruchs

Diese der Erfahrung völlig widersprechende Eigenschaft des Lichtes wird bereits zu Einsteins Lebzeiten experimentell bewiesen, was die ausführenden Physiker massiv an ihrem Verstand zweifeln läßt. Einstein liefert ihnen auf theoretischem Wege die Erklärung für das seltsame Phänomen. Wie aber sehen seine Überlegungen aus? Diese Frage läßt sich auf der Grundlage des Symmetriebegriffes beantworten.

Symmetrieanahmen als Ausdruck eines materialistischen Weltbildes

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts steckte die physikalische Naturwissenschaft in einer heiklen Situation: die experimentelle Raffinesse wuchs in demselben Maße wie der mathematische Apparat. Es konnte von einem Physiker immer weniger erwartet werden, beide Bereiche in dem gewünschten Umfang beherrschen zu können. Es ergab sich somit die Notwendigkeit einer Arbeitsteilung zwischen praktischer und theoretischer Tätigkeit.

James Clerk Maxwell ist der erste bedeutende Vertreter der Theoretischen Physik. Deren Beitrag zur Naturwissenschaft besteht in dem Versuch, durch die Abstraktion der vorliegenden Meßdaten allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten herzuleiten, die dann in der Realität (und zwar wiederum im Experiment) einer unbarmherzigen Prüfung unterzogen werden.

Maxwell wendete den Symmetriebegriff als Grundmethode des Theoretikers mit beispielloser Konsequenz und Klarheit an, indem er für das von ihm betrachtete elektromagnetische Feld (gleichbedeutend mit dem Ausbreitungsraum der elektromagnetischen Wellen) eine **symmetrische Struktur** voraussetzte.

Dies bedeutet, daß sich die elektromagnetischen Wellen (und damit auch das Licht) von ihrer Quelle aus in alle Richtungen mit derselben konstanten Geschwindigkeit wegbewegen müssen.

Hintergrund dieser zunächst banal wirkenden Annahme ist die uralte philosophische Forderung nach Homogenität (Gleichförmigkeit) und Isotropie (fehlender Vorzugsrichtung) von Raum und Zeit.

Dahinter verbirgt sich aber nichts Geringeres als das materialistische Weltbild: das Universum ist in seinen Grundstrukturen überall gleich, es gibt keinen bevorzugten Ort und Zeitpunkt - und damit auch keinen Anfangsort und -zeitpunkt im Sinne einer biblischen Schöpfungsgeschichte oder einer idealistisch mißbrauchten Urknalltheorie.

Einsteins Erweiterung der Symmetrien auf bewegte Systeme

Es ist James Clerk Maxwells Verdienst, daß er den schon auf Kepler und Newton zurückgehenden Symmetriebegriff als grundlegendes Prinzip in die nachmechanische Physik hinübergerettet hat.

Von dieser Basis ausgehend gelangt Maxwell zu seiner Theorie des elektromagnetischen Feldes und ihrer zusammenfassenden Darstellung in den vier Grundgleichungen der Elektrodynamik. Die Symmetrie ist die Grundvoraussetzung für ihr Funktionieren.

Wie aber sieht es mit der Symmetrie bewegter Lichtquellen aus? Dies ist der entscheidende Ansatz Albert Einsteins. Recht schnell kommt er zu folgender Erkenntnis:

Eine Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit der Lichtquelle führt zur Symmetrieverletzung und damit zur Entkräftung der Maxwell-Theorie.

Hinge die Lichtgeschwindigkeit nämlich von der Geschwindigkeit der Lichtquelle ab, so wäre das elektromagnetische Feld in einem relativ zur Lampe ruhenden Bezugssystem durchaus immer noch symmetrisch; in einem relativ zur Lichtquelle bewegten Bezugssystem wäre es aber in Richtung der konstanten Bewegung eiförmig verzerrt. Die Maxwell-Theorie wäre ihrer Gültigkeit beraubt!

Also muß die Lichtgeschwindigkeit als eine absolut unveränderliche Größe vorausgesetzt werden!

Aufgrund dieser Überlegungen trägt Einsteins geniale Arbeit von 1905 übrigens den Titel *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*.

Zufall und Notwendigkeit in der Relativitätstheorie

Die Relativitätstheorie greift die Annahme einer vollkommen unveränderlichen Lichtgeschwindigkeit übrigens nicht nur einfach aus der Luft, um mit aller Macht die Elektrodynamik zu retten. Vielmehr erläutert sie den engen Zusammenhang zwischen Endlichkeit und absoluter Konstanz.

Wie bereits erwähnt, wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Feldwirkung experimentell immer wieder als eine endliche Größe festgestellt. Einstein unterläßt die Suche nach eventuellen Ursachen für diese Laune der Natur. Er ist souverän genug, sich mit objektiven Tatsachen zu arrangieren. Denn er stellt als erster fest, daß mit diesem Zufall zwingend eine Notwendigkeit einhergeht: die der absoluten Konstanz der Feldausbreitungsgeschwindigkeit.

Einsteins Universalisierung der nachmechanischen Physik

Zur Erläuterung seines Gedankenganges: bei unendlicher Lichtgeschwindigkeit wäre eine Symmetrieverletzung der Maxwell-Theorie von vornherein undenkbar.

Ein potentieller Beobachter würde vollkommen unabhängig von seinem eigenen Bewegungszustand immer eine gleichförmige Wellenausbreitung feststellen, da er für alle deren Bestandteile jederzeit dieselbe, nämlich unendliche Entfernung messen würde.

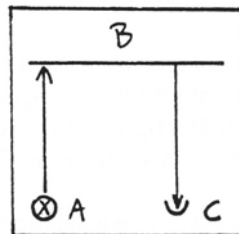
Leider sieht die Realität anders aus. Deswegen kann Einstein bei seiner Betrachtung der Elektrodynamik bewegter Körper nicht umhin, die endliche Lichtgeschwindigkeit a priori als eine absolut unveränderliche Größe vorauszusetzen.

Dies war unumgänglich, um zu der im Relativitätsprinzip geforderten Universalisierung der nachmechanischen Physik gelangen zu können.

Aus den beschriebenen Eigenheiten der Lichtgeschwindigkeit folgen weitere revolutionäre Erkenntnisse der Relativitätstheorie. Die folgende sei zuerst erwähnt, da sie immer wieder die Phantasie aller Science-Fiction-Fans beflügelt: die Zeitdilatation.

Bewegte Uhren gehen langsamer!

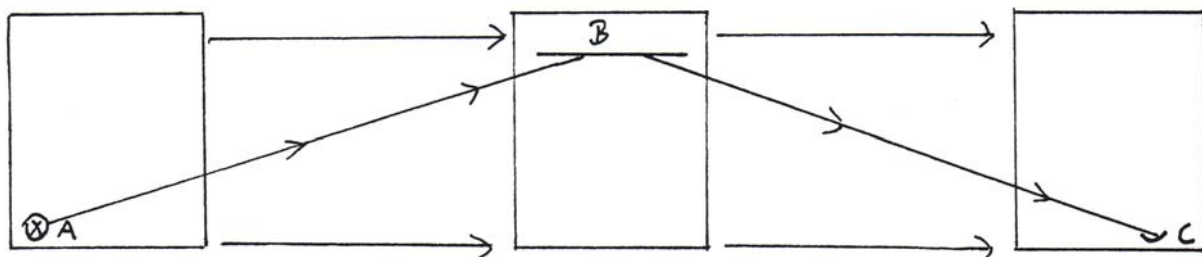
Diese Erscheinung läßt sich wiederum anhand des ICE-Beispiels veranschaulichen: im Inneren des sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegenden Zuges befindet sich eine sogenannte Lichtuhr, die nach folgendem einfachen Prinzip funktioniert:



Eine Lampe im Punkt A sendet einen kurzen Lichtimpuls aus. Dieser bewegt sich durch das Gehäuseinnere und wird im Punkt B an einem Spiegel reflektiert. Der zurücklaufende Lichtstrahl wird im Punkt C durch einen Detektor registriert.

Der Lichtimpuls durchläuft also zweimal das Gehäuseinnere und benötigt hierfür eine gewisse Zeitspanne. Diese ist beendet, wenn der Lichtstrahl im Detektor festgestellt wird. Dann wird wieder die Lampe im Punkt A aktiv, und der Vorgang wiederholt sich. Diese Methode eignet sich somit hervorragend für eine exakte Zeitmessung.

Die obige Situationsbeschreibung gilt allerdings nur innerhalb des Zuges. Für den Beobachter am Bahndamm stellt sich das Ereignis anders dar: die Uhr bewegt sich zusammen mit dem Zug in horizontaler Richtung, weswegen der Lichtimpuls einen viel längeren Weg zurücklegt.



Angesichts der Tatsache, daß sich die Gesamtgeschwindigkeit einer physikalischen Erscheinung aus ihren Einzelgeschwindigkeiten (den sogenannten Komponenten) zusammensetzt, würde man nun folgendes erwarten:

Die durch die Bewegung des Zuges entstehende horizontale Geschwindigkeitskomponente addiert sich so zur vertikalen Geschwindigkeitskomponente des Lichtimpulses, daß dieser für die Zurücklegung seines jetzt längeren Weges dieselbe Zeitspanne braucht wie innerhalb des Zuges, wo nur die vertikale Geschwindigkeitskomponente des Lichtstrahls registriert wird.

