

Spezielle Relativitätstheorie: Diskussion von Raum und Zeit

Paul Natterer

2008/2018

(1) Vorbemerkungen

Wer einen Film auf DVD in das DVD-Laufwerk seines Rechners einlegt und startet, nimmt eine Datenumwandlung von dem **binären, zeitlos** fixierten und **abstrakt-begrifflichen** unanschaulichen Maschinencode der DVD in die **sukzessiv** erzeugte, **dreidimensionale**, bewegte, **farbige** und **tönende** (multimediale) Benutzeroberfläche des Bildschirms vor.

Die Quantentheorie zeigt, dass die physikalische Realität letztlich aus **Information** und **Energie** besteht, und der Informationsgehalt der physischen Welt in mathematischen Strukturen und Gleichungen kodiert ist. Die **dreidimensionale** und **zeitliche, farbige, tönende**, multimediale Welt, die wir erleben, ist also ebenfalls eine Datentransformation aus dem elementaren Maschinencode des Universums auf den **kosmischen Bildschirm** des Raumes und seiner in der Zeit dynamisch wechselnden Inhalte — und damit zusammenhängend auf die **multimediale Benutzeroberfläche** des wahrnehmenden, vorstellenden und deutenden **Bewusstseins**.

Die Tatsache unterschiedlicher Codierungen oder Repräsentationen der Realität ist seit Platon von Athen und Aristoteles von Stagira wissenschaftlich formuliert und untersucht worden. Ihren bekanntesten und ausführlichsten Ausdruck hat diese Tatsache in der Philosophie Immanuel Kants gefunden, in der berühmten Unterscheidung der intelligiblen, logisch-begrifflichen Codierung des **Dinges an sich** und der raumzeitlichen, multimedialen Ausfaltung in das **Ding in der Erscheinung**.

Diese Tatsache war aber bereits im vorwissenschaftlichen mythischen Denken eine wichtige Intuition. Ebenso steht sie im Zentrum außereuropäischer Kulturen und Philosophien etwa Indiens oder Ostasiens. Man denke an die Unterscheidung von **Atman** als eigentliche geistige Realität und der **Maya** als Welt der Erscheinungen in Raum und Zeit in der altindischen Philosophie der **Upanishaden**.

Hans-Peter Dürr, der engste Heisenbergschüler und dessen Nachfolger als Direktor des Max-Planck-Instituts für Physik und Astrophysik in München (bis 1997, + 18.05.2014), ist bzw. war der z.Zt. bekannteste Vordenker einer interdisziplinären, philosophischen und ethischen Einordnung der Physik, wofür ihm der Alternative Nobelpreis zuerkannt wurde. Er hat diese Zusammenhänge einmal gut so formuliert:

„Wir Physiker haben so fest geglaubt, wir wüßten alles. Und als wir es ganz genau wissen wollten und schließlich ganz klein hatten, die letzte Einheit der Materie, da haben wir in die Hand geschaut, und es war nichts mehr in der Hand. Es war keine Materie mehr drin, sondern nur eine Beziehungsstruktur.“ —

„Das elektromagnetische Feld ist eine Gestalt des Nichts. Es ist keine Materie da. Es ist nur ein Feld, in dem das Licht und die Röntgenstrahlen, die Wärmestrahlung, die Fernsehprogramme, die Telefonate wie auf einem großen Ozean herumwabern, aber der Ozean ist eigentlich ein Nichts.“ —

„Wir haben allerdings Schwierigkeiten, das zu akzeptieren. Das liegt daran, daß unsere Wahrnehmung der Realität als eine Welt, die aus Dingen besteht, so überzeugend aussieht [...] Haus, Tisch, Stuhl: Das sind ... Realitäten [...] nur bis zu einem gewissen Grad. Im Untergrund, in der Elementarteilchenphysik, gibt es diese

Realität gar nicht. Alles, was Materie ist, gibt keinen Sinn mehr. Alles löst sich auf, es sind nur noch Beziehungsstrukturen.“ (Dürr, H. P. In: *Spiegel Spezial* 7 (1999), 32—36. Gespräch: Das Geistige hat keine Ränder. Hans Peter Dürr über das schrumpfende Zentralgestirn, das Dreikörperproblem und die Ordnung des Lebendigen)

Und: „Hatte man ursprünglich vermutet, daß das ‚Transzendente‘ im Laufe der Entwicklung der Naturwissenschaft immer weiter zurückgedrängt werden würde, ... so stellte sich nun im Gegenteil heraus, daß die uns so handgreiflich zugängliche **materielle Welt** sich immer mehr als **Schein** entpuppt und sich in einer Wirklichkeit verflüchtigt, in der nicht mehr Dinge und Materie, sondern **Form** und **Gestalt** dominieren. Das **Höhlen-gleichnis Platons**, in dem die von uns wahrnehmbare Welt nur als Schatten einer eigentlichen Wirklichkeit, der Welt der Ideen, aufgefaßt wird, kommt einem in diesem Zusammenhang unwillkürlich in den Sinn [...] **Die physikalische Welt erscheint als eine Konkretisierung der Transzendenz.**“ (H.-P. Dürr: *Das Netz des Physikers*, München 32000, 108—109)

In diesem Skript stellen wir die weitergehende Frage nach der Rolle des Bewusstseins erkennender Subjekte bei der Erfahrung von Raum und Zeit zunächst zurück und konzentrieren uns auf den physikalischen Forschungsstand.

Im Bewusstsein der Gegenwart wird beim Thema Raum und Zeit insbesondere die spezielle Relativitätstheorie erinnert, um 1905 entwickelt von Henri Poincaré (1854—1912, Präsident der französischen Akademie der Wissenschaften in Paris) und Albert Einstein (1914—1932 Direktor des Kaiser-Wilhelm-[heute: Max-Planck-]Institutes für Physik in Berlin; 1932—1955 am Institute for Advanced Study in Princeton, Nobelpreis 1921).

Die mathematische Vorarbeit stammte von dem seinerzeit führenden theoretischen Physiker Hendrik A. Lorentz (1853—1928, Nobelpreis 1902), der darüber hinaus — wie auch Poincaré — eine eigenständige physikalische Interpretation zur Relativitätsdiskussion vorlegte.

Ausgangspunkt für die Relativitätsdiskussion waren einmal experimentelle Beobachtungen zur Geschwindigkeit der Ausbreitung von elektromagnetischer Strahlung und insbesondere sichtbarem Licht. Und zum anderen die Transformation einzelner physikalischer Größen bei zwei oder mehr extrem schnell bewegten Objekten bzw. Inertialsystemen (= ruhende oder gleichförmig und geradlinig bewegte Bezugssysteme), wenn man das Bezugssystem wechselt.

Die Experimente zur Geschwindigkeit des Lichtes hatten zum Ausgangspunkt die Frage, ob Licht bzw. allgemeiner elektromagnetische Strahlung ein Trägermedium benötigt wie die Schallwellen oder Wasserwellen. Man stellte die Hypothese auf, dass der Weltraum kein reines Vakuum sein müsse, sondern einen extrem feinen Stoff, den in der Physik seit alters her verhandelten Äther, aufweisen könne, der Träger der Lichtwellen sein wäre. Entsprechende Versuche zum Nachweis eines Äthers waren nicht rein negativ, wurden aber so gedeutet (siehe in Folge), dass Licht kein Medium benötigt. Sie ergaben ferner, dass die Lichtgeschwindigkeit faktisch in unserem Erfahrungsraum konstant ist.

Die Experimente zu bewegten, elektromagnetisch geladenen Objekten (und darüber hinausgehende verallgemeinernde Gedankenspiele) zeigten, dass von einem ruhenden (oder auch gegenläufig bewegten) Beobachter aus Objekte, die sich in einem anderen geschlossenen Bezugssystem (Fahrzeug, Flugzeug, Raumschiff, Planet, Teilchenbeschleuniger etc.) extrem schnell bewegen, sich metrisch und / oder perspektivisch verkürzen (Lorentzkontraktion), einer metrischen und / oder phänomenologischen Zeitdehnung (Zeitdilatation) unterliegen und ihre als Masse-Variante deutbare kinetische Energie in der Messung zunimmt (Energie-Masse-Formel).

Relativitätstheorien sind nun letztlich, wie sich in Folge zeigen wird, physikalische Interpretationen dieser rechnerischen Konstrukte und / oder perspektivischen Veränderungen. Sie sind — soweit experimentell zugänglich — wie ihr mathematisches Handwerkszeug, die Lorentztransformation, in der Elektrodynamik zuhause. Sie sind eine Auskristallisierung der Maxwell'schen Theorie des Elektromagnetismus, wie Einstein einmal sagt. Von intelligenten Kritikern wurde immer wieder die Vermutung geäußert, dass die wirklich zweifelsfreien experimentellen Anstöße und Beweise für relativistische Phänomene nur zeigen, dass (i) Maxwell in bestimmten Fällen durch die Lorentztransformation verbessert oder präzisiert werden muss. Und dass (ii) die rechnerische und / oder phänomenale Lorentzkontraktion und Zeitdilatation eine Heuristik und ein Äquivalent für tatsächliche physikalische Kräfte und Prozesse im Rahmen der klassischen Physik sind. Wir werden in Abschnitt (6) sehen, dass heute eine ausgearbeitete klassische Reformulierung der Relativitätstheorie Einsteins vorliegt, die genau diese Vermutung bestätigt und die ‚relativistischen Effekte‘ allein mit den Mitteln der Galileischen Raum-Zeit-Physik im

Euklidischen Raum erklärt. Sie lässt die bisherigen physikalischen Interpretationen als unnötig kompliziert und wirklichkeitsfremd erscheinen.

Der fundamentale Ausgangspunkt der Einstein'schen Fassung ist bzw. war, dass die Lichtgeschwindigkeit nicht nur faktisch, soweit wir sie experimentell überprüfen können, konstant ist (ca. 300.000 km/sec), sondern dass sie eine apriorische Naturkonstante ist, die im gesamten Universum und damit buchstäblich universell als absolutes Axiom gilt. Führende Physiker, Messtechniker und Wissenschaftstheoretiker haben dies stets und immer wieder als einen hochproblematischen Schritt angesehen.

Ein weiteres Eckdatum der Interpretation Einsteins ist die These, dass o.g. Längenkontraktion, Zeitdehnung und Massezunahme nicht nur **rechnerische Konstrukte** bzw. Fiktionen sind — so Poincaré — oder subjektive Perspektiven bzw. **virtuelle Simulationen** des lokalen Beobachters oder Experimentators — so Lorentz' Deutung der Zeitdilatation —, sondern objektive Realität haben. Oder anders formuliert: Das jeweilige rechnerische Konstrukt bzw. die jeweilige Messung *qua* Phänomen ist die objektive Realität oder das Ding an sich. Was wiederum bedeutet, dass die Größe, Dauer und Masse von Objekten mit der Geschwindigkeit variiert, relativ wird. Infolgedessen gibt es auch keinen einheitlichen, einzigen Raum bzw. eine einheitliche Zeit.

Allerdings wird in der zweiten Version der speziellen Relativitätstheorie (und in veränderter Form in der allgemeinen Relativitätstheorie) wieder eine objektive Zeit (und Größe und Masse) postuliert, so dass man hier in der Diskussion differenzieren muss.

