

Äther und Relativitätstheorie

Ein Rückblick nach hundert Jahren*

Albert Einsteins 1920 gehaltene Rede[†]
formal bearbeitet und kommentiert
von Gerhard Zwiauer

1 Vorbemerkungen

Bedeutung:

Die oft zitierte Rede **Äther und Relativitätstheorie**,¹ die Einstein schon bald nach der Veröffentlichung (1916) seiner allgemeinen Relativitätstheorie an der Universität Leiden hielt, fasst zwei Themenkreise in hervorragender Weise zusammen:

(a) Einsteins Sicht bezüglich der seit Newton schwellenden Ätherproblematik, und

(b) Einsteins Motivation, diesen – aus vielerlei physikalischen Gründen – *unannehmbare* Zustand radikal und endgültig zu überwinden.

Bearbeitung:

Einsteins eigene Worte wurden *in keiner Weise* irgendwie verändert.

Hinzugefügt wurden jedoch: Hervorhebungen durch Fettdruck, Abstände, Fussnoten (v.a. Literaturhinweise), Randmarkierungen (z.B. **S1N1**, usw.), sehr kleine Einfügungen (stets mittels eckiger [Klammern] gekennzeichnet), strukturierende Absätze, usw.

Zweck der verschiedenen Hervorhebungen ist einzig: die Ermöglichung möglichst einfacher bzw. „benutzerfreundlicher“ Bezugnahme auf gewisse Textstellen.

Kommentar:

Anschliessend – **ab Seite 6** – wird der Zustand der modernen Physik *betreffend* des Themas Äther und Relativität *rund 100 Jahre nach Einführung der ART* skizziert, v.a. unter Bezug auf die Ansichten der beiden derzeit in den USA lehrende Physik-Nobelpreisträger **Robert Laughlin** (1997) und **Frank Wilczek** (2004).

cc-Copyright: nd Dies bedeutet u.a.: *Verbreitung ist erwünscht* (z.B. im Internet), *jede Veränderung* ist jedoch untersagt.

2 Einsteins Antrittsrede

Meine Herren Kuratoren, Professoren, Doktoren und Studenten dieser Universität! Sie alle ferner, meine Damen und Herren, welche diese Feier durch Ihre Anwesenheit ehren!

Wie kommen die Physiker dazu, *neben* der der Abstraktion des Alltagslebens entstammenden Idee, *der ponderabeln Materie*, die Idee von der *Existenz einer anderen Materie*, des *Äthers*, zu setzen?

Der Grund dafür liegt wohl in denjenigen Erscheinungen, welche zur *Theorie der Fernkräfte* Veranlassung gegeben haben, und in den *Eigenschaften des Lichtes*, welche zur Undulationstheorie geführt haben.

Wir wollen diesen beiden Gegenständen eine kurze Betrachtung widmen.

[Zur Theorie der Fernkräfte.]

Das nichtphysikalische Denken weiss nichts von Fernkräften. Bei dem Versuch einer kausalen Durchdringung der Erfahrungen, welche wir an den Körpern machen, scheint es zunächst keine anderen Wechselwirkungen zu geben als solche durch *unmittelbare Berührung*, z.B. Bewegungs-Übertragung durch Stoss, Druck und Zug, Erwärmung oder Einleitung einer Verbrennung durch eine Flamme usw.²

Allerdings spielt bereits in der Alltagserfahrung die Schwere, also eine Fernkraft, eine Hauptrolle.

Da uns aber in der alltäglichen Erfahrung die Schwere der Körper als etwas Konstantes, an keine räumlich oder zeitlich veränderliche Ursache Gebundenes entgegentritt, so denken wir uns im Alltagsleben zu der Schwere *überhaupt keine Ursache* und werden uns deshalb ihres Charakters als Fernkraft nicht bewusst.

Erst durch *Newtons Gravitations-Theorie* wurde eine *Ursache* für die Schwere gesetzt, indem letztere *als Fernkraft gedeutet* wurde, die von Massen herrührt.

Newtons Theorie bedeutet wohl den grössten Schritt, den das *Streben nach kausaler Verkettung* der Naturerscheinungen je gemacht hat.

² Genau dies war die Auffassung von *Descartes* – Newtons grösstem Rivalen – v.a. bezüglich des Lichts, eine Auffassung, die Newton widerlegte. Siehe: Schneider (1988), (11), *Der Werdegang von Isaac Newton*, S. 20

* Erstveröffentlichung am 12. Dezember 2018

[†] Antrittsrede von Albert Einstein zu einer mehrwöchigen Gastprofessur an der Universität Leiden Ende 1920, gehalten am **27. Oktober 1920**. – siehe dazu die Fussnote darunter.

¹ Springer Abdruck: Einstein (1920), (2), leider **mit falschem Vortragsdatum** (5. Mai 1920). Tatsächlich gehalten wurde die Rede am **27. Oktober 1920**, d.h. nach der ominösen Bad-Nauheim-Debatte am 23. September 1920 – siehe Fölsing (1993), (4), „Reisender in Relativität“, S. 556 zusammen mit Endnote 41, S. 894

Und doch erzeugte diese Theorie bei Newtons Zeitgenossen lebhaftes *Unbehagen*, weil sie mit dem aus der sonstigen *Erfahrung* fließenden Prinzip *in Widerspruch* zu treten schien, dass es nur Wechselwirkung durch Berührung, nicht aber durch unvermittelte Fernwirkung gebe.³

Der menschliche *Erkenntnistrieb* erträgt einen solchen Dualismus nur mit Widerstreben. Wie konnte man die Einheitlichkeit der Auffassung von den Naturkräften retten?

S2N1 [a] Entweder man konnte versuchen, die Kräfte, welche uns als Berührungskräfte entgegnetreten, ebenfalls als Fernkräfte aufzufassen, welche sich allerdings nur bei sehr geringer Entfernung bemerkbar machen;⁴ dies war der Weg, welcher von Newtons Nachfolgern, die ganz unter dem Banne seiner Lehre standen, zumeist bevorzugt wurde.

[b] Oder aber man konnte annehmen, dass die Newtonschen Fernkräfte nur scheinbar unvermittelte Fernkräfte seien, dass sie aber in Wahrheit durch ein den Raum durchdringendes Medium übertragen würden, sei es durch Bewegungen, sei es durch elastische Deformation dieses Mediums.⁵

So führt das Streben nach Vereinheitlichung unserer Auffassung von der Natur der Kräfte zur Ätherhypothese.⁶

Allerdings brachte letztere der Gravitationstheorie und der Physik überhaupt zunächst keinen Fortschritt, dass man sich daran so gewöhnte, Newtons Kraftgesetz als nicht mehr weiter zu reduzierendes Axiom zu behandeln.