Aber die Lichtgeschwindigkeit ist absolut konstant. Sie besitzt innerhalb und außerhalb des Zuges immer den endlichen Wert $c = 299.792,15 \text{ km/sec}$.

Also legt der Lichtimpuls für den ruhenden Betrachter den längeren Weg in entsprechend längerer Zeit zurück. Hieraus folgt sofort, daß die Uhr dem Beobachter am Bahndamm langsamer erscheint als seinem Kollegen im Zug.

Was passiert, wenn sich die Uhr mit Lichtgeschwindigkeit bewegt?

Man nehme einmal an, daß sich der ICE mit der Geschwindigkeit c bewegen würde. Aus der Sicht des am Bahndamm ruhenden Beobachters hätte dieser Umstand für den Lichtstrahl in der Uhr die Unmöglichkeit zur Folge, sich anders als parallel zur Fahrtrichtung des Zuges zu bewegen.

Da die horizontale Geschwindigkeitskomponente des Lichtstrahles relativ zum Bahndamm bereits den Wert c erreicht hätte, bliebe der vertikalen Geschwindigkeitskomponente unter der Voraussetzung der absoluten Konstanz von c nämlich gar nichts anderes mehr übrig, als den Wert Null anzunehmen.

Anders ausgedrückt: für den Beobachter außerhalb des Zuges würde der Lichtimpuls niemals den für die Weiterschaltung der Zeitmessung notwendigen Detektor erreichen - **die Uhr würde stehenbleiben!**

Die Zeit einmal unmystisch betrachtet

Was hat nun dieses an den Haaren herbeigezogene Beispiel mit dem Zeitablauf an sich zu tun? Dies ist eine recht schwierige, aber beantwortbare Frage.

Zur Lösung dieses Problems muß man sich auf die bereits erwähnte Tatsache zurückbesinnen, daß die Konstante c mehr ist als die Geschwindigkeit einer physikalischen Randerscheinung namens Licht: sie reguliert das Kausalprinzip und besitzt somit eine viel fundamentalere Bedeutung.

Als nächstes muß man zu einer längst überfälligen Entmystifizierung eines der wesentlichsten Begriffe gelangen, indem man die Zeit endlich als das auffaßt, was sie ist: ein quantitatives Maß für den Fortgang des Geschehens. Und dieses ist wiederum identisch mit der Aneinanderreihung diversester Ursachen und Wirkungen, also dem sich betätigenden Kausalprinzip.

Der Zeitablauf als relative Größe

Aufgrund hieb- und stichfester Meßdaten muß man nun zur Kenntnis nehmen, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieses Prinzips eine endliche und vom Bewegungszustand des jeweiligen Beobachters unabhängige Größe ist.

Auf dieser Grundlage können die Überlegungen, die bisher nur für einen simplen Lichtstrahl zulässig und einleuchtend waren, beliebig verallgemeinert werden: die zwischen irgendeiner Ursache und der aus ihr resultierenden Wirkung gemessene quantitative Größe namens **Zeitspanne** ist keine absolute, sondern eine vom Bewegungszustand abhängige Größe.

Fazit: **Die Zeit ist relativ!**

Für relativistische Effekte sind auch moderne Züge zu langsam

Dies hört sich alles recht abenteuerlich und unglaubwürdig an, was durch das Fehlen derartiger Phänomene diesseits des Erfahrungshorizontes unterstrichen wird: die Uhr eines Reisenden, der die Strecke zwischen München und Hamburg mit dem ICE zurücklegt, geht nicht spürbar gegenüber einem in Hamburg ruhenden Chronometer nach, sofern die beiden Zeitmeßgeräte zu Beginn der Reise synchronisiert worden sind.

Aber würde sich der Zug sehr viel schneller bewegen, z.B. mit 80 % der Lichtgeschwindigkeit, wäre der Zeitdehnungseffekt ohne weiteres nachzuweisen. Sogenannte relativistische Effekte werden nämlich immer erst in der Nähe der extrem hohen Lichtgeschwindigkeit meßbar - deswegen sind sie den Physikern auch so lange verborgen geblieben.

Kernphysiker beweisen die Richtigkeit der Relativitätstheorie

Der Nachweis von Einsteins Theorie wird von einer Personengruppe geführt, die sich von Berufs wegen mit einer ganz anderen Welt als der alltäglichen befaßt: den Kernphysikern.

Sie haben es sich zur Aufgabe gemacht, die fundamentalsten Bausteine des Universums zu finden: die **Elementarteilchen**.

Hierbei handelt es sich um Objekte von so winzigem Ausmaß, daß sie selbst von modernsten Rasterelektronenmikroskopen nicht registriert werden können. Die Kernphysiker sind daher gezwungen, sich indirekter Nachweismethoden zu bedienen, die auf der Wechselwirkung der gesuchten Teilchen mit ihrer Umwelt beruhen.

Ein wesentliches Merkmal vieler Elementarteilchen ist ihre hochgradige Instabilität, die sich in einer minimalen Lebensdauer von nur wenigen Millionstel Sekunden äußert.

Beschleunigt man diese Teilchen allerdings auf eine unvorstellbare Geschwindigkeit knapp unterhalb der des Lichtes, existieren sie plötzlich mehrere Sekunden.

Die Kernphysiker liefern durch ihre Arbeit somit hieb- und stichfeste Beweise für die Richtigkeit von Einsteins Relativitätstheorie.

Ihre extrem aufwendigen Experimente sind allerdings nur in astronomisch teuren Kernforschungsinstituten möglich. Die Kosten für solche Einrichtungen sind derart hoch, daß man sich in Deutschland nur eine leisten kann: das **Deutsche Elektronen-Synchrotron** (DESY) in Hamburg.

Aus der Relativitätstheorie ergeben sich noch andere der Erfahrung widersprechende Konsequenzen, die wiederum erst in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit relevant werden.

Die Relativität der Gleichzeitigkeit

Das ICE-Beispiel kann auch zur Veranschaulichung einer weiteren Schlußfolgerung Einsteins dienen:

Man stelle sich den Fahrgast im Zug exakt in der Mitte zwischen zwei Lampen vor, die ebenfalls im ICE angebracht sind. Zu einem gegebenen Zeitpunkt mögen die beiden Lampen jeweils einen Lichtimpuls in Richtung des Fahrgastes abgeben.

Es liegt vollkommen klar auf der Hand, daß der Fahrgast im Zug das gleichzeitige Eintreffen der beiden Signale registrieren würde.

Aber am Bahndamm sieht die Situation wieder einmal anders aus. Aufgrund der absoluten Konstanz und der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit sieht der ruhende Beobachter zuerst das Lichtsignal seinen Kollegen im Zug erreichen, welches die Lampe in Fahrtrichtung verlassen hat, während der zweite Impuls noch aussteht.

Fazit: zwei oder mehrere Vorgänge, die in einem Bezugssystem als zeitlich synchron aufgefaßt werden, sind es nicht zwingend in einem zweiten, gleichförmig zum ersten bewegten System.

Die Längenkontraktion

Einstein räumt nicht nur mit scheinbar selbstverständlichen zeitlichen Begriffen gründlich auf, sondern auch mit ebensolchen räumlichen.

Es zeigt sich nämlich, daß der Begriff der **Länge** ebenfalls vom Bewegungszustand des Beobachters abhängt. Dies resultiert aus der zuvor beschriebenen Relativität der Gleichzeitigkeit.

Der Fahrgast im Zug wird die Länge eines Gegenstandes im ICE dadurch messen, daß er den Anfangs- und den Endpunkt des Objektes auf einem Zollstock gleichzeitig abliest.

Leider bestehen zwischen ihm und seinem Kollegen am Bahndamm Meinungsverschiedenheiten hinsichtlich der Gleichzeitigkeit von Ereignissen. Da der ruhende Beobachter im Gegensatz zum Zuginsassen nicht der Ansicht ist, daß jener den Anfangs- und den Endpunkt des Gegenstandes gleichzeitig abgelesen hat, ergeben sich verschiedene Standpunkte über die räumliche Ausdehnung des im Zug mitbewegten Meßobjektes.

Auf der Grundlage dieser Überlegungen kann Einstein den Nachweis führen, daß ein sich bewegendes Objekt für einen ruhenden Beobachter **verkürzt** erscheint. Diese relativistische Längenkontraktion wird von ihm anhand sogenannter Lorentz-Transformationen hergeleitet, auf deren mathematischen Formalismus hier nicht eingegangen werden kann.

Es sei nur erwähnt, daß die Längenkontraktion ebenfalls durch aufwendige kernphysikalische Experimente nachgewiesen werden konnte.

Das Zwillingsparadoxon

Einstein hatte zu Lebzeiten viele Gegner. Neben solchen, die ihm seine humanistische Gesinnung bzw. seine jüdische Abstammung übelnahmen und sogar vor Morddrohungen nicht zurückschreckten (so geschehen in den 20er Jahren), gab es auch viele Personen, die als Physiker oder andersartig Qualifizierte durchaus ernstzunehmende sachliche Bedenken gegen Einsteins Theorie vorzubringen hatten, die vor keiner noch so heiligen Kuh der Naturwissenschaft halt machte.