Einsteins Deutung gipfelt in der These, dass nicht nur die Länge und Dauer der bewegten Objekte objektiv relativ zum Bezugssystem ist — so wenigstens die erste Fassung der speziellen Relativität —, sondern dass auch die Maßstäbe der Längenmessung und Zeitmessung konsequent relativ sind — wiederum wenigstens nach der ersten Fassung der speziellen Relativität. Hier war bzw. ist der Widerspruch aus der Physikergemeinschaft, aber auch besonders aus der Wissenschaftstheorie, sehr stark.

Im allgemeinen werden in Studium und Lehre heute diese Kontroversen eingeklammert, was mit wissenschaftssoziologischen Faktoren zu tun hat. Der Experte Nr. 1 für physikalische Längen- und Zeitmessung Louis Essen (1908—1997) erzählt in seinen Memoiren, dass praktisch alle Physikerkollegen ihm erklärten, die spezielle Relativitätstheorie nicht zu verstehen, sondern nur der etablierten Meinung zu glauben (vgl. R. Essen: *The Birth of Atomic Time. Includes the Memoirs of Louis Essen*, Peterborough 2015, chap. 6: Relativity, 73—82).

(2) Moderne Standards der Zeit- und Längenmessung

Essen, Physiker des britischen National Physical Laboratory (NPL), ist der Vater der Cesium-Atomuhr und damit des heutigen internationalen Zeitstandards und er hat mit der exakten Vermessung der Lichtgeschwindigkeit und des Lichtjahres auch die Längenmessung revolutioniert und einen neuen weltweit geltenden Längenstandard definiert.

Als Essen zur Überzeugung kam, dass die maßgeblichen Relativitätstheoretiker H. Dingle und W. H. McCrea die Relativitätstheorie mit unlogischen Gedankengängen gegensätzlich deuteten, evaluierte er dieselbe und widmete dem Thema eine Reihe von Aufsätzen in dem führenden Wissenschaftsperiodikum *Nature* sowie ein eigenes Buch: *The Special Theory of Relativity: A Critical Analysis*, Oxford University Press 1971. Essen:

„Much of the discussion about the theory was concerned with the readings of clocks when they are moving relatively to each other, and since I had a wide experience of comparing clocks and measuring time it seemed to be almost a duty to take a closer interest in the controversy [...] **I had more practical experience in these matters than all the relativitists put together.**“ (a.a.O. 2015, 73f)

Das Fazit des „Time Lord“ (*The Guardian*): „I concluded that the theory is not a theory at all, but simply a number of contradictory assumptions together with actual mistakes“ (Brief v. 25.03.1984 an den Physikerkollegen Dr. C. Zapffe). Dazu aus Essens Memoiren das Folgende:

„It is always better to refer to the original papers rather than to second hand accounts and I, therefore, studied Einstein's famous paper, often regarded as one of the most important contributions in the history of science.

Imagine my surprise when I found that it was in some respects one of the worse papers I had ever read. The terminology and style were **unscientific** and **ambiguous**; one of his assumptions is given on different pages in two contradictory forms, some of his statements were open to different interpretations and the **worst fault** in my view, was the use of **thought-experiments**. This practice is contrary to the scientific method which is based on conclusions drawn from the results of actual experiments.

My first thoughts were, that in spite of its obvious faults of presentation, the theory must be basically sound, and before committing my criticisms to print I read widely round the subject. The additional reading only confirmed my belief that the theory was marred by its own **internal contradictions**. Relativitists often state that the theory is accepted by all scientists of repute but this is quite untrue. It has been strongly criticised by many scientists, including at least one Nobel prize winner. Most of the criticisms are of a general nature drawing attention to its many contradictions, so I decided to pin-point the errors which give rise to the contradictions, giving the page and line in Einstein's paper, thus making it difficult for relativitists to dodge them and obscure them in a **morass of irrational discussion**.

There were definite errors about which there can be no argument. One was the assumption that the **velocity of light** is constant. This is contrary to the foundations of science and the fact that it is repeated in all the textbooks I have seen, shows how little these foundations are understood by theoretical physicists [...] Even though it was found to be constant under certain conditions, it was quite **wrong to make it a constant by definition** under all conditions.¹ Only the unit of measurement can be made constant by definition and Einstein's assumption constituted a **duplication of units**. It was this duplication that led to **puzzling and contradictory results** and not the profundity of the theory as relativitists like us to believe. The other glaring mistake occurred in the course of one of his thought experiments [scl. the **clock paradox**]. Einstein had never made any actual experiments, as far as I can find, and he certainly had no idea of how to compare clocks [...] Many thousands of words have been written about it, but the explanation is simply that he did **not go through the correct procedures** in making his experiment“ (a.a.O. 2015, 73—82).

(3) Thesen der speziellen Relativitätstheorie

In diesem Abschnitt stellen wir in fünf Thesen die weltanschaulich interessanten Resultate der Standardtheorie der speziellen Relativität in der Einstein'schen Fassung dar. Wir tun dies mit dem Vorbehalt, dass diese Thesen, wie bereits von Essens Kritik her deutlich wurde, in Zukunft — als aus der in Rede stehenden Theorie hergeleitete — wohl nur wissenschaftshistorische Bedeutung haben werden. Hier nun der Überblick zu den Aussagen der speziellen Relativitätstheorie:

THESE 1: Es gibt keinen absoluten physikalischen Raum. Ein erstes — negatives — Ergebnis ist, dass es keinen absoluten Raum gibt als grundlegendes physikalisches Bezugssystem oder „Behälter“, in dem mehr oder minder große relative Räume, d.h. physikalische Bezugssysteme eingeschachtelt sind. Solche relativen Räume sind etwa die Erde mit ihrer Atmosphäre, oder das Sonnensystem, aber auch kleine in sich ruhende geschlossene Räume des Alltags wie ein Eisenbahnzug, ein Fahrstuhl, ein Auto.

Der absolute Raum als größtes und grundlegendstes Bezugssystem war eine Voraussetzung der klassischen Physik, etwa bei I. Newton. Man dachte ihn sich ausgefüllt mit einem Medium, das noch extrem viel dünner und elastischer als Luft ist, dem **Äther**. Dieser Äther als Trägermedium elektromagnetischer und damit auch Lichtwellen ließ sich — so die offizielle Position — trotz intensiver Bemühungen im 19. Jh., speziell mittels des sogenannten Michelson-Morley-Versuchs, nicht nachweisen. Dies dürfte aber nicht sein, wenn es den Äther gibt, und wenn z.B. die Erde sich mit 30 km/Sekunde um die Sonne durch den Äther bewegt. Ein (Funk-)Signal von

¹ Dass die Geschwindigkeit des Lichtes nicht nur faktisch in der Erfahrung annähernd gleich ist, sondern dass sie ein apodiktisches Naturgesetz sei, ist der Kern der speziellen Relativitätstheorie, auch nach Einsteins eigenem Bekunden. Siehe unsere Vorbemerkungen. Es ist dies das Prinzip der absoluten Konstanz der Vakuumgeschwindigkeit des Lichtes. Aus diesem Prinzip wird die verschiedene Zeit in verschiedenen bewegten Systemen deduziert, damit die Lichtgeschwindigkeit überall als dieselbe gemessen wird. Hans Driesch (1867—1941), der vielleicht bekannteste Wissenschafts- und v.a. Biophilosoph der Ära Einsteins, hat wie später Essen und viele andere diesen Schritt vom Faktischen zum Apodiktischen einer kritischen Analyse unterzogen. In dem Skript *Relativitätstheorie und Philosophie* (Karlsruhe 1924) geht er davon aus, dass der Michelson-Morley-Versuch ergeben hat, dass auf der Oberfläche der Erde Licht aus einer Lichtquelle sich in alle Richtungen gleich schnell ausbreitet. Über diesen empirischen Befund jedoch hinausgehend behauptet die Theorie, Licht aus einer beliebigen Lichtquelle (also auch einer außerhalb der Erde befindlichen) pflanze sich auf der Erde in allen Richtungen gleichmäßig fort. „Diese Erweiterung des Prinzips hat keine neue experimentelle Stütze, ja kann gar keine solche Stütze haben; sie ist aber dem Ergebnis des Michelson'schen Versuchs gegenüber etwas ganz Neues, und ist keine bloße ‚Erweiterung‘ desselben“ (a.a.O. 11). Bei Lorentz ist deswegen die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, genauer der EM-Wellen, unzertrennlich mit dem Äther verbunden. Lorentz postulierte Längenkontraktion und Zeitdilatation nur in Bewegungsrichtung relativ zum hypothetischen Äther.

Amerika nach Europa müsste dann am Tag, wenn es sich entgegen der Erdbewegung ausbreitet, schneller laufen als in der Nacht. Dies ist aber nicht eindeutig der Fall. Es zeigte sich, dass das Licht sich in vielen Experimenten faktisch in allen Richtungen mit derselben Geschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit ($\sim 300.000 \text{ km/s}$ im Vakuum), bewegt. Bei näherem Besehen liegen die Dinge freilich komplizierter. Dies insofern als in vielen der bekanntesten Experimente keine Nullwerte hinsichtlich eines eventuellen Mediums oder Äthers festgestellt wurden, sondern durchaus kleine Werte, welche als Indiz für ein Medium gedeutet werden können. Das betrifft auch und zuerst den Michelson-Morley-Versuch (wegen der Versuchsanordnung auch: Interferometer-Versuch) selbst.²

THESE 2: Es gibt keinen physikalischen Mittelpunkt des Universums. Wenn man annimmt, dass es keinen materiellen physikalischen Äther gibt, dann gibt es auch keinen physikalischen, materiellen absoluten Raum als grundlegendes physikalisches Bezugssystem. Alle in sich ruhenden relativen Bezugssysteme sind dann gleichberechtigte Standorte oder Zentren der naturwissenschaftlichen Weltbeschreibung. Es gibt keinen physikalischen Mittelpunkt des Universums wie Stephen Hawking sagt.