S2N2 Die *Ätherhypothese* musste aber stets im Denken der Physiker eine Rolle spielen, wenn auch zunächst meist nur eine latente Rolle.

[Zu den Eigenschaften des Lichts.]

Als in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die weitgehende *Ähnlichkeit* offenbar wurde, welche zwischen den Eigenschaften *des Lichtes* und denen der *elastischen Wellen* in ponderablen Körpern besteht, gewann die Ätherhypothese eine neue Stütze.⁷

Es schien unzweifelhaft, dass das Licht als Schwingungsvorgang eines den Weltraum erfüllenden, elastischen, trägen Mediums gedeutet werden müsse.⁸

Auch schien aus der Polarisierbarkeit des Lichtes mit

³ Für Descartes gab nur materielle Raum. Diese Auffassung war *damals*, v.a. im *kontinentalen* Europa, noch *allgemein anerkannt*. Siehe Schneider (1988), (11), Die Autorität von Descartes, S. 61-62, Newtonsche Anziehungskraft siegt, S. 152-155 – oder Genz (1994), (5), Descartes, S. 167-168 und: Raum und Ort, S. (103-)107

⁴ Newtons *Mechanik der Massenpunkte* gebietet dies.

⁵ In *jedem* klassischen (Äther) Medium gibt es „Mikro-Vakuum“ – Genz (1994), (5), Variationen zum Standardmodell, S. 108

⁶ Genz (1994), (5), Licht und Äther bei Newton, S. 204-208

⁷ Kurz nach 1800 wurde diese Ähnlichkeit v.a. durch die *experimentelle* Feststellung der Polarisation des Lichtes deutlich *erkennbar*, siehe z.B. Born (1920), (1) 5. Polarisation und Transversalität der Lichtwellen S. 89- 92 und 6. Der Äther als elastischer Festkörper, S. 92-101 – bekannt war sie jedoch schon vor 1700, v.a. auch Huygens und Newton.

⁸ Selten, aber doch wird auch in modernen Physikbüchern auf die Tatsache hingewiesen, dass noch um 1900 – fast alle Physiker von der Existenz eines Äthermediums überzeugt waren. Siehe z.B. Meschede (2010), (9), Relativistische Physik/ Bezugs- oder Inertialsysteme, S. 619

Notwendigkeit hervorzugehen, dass dieses Medium – der Äther – von der Art eines festen Körpers sein müsse, weil nur in einem solchen, nicht aber in einer Flüssigkeit, Transversalwellen möglich sind.⁹

Man musste so zu der Theorie des „quasi-starren“ Lichtäthers kommen, dessen Teile relativ zueinander keine anderen Bewegungen auszuführen vermögen als die kleinen Deformationsbewegungen, welche *den Lichtwellen* entsprechen.

Diese Theorie – auch Theorie des ruhenden Lichtäthers genannt – fand ferner eine gewichtige Stütze in dem auch für die spezielle Relativitätstheorie fundamentalen Experimente von *Fizeau*, aus welchem man schliessen musste, dass der Lichtäther an den Bewegungen der Körper nicht teilnehme. Auch die Erscheinung der *Aberration* sprach für die Theorie des quasi-starren Äthers.¹⁰

S2N3

Die Entwicklung der Elektrizitätstheorie auf dem von Maxwell und Lorentz gewiesenen Wege brachte eine ganz eigenartige und unerwartete Wendung in die Entwicklung unserer den Äther betreffenden Vorstellungen.

Für *Maxwell* selbst war zwar der *Äther* noch ein Gebilde *mit rein mechanischen Eigenschaften*, wenn auch mit mechanischen Eigenschaften viel komplizierterer Art als die der greifbaren festen Körper.

Aber *weder Maxwell noch seinen Nachfolgern* gelang es, ein mechanisches Modell für den Äther auszudenken, das *eine befriedigende mechanische Interpretation* der Maxwellschen Gesetze des elektromagnetischen Feldes geliefert hätte.¹¹

S2N4

Die Gesetze waren klar u. einfach, *die mechanischen Deutungen* schwerfällig und *widerspruchsvoll*.¹²

Beinahe unvermerkt *passten sich* die theoretischen *Physiker* dieser vom Standpunkte ihres mechanischen Programms recht betrübenden Sachlage *an*, insbesondere unter dem Einfluss der elektrodynamischen Untersuchungen von Heinrich Hertz.

Während sie nämlich vordem von einer endgültigen Theorie gefordert hatten, dass sie mit Grundbegriffen auskomme, die ausschliesslich der Mechanik angehören (z.B. Massendichten, Geschwindigkeiten, Deformationen, Druckkräfte), *gewöhnten sie sich* allmählich daran, *elektrische und magnetische Feldstärken* als Grundbegriffe neben den mechanischen Grundbegriffen zuzulassen, *ohne* für sie eine *mechanische Interpretation* zu fordern. So wurde *allmählich* die rein mechanische Naturauffassung *verlassen*.

⁹ Die heftigste Reaktion auf den Sachverhalt eines *Festkörper-Äthers* kam von *Heinrich Hertz* zu einer Zeit als Einstein in die Schule eintrat. Siehe z.B. Genz (2004), (6), Nichts als das Nichts - Lichtäther? S. 35-36

¹⁰ Nicht unbedingt: Möglich ist auch ein insgesamt starrer, aber lokal von Planeten (und auch kleineren Körpern) mitgeführter Äther.

¹¹ Dieser weltweit riesige Forschungsaufwand hätte vermieden werden können bei Beachtung, dass Newtons Mechanik für Äther und Materie *gemeinsam* unbrauchbar ist (Genz (1994), (5), Licht und Äther bei Newton und Huygens, S. 204-208, S. 205 *oben*) und überhaupt nur bei $v \ll c$, wie Einstein selbst nachweisen konnte..

¹² Die vielen, letztlich unbrauchbaren Äthermodelle und -Theorien sind in vielen Büchern dokumentiert, z.B. von Schaffner (1972), (10), Nineteenth-century aether theories – mit vielen Originalarbeiten.

Diese Wandlung führte aber zu einem auf die Dauer unerträglichen Dualismus in den Grundlagen.¹³

Um ihm zu entgehen, suchte man umgekehrt die mechanischen Grundbegriffe auf die elektrischen zu reduzieren,¹⁴ zumal die Versuche an β -Strahlen und raschen Kathodenstrahlen das Vertrauen in die strenge Gültigkeit der mechanischen Gleichungen Newtons erschütterten.

Bei H. Hertz ist der angedeutete Dualismus noch ungemildert. Bei ihm tritt die Materie nicht nur als Trägerin von Geschwindigkeiten, kinetischer Energie und mechanischen Druckkräften, sondern auch als Trägerin von elektromagnetischen Feldern auf. Da solche Felder auch im Vakuum – d.h. im freien Äther – auftreten, so erscheint auch der Äther als Träger von elektromagnetischen Feldern. Er erscheint der ponderablen Materie als durchaus gleichartig und nebengeordnet.