Eines ihrer Hauptargumente gegen die Relativitätstheorie war das sogenannte **Zwillingsparadoxon**, das in den Augen fast aller Einstein-Gegner unüberwindlich zu sein schien.

Zur Illustration: in dem mittlerweile schon bewährten ICE-Beispiel wurde bisher immer der am Bahndamm fixierte Beobachter als ruhend geschildert.

Aber was geschieht, wenn man den Spieß umkehrt, sich in den Zug begibt und diesen als ruhend, seine Außenwelt hingegen als bewegt auffaßt (aus relativistischer Perspektive sind nämlich beide Standpunkte vollkommen gleichberechtigt)?

Dann stößt man auf folgenden schwerwiegenden Widerspruch: alle Aussagen, die bisher der Beobachter am Bahndamm über seinen Kollegen im Zug gemacht hatte, macht umgekehrt nun jener über diesen.

Plötzlich erscheint die Uhr außerhalb des Zuges langsamer, und die dortigen räumlichen Dimensionen wirken verkürzt. Anders ausgedrückt:

Die relativistischen Auswirkungen werden in beiden Bezugssystemen immer für das jeweils andere festgestellt, niemals für das eigene!

Angesichts der hieraus resultierenden Paradoxie, so argumentierten Einsteins Gegner, sei der ganze Spuk der Relativitätstheorie bereits widerlegt.

Die Koexistenz von Widersprüchen

Einen Materialisten kann dies nicht aus der Ruhe bringen. Er weiß, daß die Welt eine Ansammlung von Widersprüchen ist und daß es in ihr keine absoluten Wahrheiten gibt.

Bekanntlich gibt es eine Unzahl von Situationen, wo vollkommen widersprüchliche Aussagen gemacht werden. Hier seien zwei Beispiele genannt:

1. Wenn sich zwei Personen voneinander wegbewegen, sagt jeder der beiden über den jeweils anderen, daß dieser immer kleiner wird. Hierbei handelt es sich um ein perspektivisches Phänomen, denn die Veränderung an der sich wegbewegenden Person vollzieht sich lediglich aus dem Blickwinkel des anderen.
2. Das gegenwärtige Gesellschaftssystem wird abhängig vom sozialen Status des Betrachters entweder als sehr gut und gottgewollt oder als unbefriedigend und veränderungsbedürftig aufgefaßt.

Die Ursache für das Nebeneinander widersprüchlicher Aussagen ist in der jeweiligen Ausgangssituation der Beobachter zu finden, so daß die von ihnen getroffenen Feststellungen lediglich relative Wahrheiten sind.

Einstein hat gezeigt, daß die Koexistenz von Widersprüchen auch in seiner Relativitätstheorie gilt, indem sie sich aus dem Bewegungszustand des jeweiligen Beobachters ergibt und somit dem perspektivischen Phänomen der sich voneinander wegbewegenden Personen sehr ähnlich ist.

Widersprüchliche relativistische Erscheinungen werden also nur solange festgestellt, wie die unterschiedlichen Bewegungssituationen andauern!

Sollten sich die beiden Kontrahenten aus dem ICE-Beispiel später in einem Bezugssystem wiedertreffen (z.B. am Bahndamm), so stellt jeder von ihnen verwundert fest, daß der jeweils andere doch nicht langsamer gealtert ist.

Hierin zeigt sich wiederum die Parallele zum erwähnten perspektivischen Phänomen: bei einem späteren Wiedersehen müssen die sich voneinander wegbewegenden Personen gegenseitig zur Kenntnis nehmen, daß keiner von ihnen geschrumpft ist.

Die relativistische Mechanik

Die bisher geschilderten Konsequenzen aus der speziellen Relativitätstheorie beziehen sich allesamt auf die Kinematik, d.h. die reine Beschreibung von Bewegungsvorgängen, wobei die Einflüsse von Masse, Kraft und Energie noch völlig außer acht gelassen werden.

Einige Monate nach seinen ersten Veröffentlichungen in den *Annalen der Physik* berücksichtigt Einstein im Jahre 1905 auch diese Begriffe, um eine relativistische Mechanik begründen zu können. Ohne auf die mathematischen Details einzugehen, lassen sich deren Grundideen in einigen wenigen Sätzen wiedergeben.

Die Masse eines Körpers hängt von seiner Geschwindigkeit ab

Es dürfte eigentlich nicht mehr überraschend sein, daß sich auch die Masse eines Körpers als relativ, d.h. vom Bewegungszustand abhängig erweist, wobei sie sich in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit einem unendlichen Wert "annähert".

Auf dieser Grundlage kann ohne weiteres die physikalische Begründung gefunden werden, weshalb die Lichtgeschwindigkeit eine nicht erreichbare Obergrenze darstellt.

Die Lichtgeschwindigkeit als physikalische Obergrenze

Bekanntlich benötigt jeder Beschleunigungsvorgang Kraft, welche zur Überwindung der Trägheit des zu bewegenden Objektes notwendig ist. Diese hängt ihrerseits von der Masse des Körpers ab ($\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$). Da man in der klassischen Mechanik von einer konstanten Masse ausgegangen war, war es laut dieser Theorie möglich, einen Körper auf jede beliebige große Geschwindigkeit zu beschleunigen.

In der Relativitätstheorie wächst die Masse eines Objektes mit steigender Geschwindigkeit. In der Nähe der Lichtgeschwindigkeit eskaliert dieser Vorgang: die Masse vergrößert sich nämlich über jedes bekannte Maß hinaus (die von Einstein gefundene Funktion, die die Masse in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit beschreibt, läuft beim Einsetzen von c auf eine Division durch Null hinaus).

Somit wird auch die Trägheitskraft, die der Körper jeder weiteren Beschleunigung entgegengesetzt, grenzenlos groß. Hat man sich auch bereits der Lichtgeschwindigkeit beliebig angenähert, so würde doch jeder weitere Beschleunigungsvorgang über den erreichten Wert hinaus immer mehr Kraft erfordern, d.h. auch sie "nähert" sich einem unendlichen Wert an. **Deswegen kann die Lichtgeschwindigkeit niemals erreicht werden.**

Auch Nahwirkungen unterliegen einer zeitlichen Verzögerung

Hieraus ergeben sich schwerwiegende Konsequenzen für alle Nahwirkungsprozesse: die Realisierung von Reibungs- und Stoßphänomenen macht konkrete, mit Masse versehene Objekte unumgänglich.

Leider existiert für deren Fortbewegungsmöglichkeit eine unüberwindliche Obergrenze: die Lichtgeschwindigkeit. **Eine unendlich schnelle Aneinanderreihung von Nahwirkungsvorgängen ist also genauso unmöglich wie eine sofortige Feldausbreitung.**

Im Atomkern muß man sich von Maxwell verabschieden

Die Erwähnung der scheinbar unwichtigen Nahwirkungen ist deswegen wichtig, weil sich die Physik des 20. Jahrhunderts bei ihrer Erklärung inneratomarer Fernwirkungsvorgänge gezwungen sah, vom klassischen Maxwellschen Feldbegriff Abschied zu nehmen.

Zur Erläuterung kann man den experimentell zweifelsfrei bewiesenen Zusammenhalt von **Protonen** im Atomkern anführen. Diese Erscheinung ist in der klassischen Elektrodynamik gar nicht vorgesehen. Im Gegenteil: als gleichnamige Ladungen müßten sich diese Elementarteilchen eigentlich abstoßen.

Die Atomphysiker setzen zur Erläuterung dieses Phänomens eine die elektromagnetische Abneigung überwindende Kraft mit extrem geringer Reichweite voraus, die sie **starke Wechselwirkung** nennen und die in den Atomkernen die Funktion des "**Kitts**" übernimmt.

Um Maxwell gerecht zu werden: für die Erklärung klassischer elektrodynamischer Phänomene, die viel größere Distanzen als inneratomare voraussetzen, erweist sich seine Theorie immer noch als zutreffend. Innerhalb des Atomkerns muß man aber von einer viel stärkeren Kraft ausgehen.

Die Grundlage dieser neuen Wechselwirkung ist allerdings nicht mehr die Existenz eines sich kontinuierlich ausbreitenden Feldes im Sinne der Elektrodynamik, sondern der sich zwischen den Protonen vollziehende Austausch diskreter Teilchen, die man als **Pi-Mesonen** bezeichnet.

In der Atomphysik stellt man sich die Fernwirkung somit als Vollzug einer oder mehrerer Nahwirkungsvorgänge vor -realisiert von Partikeln minimalsten Ausmaßes, die zwischen den betrachteten Objekten agieren und die wegen ihrer immensen Bedeutung für die Erklärbarkeit der Materie ebenfalls der Kategorie der **Elementarteilchen** angehören.

Der Teilchenzoo kommt an Einstein nicht vorbei

Aber auch sie können aufgrund der relativistischen Massenzunahme niemals die Lichtgeschwindigkeit erreichen, die somit für atomare und subatomare Vorgänge wiederum als Obergrenze angesehen werden muß.