Max Born (1882—1970, einer der Väter der modernen Physik in Zusammenarbeit mit Planck, Einstein, Heisenberg und Pauli in Berlin, Frankfurt, Edinburgh und Göttingen, Nobelpreis Physik 1954) sagt dazu wie schon erwähnt in der vielleicht klassischsten Darstellung der Relativitätstheorie *Die Relativitätstheorie Einsteins* (Berlin/Heidelberg/Oxford 72003, 296 [1920]):

„Damit ist die Rückkehr zu PTOLEMÄUS Standpunkt der ‚ruhenden Erde‘ ins Belieben gestellt. Es würde das die Benutzung eines mit der Erde fest verbundenen Bezugssystems bedeuten, in dem alle Fixsterne in Rotation mit gleicher Winkelgeschwindigkeit um die Erde ausführen [...] Man muß zeigen, daß die transformierte Metrik im Einklang mit EINSTEINS Feldgleichungen erzeugt wird, durch die rotierenden fernen Massen. Das ist von THIRRING [Hans Thirring, 1888—1976, österreichischer Physiker] durchgeführt worden. Er hat das Feld berechnet, das eine hohle, dickwandige Kugel in ihrem Innern erzeugt, wenn sie rotiert und konnte beweisen, daß im Kugellinnern tatsächlich Kräfte von der Art der Zentrifugalkraft und anderer Trägheitskräfte auftreten, die man für gewöhnlich dem absoluten Raum zuschreibt. Daher haben von EINSTEINS Standpunkt gesehen PTOLEMÄUS und KOPERNIKUS *gleiches* Recht. Welchen Ausgangspunkt man wählt, ist Sache der Bequemlichkeit.“

[Englisch: „Thus we may return to Ptolemy’s point of view of a ‚motionless earth‘ [...] One has to show that the transformed metric can be regarded as produced according to Einstein’s field equations, by distant rotating masses. This has been done by Thirring. He calculated a field due to a rotating, hollow, thick-walled sphere and proved that inside the cavity it behaved as though there were centrifugal and other inertial forces usually attributed to absolute space. Thus from Einstein’s point of view, Ptolemy and Copernicus are equally right.“ (Born, Max: *Einstein’s Theory of Relativity*, Dover Publications 51962, 344—345)]

Albert Einstein zu demselben Thema in dem Buch (zus. mit Leopold Infeld): *The Evolution of Physics*, Cambridge 1938, 248 (dt.: *Die Evolution der Physik*, Reinbek bei Hamburg 1995), dass „der in den frühen Tagen der Naturwissenschaft so heftige Kampf zwischen den Sichtweisen des Ptolemaios und Kopernikus praktisch bedeutungslos“ wurde: „**Beide Koordinatensysteme können mit gleicher Berechtigung verwendet werden**“. Hier das ausführliche Zitat in Englisch:

2 A.A. Michelson hatte den Versuch erstmals 1881 in Potsdam durchgeführt. 1887 wiederholten Michelson und E. W. Morley den Interferometer-Versuch in Cleveland mit einer verbesserten Apparatur (Michelson, A. A. / Morley, E. W.: On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Aether. In: *American Journal of Science*, Serie 3, 34 (1887), 273—285). Die Autoren fassen die Ergebnisse ihrer Beobachtungen so zusammen (S. 281), dass sie eine Ätherdrift gefunden hätten in der Größenordnung von einem Sechstel der Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Umlaufbahn. Diese ist 30 km/sec , und die Ätherdrift der Erde ist somit bei einem Sechstel ca. 5 km/sec . Dayton Clarence Miller führte später die Versuche nach Morleys Pensionierung 1906 weiter und berichtet darüber auf einer speziellen Konferenz zum Michelson-Morley-Versuch am Mount-Wilson-Observatorium 1927 (Conference on the Michelson-Morley Experiment: held at Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, Feb. 4 and 5, 1927. In: *Astrophysical Journal* 68 (1928) 341—402, insbes. 352—367 und 397—399): „In every case we found that the result was negative as to these [= theoretical] expectations. But it was never numerically zero, not even in the original Michelson and Morley experiment. It was zero in so far as the motion of the earth in its orbit is concerned. The remaining effect, however, was large enough to be measured“ (a.a.O. 1927, 354). Nach 1905 wurden die Versuche aus dem Laboratorium ins Freie verlegt und 1921 wurde das Interferometer auf dem Mount Wilson in einer Höhe von 2000 Meter installiert, und die Versuche dauerten fünf Jahre. Die Messungen mit Strahlungsabschirmungen und unterschiedlichen Einstellungen ergaben nun stets dieselbe reale Ätherdrift von diesmal 10 km/sec . Seit 1925 wurden die Versuche zum Nachweis einer absoluten Bewegung der Erde und des Sonnensystems durch den kosmischen Raum konzipiert, ohne spezielle theoretische Vorgaben und Erwartungen. Auch diese Interferometer-Versuche hat Miller weitergeführt, der bestätigte, dass es niemals Null-Messwerte gab, sondern lediglich Negativbewertungen in Blick auf bestimmte Erwartungen.

„The struggle, so violent in the early days of science, between the views of Ptolemy and Copernicus would then be quite meaningless. **Either CS [= coordinate system] could be used with equal justification.** The two sentences, ‘the sun is at rest and the earth moves,’ or ‘the sun moves and the earth is at rest,’ would simply mean two different conventions concerning two different CS.“

Zur selben Frage Fred Hoyle (1915—2001), Urheber der kosmologischen *Steady-State*-Theorie, in *Astronomy and Cosmology — A Modern Course*, San Francisco 1975, 416:

„We know that the **difference** between a **heliocentric theory** and a **geocentric theory** is one of relative motion only, and that such a difference **has no physical significance.**“

Fred Hoyles Buch: *Nicolaus Copernicus*, London 1973, 78, formuliert dies so:

„Die Beziehung der zwei Systeme (Geozentrismus und Heliozentrismus) ist reduziert auf die bloße **Umwandlung der Koordinaten**, und es ist die Hauptlehre von Einsteins Theorie, dass alle Möglichkeiten, die Welt zu betrachten, vom physikalischen Gesichtspunkt aus völlig **äquivalent** sind, sofern sie miteinander über eine Koordinatenumwandlung verbunden sind.“

Allerdings macht Stephen Hawking in *A Brief History of Time* [dt.: *Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Weltformel*, Reinbek bei Hamburg 1997, 61—62] auch deutlich, dass die **Beobachtungsdaten** die Deutung nahelegen, „dass **wir im Zentrum des Universums** sein müssen“ und dass wir „**keinen wissenschaftlichen Beweis für oder gegen eine andere Deutung**“ der Daten haben. Wenn wir annehmen, dass das Universum sich von anderen Galaxien aus gesehen überall genauso wie von unserem Standort aus darstellt (nämlich in jeder Richtung gleich), dann „**glauben** wir das nur aus Gründen der Bescheidenheit“. Hier der volle Wortlaut:

„All this evidence that the universe looks the same whichever direction we look in might seem to suggest there is something special about our place in the universe. In particular, **it might seem** that if we observe all other galaxies to be moving away from us, then **we must be at the center of the universe.** There is, however, an alternate explanation: the universe might look the same in every direction as seen from any other galaxy, too. This, as we have seen, was Friedmann’s second assumption.³ **We have no scientific evidence for, or against, this assumption.** We believe it only on grounds of **modesty**: it would be most remarkable if the universe looked the same in every direction around us, but not around other points in the universe.“

Edwin Hubble (1889—1953, dem der Nachweis der Existenz weiterer Galaxien als unserer Milchstraße gelang, entdeckte auch die praktisch allgemeine **Rotverschiebung** der Sterne und Galaxien in einer Bewegung von der Erde weg. Das Licht der meisten Galaxien ist rotverschoben (schon bei den uns nächsten 1000 sind es etwa $\frac{3}{4}$). Je weiter Galaxien entfernt sind, desto stärker ist normalerweise die Rotverschiebung. Nur wenige nahe Galaxien zeigen wegen zusätzlicher Eigenbewegung auf uns zu eine Blauverschiebung. Diese Beobachtung bedeutete für Hubble eine existentielle Erschütterung, da er die nächstliegende Erklärung in einer geozentrischen Theorie sah (*The Observational Approach to Cosmology*, Oxford 1937). Hubbles Aussagen zeigen auch die geradezu brachiale Gewalt, mit der er seine philosophische Weltanschauung und Vorurteilsstruktur den physikalischen Beobachtungsdaten aufzwingt, die zu „**implizieren scheinen, dass wir eine einzigartige Position im Universum einnehmen**, in gewissem Sinn analog der früheren Vorstellung einer zentralen Erde“. Hubble räumt zwar ein, dass „diese Hypothese nicht widerlegt werden kann“, aber sie ist, so Hubble, „unerwünscht“, „unerträglich“ und ein „**Horror**“. Deshalb muss sie „um jeden Preis vermieden werden“:

„Such a condition would imply that we occupy a **unique** position in the universe, analogous, in a sense, to the ancient conception of a **central Earth** [...] This hypothesis cannot be disproved, but it is **unwelcome** and would only be accepted as a last resort in order to save the phenomena. Therefore **we disregard this possibility** ... the unwelcome position of a favored location must be avoided at all costs [...] Such a favored position is **intolerable** [...] Therefore, in order to [...] escape the **horror** of a unique position [...] the dates] must be compensated by spatial curvature. There seems to be no other **escape.**“

3 Alexander Alexandrowitsch Friedmann, 1888—1925, russischer Physiker. Er war der Vordenker der Möglichkeit eines dynamischen, nicht stationären Universums und entwarf drei bis heute grundlegende mathematische Modelle dynamischer Kosmologien (Friedmann-Modelle), d.h. expandierender und/oder kontrahierender Universen. Er veröffentlichte die drei Modelle in den Aufsätzen: ‚Über die Krümmung des Raumes‘. In: *Zeitschrift für Physik* (10), 1922, 377—386; und: ‚Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes‘. In: *Zeitschrift für Physik* (21) 1924, 326—332. Auch Hawkins legt die Friedman-Modelle der Diskussion in seinem Kapitel ‚Das expandierende Universum‘ (a.a.O. 1997, 53—73) zu Grunde.

Ein weiterer Kronzeuge aus der Physikergemeinschaft ist der mit Stephen Hawking zusammenarbeitende südafrikanische Astronom und Kosmologe George Ellis (*1939). Über seine Arbeit erschien in der Oktoberausgabe 1995 von *Scientific American* (Bd. 273) ein Beitrag mit dem Titel 'Thinking Globally, Acting Universally'. Ellis hebt ins Relief, dass die Entscheidung für oder gegen das geozentrische Modell nur auf „**philosophischer Basis**“ und „unter Anwendung philosophischer Kriterien“ getroffen und begründet werden kann. W. Wayt Gibbs zitiert Ellis Hauptthese in dem einführenden 'Profile: George F. R. Ellis' der o.g. Ausgabe von *Scientific American* wie folgt (S. 55):

„People need to be aware that there is a **range of models that could explain the observations**', Ellis argues. 'For instance, **I can construct you a spherically symmetrical universe with Earth at its center, and you cannot disprove it based on observations.**' Ellis has published a paper on this. 'You can only exclude it on philosophical grounds. In my view there is absolutely nothing wrong in that. What I want to bring into the open is the fact that we are using philosophical criteria in choosing our models. A lot of cosmology tries to hide that.'“

Diese philosophischen Gründe für die Wahl des kosmologischen Modells thematisiert auch der durch zahlreiche Veröffentlichungen bekannte Physiker und Astronom Paul Davies, langjähriger Herausgeber des Wissenschaftsjournals *Nature*. Auch seine Stellungnahme erfolgt in Auseinandersetzung mit George Ellis' beobachtungsmäßig einwandfreiem Modell mit der Erde in der Mittelpunktposition: Cosmic Heresy? In: *Nature* 273 (1978), 336:

„Often the simplest of observations will have the most profound consequences. It has long been a cornerstone of modern science [...] that the Earth attends a modest star that shines in an undistinguished part of a run-of-the-mill galaxy. Life arose spontaneously and man evolved on this miscellaneous clump of matter and now directs his own destiny without outside help. This cosmic model is supported by the Big-Bang and Expanding Universe concepts [...] George Ellis in this article is more complex than this, but his basic thrust is **to put man back into a favored position in the cosmos**. His new theory seems **quite consistent with our astronomical observations**, even though it **clashes with the thought that we are godless and making it on our own.**“