Er nimmt in der Materie an den Bewegungen dieser teil und hat im leeren Raum überall eine Geschwindigkeit, derart, dass die Äthergeschwindigkeit im ganzen Raume stetig verteilt ist. Der Hertzsche Äther unterscheidet sich grundsätzlich in nichts von der (zum Teil in Äther bestehenden) ponderablen Materie.¹⁵

Die Hertzsche Theorie litt nicht nur an dem Mangel, dass sie der Materie und dem Äther einerseits mechanische, andererseits elektrische Zustände zuschrieb, die in keinem gedanklichen Zusammenhang miteinander stehen; sie widersprach auch dem Ergebnis des wichtigen Fizeauschen Versuches über die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes in bewegten Flüssigkeiten und anderen gesicherten Erfahrungsergebnissen.

[Lorentz beeindruckt Einstein.]

So standen die Dinge, als H. A. Lorentz eingriff. Er brachte die Theorie in Einklang mit der Erfahrung und erreichte dies durch eine wunderbare Vereinfachung der theoretischen Grundlagen. Er erzielte diesen wichtigsten Fortschritt der Elektrizitätstheorie seit Maxwell, indem er dem Äther seine mechanischen, der Materie ihre elektromagnetischen Qualitäten wegnahm.¹⁶

Wie im leeren Raume, so auch im Innern der materiellen Körper war ausschliesslich der Äther, nicht aber die atomistisch gedachte Materie, Sitz der elektromagnetischen Felder.

Die Elementarteilchen der Materie sind nach Lorentz allein fähig, Bewegungen auszuführen;¹⁷ ihre elektromagnetische Wirksamkeit liegt einzig darin, dass sie elektrische Ladungen tragen.

So gelang es Lorentz, alles elektromagnetische Geschehen auf die Maxwellschen Vakuum-Feldgleichungen

¹³ Auch Einstein bemühte sich sehr, eine einheitliche (Feld-) Theorie zu entwickeln, siehe z.B. Kostro (2000), (7), , Zitat e31, S. 218/, aber es gelang ihm bekanntlich nicht.

¹⁴ Vor allem der hervorragende Experimentalphysiker Gustav Mie versuchte dies beharrlich, wie Mie dies in seiner Antrittsrede von 1925 (Universität Freiburg) mit dem Titel „Das Problem der Materie“ kurz und klar zum Ausdruck brachte.

¹⁵ Folge: Probleme wegen der Unbrauchbarkeit Newtons für Äther und Materie, siehe Genz (1994), (5), Licht und Äther bei Newton und Huygens, S. 204-208, S. 205 oben.

¹⁶ Damit konnte es den fehlenden Zusammenhang gar nicht mehr geben, doch es entstand wieder eine Dualität.

¹⁷ Folge davon ist Einsteins Schlusssatz: Seite 6 Randnotiz S6N4

zu reduzieren.

Was die mechanische Natur des Lorentzschen Äthers anlangt, so kann man etwas scherzhaft von ihm sagen, dass Unbeweglichkeit die einzige mechanische Eigenschaft sei, die ihm H.A. Lorentz noch gelassen hat. Man kann hinzufügen, dass die ganze Änderung der Ätherauffassung, welche die spezielle Relativitätstheorie brachte, darin bestand, dass sie dem Äther seine letzte mechanische Qualität, nämlich die Unbeweglichkeit, wegnahm. Wie dies zu verstehen ist, soll gleich dargelegt werden.

[Einsteins Motivation und Weg zur SRT.]

Der Raum-Zeittheorie und Kinematik der speziellen Relativitätstheorie hat die Maxwell-Lorentzsche Theorie des elektromagnetischen Feldes als Modell gedient.

S3N1

Diese Theorie genügt daher den Bedingungen der speziellen Relativitätstheorie; sie erhält aber, von letzterer aus betrachtet, ein neuartiges Aussehen.

Sei nämlich K ein Koordinatensystem, relativ zu welchem der Lorentzsche Äther in Ruhe ist, so gelten die Maxwell-Lorentzschen Gleichungen zunächst in Bezug auf K. Nach der speziellen Relativitätstheorie gelten aber dieselben Gleichungen in ganz ungeändertem Sinne auch in Bezug auf jedes neue Koordinatensystem K1, welches in Bezug auf K in gleichförmiger Translationsbewegung ist.

Es entsteht nun die bange Frage: Warum soll ich das System K, welchem die Systeme K1 physikalisch vollkommen gleichwertig sind, in der Theorie vor letzterem durch die Annahme auszeichnen, dass der Äther relativ zu ihm ruhe? Eine solche Asymmetrie des theoretischen Gebäudes, dem keine Asymmetrie des Systems der Erfahrungen entspricht, ist für den Theoretiker unerträglich. Es scheint mir die physikalische Gleichwertigkeit von K und K1 mit der Annahme, dass der Äther relativ zu K ruhe, relativ zu K1 aber bewegt sei, zwar nicht vom logischen Standpunkte geradezu unrichtig, aber doch unannehmbar.

[Einstein 1905-1916: Es gibt keinen Äther.]

Der nächstliegende Standpunkt, den man dieser Sachlage gegenüber einnehmen konnte schien der folgende zu sein. Der Äther existiert überhaupt nicht. Die elektromagnetischen Felder sind nicht Zustände eines Mediums, sondern selbständige, Realitäten, die auf nichts anderes zurückzuführen sind und die an keinen Träger gebunden sind, genau wie die Atome der ponderablen Materie.¹⁸

Diese Auffassung liegt um so näher, weil gemäss der Lorentzschen Theorie die elektromagnetische Strahlung Impuls und Energie mit sich führt wie die ponderable Materie, und weil Materie und Strahlung nach der speziellen Relativitätstheorie beide nur besondere Formen verteilter Energie sind, indem ponderable Masse ihre Sonderstellung verliert und nur als besondere Form der Energie erscheint.

[Einstein 1916-1924: Kein Raum ohne Äther.]

¹⁸ Kostro (2000), (7), Kap. 2, Einstein denies the existence of the ether (1905-1916)S. 27-61

Indessen lehrt ein genaueres Nachdenken, dass diese Leugnung des Äthers nicht notwendig durch das spezielle Relativitätsprinzip gefordert wird. *Man kann* die Existenz eines Äthers annehmen; *nur muss man* darauf verzichten, ihm einen bestimmten *Bewegungszustand* zuzuschreiben, d.h. man muss ihm durch Abstraktion das letzte mechanische Merkmal nehmen, welches ihm Lorentz noch gelassen hatte.¹⁹

Später werden wir sehen, dass diese Auffassungsweise, deren gedankliche Möglichkeit ich sogleich durch einen etwas hinkenden Vergleich deutlicher zu machen suche, durch die Ergebnisse der allgemeinen Relativitätstheorie gerechtfertigt wird.