Die moderne Physik geht übrigens noch einen Schritt weiter und erklärt die klassische Maxwellsche Wechselwirkung ebenfalls mit Hilfe von Partikeln, die man als **Photonen** bezeichnet und deren Wirkung dem elektromagnetischen Feld gleichkommt.

Da sich dieser merkwürdige Teilchentyp aber mit Lichtgeschwindigkeit bewegen können muß und dies für mit Masse versehene Objekte unmöglich ist, greift man zu einem kühnen Kunstgriff, indem man für die Photonen einen **masselosen Zustand** annimmt.

Ein weiterer abenteuerlicher Vertreter im modernen Teilchenzoo ist das **Graviton**: ein ebenfalls mit Lichtgeschwindigkeit agierendes, masseloses Objekt. Es wird für die bereits in der klassischen Mechanik beschriebene Schwerkraft verantwortlich gemacht.

Elementarteilchen im Geschwindigkeitsrausch

Zur experimentellen Bestätigung der Einsteinschen Prophezeiungen muß man sich wiederum in das Teilchenlabor begeben. Dort ist es bis heute unmöglich geblieben, Objekte mit einer Ruhemasse von ca. 0,000000000000000000000001 g auf Geschwindigkeiten oberhalb von c zu beschleunigen, selbst wenn man ihnen die Energie einer Autobatterie verleiht. Ihre Geschwindigkeiten bleiben immer knapp unterhalb der des Lichtes, während laut klassischer Methode zigmillionenfache Überlichtgeschwindigkeit zu erwarten gewesen wäre.

Die relativistische Massenzunahme konnte durch diese äußerst aufwendigen Experimente ebenfalls bewiesen werden.

Die Relativitätstheorie erklimmt den Gipfel der Physik

Nachdem Einstein sich des Energiebegriffes angenommen hat, findet er nichts Geringeres als die fundamentalste Gesetzmäßigkeit der gesamten Physik, den Schlüssel zum Verständnis aller Vorgänge im Universum.

Zunächst einmal weist die von ihm gefundene Funktion zur Beschreibung der Energie eines bewegten Objektes wiederum eine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit auf, d.h. auch die Energie ist ein relativer Begriff.

Aber: diese Funktion besitzt einen Summanden, der von der Geschwindigkeit des bewegten Objektes unabhängig ist und somit seine Ruheenergie darstellt. Einstein erkennt sofort die Bedeutung dieses Terms und definiert ihn in folgender Gleichung, die zur berühmtesten Aussage des 20. Jahrhunderts geworden ist:

$$E = mc^2$$

(E = Ruheenergie, m = Ruhemasse, c = Lichtgeschwindigkeit)

Diese Formel ist von so enormer philosophischer Bedeutung, daß man bei ihr noch etwas verweilen sollte.

Die Äquivalenz von Masse und Energie

Einsteins Aussage über die Ruheenergie eines Objektes besagt, daß Masse und Energie äquivalent, d.h. nur verschiedene Varianten eines übergeordneten Ganzen sind. Dies erlaubt eine neue Deutung des fundamentalsten Begriffes der materialistischen Philosophie:

Masse und Energie sind verschiedene Daseinsformen der Materie.

Auf dieser Grundlage hat man den Zugang zum Verständnis der Dynamik aller naturwissenschaftlichen Vorgänge gefunden: das gesamte physikalische Geschehen ist eine ständige Umwandlung von Masse in Energie und umgekehrt, quasi ein ständiges Auf und Ab verschiedener materieller Zustände. Mathematisch ausgedrückt: die jeweiligen Einzelsummen von Masse und Energie unterliegen im Universum einem stetigen Wandel.

Aber: die Gesamtsumme von Masse und Energie im Universum ist konstant! (Erhaltungssatz der Materie)

Somit ist die gesamte Materie im Universum eine unveränderliche Größe, was die Grundforderung jeder materialistischen Weltauffassung ist.

Diese Konstanz verbirgt sich allerdings hinter einem höchst dynamischen Zustand des Kommens und Gehens verschiedener materieller Zustände.

So hochtrabend es auch klingen mag: Albert Einstein hat mit seiner höchst einfachen Formel das Bewegungsgesetz des Universums gefunden.

Er selbst ordnete seiner Entdeckung in seiner sprichwörtlichen Bescheidenheit eine ästhetische, aber keine praktische Bedeutung zu.

Wie tragisch dieser Irrtum gewesen ist, zeigte sich im August 1945 nach der Zerstörung von Hiroshima und Nagasaki durch US-amerikanische Atombomben, die kein Physiker der Welt ohne Einsteins Formel jemals hätte entwickeln können. Sie beruhen nämlich auf der direkten Masse-Energie-Umwandlung in den Atomkernen.

Astronomische Konsequenzen aus der speziellen Relativitätstheorie

Die folgenden Ausführungen führen von den kleinsten bekannten Objekten abrupt zu den allergrößten. Die bereits dargestellten Aspekte von Einsteins Theorie ziehen nämlich auch schwerwiegende astronomische Konsequenzen nach sich: der Charakter der Lichtgeschwindigkeit als Obergrenze aller realen Vorgänge macht es für normale Sterbliche unmöglich, Weltraumreisen über größere Distanzen anzutreten.

Ein Beispiel: *Alpha Centauri*, das nächste Sonnensystem, ist etwas mehr als vier Lichtjahre entfernt (ein Lichtjahr sind ungefähr 10.000.000.000.000 km). Selbst wenn man ein Raumschiff mit einer Flugleistung von 99 % der Lichtgeschwindigkeit konstruieren könnte, würden Hin- und Rückreise aus der Perspektive eines auf der Erde Zurückgebliebenen ca. 9 Jahre in Anspruch nehmen, wobei dieser dem Astronauten unterstellen würde, daß eine am Raumschiff angebrachte Uhr eine viel kürzere Zeitspanne angezeigt hätte.

Der Reisende würde die 9jährige Reisezeit wiederum für sich in Anspruch nehmen und für die auf der Erde stationierten Uhren einen verlangsamten Verlauf feststellen.

Doch auf das Zwillingsparadoxon ist schon eingegangen worden. Das Beispiel soll einen anderen Sachverhalt schildern: jeder der Mitwirkenden mißt in seinem Bezugssystem eine Reisedauer von ca. 9 Jahren. Was für den Zeitablauf in dem jeweiligen Fremdsystem festgestellt wird, ist in diesem Zusammenhang vollkommen unerheblich,

Fazit: die Überwindung einer astronomisch lächerlich geringen Distanz von 9 Lichtjahren in weniger als 9 Jahren ist aus fundamentalen physikalischen Gründen unmöglich - und zwar unabhängig vom Bezugssystem!

Einstein macht intergalaktische Reisen unmöglich

Das heimatliche Sonnensystem befindet sich am Rand der Milchstraße (eine mittelgroße Galaxis mit mindestens 100.000.000.000 Sternen). Um zum anderen Ende gelangen zu können, müßte man eine Distanz von ca. 100.000 Lichtjahren überwinden.

Ein irdisches Raumschiff, das derzeit auf der anderen Seite der Galaxis ankommen würde, hätte die Erde somit zu einem Zeitpunkt verlassen müssen, als die Vorgänger des heutigen Homo sapiens gerade mühsam den aufrechten Gang erlernten.

Ein Ausflug zum Andromeda-Nebel, der Nachbar-Galaxis, scheidet mit der hierfür notwendigen Reisezeit von mehr als zwei Millionen Jahren für die einfache Strecke erst recht aus.

Fazit: Einsteins spezielle Relativitätstheorie als richtig vorausgesetzt, wird es der menschlichen Rasse niemals möglich sein, die nähere Umgebung des von ihr bewohnten Sonnensystems verlassen zu können.

Die Grenzen der speziellen Relativitätstheorie

Ein letztes Mal sei der ICE erwähnt. Wollte man die Uhren des Beobachters am Bahndamm und seines Kollegen im Zug zum Zeitvergleich in ein Bezugssystem überführen, würde man sich einem Problem gegenübersehen: im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie ist diese Aufgabenstellung nicht mehr lösbar.

Einsteins Arbeit von 1905 ist nicht ohne Grund mit dem einschränkenden Adjektiv versehen worden. Sie gilt nämlich nur für gleichförmig bewegte Bezugssysteme, die mit konstanter Geschwindigkeit versehen und abgeschlossen, d.h. keiner äußeren Beeinflussung ausgesetzt sind: sogenannte Inertialsysteme.

Hierbei handelt es sich um Bezugssysteme, in denen keine Trägheitskräfte wirken (inert = träge). Voraussetzung für diese Nichtexistenz externer Einflüsse ist eine vollkommen konstante Geschwindigkeit des Systems.

Wollte man die beiden Uhren zwecks Vergleiches in ein Bezugssystem überführen, müßte man entweder den Zug abbremsen oder den Beobachter am Bahndamm beschleunigen bzw. eine Mischform aus beiden Möglichkeiten finden.

Dann wäre aber mindestens eines der beiden Bezugssysteme kein Inertialsystem mehr, denn bei einer Beschleunigung bzw. Abbremsung würde durch die dann auftretende Trägheitskraft ein Einfluß von außen wirksam werden.