Neueste Daten und Ergebnisse bringt Jonathan I. Katz, Professor der Physik an der Washington University, ins Spiel, wenn er die sog. **Gammablitz** oder Gammaexplosionen (siehe hierzu in Folge) als ein **Kopernikanisches Dilemma** darstellt. Vgl. Katz: *The Biggest Bangs: The Mystery of Gamma-Ray Bursts, the Most Violent Explosions in the Universe*, Oxford / New York 2002. Gammablitz oder Gammastrahlenexplosionen (engl. *Gamma Ray Bursts*, oft abgekürzt *GRB*) sind unvorstellbar große Energieausbrüche im Kosmos, verbunden mit enormen Mengen an Gammastrahlen. Sie werden etwa einmal pro Tag (in der Regel von Satelliten) beobachtet, dauern Sekunden bis maximal Minuten und setzen in wenigen Sekunden mehr Energie frei als unsere Sonne in Jahrmilliarden. Für die Dauer seines Leuchtens ist ein Gammablitz heller als alle übrigen Gammastrahlenquellen am Himmel. Als Ursache vermutet man spezielle **Supernovaexplosionen** extrem massereicher Sterne mit Schwarzen Loch (**Hypernovae**) sowie **verschmelzende Neutronensterne**. Ein Gammablitz in der Nähe unseres Sonnensystems (bis zu 3000 Lichtjahre) könnte ein Massensterben auf der Erde auslösen. Das in unserem Zusammenhang besonders Interessierende ist, dass diese **Gammaexplosionen** nahezu gleichmäßig, **isotrop über den Gesichts- oder Beobachtungsraum** verteilt sind. Nach Katz ein Kopernikanisches Dilemma. Denn, so die Zusammenfassung von M. Wyatt:

„The uniform distribution of burst arrival directions tells us that the **distribution of gamma-ray-burst sources in space is a sphere or spherical shell, with us at the center** (some other extremely contrived and implausible distributions are also possible). But Copernicus taught us that we are not in a special preferred position in the universe; Earth is not at the center of the solar system, the Sun is not at the center of the galaxy, and so forth. There is no reason to believe we are at the center of the distribution of gamma-ray bursts. If our instruments are sensitive enough to detect bursts at the edge of the spatial distribution, then they should not be isotropic on the sky, contrary to observation; if our instruments are less sensitive, then the $N \propto S^{-3/2}$ law should hold, also contrary to observation. That is the **Copernican dilemma**.

This dilemma has led science to propose that the GRBs occur billions of light years away, and are caused by stars collapsing into black holes producing astronomical amounts of energy. All because they cannot tolerate the alternative (we are in a central position).“

Das Phänomen der regelmäßigen Verteilung der Gammablitzursprünge auf einer kugelförmigen Schale um unsere Erde als Zentrum hat eine Parallele in der Verteilung der ebenfalls rotverscho-

benen **kosmologischen Hintergrundstrahlung**. Die Hintergrundstrahlung ist bekanntlich elektromagnetische Strahlung meistens im Mikrowellenbereich (aber auch im Röntgen- und Infrarotspektrum), die aus jedem Bereich des Himmels nachgewiesen werden kann und nicht konkreten einzelnen Quellen zuzuordnen ist. Nach der Standardvorstellung gilt sie als Beleg für die Urknalltheorie und stammt aus der Zeit etwa 380.000 Jahre nach dem Urknall. Die gemessenen **Extremwerte der Hintergrundstrahlung** verlaufen nun fast **senkrecht zur Ekliptik** (Bahnenebene) des Sonnensystems. Dazu liegt eine ausgeprägte **Nord-Süd-Asymmetrie** vor mit einem Maximalwert im Norden. Dies ist für die Astronomie überraschend, da die kosmische Hintergrundstrahlung unabhängig von unserem Sonnensystem bzw. unserer Galaxie sein sollte, welche nach der Standardtheorie keine bevorzugte Mittelpunktstellung im Kosmos haben. Man versucht daher, diese Verteilung auf spekulative, bisher unbekannte Kräfte oder Einflüsse zurückzuführen oder darauf, dass die Verteilung zufällig in unserem Universum stark vom statistischen Mittel abweicht, was man kosmische Varianz nennt.

THESE 3: Es gibt keine absolute physikalische Zeit. Ein weiteres vieldiskutiertes Lehrstück der speziellen Relativitätstheorie ist, dass es keine einheitliche absolute Zeit gibt: Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse z.B. gibt es nur innerhalb desselben in sich ruhenden relativen Bezugssystems und dessen Eigenzeit. Aus der Sicht eines anderen Bezugssystems, das sich relativ zu dem ersten bewegt, finden die beiden Ereignisse nicht gleichzeitig, sondern zu verschiedenen Zeiten statt. Die Zeit wird **gedehnt**: Die fünf Minuten dauernde Reise eines Raumschiff-Kommandanten an Heiligabend 2500 kann bei genügend hoher Geschwindigkeit des Raumschiffs von unserem Heimatplaneten aus gut ein Jahr dauern, bis Heiligabend 2501.

Freilich wird dieser Effekt — nach der ursprünglichen Fassung der speziellen Relativität — bei der Rückkehr zur Erde erstens wieder genau ausgeglichen, so dass der Kommandant bei der Rückkehr nicht — aufgrund der Zeitdilatation und der Verlangsamung der Lebensvorgänge — jünger ist als sein gleichaltriger zurückgebliebener Zwilling auf der Erde. Und zweitens ist der Effekt reziprok. Er gilt genau so umgekehrt, so dass man auch den vom Raumschiff aus gesehen rasend schnell in entgegengesetzte Richtung wegrasenden Erdenzwilling jung bleiben und den Astronautenzwilling altern lassen kann.

Wenn dies dennoch in dem Gedankenexperiment „Zwillingsparadoxon“ oft so dargestellt wird, dass der Kommandant bei der Rückkehr jünger ist als sein gleichaltriger zurückgebliebener Zwilling auf der Erde, dann folgt man späteren Versionen der Theorie (siehe unten). Das Zwillingsparadoxon zeigt auch die enorme Problematik von nicht durch die Realität unerbittlich und allseitig verifizierten / falsifizierten Gedankenexperimenten, weshalb sie von Experimentalphysikern stets als besonders gefährliche Verirrung abgelehnt wurden, als „the worst fault ... contrary to the scientific method which is based on conclusions drawn from the results of actual experiments“ (Essen). Denn „die Verlangsamung der Lebensvorgänge gilt Ärzten und Biologen seit jeher als ein Merkmal des Alterns“ und nicht des Erhaltens von Jugend. Und „wenn die spezielle Relativitätstheorie stimmt, muß das Blut des Menschen bei sehr hoher Geschwindigkeit in einer Rakete eine Massenzunahme erfahren, deren sofortige Folge der Tod durch Herzstillstand wäre. Weiter müßte eine Kontraktion des Körpers in Fahrtrichtung, also eine Abplattung des Körpers bis zu einem dünnen Blatt, eintreten, die letale Folgen hätte. Schon die asymmetrische Kontraktion der Gefäße würde tödliche Rupturen verursachen.“ (W. Theimer (1977 [TB 2005]) *Die Relativitätstheorie. Lehre. Wirkung. Kritik*, Bern: Francke, 163—164)

Allerdings ist es auch in der Relativitätstheorie möglich, eine absolute Zeit zu konstruieren. Man nennt diese Technik, auf die wir hier in Abschnitt 6 näher eingehen, die **Galileitransformation**. Wir werden sehen, dass es physikalische Hinweise und mathematische Modelle gibt, die dieser Sicht eine große Zukunft versprechen. Schon sehr ernstzunehmende Vordenker der Relativitätstheorie wie Hendrik Lorentz waren der Meinung, dass diese Galileitransformation grundlegend und eine Relativierung der physikalischen Zeit falsch ist.

Eine analoge Kritik formuliert der bekannteste interdisziplinäre Zeittheoretiker des 20. Jh., Henri Bergson (Nobelpreis 1927) in dem Buch *Durée et simultanéité: à propos de la théorie d'Einstein*, Paris 1992 [1. Aufl. 1922]. Bergson betont die Reziprozität des Relativitätsprinzips, wodurch alle Inertialsysteme [IS] gleichberechtigt sind. Beobachter in einem IS A machen über ein anderes IS B dieselben Feststellungen wie Beobachter im IS B über das IS A. Die behaupteten Paradoxa lassen sich auflösen und es gibt auch für Einsteins Ansatz nur eine allgemeingültige Zeit (1992, 25—26; 37—39). Bergson geht hier wie auch in seinem sonstigen Werk von der Analyse des Zeitbegriffs aus: Zeit

kann nur von einem lebenden genuine Beobachter wahrgenommen werden: „Sans une mémoire élémentaire qui relie les deux instants l'un à l'autre, il n'y aura que l'un ou l'autre des deux, un instant unique par conséquent, pas d'avant et d'après, pas de succession, pas de temps“ (S. 46). Siehe hierzu unseren Abschnitt (9). Nur die wahrgenommene Zeit ist wirklich Zeit (*temps réel*). Nicht direkt wahrgenommene oder beobachtete Zeiten sind fiktiv. Angewandt auf die üblichen zwei Systeme der Relativitätstheorie und den jeweiligen Beobachter in jedem der Systeme sowie auf die Lorentz-Transformationen zum Umrechnen der Messdaten zwischen den Systemen heißt dies: (i) Nur die von einem Beobachter wirklich gemessene Zeit ist real; (ii) alle Beobachter in ihren IS sind gleichberechtigt und messen gegenseitig dasselbe; (iii) sodass auch in der Relativitätstheorie eine allgemeingültige Zeit herrscht; (iv) während die über die Lorentz-Transformation berechneten Zeiten nur fiktive, zugeschriebene Zeiten sind (193).

Dazu kommt folgende, von Bergson auch andernorts, so 1922 in Paris in der persönlichen Diskussion mit Einstein, gerne verwendete Argumentation zur Gleichzeitigkeit. Nach Letzterem soll diese für nebeneinander befindliche Uhren oder Ereignisse absolut gelten, für voneinander entfernte Uhren oder Ereignisse jedoch nicht. Diese Unterscheidung von nahe und fern hat, so Bergson, keine wissenschaftliche Erklärungskraft („n'a pas de valeur scientifique“, 55). Denn wenn man zwischen zwei Uhren, die nach Einstein nebeneinander stehen und absolute Gleichzeitigkeit ermöglichen, eine Bakterie oder ein sonstiges einzelliges Kleinstlebewesen (Mikrobe) setzt, dann wird dieser als intelligent postulierte Einzeller beide Uhren als astronomisch weit entfernt voneinander betrachten und keine absolute Gleichzeitigkeit zugestehen: „Un microbe intelligent trouverait entre deux horloges ‚voisines‘ un intervalle énorme; et il n'accorderait pas l'existence d'une simultanéité absolue“ (55).

Auch das Zwillingsparadoxon mit dem schneller alternden zurückgebliebenen Zwilling ist kein realer Effekt, weil die volle Reziprozität des Relativitätsprinzips zwischen dem Reisenden und dem auf der Erde Zurückgebliebenen einen gleichartigen Zeitablauf voraussetzt (76—79; vgl. Anhang 1, 183—193). Die verschiedenen Zeiten der speziellen Relativitätstheorie sind fiktiv, es gibt nur eine reale Zeit. Die postulierten Auswirkungen des Zwillingsparadoxons sind ähnlich perspektivischen Veränderungen, wenn sich zwei Personen voneinander entfernen. Wer die sich entfernende Person nur noch in Zwergengröße wahrnimmt, weiß dennoch, dass die Person nicht zum Zwergen geworden ist, und dass sie nach ihrer Wiederannäherung oder Rückkehr wieder in ihrer wahren Größe erscheint.