[Okkulte Zustandsänderungen.]

Man denke sich Wellen auf einer Wasseroberfläche. Man kann an diesem Vorgang zwei ganz verschiedene Dinge beschreiben.

[a] Man kann erstens verfolgen, wie sich die wellenförmige Grenzfläche zwischen Wasser und Luft im Laufe der Zeit ändert.

[b] Man kann aber auch – etwa mit Hilfe von kleinen schwimmenden Körpern – verfolgen, wie sich die Lage der einzelnen Wasserteilchen im Laufe der Zeit ändert.²⁰

Würde es derartige schwimmende Körperchen *zum Verfolgen der Bewegung* der Flüssigkeitsteilchen prinzipiell nicht geben, ja würde überhaupt an dem ganzen Vorgang nichts anderes als *die zeitlich veränderliche Lage* des von Wasser eingenommenen Raumes sich *bemerkbar* machen,²¹ so hätten wir *keinen Anlass zu der Annahme*, dass das Wasser aus *beweglichen Teilchen* bestehe. *Aber wir könnten es gleichwohl als Medium bezeichnen.*²²

S4N1

Etwas Ähnliches liegt bei dem elektromagnetischen Felde vor. Man kann sich nämlich das Feld als in Kraftlinien bestehend vorstellen. Will man diese Kraftlinien sich als etwas *Materielles* im gewohnten Sinne deuten, so ist man versucht, die dynamischen Vorgänge als Bewegungsvorgänge dieser Kraftlinien zu deuten, derart, dass jede einzelne Kraftlinie *durch die Zeit hindurch verfolgt* wird.²³

Es ist indessen wohl bekannt, dass eine solche Betrachtungsweise zu Widersprüchen führt.

Verallgemeinernd müssen wir sagen. Es lassen sich *ausgedehnte physikalische Gegenstände*²⁴ denken, auf welche der Bewegungsbegriff keine Anwendung finden kann. Sie dürfen *nicht als aus Teilchen bestehend* gedacht werden, die sich einzeln durch die Zeit hindurch ver-

¹⁹ Kostro (2000), (7), Kap. 3, Einstein introduces his new concept of the ether (1916-1924)S. 63-113

²⁰ Die Strom- und sogar die Bahnlinien von Flüssigkeitsteilchen in Schwerewellen können sogar photographisch aufgenommen werden: siehe Sommerfeld (1969), (14), §24. Schwerewellen in seichtem und mässig tiefem Wasser, S. 175-176, Fig. 39a. und b.

²¹ Diese Analogie betrifft die durchaus „bemerkbaren“ elektromagnetischen und gravitativen Kräfte auf Messkörper(chen).

²² Diese Analogie: Wasser \Leftrightarrow Äther, bzw. *Wasserteilchen* \Leftrightarrow *Ätherteilchen* ist Einsteins *entscheidendes Argument* für die Annahme eines völlig „glatten“, *- nicht aus einzelnen Teilchen bestehenden - Raumkontinuums*.

²³ Diese Vorstellung ist bei Elektrotechnikern noch heute üblich – jedoch mehr als „Eselsbrücke“ zur Beurteilung gewissen Kraftwirkungen von Drähten, Spulen usw.

²⁴ Einstein meint damit das 4D Raum-Zeit-Kontinuum.

folgen lassen.²⁵

[Argumente für und wider ein Äthermedium.]

In der Sprache Minkowskis drückt sich dies so aus: nicht jedes in der vierdimensionalen Welt ausgedehnte Gebilde lässt sich als aus Weltfäden zusammengesetzt auffassen. Das spezielle Relativitätsprinzip *verbietet* uns, den Äther als aus zeitlich verfolgbaren Teilchen bestehend anzunehmen, *aber* die Ätherhypothese an sich widerstreitet der speziellen Relativitätstheorie nicht. *Nur muss man* sich davor hüten, dem Äther einen *Bewegungszustand* zuzusprechen.²⁶

Allerdings erscheint die *Ätherhypothese* vom Standpunkte der speziellen Relativitätstheorie zunächst als eine *leere Hypothese*. In den elektromagnetischen Feldgleichungen treten ausser den elektrischen Ladungsdichten nur die Feldstärken auf. Der Ablauf der elektromagnetischen Vorgänge im Vakuum scheint durch jenes *innere Gesetz völlig bestimmt* zu sein, unbeeinflusst durch andere physikalische Grössen.

S4N2

Die *elektromagnetischen Felder* erscheinen als letzte, *nicht weiter zurückführbare Realitäten*, und es erscheint zunächst *überflüssig*, ein homogenes, isotropes Äthermedium zu postulieren, als dessen Zustände jene Felder aufzufassen wären.²⁷

Andererseits lässt sich aber zugunsten der Ätherhypothese ein wichtiges Argument anführen.

Den Äther leugnen bedeutet letzten Endes annehmen, dass dem leeren *Raume keinerlei physikalische Eigenschaften* zukommen.

Mit dieser Auffassung stehen die fundamentalen Tatsachen der Mechanik nicht im Einklang. Das mechanische Verhalten eines im leeren Raume frei schwebenden körperlichen Systems hängt nämlich ausser von den relativen Lagen (Abständen) und relativen Geschwindigkeiten noch von seinem Drehungszustand ab, der physikalisch nicht als ein dem System an sich zukommendes Merkmal aufgefasst werden kann.

[Zum Ursprung von Trägheit.]

Um die Drehung des Systems wenigstens formal als etwas Reales ansehen zu können, objektiviert Newton den Raum. Dadurch, dass er seinen absoluten Raum zu den realen Dingen rechnet, ist für ihn auch die Drehung relativ zu einem absoluten *Raum etwas Reales*.

Newton hätte seinen absoluten Raum ebensogut „Äther“ nennen können; *wesentlich ist* ja nur, dass neben den beobachtbaren Objekten noch *ein anderes, nicht wahrnehmbares Ding* als *real angesehen* werden muss, um die Beschleunigung bzw. die Rotation als etwas Reales ansehen zu können.

S4N3

Mach suchte zwar der Notwendigkeit, etwas nicht beobachtbares Reales anzunehmen, dadurch zu entgehen, dass er in die Mechanik statt der Beschleunigung gegen den absoluten Raum eine mittlere Beschleunigung

²⁵ Grundlage dieser Argumentation ist Einsteins (halbherzige) positivistische Einstellung (à la Mach).

²⁶ Im Einklang mit dem Grundprinzip des Positivismus (Mach).