Aus der Trägheits- und der Schwerkraft resultieren noch weitere, über Einsteins Erkenntnisse von 1905 hinausgehende Konsequenzen für Raum und Zeit. Diese Erscheinungen werden in der **Allgemeinen Relativitätstheorie** untersucht, die in den Jahren 1915 und 1916 entwickelt wurde und deren Grundidee anhand der folgenden Ausführungen kurz vorgestellt werden soll.

Kosmologische Bedeutung der allgemeinen Relativitätstheorie

Auf die astronomischen Konsequenzen der speziellen Relativitätstheorie ist bereits eingegangen worden. Einsteins Überlegungen von 1915/1916 sind noch viel schwerwiegender, da sie den **Aufbau des Universums als Ganzes** betreffen. Die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dieser schwerwiegendsten aller Fragestellungen befaßt, wird als **Kosmologie** bezeichnet.

Leider hat man mit Einsteins Beitrag zu dieser Thematik eine extrem harte Nuß zu knacken: der Schwierigkeitsgrad seiner allgemeinen Relativitätstheorie übertrifft nämlich alles vor ihr Bekannte. Dies hängt nur vordergründig mit dem opulenten mathematischen Apparat (Stichwort: Tensoralgebra und nichteuklidische Geometrie) zusammen.

Die eigentliche Ursache für die Unverdaulichkeit der allgemeinen Relativitätstheorie ist ihr Abschied vom menschlichen Vorstellungsvermögen, weswegen sie einen vollkommen abstrakten Charakter annimmt.

Da die auf dieser Basis gefundenen Vorhersagen Einsteins aber experimentell bestätigt werden, ist es zumindest in kosmologischen Zusammenhängen angebracht, von einer nicht vorstellbaren Realität auszugehen.

Ein scheinbar banales Problem führt zur schwersten physikalischen Theorie

Im einer sternklaren Nacht des 19. Jahrhunderts stellt sich der Bremer Arzt Wilhelm Olbers die folgende Frage:

Warum ist der Nachthimmel eigentlich dunkel?

In einem als unendlich groß angenommenen homogenen Weltall müßte von der Erde oder sonstwo aus betrachtet nämlich an jedem Punkt des Himmels ein Stern stehen: das nächtliche Firmament wäre vom Taghimmel nicht zu unterscheiden!

Dies stimmt nun ganz und gar nicht mit den Tatsachen überein. Olbers ging dennoch von unendlich vielen Himmelskörpern aus und versuchte deren Unbeobachtbarkeit am Nachthimmel durch gigantische Nebelwolken zu erklären, die den interstellaren Raum abdunkeln.

Diese Vermutung konnte von der Astronomie nicht bestätigt werden. Und so bekommt Olbers' scheinbar banales Problem im Handumdrehen eine schwerwiegende kosmologische Dimension:

Die immer wieder nachprüfbare Tatsache eines dunklen Nachthimmels steht im Widerspruch zur Annahme eines räumlich unendlichen Universums!'

Dies veranlaßt Einstein zu seiner allerкühnsten Hypothese:

Man fügt einfach zu den wohlvertrauten drei räumlichen Dimensionen (vorne-hinten, links-rechts, oben-unten) eine abstrakte vierte hinzu, um auf dieser Grundlage zu der mathematisch beschreibbaren, aber nicht mehr vorstellbaren Möglichkeit einer unbegrenzten und doch endlichen Welt zu gelangen.

Wie man Strichmännchen zum Staunen bringt

Zur Erläuterung stelle man sich eine ganz normale Ebene vor, die von sogenannten **Flächenwesen** bewohnt wird, denen nur zwei Dimensionen zur Beschreibung der Welt zur Verfügung stehen. Irgendwann würden sie feststellen, daß die von ihnen bewohnte Umgebung begrenzt ist. Alles Dahinterliegende wäre ihnen jedoch nicht vorstellbar, da es sich nur noch räumlich, das heißt auf der Grundlage von drei Dimensionen erschließen ließe.

Nun verlege man das Geschehen auf eine Kugeloberfläche. Die Flächenbewohner würden bei der Erkundung ihrer neuen Welt erfreut feststellen, daß sie unbegrenzt ist. Allerdings würden sie irgendwann zu ihrem Ausgangspunkt zurückkehren und an ihrem Verstand zweifeln.

Sie würden noch andere seltsame Erfahrungen machen: ein auf der Oberfläche ihrer Welt konstruiertes Dreieck größeren Ausmaßes hätte eine Winkelsumme von mehr als 180 Grad! Dies steht in krassestem Widerspruch zur euklidischen Geometrie, die auch den Flächenwesen zugänglich ist.

All dies läßt sich durch einen höchst realen Zustand erklären, der das zweidimensionale Vorstellungsvermögen der Flächenbewohner allerdings übersteigt: **die Unbegrenztheit ihrer als endlich erkannten Welt und die dort festgestellten geometrischen Überraschungen sind durch eine höhere Dimension zu erklären, die die betrachtete Fläche krümmt und schließlich in sich zurücklaufen läßt!**

Die Raumkrümmung ist zunächst nur höhere Mathematik

Einstein verallgemeinert nun diese Überlegungen für das dreidimensionale räumliche Geschehen und setzt eine absolut unvorstellbare **Raumkrümmung** voraus, die sich nur noch auf der Grundlage einer höheren **vierten Dimension** erklären läßt (wie sich auch die Flächenkrümmung nur noch räumlich erschließen läßt).

Er bedient sich zu diesem Zweck einer weiterentwickelten **nichteuklidischen Geometrie**. Hierin besteht eine ungeheure gedankliche Kühnheit: denn selbst Einstein kann sich die vierte Dimension nicht vorstellen. Dies hindert ihn aber nicht daran, respektlos mit ihr herumzurechnen.

So behauptet er vollkommen parallel zur Kugeloberflächen-Situation, daß auch in einer durch die Raumkrümmung abgeschlossenen dreidimensionalen Welt jeder Reisende letzten Endes an seinen Ausgangspunkt zurückkehrt, ohne seine Bewegungsrichtung zu ändern!

Die experimentelle Überprüfung dieser äußerst gewagten Vermutung scheidet natürlich an den im Weltraum anzutreffenden Größenordnungen.

Was hat Einsteins abenteuerliche mathematische Experimentierfreude denn nun eigentlich mit Physik zu tun? Um diese sehr berechnete Frage beantworten zu können, muß man sich mit dem von seiner allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagten Phänomen der Lichtkrümmung befassen.

Der Zusammenhang zwischen Gravitation und Lichtablenkung

Die abstrakten Forderungen der allgemeinen Relativitätstheorie mit ihren zutiefst einschneidenden Auswirkungen für das gesamte Weltbild sind Einstein nicht in den Schoß gefallen. Sie stehen vielmehr erst am Ende seiner Arbeit von 1915/1916.

Sein Ausgangspunkt ist zunächst einmal die Frage nach den Einflüssen der Gravitation auf die Ausbreitung des Lichtes.

Einstein kann durch theoretische physikalische Überlegungen und anspruchsvollste mathematische Hilfsmittel (Tensoralgebra) den Nachweis führen, daß die Gravitation folgende Auswirkung auf das Licht hat:

Je stärker das Gravitationsfeld, desto stärker die von ihm bewirkte Ablenkung eines sich in ihm fortbewegenden Lichtimpulses!

Ganz nebenbei führt er noch den Nachweis, daß der Zeitablauf ebenfalls vom Gravitationsfeld abhängig ist und daß Gravitation und Trägheitskraft identisch sind

Physikalische Vorgänge machen keine Umwege

In der theoretischen Physik gibt es neben dem Symmetriebegriff und den Erhaltungssätzen ein weiteres schwerwiegendes Grundgesetz: das **Prinzip der kleinsten Wirkung**. Es besagt, daß sich jede physikalische Fern- oder Nahwirkung immer so "sparsam" wie möglich, das heißt auf dem kürzesten Weg vollziehen muß. Umwege sind nicht vorgesehen.

Laut euklidischer Geometrie ist der kürzeste Weg zwischen zwei Punkten eine Gerade. Wenn nun ein mit Masse versehener Körper (z.B. ein Planet) die Krümmung eines seine Umgebung passierenden Lichtstrahles bewirkt, so ist unter der Zugrundelegung des Prinzips der kleinsten Wirkung nur folgender Schluß möglich:

Die Gravitation bewirkt, daß der kürzeste Weg zwischen zwei Punkten keine Gerade mehr ist. Das heißt: sie setzt herkömmliche räumliche Vorstellungen außer Kraft.

Man muß sich zur Beschreibung dieses Phänomens der weiterentwickelten nichteuklidischen Geometrie bedienen, die es mit der bereits erwähnten **Krümmung des Raumes in der vierten Dimension** gleichsetzt.

Albert Einstein hat mit der Gravitation eine handfeste physikalische Ursache für die Raumkrümmung gefunden!

Die Bedeutung dieser Erkenntnisse für den Materialismus liegt auf der Hand: **Raum und Zeit existieren nicht unabhängig von der Materie. Von ihr losgelöst werden sie zu leeren Begriffen!**

Die ursprünglich rein mathematischen Phänomene werden somit naturwissenschaftlich relevant: die allgemeine Relativitätstheorie liefert für die Raumkrümmung und der ihr innewohnenden Möglichkeit einer unbegrenzten und doch endlichen Welt eine physikalische Erklärung!