THESE 4: Geschwindigkeitszunahme korreliert mit Längenschrumpfung, Zeitdehnung und Masse-/ Energiezunahme. Aus der speziellen Relativitätstheorie in der Interpretation Einsteins folgt ferner, dass vom Standpunkt eines externen Beobachters **Längen und Räume bei schnellen Bewegungen** eines Körpers / Bezugssystems gestaucht werden und **schrumpfen**: Die im eigenen Ruhesystem des Körpers, z.B. einer Rakete, gemessene Eigenlänge ist größer als die von außen gemessene. Je schneller die Bewegung eines Teilchens, eines Körpers oder Systems ist, desto mehr schrumpft auch umgekehrt die Welt und das Universum außerhalb des eigenen Inertialsystems und desto mehr wird die **Gegenwart gedehnt** (s.o.). Man nennt dies die Lorentzkontraktion (bei Längen) und die Zeitdilatation (bei Zeiten). Im Extremfall bedeutet dies, dass zum einen die Zeit still steht, dass es nur eine **einzige ewige Gegenwart** ohne Vergangenheit und Zukunft gibt. Und zum anderen, dass das ausgedehnte, sichtbare Universum auf die Länge Null sich zusammenzieht, d.h. der **Raum in Nichts** sich auflöst. Der nächste Abschnitt (4) erörtert, dass und warum diese metrischen Phänomene ontologisch auch anders deutbar sind und gedeutet wurden. Im Falle realer Objekte mit Lichtgeschwindigkeit und der angenommenen Ruhemasse 0 lässt sich allerdings tatsächlich vertreten, dass der Bereich der Deutung verlassen wird und wir dauernd von zahllosen Objekten umgeben sind, die — aus unserer Sicht — jenseits von Raum und Zeit als reine begrifflich-mathematische Struktur und Energie existieren — die **Photonen**, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegenden Trägerteilchen des Elektromagnetismus.

Die vielleicht berühmteste Formel im Zusammenhang der speziellen Relativitätstheorie ist ferner die **Gleichsetzung von Masse und Energie**. Die träge Masse physikalischer Körper ist, so die Theorie, nichts anderes als schlummernde umgeformte Energie: $E = mc^2$. Energie ist Masse mal Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat. Die Masse eines Körpers ist am kleinsten, wenn er in Ruhe ist (Ruhemasse). Bewegt sich der Körper, nimmt die Masse zu (dynamische Masse), und zwar umso mehr, je höher die Geschwindigkeit wird. Bei Annäherung an die Geschwindigkeits-Obergrenze, die Lichtgeschwindigkeit, geht die Masse gegen unendlich — und nicht zu vergessen: es gibt keine Zeit und keinen Raum mehr. Also: Je mehr sich ein materieller Körper von Raum und Zeit löst, sie abstreift, desto mehr Masse und Energie hat er. Die Formel in obiger, bekannter Form stammt von Max Planck 1907, wurde in der Sache aber auch in einem weiteren Aufsatz Einsteins von 1905 vertreten, ohne sie zu beweisen: „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energiegehalt abhängig?“⁴

4 Vorbereitet und diskutiert wurde die Formel bzw. der Sachverhalt aber bereits viel früher, so von dem Entdecker des Elektrons J. J. Thomson, von Wilhelm Wien, Max Abraham, Henri Poincaré und v.a. von dem Lehrer Erwin Schrödingers, Friedrich Hasenöhrl, der 1904 und 1905 ebenfalls in den *Annalen der Physik* drei bahnbrechende und hochgeschätzte Aufsätze hierzu veröf-

Freilich enthält auch die Gleichsetzung von Masse und Energie grob geschätzt zwei Drittel Deutung über einem Drittel experimenteller Datenbasis. So ist nach der klassischen elektromagnetischen Theorie die dynamische Massen- bzw. Trägheitszunahme bewegter geladener Teilchen (nur elektrisch geladene Teilchen lassen sich entsprechend beschleunigen) eine scheinbare: Sie ist ein induktiver Widerstand oder Bremseffekt aufgrund des um bewegte geladene Körper entstehenden elektromagnetischen Feldes. Die echte Masse ist nur die Ruhemasse. Die durch die kinetische Energie hinzukommende elektromagnetische Masse ist keine echte substantielle Masse, sondern ergibt sich aus o.g. Wechselwirkung. Dies ist zweifellos eine realitätsdichte alternative Deutung. Man kann durchaus das Argument vertreten: Da das elektromagnetische Induktionsmodell (i) gesicherte physikalische Gesetze zur Grundlage hat und (ii) das entgegengesetzte relativistische Modell der Massenwirkung der kinetischen Energie nicht gleichzeitig gültig sein kann, kann (iii) die kinetische Energie von Teilchen keine genuine Masse haben.

In diesem Zusammenhang erfährt auch die Ontologisierung standpunktrelativer Erscheinungen und Messungen bzw. metrischer Effekte eine besondere Zuspitzung. Nämlich durch die These Einsteins, „daß die kinetische Energie eines bewegten Körpers durch Wechsel des Bezugssystems beliebig verändert und auch zum Verschwinden gebracht werden kann. Die Energie ist nach Einstein ... von dem verwendeten Bezugssystem abhängig.“ (Theimer a.a.O. 1977, 92) In letzter Konsequenz heißt das, dass jeder Beobachter von seinem subjektiven Standort mittels Wahrnehmung und Messung der Gegenstände und Vorgänge in einem anderen Bezugssystem die dortige Realität verändern und z.B. Masse und Energie von außen definieren kann.

Im Bereich der nuklearen Masse-Energie-Prozesse bei der Kernspaltung und -fusion arbeitet man heute zwar auch mit dem Prinzip der Äquivalenz von Masse und Energie, historisch hat die Kernphysik aber nichts mit der relativistischen Physik zu tun. Das Prinzip und seine eventuelle technische Nutzung stand den Entdeckern der Kernspaltung nicht vor Augen. Die nuklearen Prozesse scheinen auch sachlich von eigenständiger Natur zu sein, insofern sie unmittelbar die Bindungskräfte von Atomen nutzen und nicht *tout court* Masse in Energie verwandeln, eine Präzisierung, die Heisenberg wichtig war. Auch lässt sich in der Realität nicht generell Energie aus Masse gewinnen, sondern naturgesetzlich nur etwa ein Tausendstel der Energie der Atommasse und das nur bei wenigen spaltbaren Atomarten. Eine pauschale Entsprechung oder Gleichsetzung aller Masse und aller Energie scheint experimentell und theoretisch nicht begründbar.

Andererseits interessierte sich auch Einstein kaum für die Atomphysik und dachte bei der Formulierung der Relativität nicht an die von seinem Mentor Mach und vielen prominenten Wissenschaftlern direkt abgelehnten Atome. Er favorisierte zäh bis zuletzt sein alternatives feldtheoretisches Modell der physikalischen Wirklichkeit.

THESE 5: Existenz einer gemeinsamen physikalischen Welt und Zeit nur im Bereich des Horizontes der Lichtgeschwindigkeit. Eine weitere Folge ist, dass die Annahme von der Lichtgeschwindigkeit als Höchstgeschwindigkeit in der physikalischen Realität dazu zwingt, die Begriffe Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft neu zu bestimmen. Eine gemeinsame Welt und Geschichte mit Vergangenheit und Zukunft gibt es nur in den Bereichen des Universums, die von der Gegenwart aus gesehen in der Reichweite der Lichtgeschwindigkeit liegen. Vergangenheit und Zukunft werden also mächtig zurückgesetzt: Sie bilden zwei **Lichtkegel** zurück in die **Vergangenheit** und nach vorne in die **Zukunft**. Nur Ereignisse in diesen Lichtkegeln stehen in einer möglichen ursächlichen und zeitlichen Verbindung zueinander.

Umgekehrt wird aber die Gegenwart aufgewertet. Sie ist nicht mehr nur ein flüchtiger Durchgang zwischen Herkunft und Zukunft, sondern umfasst den größten Teil des Raums bzw. der Realität — allerdings in den unerreichbaren Regionen des absoluten Anderswo.

(4) Zwei Versionen der speziellen Relativitätstheorie

Wir weisen in systemimmanenter Perspektive darauf hin, dass die spezielle Relativitätstheorie Einsteins in zwei Versionen vorliegt: Kern der ursprünglichen Fassung von 1905 ist die

fentlicht hatte, mit dem Titel ‚Zur Theorie der Strahlung in bewegten Körpern‘, wo er für den Bereich der Elektrodynamik die Formel $E = 3/4mc^2$ fand.

Identifizierung von Zeit mit der gemessenen Zeit, mit der Messung. Es gibt keine selbstständige, absolute physikalische Zeit außerhalb der in unterschiedlichen Bezugssystemen unterschiedlich gemessenen Zeiten, auch nicht per Konvention, Definition oder Konstruktion. Gleichzeitigkeit ist nur durch Synchronisation von Uhren per Signalübertragung fixierbar: Die Theorie der Messungen wird zu einer Theorie des subjektiv wahrgenommenen Seins oder wenn man dies so sehen will: Scheins. Die metrischen Kontraktionseffekte der **Längenschrumpfung** und **Zeitdilatation** bei annähernder Lichtgeschwindigkeit sind in gegeneinander bewegten Inertialsystemen **wechselseitig** und **symmetrisch** und ergeben sich als Messeffekte durch das jeweilige Hineinmessen in das andere Bezugssystem. Das sogenannte Uhrenparadoxon besagt dann, dass beide Uhren wechselseitig und gleichberechtigt als langsamer gehend gemessen werden. Man hat öfters darauf hingewiesen, dass dies tendenziell ein positivistischer **Phänomenalismus** im Sinne Machs ist. Einstein hat übrigens selbst betont, dass ihn Ernst Machs Philosophie am frühesten und stärksten beeindruckt und geprägt hat. Zu Machs Phänomenalismus hat man korrekterweise angemerkt, sie sei Berkeleys idealistisch-sensualistische Philosophie ohne Gott, also ohne deren metaphysischen Hintergrund. Leitmotiv von Berkeleys und mittelbar Machs und Einsteins Philosophie ist somit *Esse est percipi* – Sein ist nur und genau Wahrgenommensein. Es ist verwunderlich, dass Einstein sich selbst dennoch als strengen Realisten betrachtete und ihn Bohrs und Heisenbergs quantentheoretische Sicht, dass eine vom Beobachter unabhängige Außenwelt nicht existiere, befremdete. Sein alter Freund Born hielt ihm entgegen, dass die Quantentheorie sich mehr an seine ursprünglichen Ansichten halte als er selbst in seinen späteren Theorien.