²⁷ Standpunkt der speziellen Relativität – gegründet auf dem unerklärten ad-hoc Postulat, Licht pflanze sich mit konstanter Geschwindigkeit *c* fort, was einen Rückschritt auf den Erklärungsstand vor Maxwell darstellt.

gegen die Gesamtheit der Massen der Welt zu setzen strebte. Aber ein Trägheitswiderstand gegenüber relativer Beschleunigung ferner Massen setzt unvermittelte Fernwirkung voraus.

Da der moderne Physiker eine solche nicht annehmen zu dürfen glaubt, so landet er auch bei dieser Auffassung wieder beim *Äther*, der die *Trägheitswirkungen* zu *vermitteln* hat. Dieser Ätherbegriff, auf den die Machsche Betrachtungsweise führt, unterscheidet sich aber wesentlich vom Ätherbegriff Newtons, Fresnels und H.A. Lorentz.

Dieser Machsche Äther bedingt nicht nur das Verhalten der trägen Massen, sondern wird in seinem Zustand auch bedingt durch die trägen Massen.

[Einsteins Motivation und Weg zur ART.]

Der Machsche Gedanke findet seine volle Entfaltung in dem *Äther der allgemeinen Relativitätstheorie*. Nach dieser Theorie sind die *metrischen Eigenschaften* des Raum-Zeit-Kontinuums in der Umgebung der einzelnen Raum-Zeitpunkte verschieden und *mitbedingt* durch die ausserhalb des betrachteten Gebietes *vorhandene Materie*.

Diese raum-zeitliche Veränderlichkeit der Beziehungen von Massstäben und Uhren zueinander, bzw. die Erkenntnis, dass der 'leere Raum' in physikalischer Beziehung weder homogen noch isotrop sei, welche uns dazu zwingt, seinen Zustand durch zehn Funktionen, die Gravitationspotentiale g_{mn} zu beschreiben, hat die Auffassung, dass der Raum physikalisch leer sei, wohl endgültig beseitigt.

Damit ist aber auch der *Ätherbegriff* wieder zu einem deutlichen Inhalt gekommen, freilich zu einem Inhalt, der von dem des Äthers der *mechanischen* Undulationstheorie des Lichtes *weit verschieden* ist.²⁸

[Die physikalischen Qualitäten des Raums.]

S5N1

Der *Äther der allgemeinen Relativitätstheorie* ist ein Medium, welches selbst *aller mechanischen und kinematischen Eigenschaften bar* ist, aber das *mechanische* (und elektromagnetische) Geschehen *mitbestimmt*.

Das prinzipiell Neuartige des Äthers der allgemeinen Relativitätstheorie gegenüber dem Lorentzschen Äther besteht darin, dass der Zustand des ersteren an jeder Stelle *bestimmt* ist

[a] durch gesetzliche Zusammenhänge mit der *Materie*²⁹ und

[b] mit dem Ätherzustände in benachbarten Stellen in Gestalt von *Differentialgleichungen*,³⁰

während der Zustand des *Lorentzschen Äthers* bei *Abwesenheit von elektromagnetischen Feldern* durch nichts ausser ihm bedingt und *überall der gleiche* ist. – Der

²⁸ Einsteins Äther der ART ist grundverschieden zu *allen* sog. klassischen Äthervorstellungen – von Newton bis Lorentz und auch des 20. Jahrhunderts, z.B. jener von **Schrödinger** oder *Mie*.

²⁹ Das Gravitationspotential z.B. der Sonne, das die Krümmung des Raum-Zeit-Kontinuums bewirkt – übersichtlich dargestellt von Simonyi (2004), (12), Newton, Einstein und die Gravitation, S. 422-423

³⁰ Einsteins Grundgleichungen der ART $R_{ik} - 1/2 g_{ik}R = -\kappa T_{ik}$, kurz und gut begründet z.B. von Simonyi (2004), (12), Materie und die Geometrie des Raums, S.416-418

Äther der allgemeinen Relativitätstheorie geht gedanklich dadurch in den Lorentzschen über, dass man die ihn beschreibenden Raumfunktionen durch Konstante ersetzt, indem man absieht von den seinen Zustand bedingenden Ursachen. Man kann also wohl auch sagen, dass der Äther der allgemeinen Relativitätstheorie *durch Relativierung* aus dem Lorentzschen Äther hervorgegangen ist.

Über die Rolle, welche der neue Äther im physikalischen *Weltbild der Zukunft* zu spielen berufen ist, sind wir noch nicht im klaren.

Wir wissen, dass er die metrischen Beziehungen im raum-zeitlichen Kontinuum, z.B. die Konfigurationsmöglichkeiten fester Körper sowie die Gravitationsfelder bestimmt; aber

wir wissen nicht, ob er am Aufbau der die Materie konstituierenden elektrischen Elementarteilchen einen wesentlichen Anteil hat.

S5N2

Wir wissen auch nicht, ob seine Struktur nur in der Nähe ponderabler Massen von der Struktur des Lorentzschen wesentlich abweicht, ob die Geometrie von Räumen kosmischer Ausdehnung eine nahezu euklidische ist.

Wir können aber auf *Grund* der relativistischen Gravitationsgleichungen behaupten, dass eine *Abweichung* vom euklidischen Verhalten bei Räumen von kosmischer Grössenordnung dann vorhanden sein muss, wenn eine auch noch so kleine *positive mittlere Dichte der Materie* in der Welt existiert. In diesem Falle muss die Welt notwendig räumlich geschlossen und von endlicher Grösse sein, wobei ihre Grösse durch den Wert jener mittleren Dichte bestimmt wird.

S5N3

[Äther – Gravitation – Elektromagnetismus.]

Betrachten wir das *Gravitationsfeld* und das *elektromagnetische Feld* vom Standpunkt der Ätherhypothese, so besteht zwischen beiden ein bemerkenswerter prinzipieller Unterschied.

[(a)] Kein Raum und auch kein Teil des Raumes ohne *Gravitationspotentiale*; denn diese verleihen ihm seine metrischen Eigenschaften, ohne welche er überhaupt nicht gedacht werden kann. Die Existenz des Gravitationsfeldes ist *an die Existenz des Raumes* unmittelbar *gebunden*.

[(b)] Dagegen kann ein *Raumteil* sehr wohl *ohne elektromagnetisches Feld* gedacht werden; das *elektromagnetische Feld* scheint also im Gegensatz zum Gravitationsfeld gewissermassen *nur sekundär* an den Äther gebunden zu sein, indem die formale Natur des elektromagnetischen Feldes durch die des Gravitationsäthers noch gar nicht bestimmt ist.