Ausgehend von dieser Erkenntnis war es zu den bereits geschilderten Folgerungen für den Aufbau des Universums als Ganzes nur noch ein kleiner Schritt.

Astronomische Beobachtungen beweisen die Lichtkrümmung

Als Einstein seine kosmologischen Konsequenzen 1917 zum ersten Mal einer ungläubigen Öffentlichkeit vorstellt, wird ihm von nicht wenigen Skeptikern der Besuch des Psychiaters nahegelegt.

Daß es sich bei seiner Theorie allerdings um kein Hirngespinnst handelt, zeigt sich am 29. Mai 1919: die Vorhersage der Lichtkrümmung im Gravitationsfeld wird bei einer in Brasilien und Westafrika stattfindenden totalen Sonnenfinsternis bestätigt.

Das der Messung zugrundeliegende Prinzip ist sehr einfach: man vergleicht einfach die während der Eklipse aufgenommenen Fotografien des Firmaments mit den wohlvertrauten Aufnahmen des normalen, nicht von der Sonne beeinflussten Nachthimmels.

Insbesondere sollte man sich für die Sterne interessieren, deren Lichtsignale während der Eklipse die Umgebung der Sonne passiert haben. Bei ihnen wird man nämlich eine Abweichung von der normalen nächtlichen Position feststellen!

Genau dies geschieht 1919 zum ersten Mal - dieses Ereignis macht Einstein schlagartig zu einer der berühmtesten Persönlichkeiten des 20. Jahrhunderts.

Fazit: seine höchst abstrakte Theorie beschreibt das naturwissenschaftliche Geschehen zuverlässiger als zugänglichere Erklärungsversuche aus der klassischen Physik. Wie ist dies aber vom materialistischen Standpunkt aus zu bewerten?

Wesen und Erscheinung in der Relativitätstheorie

Einstein führt den Nachweis, daß sich das nicht vorstellbare höherdimensionale Wesen der Welt dem erkennenden Subjekt als räumlich-dreidimensionale und daher vorstellbare Erscheinung präsentiert.

Er geht also von einer objektiven und vom menschlichen Bewußtsein unabhängigen Wirklichkeit aus. Auf dieser Grundlage formuliert er allgemeingültige und überprüfbare Gesetzmäßigkeiten. Die allgemeine Relativitätstheorie ist somit ein hervorragendes Beispiel für die menschliche Erkenntnisfähigkeit. Sie disqualifiziert agnostizistische Weltauffassungen.

Für das Vorstellungsvermögen legt sie jedoch Grenzen fest. Die räumliche Erscheinung der Realität ermöglicht jederzeit ein funktionierendes menschliches Dasein in dem von ihm bewohnten Bereich des Universums.

Der kosmologische Blick über diesen Tellerrand hinaus führt aber dazu, daß sich der Neugierige mit dem höherdimensionalen Wesen der Welt konfrontiert sieht, das über seine Veranschaulichungsmöglichkeiten hinausgeht und ihm somit unbekannt bleiben muß.

So heiß' als einen Fremden es willkommen.
Es gibt mehr Ding' im Himmel und auf Erden
Als Eure Schulweisheit sich träumt!

Hamlet (1. Aufzug, 5. Szene)

Die Unendlichkeit kann nur noch höherdimensional begriffen werden

Wie ist es aber um die Unendlichkeit des Universums bestellt? Sie wird von der materialistischen Philosophie ja nicht ohne Grund gefordert.

Denn alle Erklärungsversuche, die auf eine nur endliche Struktur der Welt hindeuten, führen zwangsläufig zu problematischen Vorstellungen: in ihnen ist das Geschehen hinter den angenommenen Grenzen des Universums nicht vorgesehen, und man öffnet somit idealistischen Vorstellungen eines sich der menschlichen Erkenntnisfähigkeit entziehenden göttlichen Prinzips Tür und Tor.

Aber die allgemeine Relativitätstheorie steht gar nicht im Widerspruch zum Grundsatz der Unendlichkeit. Er muß nur auf einem höheren Niveau als zuvor definiert werden:

Wenn Einstein die vorstellbare räumliche Welt als eine unbegrenzte, aber endliche begreift, so ist dennoch ein "Dahinter" möglich. Dieses kann jedoch nur noch auf einer höherdimensionalen und somit nicht vorstellbaren Grundlage begriffen werden.

Die bekannte Welt ist nichts Endgültiges

Zweierlei geht aus dieser Tatsache hervor:

1. Die Relativitätstheorie steht auch mit ihren kosmologischen Konsequenzen weiterhin auf materialistischer Grundlage.
2. **Die bekannte räumliche Welt ist gar nicht das Universum (gleichbedeutend mit dem Weltall), sondern nur ein Teilbereich desselben!**

So wie man aus räumlicher Sicht die von den Flächenwesen bewohnte Kugel problemlos als begrenzt erkennt, ist ohne weiteres eine höhere "überraumliche" Perspektive möglich (aber nicht vorstellbar), aus der die bekannte dreidimensionale Welt ebenso selbstverständlich als begrenzt erkannt wird. Ob es womöglich höherentwickelte Lebensformen gibt, die sich dies auch veranschaulichen können, ist eine sehr spannende, aber leider derzeit nicht beantwortbare Frage.

Die Begrenztheit des bekannten Teilbereiches der Welt läßt darüber hinaus die Möglichkeit zu, ihn nicht als einen endgültigen Zustand, sondern als veränderungs- und weiterentwicklungsfähig anzusehen. Damit ist Einstein bei der Dialektik angelangt!

Alle modernen astronomischen Theorien bauen alle mehr oder weniger direkt auf seinen kosmologischen Vorhersagen auf. Einstein war an ihrer Entstehung allerdings nicht unmittelbar selbst beteiligt.

Bei der nun anstehenden kurzen Präsentation sollte man aber jederzeit berücksichtigen, daß die moderne Astronomie ohne Einsteins Fundament niemals hätten entstehen können. Und es darf der Hinweis nicht fehlen, daß es sich bei vielen kosmischen Theorien noch um reine Hypothesen handelt.

Das expandierende Universum

Allen folgenden Ausführungen gehört zunächst die äußerst wichtige Bemerkung vorangestellt, daß von nun an der Begriff des Universums bzw. des Weltraums eingeschränkt wird: hierunter ist jetzt nicht mehr die unendliche höherdimensionale Realität zu verstehen, sondern lediglich ihr vorstellbarer räumlicher Teilbereich.

Zur Veranschaulichung der nächsten Ausführungen stelle man sich die Flächenwesen nicht mehr auf einer starren Kugel vor, sondern auf einem sich aufblasenden Luftballon. Sie würden feststellen, daß die Abstände zwischen willkürlich gewählten Bezugspunkten permanent größer würden und von einer Expansion ihrer Welt sprechen.

Genau dies stellt man seit den 20er Jahren als Tatsache für das Universum fest: der Abstand zwischen den Galaxien wird immer größer. Sie bewegen sich allerdings nicht von einem gemeinsamen Anfangspunkt weg: das Universum hat ebenso wie die sich ausweitende Ballonoberfläche kein Zentrum.

Da Raum und Zeit (und damit das Universum) ohne Materie leere Begriffe sind und die Fluchtbewegung für alle Objekte im Weltraum festgestellt wird, läuft sie auf eine sehr schwerwiegende Erkenntnis voraus:

Das Universum expandiert!

Dies steht in wunderbarem Einklang mit der bereits erwähnten dialektischen Bedeutung der Relativitätstheorie.

Die Urknall-Hypothese

Die Expansion des Universums erst einmal als Tatsache festgestellt, ist es nicht mehr weit zu folgender berechtigter Vermutung:

Wenn sich alle Objekte im Weltraum voneinander wegbewegen, müssen sie vor Jahrmilliarden auf viel engerem Raum konzentriert gewesen sein, so daß das Universum einmal deutlich kleiner gewesen ist!

Dieser vernünftige Ansatz deutet im Extremfall auf eine unvorstellbare Massekonzentration in grauester Vorzeit hin. Alle herkömmlichen atomaren Vorstellungen sind mit diesem Zustand außer Kraft gesetzt!

Zur Erläuterung: Atome besitzen bekanntlich eine aus Elektronen gebildete Hülle sowie den aus Protonen und Neutronen aufgebauten Kern, in dem mehr als 99 % der atomaren Gesamtmasse konzentriert ist. Der Kern ist aber 10.000mal kleiner als das Gesamt-Atom, welches somit hinsichtlich der räumlichen Verteilung seiner Komponenten vor allem aus gar nichts besteht.

Veranschaulichung: wäre der Atomkern so groß wie eine Kommode, so wäre die Atomhülle so weit entfernt wie ein in zehn Kilometer Höhe fliegendes Flugzeug. Und dazwischen ist nur Vakuum.