Kern der zweiten, bald nach 1905 vorgetragenen Fassung der speziellen Relativität ist eine Ontologisierung der Metrik. Dies nicht im Sinn der ersten Version, wonach die Messung oder Beschreibung die einzige Wirklichkeit ist, sondern in dem Sinn, dass es nunmehr eine ausgezeichnete und reale physikalische Zeit gibt, die nicht nur Produkt einer Messung ist. Für das Uhrenparadoxon bedeutet dies, dass nicht mehr beide Uhren wechselseitig und gleichberechtigt als langsamer gemessen werden, wenn sich Inertialsysteme (= gleichförmig und geradlinig bewegte Bezugssysteme) mit extremer Geschwindigkeit gegeneinander bewegen. Jetzt geht, so Einstein, bei der Messung in Bewegung eine Uhr real nach, die andere geht nur scheinbar nach. Und beim Wiederzusammentreffen der beiden Systeme am Ausgangspunkt und in Ruhestellung verbleibt die eine Uhr verlangsamt. Ihre Zeiger bleiben unabhängig von der Messung verstellt. Das Nachgehen der Uhr in dem einen Bezugssystem ergibt sich nicht durch Hinübermessen, sondern autonom und real. **Die Eigenzeit des einen Bezugssystems S übernimmt die Funktion der traditionellen absoluten Zeit.**

Wissenschaftshistorisch ist dies das Aufgreifen von Poincarés Unterscheidung wirklicher und fiktiver Zeit bei geschwindigkeitsbedingten relativistischen Effekten.⁵ Und es ist — im Blick auf die Zeitdehnung und Zeitmaßstäbe — auch *grosso modo* ein Rückgriff auf Lorentzens Deutung relativistischer Effekte als physikalisch reale Phänomene — bei Lorentz allerdings nur im Blick auf die Längenkontraktion und auf materielle Objekte.⁶ Und was für Lorentz gar nicht geht, ist die Veränderung normativer Maßstäbe durch Bewegungen empirischer Objekte. Der Wissenschaftstheoretiker Peter Janich (siehe nächster Abschnitt) gibt ihm Recht: Hier liegt eine Verwechslung *deskriptiver* inhaltlicher Aussagen und *normativer*, metasprachlicher (pragmatischer, operationaler, handlungstheoretischer) Wahrheitskriterien von Aussagen vor. Die Letzteren dienen nur und genau dazu, deskriptive Erkenntnisse von deskriptiven Nichterkenntnissen zu unterscheiden. Solche **normativen Geltungskriterien** und Maßstäbe sind vorgängig zu empirischen, **deskriptiven Behauptungen** und **methodisch von diesen unabhängig**.

Auch und besonders systemimmanent ergibt sich damit natürlich ein **Widerspruch zu den ursprünglichen Prinzipien der speziellen Relativität**, wonach (i) Wechselseitigkeit und Sym-

5 Poincaré betrachtete die Probleme in der Elektrodynamik als ein Beobachterproblem, aber „als ob“-Effekt, sodass die Längenkontraktion und Zeitdilatation bloß eine unwirkliche, mathematische Spielerei ohne physikalische Bedeutung waren.

6 Lorentz hielt die Längenkontraktion für eine wirkliche Erscheinung, die auf molekularer, atomarer Ebene und durch die Bewegung im Äther, entstehen könnte. Lorentz selbst bestritt jedoch wie Essen auch hier Einsteins Interpretation, die nicht nur ein Schrumpfen der Gegenstände bzw. eine Dehnung der Vorgänge postulierte, sondern ein Schrumpfen / Dehnung der Maßstäbe. Die Lorentzkontraktion wird von Lorentz selbst lediglich als Kontraktion der Gegenstände betrachtet und nicht als Kontraktion der geometrischen Maßstäbe; auch die Zeitdilatation ist — so derselbe — nur eine Prozessdilatation und verändert nicht den Zeitbegriff. Diese Kritik wurde im späten 20. Jh. im Erlanger und Konstanzer Konstruktivismus aufgegriffen und wird heute systematisch in der Protophysik und im Methodischen Kulturalismus evaluiert (siehe in Folge).

metrie die Grundpfeiler relativistischer Messung sind und (ii) die Verlangsamung der Zeit auf dem Hinweg bei der Rückkehr zum Ausgangspunkt durch eine Beschleunigung der Zeit exakt kompensiert wird. Ein weiterer Widerspruch ist, dass (iii) beide Systeme zwar jeweils den Lorentzgleichungen, dem mathematischen Herzstück der Theorie, gehorchen, aber nicht mehr wie ursprünglich über die Lorentz-Transformation korreliert sind. Die kritische Fachdiskussion hierzu fasst folgender Text zusammen:

„Die Situation entspricht nicht mehr der Relativitätstheorie [...] Einstein stößt mit der einseitigen Ontologisierung sein eigenes System um. Er scheint es nicht zu bemerken. Er bemerkte auch nicht, dass mit der neuen Annahme das ‚Uhrenparadoxon‘ der ursprünglichen Theorie verschwunden war. Denn das Paradoxon bestand ja nicht darin, dass die eine Uhr nachging, sondern dass beide Uhren gleichzeitig nachzugehen schienen. Unbemerkt blieb auch, dass mit der Ontologisierung die Messung und die Wirklichkeit wieder zweierlei wurden, womit ein weiterer Grundpfeiler der Relativitätstheorie fiel [...] Ein weiterer Widerspruch ergibt sich daraus, dass nach der ursprünglichen Relativitätstheorie die Beobachter in beiden Systemen ihre Messungen mit gleichgehenden, synchronisierten Uhren vorzunehmen haben. Wenn die Uhr in dem einen System automatisch effektiv nachgeht, ist dies nicht möglich [...] Die Ontologisierung verändert die Relativitätstheorie grundlegend. **Es handelt sich jetzt um eine neue Theorie**“ (W. Theimer (1977 [TB 2005]) *Die Relativitätstheorie. Lehre. Wirkung. Kritik*, Bern: Francke, 56—57)

(5) Wissenschaftstheorie physikalischer Messung

Zur Wissenschaftstheorie der Physik im Allgemeinen und der Messung von Raum und Zeit im Besonderen ist über das Gesagte hinaus Folgendes anzumerken: Metrische Ordnung / Metrisierung / Messung von räumlichen, zeitlichen und stofflichen Größen geschieht ursprünglich weder induktiv-empiristisch noch axiomatisch-deduktiv, sondern operativ (poietisch, konstruktiv) und ist eine Kulturleistung: **Protophysik**. Die Protophysik ist Teil des von Peter Janich [1942—2016] aus dem Erlanger Konstruktivismus weiterentwickelten Forschungsprogramms des Methodischen Kulturalismus, der Prototheorien aller Naturwissenschaften zum Gegenstand hat. Diese beschreiben deren tatsächliche, effektive Methode und zielen auf rationale Kontrolle der Grundbegriffe und Theorien ausgehend vom vorwissenschaftlichen bzw. technischen Handeln und Erkennen. Es handelt sich um den gegenwärtig innovativsten und einflussreichsten Ansatz der Wissenschaftstheorie. Das protophysikalische Grundlegungsprogramm betrifft durchaus auch die Voraussetzungen und die Reichweite der Relativitätstheorie. Vgl. Janich, P. (1997) *Das Maß der Dinge. Protophysik von Raum, Zeit und Materie*, Frankfurt a. M.:

„Die **Relativitätstheorie** [ist] trotz ihres Anspruches, die begrifflichen Grundlagen der Physik zu revidieren, selbst **ebenso unbegründet wie die klassische Physik** [...] Nimmt man die Explikation der methodologischen Prinzipien einer experimentell forschenden Physik hinzu, so sind (1) die **mit und nach der Relativitätstheorie aufgetretenen Gesamtheorien lückenhaft oder widerspruchsvoll**, und (2) nur die Berücksichtigung der außersprachlichen, technischen Praxis der Messungs- und Experimentenmöglichkeit mit ihren immanenten Zwängen, wonach nur bestimmte Reihenfolgen von Maßnahmen Erfolg haben, kann einen vollständigen und zirkelfreien Aufbau der Physik leisten [...] Die Frage, welche der historischen Physiker methodisch begründbar ist, diejenige Newtons oder diejenige Einsteins, ist weiterhin offen. **Erst ein expliziter Aufbau methodisch geordneter Prototheorien erlaubt eine Beurteilung.**“ (1997, 218)

Der moderne **relativistische Geschwindigkeitsbegriff** ist trotz operativer praktikabler Absicht **nicht operativ begründbar**: „Der vermeintlich unproblematische Geschwindigkeitsbegriff erweist sich dann als höchst problematisch, wenn im Hinblick auf die Physik die Erde als räumliches und zeitliches Bezugssystem aufgegeben und eine universell anwendbare operative Definition der Geschwindigkeit gesucht wird. Weder das Problem der ungestörten bewegten Uhren, noch das Problem der Synchronisation entfernter, zueinander ruhender Uhren ist methodisch bewältigt.“ (1997, 235—236)

(6) Klassische Reformulierung der Relativität

Es wurde in Abschnitt (3) gesagt, dass es auch in der Relativitätstheorie möglich ist, eine absolute Zeit zu konstruieren. Man nennt diese Technik, auf die wir jetzt näher eingehen, die **Galileitransformation**. Der Vordenker der Relativitätstheorie Hendrik Lorentz war sogar der Meinung, dass diese Galileitransformation grundlegend ist und Einsteins Relativierung der Zeit auch von daher abzulehnen sei. Dies wiegt umso schwerer als nach Einsteins eigener Aussage

die von diesem Physiker entwickelten Lorentzgleichungen oder die Lorentztransformation das Herzstück der speziellen Relativitätstheorie sind. Lorentz (Nobelpreis für Physik 1902) ist tatsächlich nicht nur der führende theoretische Physiker seiner Ära, sondern hat, wie eingangs erwähnt, im konkreten Fall die mathematischen Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie erarbeitet. Lorentz formulierte seine diesbezügliche Position auch in Wort und Schrift, in den sog. Göttinger Vorträgen von 1910 und den Haarlemer Vorlesungen von 1914 (ersch. unter dem Titel: *Das Relativitätsprinzip. Drei Vorlesungen gehalten in Teylers Stiftung zu Haarlem*, Leipzig / Berlin 1914). Lorentz sieht in der Einstein'schen Interpretation unauflösbare Widersprüche und fordert die Aufgabe der Relativierung der Gleichzeitigkeit, da unabhängig von Messprozeduren eine absolute Gleichzeitigkeit existiere. Es geht hier um eine rein sachliche Diskussion, da auf der persönlichen Ebene Lorentz und Einstein befreundet waren und sich auch fachlich sehr schätzten. Auf der schon erwähnten Konferenz zum Michelson-Morley-Versuch am Mount-Wilson-Observatorium 1927 sagte Lorentz das Folgende zum Parameter Zeit in seinen Transformationen (Anlass der Konferenz war überhaupt die gleichzeitige Anwesenheit von A. A. Michelson und H. A. Lorentz in Pasadena):

„A transformation of the time was also necessary. So I introduced the conception of a local time which is different for different systems of reference which are in motion relative to each other. **But I never thought that this had anything to do with the real time.** This real time for me was still represented by the old classical notion of an absolute time, which is independent of any reference to special frames of co-ordinates. There existed for me only this one true time. I considered my time transformation only as a heuristic working hypothesis.“ (Conference on the Michelson-Morley Experiment: held at Mount Wilson Observatory, Pasadena, California, Feb. 4 and 5, 1927. In: *Astrophysical Journal* 68 (1928) 345—351)

Lorentzens Theorie war bzw. ist in allen Belangen experimentell äquivalent zur Relativitätstheorie. Das heißt, man konnte beim damaligen Stand der Dinge empirisch, experimentell keine von beiden definitiv beweisen oder widerlegen. Lorentz räumte auch ein, dass Einsteins Relativitätsprinzip eine weitgehende theoretische Vereinheitlichung darstelle, während er dieselben Ergebnisse nur durch anspruchsvolle Ableitungen aus der Theorie des Elektromagnetismus erzielte. Dies veranschlagte er als geringer gegenüber der Infragestellung eines absoluten Äthers und einer absoluten Gleichzeitigkeit, zumal auch er im Postulat der Lichtkonstanz eine zu große dezisionistische Willkür erblickte, welche das Feld der freien Forschung zu sehr einengte.