S5N4

Es sieht nach dem heutigen Zustande der Theorie so aus, als beruhe das *elektromagnetische Feld* dem *Gravitationsfeld* gegenüber auf einem *völlig neuen formalen Motiv*, als hätte die Natur den *Gravitationsäther* statt mit Feldern vom Typus der elektromagnetischen, ebensogut mit Feldern eines *ganz anderen Typus*, z.B. mit Feldern eines skalaren Potentials, *ausstatten können*.

S5N5

Da nach unseren heutigen Auffassungen auch die *Elementarteilchen der Materie* ihrem Wesen nach nichts anderes sind als *Verdichtungen des elektromagnetischen*

Feldes, so kennt unser *heutiges Weltbild* zwei begrifflich vollkommen voneinander *getrennte*, wenn auch kausal aneinander gebundene *Realitäten* nämlich *Gravitationsäther und elektromagnetisches Feld* oder - wie man sie auch nennen könnte - *Raum und Materie*.

Natürlich wäre es ein grosser Fortschritt, wenn es gelingen würde, das Gravitationsfeld und elektromagnetische Feld zusammen als ein einheitliches Gebilde aufzufassen. Dann erst würde die von Faraday und Maxwell begründete Epoche der theoretischen Physik zu einem befriedigenderen Abschluss kommen. Es würde dann der Gegensatz Äther - Materie verblasen und die ganze Physik zu einem ähnlich geschlossenen *Gedankensystem* werden wie *Geometrie, Kinematik und Gravitationstheorie* durch die allgemeine Relativitätstheorie. – Ein überaus geistvoller Versuch in dieser Richtung ist von dem Mathematiker H. Weyl gemacht worden; doch glaube ich nicht, dass seine Theorie der Wirklichkeit gegenüber standhalten wird.

S6N1 Wir dürfen ferner beim Denken an die nächste Zukunft der theoretischen Physik die *Möglichkeit* nicht unbedingt abweisen, dass die in der *Quantentheorie* zusammengefassten Tatsachen der *Feldtheorie unübersteigbare Grenzen* setzen könnten.

* Zusammenfassend können wir sagen:

Nach der allgemeinen Relativitätstheorie ist der Raum mit physikalischen Qualitäten ausgestattet; es *existiert* also in diesem Sinne *ein Äther*.

S6N2 Gemäss der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein *Raum ohne Äther undenkbar*; denn in einem solchen gäbe es nicht nur keine Lichtfortpflanzung, sondern auch keine Existenzmöglichkeit von Massstäben und Uhren, also auch keine räumlich-zeitlichen Entfernungen im Sinne der Physik.

S6N3 Dieser *Äther* darf aber **nicht** mit der für ponderable Medien charakteristischen Eigenschaft ausgestattet gedacht werden, **aus** durch die Zeit verfolgbaren **Teilen** zu bestehen; *der Bewegungsbegriff darf auf ihn nicht angewendet werden*.

3 Äther und Relativität – hundert Jahre nach Einsteins Antrittsrede

Das Problem der Quantengravitation.

Einsteins ART hat sich – man kann sagen – „total“ durchgesetzt, indem sie an allen Universitäten gelehrt wird. Andererseits konnte keine einzige der von Einstein angestrebten Vereinheitlichungen bisher erreicht werden: weder von Gravitation und Elektromagnetismus, noch von Materie und Feld, und v.a. auch nicht von ART und Quantenmechanik.

Die Unverträglichkeit von ART und QM war Einstein sicherlich schon 1920 nicht entgangen, denn die QM beruht seit jeher auf dem *absoluten Raum* Newtons; dieses *schwerwiegende* Problem deutete Einstein in seiner Rede „diplomatisch“ als nicht auszuschliessende „*Möglichkeit*“ von *unübersteigbaren Grenzen* an³¹.

³¹ siehe Seite 6 Randnotiz S6N3

Allerdings erwiesen sich die Grenzen zwischen ART und QM nun seit rund hundert Jahren tatsächlich als unübersteigbar, sodass das Problem der Quantengravitation derzeit als das erste und *grösste Problem der gesamten theoretischen Physik* erachtet wird.³²

Auf Einstein aufbauen.

Doch trotz kompetenter Kritik verschiedenster der ART von Anfang an³³ und bis heute (z.B. von *Alexander Unzicker*), insbesondere auch der darauf aufbauenden Urknalltheorie,³⁴ halten die meisten führenden Physiker die ART als unverzichtbare *Grundlagentheorie*. Ganz in diesem Sinne fordert auch z.B. *Lee Smolin*, der fachliche Gründer des *PI* man müsse weiterhin auf *Einsteins ART aufbauen*.³⁵

Laughlins Gewebe-Äther.

Einer der prominentesten Kritiker der ART ist *Robert B. Laughlin* (NP für Physik 1997), der Einstein über alle Massen bewundert und rühmt, jedoch trotzdem die ART als eine weder experimentell noch theoretisch gerechtfertigte Erfindung bezeichnet.

Insbesondere stellt Laughlin fest:³⁶

(a) Die Anschauung der Raumzeit als *Nichtsubstanz* mit *substanzähnlichen* Eigenschaften ist insofern unlogisch, als Einsteins Gleichungen zu Beschreibung der Gravitation jenen einer Gummidecke ähneln, also einem gewöhnlichen elastischen Feststoff.

(b) Auch ist diese Anschauung mit den Fakten unvereinbar, denn Untersuchungen zeigen, dass das „leere Vakuum“ eine spektroskopische Struktur besitzt, die jener der normalen *Quantenfestkörper und Quantenflüssigkeiten* gleicht.

Beachtenswert ist auch Laughlins Feststellung, die sich jedoch vermutlich v.a. auf seine Erfahrungen bei der Arbeit mit Kollegen aus dem Bereich der Quantenphysik bezieht:

Die moderne, jeden Tag experimentell bestätigte Vorstellung des Raumvakuums ist ein relativistischer Äther. Wir nennen ihn nur nicht so – weil das tabu ist.

S6N4

Entsprechend ist auch Laughlin fest von der Existenz eines Äthers überzeugt. Dieser Äther *muss* jedoch – unbedingt – *speziell relativistische Symmetrie*, also im Sinne von Einsteins *SRT*, aufweisen.

Jedoch ist nach Laughlin *Einsteins spezielle Relativität nicht fundamental*, sondern *eine kollektive Eigenschaft* jener Materie, die die Raumzeit konstituiert – also des von Laughlin postulierten *des materiellen Äthermediums*. Dies würde – so Laughlin – auch Einstein heutzutage einsehen. Dazu vertritt Laughlin auch noch weitere

³² Smolin (2006), (13), Die fünf grossen Probleme der theoretischen Physik, S. 31-48

³³ Wazeck (2009), (16), Die Konfrontation und die Inhaltliche Auseinandersetzung mit der Relativitätstheorie, S. 85-180

³⁴ Unzicker (2010), (15), Teil III: Sackgasse, S. 145-248

³⁵ Smolin (2006), (13), Kapitel 14 mit dem Titel: Auf Einstein aufbauen, S. 304-321

³⁶ Laughlin (2007), (8), Vorwort, S. 16-17 und Kap. 10. Das Gewebe der Raumzeit, S. 179-192

(nach eigener Einschätzung³⁷) für viele Physiker „schockierende“ Vorstellungen bzw. Ansichten,³⁸ ganz im Sinne des Untertitels seines Buches „Die Neuerfindung der Physik“.