Die Atomphysiker weisen nach, daß eine Massekonzentration, wie sie für das viel kleinere Universum in seinem früheren Stadium vermutet wird, zum **Aufbrechen** der Atomhüllen führen muß, so daß Elektronen, Protonen und Neutronen mit deutlich geringeren Abständen versehen sind und ungeordnet herumschwirren. Ein solcher recht chaotischer Zustand wird als **Plasma** oder auch als **Vierter Aggregatzustand** bezeichnet.

Vor allem vermuten die Theoretiker aber, daß die Verdichtung der Plasmakomponenten irgendwann dazu führen muß, daß diese einen Großteil ihrer Masse direkt in Energie umsetzen (man erinnere sich bitte an Einsteins hierfür gefundene Formel). Dies zieht eine kosmische Explosion gigantischsten Ausmaßes nach sich, die man als **Urknall** bezeichnet und die vor 15-20 Milliarden Jahren wahrscheinlich tatsächlich stattgefunden hat.

Dieses höchst effektvolle Ereignis bedingt ein Auseinanderfliegen der überlebenden Masseteilchen und deren günstigere Verteilung: die herkömmlichen Atome und Moleküle können entstehen und sich zu Gasnebeln formieren, welche sich dann im Laufe von vielen Milliarden Jahren zu Galaxien und Sternen in ihrer heutigen Gestalt entwickeln.

Wichtig ist noch die Feststellung, daß der Urknall den aus ihm hervorgehenden Massekomponenten hohe kinetische Energie verleiht: ihre Fluchtbewegung und die damit einhergehende Expansion des Universums sind geboren.

Idealistischer Mißbrauch einer modernen physikalischen Theorie

Der Urknall-Ansatz ist ein hervorragender Erklärungsversuch für die Ursache der im Universum festzustellenden Erscheinungen. Es liegen auch bereits ihn bestätigende astronomische Beobachtungen vor. Aber leider kann er in höchst schwerwiegender Weise fehlinterpretiert werden.

Allein die Theatralik des Ereignisses besitzt ja gewisse Parallelen mit dem biblischen Schöpfungsakt. Und genau in diesem Sinne wird der Urknall häufig mißbraucht: als Anfang von Raum und Zeit, verursacht durch ein wie auch immer geartetes göttliches Prinzip.

Dies kann sich ein Materialist nicht bieten lassen. Er muß kompromißlos von der Unendlichkeit ausgehen - auch von der zeitlichen: für jedes Ereignis existiert ein "Vorher" und ein "Nachher".

Für den Urknall darf keine Ausnahme gemacht werden. Diese Überlegungen führen zu seiner materialistischen Deutung: der Zyklenlehre.

Der letzte Urknall war nur einer von vielen

Den Einstieg in eine unidealistische Interpretation des Geschehens vollziehen die Physiker durch das Nachdenken über die kosmische Zukunft: wie wird sich die Expansion des Universums weiterentwickeln?

Sie fangen an, die Fluchtbewegung mit hohem astronomischen Aufwand zu beobachten. Bald finden sie Anzeichen für deren Verlangsamung und sehen sich zu folgender Theorie veranlaßt:

Irgendwann kommt die Expansion zum Stillstand, und eine Kontraktion setzt ein!

Auch die Ausweitung des Weltraums dauert somit nicht ewig an und wird irgendwann von einer Reduzierung abgelöst. Als deren Endpunkt ist der bereits beschriebene extreme plasmatische Zustand anzusehen. **Dieser löst aber irgendwann einen neuen Urknall aus, und der ganze beschriebene Ablauf beginnt abermals - so wie es schon immer der Fall gewesen ist!**

Nichts anderes besagt die Zyklen-theorie. Das gesamte kosmische Geschehen im zugänglichen räumlichen Bereich der höherdimensionalen Realität ist eine unendliche Aneinanderreihung von Expansions- und Kontraktionszyklen, an deren Ende und Anfang jeweils ein neuer Urknall steht.

Das Ende des bekannten Universums ist absehbar

Für die im Universum anzutreffenden Lebewesen ist dies natürlich keine verlockende Perspektive, da sie mit den beschriebenen Zyklen auch gleichzeitig eine endlose Abfolge von Weltuntergängen vorfinden.

Allerdings hat man es mit ungeheuren Zeiträumen zu tun: ein Expansions- und Kontraktionszyklus benötigt mindestens 40 Milliarden Jahre. Und außerdem sollte man den Evolutionsmöglichkeiten keine Grenzen setzen. So hat sich für das irdische Überleben ein nur räumliches Vorstellungsvermögen als vollkommen ausreichend erwiesen.

Womöglich haben die Nachfolger des Menschen im Interesse ihres **kosmischen Überlebens** aber einen Status erreicht, der ihnen höhere Dimensionen zugänglich macht, so daß sie das in voraussichtlich 20-25 Milliarden Jahren sterbende Universum verlassen können!

Die Zyklen-theorie ist eine einleuchtende materialistische Herangehensweise an das Urknall-Phänomen. Sie sieht den bekannten Weltraum lediglich als einen von vielen möglichen an und harmonisiert mit der dialektischen relativistischen Erkenntnis, daß er nichts Endgültiges ist.

Eine weitere physikalische Theorie geht über das zeitliche "Nacheinander" von Universen sogar noch hinaus und begründet die Möglichkeit eines "Nebeneinanders", also einer Koexistenz von Welträumen. Dies leitet sich aus der Erscheinung des sogenannten **Schwarzen Lochs** her - der rätselhaftesten bekannten Materieform.

Schwarze Löcher schlucken alles - sogar das Licht

Ein deutscher Astronom namens Schwarzschild ist im Jahre 1915 einer der ersten Anhänger der erst teilweise vollendeten allgemeinen Relativitätstheorie.

Insbesondere interessiert er sich für die durch die Gravitation verursachte Raumkrümmung und prognostiziert auf dieser Grundlage den extremsten vorstellbaren Massentyp, den er **Schwarzes Loch** nennt.

Hierbei hat man es mit einer ungeheuren Anballung von Masse auf engstem Raum, also einen Zustand allergrößter Dichte zu tun. Dieser führt zu einer so starken Krümmung des ihn umgebenden Raumes, daß jener - wie das gesamte zugängliche Universum - in sich zurückläuft, so daß ein abgeschlossenes und unbegrenztes räumliches System vorliegt.

Ein solche Erscheinung hat allerdings sehr unschöne Eigenschaften: Schwarzschild sagt voraus, daß alles in ihrer Nähe durch die enorme Gravitation **aufgesogen** wird - einschließlich des Lichtes, weswegen er seiner Entdeckung den etwas mystischen Namen gibt. Hieraus resultieren natürlich hochgradige Nachweisprobleme.

Schwarzschilds Aufsatz von 1915 ist eine zwar abenteuerliche, aber ernstzunehmende Prognose auf der Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Einstein ist bei aller Sympathie für die Hypothese von der Radikalität des vorhergesagten Massezustandes selbst etwas erschrocken.

Leider stirbt der begabte Astronom kurze Zeit nach seiner Erkenntnis als Freiwilliger an der Westfront er hätte sich nicht nur Einsteins physikalische Theorie, sondern auch dessen Antimilitarismus aneignen sollen!

Die Koexistenz von lokalen Welträumen ist möglich

Die Bedeutung von Schwarzschilds Arbeit liegt in dem Hinweis darauf, daß bereits im zugänglichen räumlichen Bereich der höherdimensionalen Realität Zustände möglich sind, die dem bekannten Weltraum äquivalent sind: unbegrenzte und doch endliche abgeschlossene Systeme, die man als **lokales Universum** auffassen kann.

Schon in der bekannten Welt ist also jenseits alles Vorstellbaren eine kosmische Koexistenz möglich: im Universum sind möglicherweise bereits viele andere enthalten. Und auch die zugängliche Welt ist vielleicht nur ein lokaler Zustand in einer anderen. Diese Oberlegungen lassen sich grenzenlos weiterführen.

Schwarzschilds Modell steht daher im Einklang mit dem materialistischen Prinzip der Unendlichkeit.

Schwarze Löcher sind physikalisch denkbar

Und wiederum handelt es sich bei der beschriebenen Hypothese nicht um die Ausgeburt einer zu weit gehenden Phantasie, sondern um einen Zustand im Bereich des naturwissenschaftlich Möglichen,

Um konkreter zu werden: die von der sogenannten **Astrophysik** untersuchten Lebensgeschichten von Sternen sehen für einige Kategorien von Himmelskörpern einen Endzustand vor, der einem schwarzen Loch gleichkommt. Hierbei handelt es sich um sehr große Sterne (sie müssen mindestens das 2,5fache der Sonnenmasse aufweisen).

Astrophysiker zeichnen die Biographien von Sternen auf

Ein Stern ist nichts anderes als ein stark überdimensionierter Fusionsreaktor. Auf der Grundlage von Einsteins Masse-Energie-Äquivalenz werden Wasserstoffatome zu Helium verschmolzen, wobei sie einen Teil ihrer Masse in Energie umsetzen. Hierbei ist ein Gleichgewichtszustand zwischen den nach außen drängenden Kernkräften und der nach innen wirkenden Gravitationswirkung erreicht.