Ein annexer Gesichtspunkt ist dieser: Nach Klaus Reichenbach, der im Berlin der 20er Jahre des 20. Jh. in Zusammenarbeit mit Albert Einstein die Raum-Zeit-Lehre der relativistischen Physik erkenntnistheoretisch und physikalisch ausgewertet hat, hat die spezielle Relativitätstheorie u.a. auch dies zur Folge, dass die **Geometrie des Raumes frei wählbar** ist. Seine mathematische Beschreibung kann in der klassischen, konkreten euklidischen Geometrie genauso gut wie in einer abstrakten nichteuklidischen Geometrie erfolgen. Die Entscheidung für die konkrete euklidische Geometrie unserer Lebenswelt hat sogar einen speziellen Vorteil. Sie bringt zum Ausdruck, dass die geometrische Ausdehnung der Wahrnehmung und die normale euklidische Geometrie erkenntnistheoretisch auch für die spezielle Relativitätstheorie eine fundamentale, unersetzliche Rolle spielen. Man muss dann nur festlegen, wie dieser menschliche Anschauungsraum mit der abstrakten Geometrie der relativistischen Raumzeit verknüpft ist. Denselben Standpunkt vertritt in der gegenwärtigen Diskussion P. Mittelstaedt / I. Strohmeier: Die kosmologischen Antinomien in der Kritik der reinen Vernunft und die moderne physikalische Kosmologie. In: *Kant-Studien* 81 (1990), 145—169, v.a. 162—165.

Inzwischen gibt es ein ernstzunehmendes datenbasiertes Forschungsprogramm zur Reformulierung der Relativität im Rahmen der klassischen Physik. Maßgeblich für die physikalische und mathematische Evaluation der entsprechenden Beobachtungsdaten ist Edward Jr. Henry Dowdye, ein renommierter Astrophysiker mit jahrzehntelanger experimenteller Expertise am NASA Goddard Space Flight Center, dem bedeutendsten Weltraum-Forschungszentrum der Welt. Im Fokus von Dowdyes Kompetenz stand die satellitengestützte, terrestrische und extraterrestrische Untersuchung, Messung und technische Nutzung der Wechselwirkung von Materie und Laserstrahlung.

Dowdye, der u.a. einen Abschluss in Atomphysik der Universität Heidelberg besitzt, hat darüber hinaus in Zusammenarbeit mit der mathematisch-naturwissenschaftlichen Spitzuniversität Deutschlands, dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), eine alternative Theorie

für die Beobachtungsdaten entwickelt, welche nach dem Urteil amerikanischer und internationaler Fachkollegen der allgemeinen und auch speziellen Relativitätstheorie mathematisch und denkökonomisch überlegen ist. Mathematiker und Physiker der Universität Karlsruhe haben am Institut für angewandte Mathematik 2003 dieses neue Paradigma mit dem Autor diskutiert, seine „[Homepage](#) und Bücher studiert“ und „dazu auch einen *workshop* veranstaltet, um im Kreis erfahrener Physiker die Ausführungen von Herrn Dowdye zu püfen“ mit „folgendem Gesamtergebnis“:

„Die mathematischen Formeln der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) sind durch die Arbeiten von Herrn Dowdye regelrecht mathematisch und physikalisch auf völlig unabhängigen Wegen und sogar auf der elementaren Basis der Euklidischen Geometrie und der Galileischen Raum-Zeit-Invarianz bewiesen worden. Das ist eine geniale nobelpreisverdächtige Leistung, denn damit ist ein (von Einstein so sehnlich gesuchter) Zugang zur **Erklärung der ‚relativistischen Effekte‘** allein nur mit den Mitteln der **Galileischen Raum-Zeit-Physik** und des **Heuygen’schen Wellenprinzips** gelungen.

Im ersten Eindruck wird man versucht sein anzunehmen, daß das doch damit zu einem Widerspruch zur SRT führen müßte. Doch das genial Elegante an diesem Dowdye’schen Weg ist, daß er die mathematischen Aussagen der SRT voll und ganz bestätigt, zugleich aber zeigt, daß die bisherigen physikalischen Interpretationen unnötig kompliziert und eigentlich wirklichkeitsfremd waren. Die Beweisgänge von Dowdye zeigen, daß die **relativistischen Effekte durch bekannte Welleneigenschaften in galileischen Koordinaten wirklichkeitsnah erklärt und beschrieben** werden können, was dann zu denselben Formeln der SRT führt. Man kann es auch so sagen: Die SRT gilt, wurde aber unter nicht zulässigen physikalischen Annahmen hergeleitet, dagegen gibt es eine physikalische Herleitung, die dann allerdings die **Galileische Welt im Euklidischen Raum** zugrundelegen muß.“ (Universität Karlsruhe, Institut für angewandte Mathematik, Prof. Dr. E. Kaucher, 15.05.2003)

Die Experten für angewandte Mathematik des Karlsruher Instituts für Technologie haben diese Evaluation während zwei Jahren 2007 und 2008 auf Postgraduiertenebene institutionalisiert und vertieft und das Vorwort zu Dowdyes Hauptwerk *Discourses and Mathematical Illustrations pertaining to the Extinction Shift Principle under the Electrodynamics of Galilean Transformations*, kurz: *Extinction Shift Principle* (2012) beigesteuert:

„Herr Dowdye leistet eine Pionierarbeit, die eine weitere Revolution [in der physikalischen Sicht der Natur] entweder bereits ausgelöst hat oder zumindest bald auslösen wird. Je früher diese **neue und elegante Sicht der Natur des Lichtes, der elektromagnetischen Wellen und der Gravitation** sich etabliert haben wird, desto früher kann das astrophysikalische Weltbild aber auch die Atomforschung wesentlich korrigiert und jeweils technisch verbessert werden [...]

Einstein würde entzückt sein, wenn er die von Dowdye entwickelte **enorm vereinfachte und euklidisch-galileisch mathematisch mögliche Beschreibung aller** (ausnahmslos aller) **Aussagen und Formeln der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie** lesen würde [...] Eine Einstein zufriedenstellende Beschreibung der Phänomene war damals noch nicht sichtbar, z.B. in Form einer klassischen Verbindung von Raum und Zeit. Streng genommen war die vierdimensionale Raum-Zeit-Ereigniswelt ein mathematischer Kunstgriff, um die Paradoxie der Konstanz der (effektiven) Lichtgeschwindigkeit beschreiben zu können. Es ist und wäre aber widersinnig und gegen Einsteins Intentionen, diese mathematische Beschreibung als naturnahe Beschreibung anzusehen.“ (Dr. Edgar Kaucher, Institut für angewandte Mathematik, Technische Universität Karlsruhe)

(7) Räumliche Ausdehnung ist eine emergente Eigenschaft makroskopischer Objekte ab dem atomaren Niveau

Mit den folgenden Abschnitten (7) bis (9) verlassen wir die Relativitätstheorie und wenden uns einigen weiteren, philosophisch relevanten Gesichtspunkten der Physik von Raum und Zeit zu. Ein erster Gesichtspunkt ist dieser: Beim Vordringen in immer elementarere Bereiche der Realität verschwindet die räumliche Ausdehnung. Bestimmte räumliche Ausdehnung und räumliche Zusammensetzung gilt daher heute in der Physik als Eigenschaft, die nur makroskopischen Objekten bis zur molekularen und atomaren Ebene zukommt. Auf noch grundlegenden Stufen gibt es nur noch dynamische, durch Kräfte verursachte Zusammensetzungen. Räumlichkeit ist also eine sog. emergente Eigenschaft, die erst ab einer gewissen Komplexität „auftaucht“ [emergent (lat.) = auftauchend].

(8) Zwei Theorien zum Verhältnis von Raum und Geometrie

Die zwei Theorien sind (I) Physikalischer **Primat des (Quanten-)Kraftfeldes** vor dem Raum (= leere Arena): Der Raum *qua* Raum hat keine innere geometrische Struktur (Reichenbach, Grünbaum, Salmon, Wheeler, Auyang) *versus* (II) **Substantielle Raumtheorie**: Raum-Zeit-Geometrie als ‚magisches‘ Baumaterial des Kosmos (der späte Einstein, Michael Friedman). Siehe dazu auch die Diskussion bzw. das Skript zur allgemeinen Relativitätstheorie.

Reichenbach und seine späteren Schüler in den USA nahmen m.a.W. an, dass erstens der Raum selbst an sich keine innere geometrische Struktur besitzt. Eine solche Struktur oder Geometrie besitzt er nur in Beziehung auf „von außen“ ausgelegte Maßstäbe, Eichungen oder Messvorschriften. Zweitens nehmen sie an, dass das vierdimensionale Raum-Zeit-Kontinuum auch nach einer solchen Eichung nur die Geometrie des leeren, bei Anwesenheit von Materie gekrümmten Raumes ist, also eine **leere Arena** für energetische Kraftfelder und materielle Teilchen. Die Arena des Universums ist demnach also ein **materiefreies Raum-Zeit-Kontinuum** von nur virtuellen Teilchen und virtuellen Energien. Man nennt diesen Urgrund auch das quantentheoretische Vakuum. Verdichtungen und Ausfüllungen mit aktueller Materie, echten Kraftfeldern und reeller Energie erfolgt aus sogenannten Fluktuationen, also Störungen und Wirbeln des quantentheoretischen Vakuums in Gebieten starker Raumkrümmung, wodurch der Kosmos entsteht (vgl. auch hierzu P. Mittelstaedt / I. Strohmeyer.: Die kosmologischen Antinomien in der Kritik der reinen Vernunft und die moderne physikalische Kosmologie. In: *Kant-Studien* 81 (1990), 145—169).