Das Problem der kosmologischen Konstante.

Laughlin befindet Einseins ART als dermassen irreführend, dass er sie sogar als „Giftschrank“ bezeichnet, in dem sich ein „grässliches Skelett“ befindet: die als ρ bezeichnete kosmologische Konstante.³⁹

Zweck der Konstante – deren Einführung (1917) Einstein selbst als seine grösste „Eselei“ bezeichnete – war, mittels seiner Gleichungen ein *insgesamt(!) statisches* Universums darzustellen.

Dieser ρ Term wurde hinfällig, nachdem Hubble 1920 *experimentell nachweisen konnte*, dass das Universum ohnehin ständig und selbständig expandiert und damit einen Kollaps (zumindest für absehbare Zukunft) verhindert.⁴⁰

Die Konstante ρ ist jedoch auch nach 2000 noch immer umstritten, denn sie führt bei Vergleichen mit Werten, die mittels anderer Theorien berechnet werden können, auf gigantische Unterschiede bei Abschätzungen betreffen der Dichte des sog. leeren Raums. Es werden Faktoren von 10^{44} , 10^{56} , 10^{60} und 10^{112} genannt. Die grosse Rätselfrage lautet: Warum „wiegt“ der leere Raum *so wenig*, wo er doch so viel enthält.⁴¹

Wilczeks Gitter-Äther.

Auch *Frank Wilczek* (NP für Physik 2004) ist ein höchst prominenter Physiker und – wie Laughlin – ebenfalls fest überzeugt, dass die Annahme eines Äthermediums unbedingt notwendig ist. Auch er gibt dem Äther einen neuen Namen, nämlich „Gitter“ (the Grid, engl. immer mit grossen G geschrieben).

Dieses Gitters erachtet Wilczek als den „Primär-Bestandteil“ der physikalischen Realität, bzw. als grundlegenden „Welt-Stoff“ (world-stuff).

Als wichtiges Argument für einen neuen Namen des „Welt-Stoffs“ an Stelle von Äther nennt Wilczek mehrere Eigenschaften, die dem „alten“ Klassik-Äther fehlen, die dem Weltstoff aber eigen sind:

- (a) Er erfüllt Raum *und* Zeit.
- (b) Er ist mit *Quantenaktivität* belebt.
- (c) Er ist ein (vielfarbiger⁴²) **Supraleiter**.
- (d) Er hat das *metrische Feld* (der ART).

Eigentlich besteht das „Gitter“ aus mehreren überlagerten Schichten von Gittern,⁴³ deren wichtigstes das metrische Gitter ist, das Wilczek „Mutter aller Gitter“ nennt,⁴⁴ und Einsteins metrisches Feld der

³⁷ Laughlin (2007), (8), Vorwort, S. 17

³⁸ In einem Interview mit DER SPIEGEL (Heft 1, 2008 online) behauptet Laughlin: „Der Urknall ist nur Marketing“ (Titel des Artikels.)

³⁹ Laughlin (2007), (8), Skelett, S. 186-187, Bewunderung, S. 189

⁴⁰ Wilczek (2008), (17), Kap. 8: The Grid – Persistence of Ether, Grid Weighs, S. 105-107

⁴¹ Wilczek (2008), (17), Kap. 8: A Brief History of Ether, S. 83, Persistence of Ether, Grid Weighs, S. 107-111, die gigantischen Unterschiede, S. 109-110 Cosmological term, S. 225

⁴² Im Sinne der von Wilczek mitentwickelten QCD.

⁴³ Wilczek (2008), (17), Abb. 8.1 Grid, old and new, S. 75

⁴⁴ Wilczek (2008), (17), The Mother of All Grids: Metric Field, S. 97-102

ART repräsentiert – bzw. Einsteins *Äther der ART*.

Das Wilczeks *Gitter* ist also von sehr grosser Komplexität; es erfasst z.B. auch mehr oder weniger das ganze Standardmodell der Elementarteilchen, samt up-Quarks, down-Quarks, Gluonen, usw.⁴⁵

Mit dem alten klassischen Äther des 19. Jahrhunderts hat Wilczeks Gitter-Äther praktisch *nichts mehr gemeinsam* – darum auch der neue Name.

Das Äther-Tabu seit 1920.

Erste Forderungen nach einem „Äther-Tabu“⁴⁶ wurden schon um 1920 laut – also zur Zeit der oben wiedergegebenen Rede Einsteins –, indem z.B. *Max Born* (NP 1954) kategorisch forderte: „*Der substanzielle Äther verschwindet von jetzt an aus der Theorie.*“⁴⁷

Doch auch Einstein selbst verbannte das Wort Äther aus der Theorie, indem er um 1935 nach eingehender Analyse „*angesichts schlechter Erfahrungen*“ (zusammen mit seinem Koautor Infeld – damals schon in Princeton tätig) forderte: „*Das Wort Äther wollen wir von nun an unter keinen Umständen (!) mehr gebrauchen.*“⁴⁸

Damit war das Urteil zum Thema Äther genügend autorisiert – nachhaltig bis heute.

Private Ätherforschung auch nach 2000.

Nicht unerwähnt bleiben sollen unzählige Physiker, Mathematiker, Ingenieure, Techniker, usw. weltweit, die ausserhalb von Universitäten private Ätherforschung betreiben, sowohl theoretische, als auch experimentell, und insbesondere technisch – auf dem umstrittenen (Tabu-) Gebiet der Erzeugung sog. freier Energie.

Beispielhaft wird hier auf drei Forscher hingewiesen.

Prof. Ruggero Santilli gründete das *Institute for Basic Research* und betreibt dort seit 1970 Ätherforschung.⁴⁹ In diesem Zusammenhang hat Santilli viele *Prozesse, Geräte und Maschinen* entdeckt bzw. erfunden.