Aber dieser Zustand dauert nicht ewig: nach vielen Milliarden Jahren ist der Stern ausgebrannt und besteht fast nur noch aus Helium-Asche. Diese fungiert dann zunächst als neues Brennmaterial, und es setzen höhere Fusionsvorgänge ein. Die Energieleistung nimmt hierbei um ein Vielfaches zu, und es entsteht ein sogenannter **Roter Riese**.

Der Sonne steht dieses Schicksal auch bevor. Sie wird in ihrem Endstadium um ein Vielfaches größer: alle inneren Planeten werden hierbei verschluckt - einschließlich der Erde. Man braucht somit gar nicht auf den nächsten Urknall zu warten: der Weltuntergang ist schon viel früher zu erwarten (in ca. 5 Milliarden Jahren).

Die höheren Fusionsvorgänge dauern nur wenige hunderttausend Jahre. Dann ist der Stern endgültig ausgebrannt. Der zuvor beschriebene Gleichgewichtszustand zwischen Kern- und Schwerkraft bricht zusammen, und der Himmelskörper kollabiert von nun an unter dem Einfluß seiner eigenen Gravitation.

Bei kleineren Sternen ist das Ende unspektakulär: der Massenkollaps kommt an den Atomhüllen zum Stillstand, weil die zwischen den Atomen herrschenden Abstoßungskräfte den Gleichgewichtszustand wiederherstellen. Ein solches Endprodukt wird als **Weißer Zwerg** bezeichnet und ist auch das finale Stadium der Sonne.

Der Neutronenstern als extremer Massezustand

Die Gravitation wird übrigens als eine punktförmige Zentralkraft aufgefaßt, d.h. von den räumlichen Ausmaßen der zugrundeliegenden Masse wird abgesehen. Dies ist nur eine Abstraktion: das wesentliche Merkmal der Schwerkraft wird quasi als ein Mittelwert aller vorliegenden Massekomponenten verstanden.

Diese Betrachtungsweise ist für die Kollaps-Phänomene deswegen wichtig, weil man nur auf der Grundlage einer ausdehnungslosen Zentralkraft verstehen kann, warum die kleinsten bekannten Objekte komprimiert werden.

Bei größeren Sternen (ab 1,4facher Sonnenmasse) ist diese Zentralkraft so groß, daß sie auch an den Atomhüllen nicht gestoppt werden kann und diese aufgebrochen werden: der bereits beschriebene plasmatische Zustand ist erreicht.

Der Massenkollaps kommt erst dann zum Stillstand, wenn die Elementarteilchen eng zusammengepackt sind. Hieraus resultiert ein extrem verdichteter Zustand. Eine stecknadelgroße Probe der plasmatischen Substanz wäre beispielsweise so schwer wie ein Flugzeugträger. Ein solches Endstadium wird als **Neutronenstern** bezeichnet.

Die Quark-Hypothese

Bei ganz großen Sternen (ab 2,5facher Sonnenmasse) reicht selbst die zwischen den Elementarteilchen bestehende statische Abstoßungskraft nicht mehr aus, um die enorme Gravitation zu kompensieren.

In diesem Zusammenhang vermuten die Theoretiker, daß die schweren und großen Teilchen (im wesentlichen Protonen und Neutronen) doch nicht so elementar sind, wie es ihr Name verspricht, und sie eine innere Struktur aufweisen (sogenannte Quark-Hypothese). Diese wird gleichfalls aufgebrochen.

Der Gleichgewichtszustand ist erst erreicht, wenn die Quarks genannten "Bausteine der Elementarteilchen" (ein an sich schon paradoxer Begriff) dicht aneinandergelassen sind.

Mit diesem Stadium allerextremster Dichte ist die von Schwarzschild vorhergesagte Massekonzentration erreicht, die ein schwarzes Loch verursacht!

Bei der dem Urknall unmittelbar vorangehenden Verdichtungssituation vermutet man übrigens einen so starken Massenkollaps, daß selbst die Quarks nicht imstande sind, ihn aufzuhalten. Die dann offensichtlich notwendig gewordene Explosion könnte darauf hinweisen, daß die Quarks keine innere Struktur mehr aufweisen, sondern tatsächlich die gesuchten elementarsten Masse-Bausteine sind.

Es gibt aber durchaus physikalische Theorien, die das Gegenteil behaupten. Die von ihnen vorhergesagten Quark-Bausteine werden **Tohu** und **Wohu** genannt (abgeleitet von Tohuwabohu).

Die Astronomen tun sich beim Nachweis von Schwarzen Löchern schwer

Während man Neutronensterne bereits eindeutig nachweisen kann, stoßen die Astronomen bei der Überprüfung der Schwarzschild-Prognose auf größte Schwierigkeiten: denn das charakteristische Merkmal eines Schwarzen Loches ist eben die von ihm hervorgerufene Lichtabsorption und die damit verbundene faktische Unbeobachtbarkeit.

Deswegen ist die "Black-Hole"-Theorie bis heute eine Hypothese geblieben. Dennoch haben die Astronomen die Hoffnung nicht aufgegeben. Sie suchen das Firmament sehr präzise nach verdächtigen Erscheinungen ab. Insbesondere sind sie auf der Suche nach sogenannten Doppelsternsystemen (zwei umeinander rotierende stellare Himmelskörper) mit gewissen Abnormitäten.

Ist nämlich ein Stern ausnahmsweise nicht an einen anderen gekoppelt, sondern an ein Schwarzes Loch, so müßte dieses ständig Materie von dem viel leichteren Rotationspartner absaugen.

Kurz vor ihrem Eintauchen in das Schwarze Loch hätten die ihrer normalen Umgebung entrissenen Fragmente aufgrund der unvorstellbaren Gravitation eine so hohe kinetische Energie, daß sie sich mit knapper Lichtgeschwindigkeit bewegen würden. Hierbei würde eine extrem starke Röntgenstrahlung entstehen, die auf der Erde registriert werden kann.

Auf diese Weise hat man im Universum eine starke Gravitationsquelle namens *Cygnus X-1* feststellen können. Doch was verbirgt sich hinter dieser Erscheinung? Ein Schwarzes Loch? Oder vielleicht sogar ein anderes Universum? Man weiß es nicht.

Die Relativitätstheorie als Triumph der materialistischen Weltanschauung

Auf der Grundlage von Einsteins theoretischem Hauptwerk gelangt man zusammenfassend also zu folgenden Thesen:

1. Die Rückbesinnung auf Galileis Relativitätsprinzip ist der Allgemeingültigkeit physikalischer Gesetzmäßigkeiten geschuldet.
2. Die Anwendung des Symmetriebegriffes auf bewegte Körper und die daraus abgeleitete absolute Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ergibt sich unmittelbar aus der materialistischen Forderung nach Homogenität und Isotropie von Raum und Zeit.

Es handelt sich hierbei um eine Neuformulierung von Kopernikus' ketzerischem Prinzip, daß es keinen Mittelpunkt des Universums gibt.
3. Der Zusammenhang zwischen Endlichkeit und absoluter Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zeigt die Einheit von Zufall und Notwendigkeit.
4. Die Widerlegung des Zwillingsparadoxons geschieht auf der Basis koexistierender Widersprüche und relativer Wahrheiten.
5. Die Annahme der im Weltraum konstanten Materie erhält als scheinbar starres Prinzip durch die Masse-Energie-Äquivalenz (Einsteins allerwichtigste Entdeckung) überhaupt erst eine dynamische Bedeutung.
6. Die über die Vorstellungskraft hinausgehende Erweiterung der räumlichen Erscheinungswelt zu einer höherdimensionalen Realität bringt das Prinzip der Unendlichkeit wieder in Einklang mit den astronomischen Tatsachen.
7. Die von der Gravitation hervorgerufene Raumkrümmung weist darauf hin, daß Raum und Zeit keine von der Materie losgelösten Kategorien sind.
8. Die Relativitätstheorie geht von einer objektiv vorhandenen Realität unabhängig vom menschlichen Bewußtsein aus. Dieses höherdimensionale Wesen der Welt präsentiert sich dem erkennenden Subjekt als dreidimensional-räumliche Erscheinung.
9. Die bekannte Welt ist kein endgültiger Zustand, sondern veränderungs- und weiterentwicklungsfähig.
10. Die auf der Basis der Relativitätstheorie entwickelten astronomischen Theorien sind allesamt einer materialistischen Deutung zugänglich.

Der eingangs zitierte Vorwurf gegen die Relativitätstheorie muß somit als vollkommen unhaltbar angesehen werden.

Obwohl Einstein kein erklärter Marxist war, bewegt sich sein Denken eindeutig in den Kategorien des dialektischen Materialismus.

Sein Wirken als einer der gewaltigsten Denker der Menschheit zieht somit einen Triumph der materialistischen Weltanschauung nach sich, der den Vergleich mit Marx', Engels' und Lenins Beitrag nicht zu scheuen braucht.

"Denn die Grundformen alles Seins sind Raum und Zeit, und ein Sein außer der Zeit ist ein ebenso großer Unsinn wie ein Sein außerhalb des Raums."

(Friedrich Engels)

"Früher hat man geglaubt, wenn alle Dinge aus der Welt verschwinden, so bleiben noch Raum und Zeit übrig. Nach der Relativitätstheorie verschwinden aber Raum und Zeit mit den Dingen."

(Albert Einstein)