Der entgegengesetzte Standpunkt wird freilich auch vertreten. Nach diesem ist die Raumzeit und ihre Geometrie das magische Baumaterial für alles, für die gesamte Wirklichkeit. Diese Idee spielt eine große Rolle in der Supersymmetrie und den Großen Vereinheitlichten Theorien. Aber auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie und in der Einheitlichen Feldtheorie des späten Einstein, der kein Erfolg beschieden war. In Ersterer wird mit dem Kraftfeld als absolutem, Raum und Zeit formendem Bezugssystem und/oder der ontologisierten Raumzeit als deren Produkt ein Raum-Äther in veränderter Form, als Weltstoff, wieder eingeführt: „Soviel physikalische Gegenständlichkeit haben Raum und Zeit nie zuvor besessen. Sie üben Wirkungen aus und erleiden Wirkungen; sie reagieren mit der Umgebung.“ (Theimer a.a.O. 1977, 140) In Letzterer sollte auch das elektromagnetische Feld und die Elementarteilchen, also die quantenphysikalische atomistische Struktur der Materie und Energie, aus der Weltgeometrie hergeleitet werden: Es ist „der Versuch, eine Welt zu konstruieren, in der alle Naturgesetze einfach aus der Geometrie folgen [...] Das Feld wird zum Zentralbegriff der Physik. Die Körper sind nichts anderes als besonders starke Felder. Materie ist nur verdichteter Raum ... und leerer Raum ist hochverdünnte Materie [...] Die Raumzeit ... ist Feld.“ (ebd. 136-137)

Man sieht daran, dass sich die beiden in Rede stehenden Theorien bei Einstein und in vielen sonstigen Ansätzen und Beiträgen überschneiden und sogar verschmelzen. Aufschlussreich hierfür ist die wissenschaftsphilosophische Bewertung der aktuellen experimentellen Datenbasis und binnenphysikalischen Theoriebildung in dieser Frage seitens des Experten Nr. 1 Herwig Schopper, 1973—1980 Vorsitzender des Direktoriums des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY, die weltweit wegweisende und ursprünglich größte Anlage zur Teilchenbeschleunigung. Von 1980—2000 war Schopper sodann Generaldirektor der *Europäischen Organisation für Kernforschung* (CERN) in Genf, dem weltgrößten Forschungszentrum auf dem Gebiet der Teilchenphysik, und verantwortlich für Konstruktion und Operation des Large Electron-Positron Collider (Großer Elektron-Positron Speicherring, LEP). LEP ist die ausgedehnteste und aufwändigste je gebaute Großforschungsanlage zur experimentellen Untersuchung der Bausteine der Materie oder Elementarteilchen; seit 1999 dient sie als Large Hadron Collider (Großer Hadron-Speicherring, LHC).⁷ Schopper:

„Wir glauben heute, daß wir ein noch tieferes Prinzip als die Kräfte haben: Das sind Symmetrien, Symmetrien unserer Raum- und Zeitstruktur. Letzten Endes sollen es also die Eigenschaften von Raum und Zeit sein, die die Eigenschaften der Kräfte bestimmen, und weiterführend bestimmen dann die Kräfte die Eigenschaften der Elementarteilchen [...] Wenn Sie aber fragen, was letztlich das **Wesen der Materie** ist, dann muß ich ant-

⁷ Vgl. Schopper, H. (2009) *LEP — The Lord of the Collider Rings at CERN 1980—2000. The Making, Operation and Legacy of the World's Largest Scientific Instrument*, Berlin / Heidelberg / New York.

worten, daß es keine letzten harten Bausteine gibt, sondern daß sich alles auflöst in **ideale Begriffe wie Symmetrien**.“ (H. Schopper: Was heißt Materie? Beiträge der Elementarteilchenphysik zum Weltverständnis. In: Thomas, H. (Hrsg.): *Naturherrschaft. Wie Mensch und Welt sich in der Wissenschaft begegnen*, Herford 1991, 21–22).

Symmetrien sind Ordnungsprinzipien, die auf Raum und Zeit oder das physikalische Raumzeit-Kontinuum angewandt werden. Physiker stellen sich Letzteres als erfüllt von dem undifferenzierten, chaotischen Prozess eines n-dimensionalen Vakuumschaums vor, der die physikalischen Kraftfelder bestimmt, welche Zustände des Vakuums sind. Dabei fließen immer wieder die Begriffe bzw. Sachverhalte Struktur des Vakuums und Struktur von Raum und Zeit ineinander:

„Das Vakuum in der Physik ist nach der Quantenmechanik ... erfüllt von sehr vielen Phänomenen [...] Die **Struktur von Raum und Zeit** ist in der Quantenmechanik nichts Leeres, sondern hat sehr viele Eigenschaften. Die **Struktur des Vakuums** ist einer der Träger für die Vereinigung der Kräfte.“ (Schopper: Was heißt Materie?, a.a.O. 47)

Wir merken abschließend hier an, dass die auch in den allgemeinen Sprachgebrauch übergegangene Rede von der Raumzeit alles andere als unproblematisch ist: Es ist strittig, ob die Dimensionen des Raumes und die Zeitdimension gleich behandelt werden können und kommensurabel sind. Viele Kritikpunkte fasst Peter Rohs zusammen: *Feld—Zeit—Ich: Entwurf einer feldtheoretischen Transzendentalphilosophie*, Frankfurt a. M. 1996.

(9) Subjektive Erlebniszeit [= Erlebte Dauer] als biologische Anschauungsform [= intuitives Zeitschema] und begriffliche Idee [= kognitive Synthesis] ist Fundament der modalen Zeitordnung [Zeitfluss: Vergangenheit – Gegenwart – Zukunft], und hat Priorität vor der physikalischen relationalen [topologischen] und metrischen Zeitordnung

Die These findet sich in unterschiedlicher Ausprägung und Akzeptanz bei Kant, Mach, Bergson, Husserl, Max von Laue, Reichenbach, Grünbaum, Bieri, C. F. von Weizsäcker, Rohs, Auyang. Wir haben uns bisher v.a. um eine Aufhellung des Raumbegriffs bemüht. Es ist nunmehr auch der physikalische Zeitbegriff näher zu untersuchen. Traditionell sah man in der neuzeitlichen Physik (z.B. I. Newton) die objektive mathematisch-physikalische Zeit als grundlegend an, also die äußere Zeit, die durch Uhren gemessen und definiert werden kann. Und zwar gilt dies sowohl für die Zeitordnung, d.h. die Ordnung der Ereignisse nach früher und später (= zeitliche **Topologie**), als auch für die Zeitmessung (= zeitliche **Metrik**).

Es gab aber in der Physik wie in der Philosophie gleichzeitig stets eine starke Gegenposition, die die subjektive Zeit, das Zeiterleben als **erlebte Dauer** für grundlegend betrachtete. Für diese Gegenposition stehen in unterschiedlicher Ausprägung und Akzeptanz die z.T. schon genannten Namen George Berkeley, Immanuel Kant, Henri Bergson, Edmund Husserl, Martin Heidegger, Albert Einstein, Hans Reichenbach und ganz besonders Ernst Mach. Der objektive Zeitbegriff kann zumindest nicht alleine das leisten, was man in der klassischen Physik von ihm erwartet hatte. Eine aktuelle Diskussion hierzu hat auch Stephen Hawking: *Eine kurze Geschichte der Zeit*, Reinbek bei Hamburg 1997, 51, 177 u.ö.

Die Analyse des Zeitbegriffs erfordert einen kombinierten Ansatz, der die **subjektive Erlebniszeit** = die erlebte Dauer und Beharrlichkeit, als Fundament bzw. als „Flussbett“ der Zeit zugrunde legt. Durch dieses Bett kann dann der Fluss der Zeit strömen und kann sich die Zeitordnung entrollen: Vorzeitigkeit – Gleichzeitigkeit – Nachzeitigkeit. Diese vorempirische (apriorische) Erlebniszeit ist in der gegenwärtigen Sicht der Kognitionspsychologie, Kognitionswissenschaft und Philosophie ihrerseits teils biologisch gegebene mentale **Anschauungsform**, wie sie von Kant genannt wird. Zum anderen ist sie eine Konstruktion des Geistes. Kant nennt dies die **formale Anschauung**. Diese apriorische subjektive Erlebniszeit begründet die objektive Zeit und geht der konkreten Zeitwahrnehmung logisch voraus – als **begriffliche Idee** und zugleich als **intuitives Schema**. Die apriorische subjektive Erlebniszeit ist eine die Erfahrung von Zeit ermöglichende und regulierende Vorbedingung. Sie ist also weder zu verwechseln mit der konkreten, individuellen Zeitwahrnehmung noch mit einer einheitlichen absoluten Realität, die für sich existiert. Was übrigens die Zeitrechnung (Zeitmetrik) angeht, so kann diese **unmittelbar** zeitlich durch einen regelmäßig sich wiederholenden Vorgang erfolgen (z.B. ein Pendel) oder

mittelbar und räumlich durch einen monotonen, geradlinigen Vorgang, dessen Weglänge als Zeitmaß dient (z.B. das Lichtjahr).

Weiterführende Literatur zur speziellen Relativität und zur Physik von Raum und Zeit: Grehn, J. et al (Hrsg.) (1992 [2015]) *Metzler Physik*, 2. Aufl. Hannover, Kap. 8; Poincaré, H. (1902) *La science et l'hypothèse*, Paris [dt.: *Wissenschaft und Hypothese*, Berlin 1928]; Dingler, H. (1919) *Die Grundlagen der Physik: synthetische Prinzipien der mathematischen Naturphilosophie*, Berlin / Leipzig; Dingler, H. (1921) *Physik und Hypothese: Versuch einer induktiven Wissenschaftslehre nebst einer kritischen Analyse der Fundamente der Relativitätstheorie*, Berlin / Leipzig; Carnap, R. (1922) *Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre*, Berlin; Bergson, H. (1922) *Durée et simultanéité: à propos de la théorie d'Einstein*, Paris; Reichenbach, H. (1928) *Die Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, Berlin; Einstein, A. / Infeld, L. (1938) *The Evolution of Physics*, Cambridge [dt.: *Die Evolution der Physik*, Reinbek bei Hamburg 1995]; Grünbaum, A. (1963) *Philosophical Problems of Space and Time*, New York; Essen, L. (1971) *The Special Theory of Relativity: A Critical Analysis*, Oxford; Werkmeister, W. H. (1975) Kant's Philosophy and Modern Science. In: *Kant-Studien* 66, 35—57; Salmon, W. C. (1977) Hans Reichenbachs Leben und die Tragweite seiner Philosophie. In: Reichenbach, H. *Gesammelte Werke* I, Braunschweig/Wiesbaden, 1—33; Strohmeyer, I. (1977) *Transzendentalphilosophische und physikalische Raum-Zeit-Lehre*, Köln; Theimer, W. (1977 [TB 2005]) *Die Relativitätstheorie. Lehre. Wirkung. Kritik*, Bern; Düsing, K. (1980) Objektive und subjektive Zeit. Untersuchungen zu Kants Zeittheorie und zu ihrer modernen kritischen Rezeption. In: *Kant-Studien* 71, 1—34; Tetens, H. (1982) Relativistische Dynamik ohne Relativitätsprinzip. In: *Philosophia naturalis* 19, 519—529; Friedman, M. (1983) *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*, Princeton; Janich (1985) *Protophysics of Time*, Dordrecht / Boston / Lancaster; Janich, P. (1989) *Euklids Erbe. Ist der Raum dreidimensional?*, München; Janich, P. (1997) *Das Maß der Dinge. Protophysik von Raum, Zeit und Materie*, Frankfurt/ M.; Hawking, S. W. (1997) *Eine kurze Geschichte der Zeit. Die Suche nach der Weltformel*, Reinbek bei Hamburg; Zeyer, K. (1999) *Die methodische Philosophie Hugo Dinglers und der transzendente Idealismus Immanuel Kants*, Hildesheim / New York; Born, M. (2003) *Die Relativitätstheorie Einsteins*, 7. Aufl. Berlin/Heidelberg/Oxford [1920]; Carrier, M. (2009) *Raum-Zeit*, Berlin/New York; Elsfeld, M. (2011) *Einführung in die Naturphilosophie*, 2. Aufl. Darmstadt, Kap. 4, 30—46; Dwyer, E. H. (2012) *Discourses and Mathematical Illustrations pertaining to the Extinction Shift Principle under the Electrodynamics of Galilean Transformations*, 3. Aufl. Greenbelt, MD.