Prof. Claus Turtur, lehrt an der Fachhochschule Wolfenbüttel, kann/darf aber nur privat v.a. anwendungsorientierte Ätherforschung betreiben und hat mehrere Bücher zum Thema Äther-/Vakuum-/Raumenergie verfasst.⁵⁰

Dr. Klaus Volkamer ist ein Chemiker, der betreffend seiner Arbeiten experimenteller und theoretischer Art zum Thema Äther ein sehr ausführliches Buch (fast 500 Seiten) verfasste.⁵¹

⁴⁵ Wilczek (2008), (17), Kap. 8: The Grid – Persistence of Ether, S. 73-111 – Gluons, S.101, Quarks, S. 104

⁴⁶ siehe Randnotiz S7N1 oben

⁴⁷ Born (1920), (1), 15. Die Kontraktionshypothese, S. 193

⁴⁸ Einstein/Infeld (1938), (3), Abschnitt: Äther und Bewegung, S. 175

⁴⁹ siehe z.B. Santilli, The Etherino and/or the Neutrino Hypthesis, Foundations of Physics, 37, 670 (2007)

⁵⁰ z.B. Claus Turtur, 2013, Wandlung von Vakuumenergie in elektromagnetischen Nullpunktoszillationen in klassische mechanische Energie, Europäischer Hochschulverlag

⁵¹ Klaus Volkamer, 2015, *Die feinstoffliche Erweiterung unseres Weltbilds* – Ansatz einer erweiterten Physik zur unbegrenzten Gewinnung freier Energie aus der – Brosowski Publishing, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage (2015) Feinstofflichkeit, fast 500 Seiten.

Fazit:

Die Ätherhypothese spielte nicht nur früher im Denken der Physiker eine Rolle – wie Einstein feststellte⁵² –, sondern genauso auch heutzutage.

Die Gretchen-Frage.

Unzählige Physiker und Philosophen – einschliesslich Aristoteles, Bruno, Kant, Maxwell, Schrödinger, Einstein, usw., sowie in neuester Zeit die beiden noch sehr aktiven Nobelpreisträger Laughlin und Wilczek – stellten schon fest:

Die physikalischen Qualitäten des allgemeinen (sog. leeren) Raums bedingen – bzw. erfordern – ein Äthermedium.

Die modernen Äthervorstellungen von Laughlin (speziell relativistischer Äther) und Wilczek (allgemein relativistischer Äther) könnten jedoch unterschiedlicher kaum sein. Daher die Gretchen-Frage:

Welche Art von Äther, die auch neueste physikalische Erkenntnisse einbezieht, wird sich durchsetzen?

Eine öffentliche Diskussion der beiden unterschiedlichen Standpunkte von Laughlin und Wilczek betreffend ihrer relativistischen Äther-Konzepte wäre sicher sehr aufschlussreich – auch sehr spannend anzuhören –, und auch eine wünschenswerte Anregung für alle wissenschaftlich interessierten Menschen, v.a. Studierende.

Hinweis.

Leider wird heutzutage völlig ausgeblendet, dass der Äther noch vor etwa hundert Jahren von grösster weltanschaulicher Bedeutung war.

Wichtige Äther-Themen waren damals u.a. (um 1925 noch) *Lebensreform*, Monismus, Substanzdenken, Wahl zwischen Abgrund und Erlösung, *Naturwissenschaft als Therapie*, Forderung nach absoluter Wahrheit.⁵³

In unserer von Krisen geprägten Zeit nach 2000 – betr. Um-/Mitwelt, Finanzwesen, Energie, Medien, Klima, Terror, Flüchtlinge, Plastikmüll, Artensterben, usw. – könnte eine erneute öffentliche Diskussion der oben erwähnten Themenkreise im Lichte eines allgegenwärtigen Äthermediums – zwecks möglichst glimpflicher und nachhaltiger Krisen-Bewältigung – „durchaus nützlich sein“.

Zitierte Literatur

- [1] Max Born. *Die Relativitätstheorie Einsteins*. Springer, Berlin, 1920. 5. unveränderte Auflage, 1969, (Erstauflage 1920).
- [2] Albert Einstein. *Äther und Relativitäts-Theorie*. Springer, Berlin, 1920. Rede gehalten am 5. Mai 1920 an der Reichs-Universität zu Leiden.
- [3] Albert Einstein and Leopold Infeld. *Die Evolution der Physik*. Rowohlt Sachbuch 9921, Reinbek bei Hamburg, Neuauflage 1995 (Orig. engl. April 1938).
- [4] Albrecht Fölsing. *Albert Einstein – eine Biographie*. Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1993.
- [5] Henning Genz. *Die Entdeckung des Nichts – Leere und Fülle im Universum*. Carl Hanser Verlag, 1994.
- [6] Henning Genz. *Nichts als das Nichts – Die Physik des Vakuums*. Wiley VCH, 2004.
- [7] Ludwik Kostro. *Einstein and the Ether*. Apeiron, Montreal, 2000. günstiges Taschenbuch, Dutzende Zitate und genaue Quellenangaben.
- [8] Robert B. Laughlin. *Abschied von der Weltformel – Die Neuerfindung der Physik*. Piper, 2007. – Physik-Nobelpreis 1998.
- [9] Dieter Meschede. *Gerthsen Physik – Die ganze Physik zum 21. Jahrhundert*. Springer, Berlin und Heidelberg, 24. Auflage 2010.
- [10] Kenneth F. Schaffner. *Nineteenth-century aether theories*. Pergamon Press, Oxford, 1972. (Enthält mehrere Originalarbeiten berühmter Physiker.).
- [11] Ivo Schneider. *Isaac Newton*. Verlag C.H. Beck, München, 1988. Beck'sche Reihe: Grosse Denker.
- [12] Karoly Simonyi. *Kulturgeschichte der Physik*. Harri Deutsch, 24. edition, 2004.
- [13] Lee Smolin. *Die Zukunft der Physik – Probleme mit der Stringtheorie und wie es weitergeht*. Deutsche Verlags-Anstalt, 2009. – engl. Titel: 'The Trouble with Physics' – The Rise of Stringtheory, the Fall of Science and What Comes Next.
- [14] Arnold Sommerfeld. *Mechanik der deformierbaren Medien – Vorlesungen über theoretische Physik Bd. 2*. Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt, Nachdruck 1978/1992 der 6. Auflage von 1970.
- [15] Alexander Unzicker. *Vom Urknall zum Durchknall – Die absurde Jagd nach der Weltformel*. Springer, Heidelberg, 2010.
- [16] Milena Wazeck. *Einsteins Gegner: die öffentliche Kontroverse um die Relativitätstheorie in den 1920er Jahren*. Campus Verlag GmbH, 2009.
- [17] Frank Wilczek. *The Lightness of Being - Mass, Ether, and the Unification of Forces*. Basic Books, 2008. Physik Nobelpreis 2004.

Version 3 (erweiterte pip-Format 18.08.19)
einschliesslich **Richtigstellung des Vortragsdatums**
(siehe Fussnote 2)

⁵² siehe Seite 2 Randnotiz S2N1

⁵³ Wazeck (2009), (16), Zu diesen Themen je ein ganzer Abschnitt, S. 37-64