

IRRWEGE DER THEORETISCHEN PHYSIK EINE KRITISCHE BESTANDSAUFNAHME

von

Christoph v. Mettenheim

Download von: <http://christoph.mettenheim.de/> (Deutsch oder English)

Wissenschaft lebt von wechselseitiger Kritik der Wissenschaftler. Ein Wissenschaftszweig, der Fortschritte erzielen will, muss Kritik nicht nur dulden sondern auch Bedingungen schaffen, unter denen sie wahrgenommen und diskutiert wird. Der theoretischen Physik ist das im 20. Jahrhundert nicht gelungen¹. Sie kann die Wirkungen der Schwerkraft, der offensichtlichsten aller physikalischen Kräfte, zwar mathematisch beschreiben, aber weder ihre Ursache nennen noch sie in ihrem System unterbringen. Wenige theoretische Physiker haben das erkannt². Die meisten verhalten sich so, als sei dieses System trotz der klaffenden Lücke jeder Kritik entzogen.

Der Ursprung der Fehlentwicklung lag im Denkansatz. Seit den Zeiten von Christiaan Huygens (1629-1695) und Sir Isaac Newton (1643-1727) hatte sich der Fortschritt der physikalischen Forschung besonders in der Genauigkeit von Berechnungen und Vorhersagen bemerkbar gemacht. Viele glaubten deshalb, Mathematik sei Teil der Natur selbst; es gehöre also zu den physikalischen Eigenschaften der Materie und des Lichts, mathematischen Regeln zu gehorchen.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war diese Sicht weit verbreitet. Erst nach den Arbeiten von Whitehead, Russell, Tarski und Popper wurde in den folgenden Jahrzehnten erkennbar, dass Mathematik kein Element der Natur sondern der menschlichen *Sprache* ist, also eine autonome Schöpfung des Menschen. Sie kann deshalb Regelmäßigkeiten der Natur nicht erklären sondern nur beschreiben, und die Beschreibung kann nur korrekt sein, wenn es solche Regelmäßigkeiten in der Natur gibt. In der theoretischen Physik konnte diese Sicht sich aber nicht durchsetzen. Viele Theorien hätten von Grund auf neu durchdacht werden müssen, doch dazu kam es nicht. So verlor die theoretische Physik schließlich auch den Kontakt zur Realität.

I. DIE QUANTENTHEORIE

Die Folgen der Fehlentwicklung zeigen sich bereits in der Quantentheorie, die Max Planck im Jahr 1900 begründete und für die er 1918 mit dem Nobelpreis geehrt wurde. Sie wirft ein Problem auf, das in der theoretischen Physik offenbar nie gesehen und deshalb nie diskutiert wurde. Planck nahm an, das Quantum sei die schlechthin kleinste Einheit der Natur, deshalb selbst nicht weiter teilbar. Auch Einstein setzte in seiner Lichtquantenhypothese, für die er 1922 den Nobelpreis erhielt, die Unteilbarkeit des Quantums voraus. Beide haben diese Annahme aber nie begründet. Die Behauptung mag unglaublich klingen, aber die Geschichte der Quantentheorie bestätigt sie³.

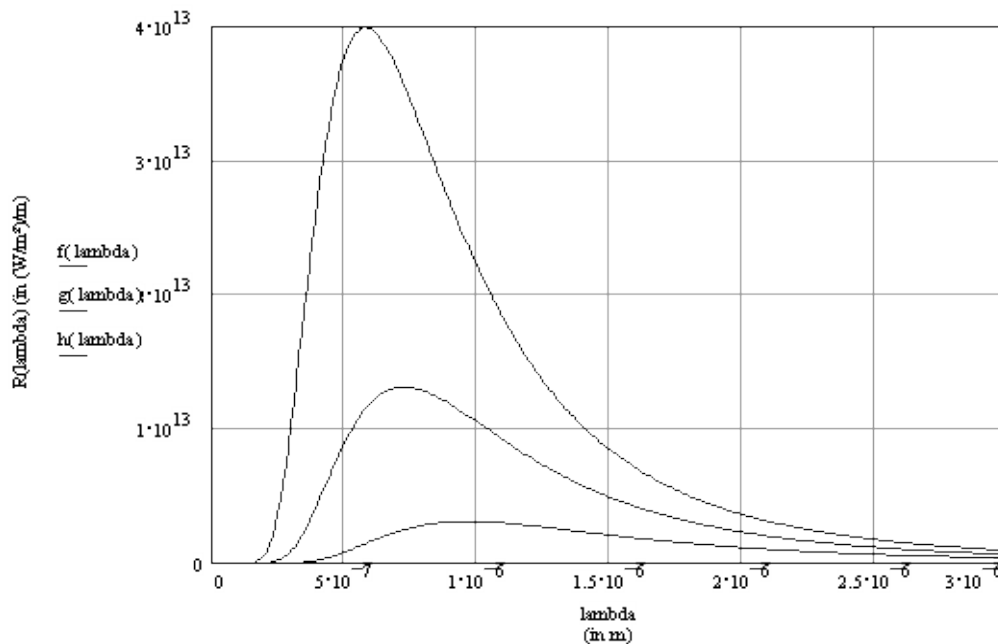
¹ Die Veröffentlichung dieses Aufsatzes (ältere Versionen, in deutscher oder englischer Sprache) wurde von den mir bekannten Fachzeitschriften für Physik oder Philosophie abgelehnt. Gleiches gilt für meine Bücher *Albert Einstein oder: Der Irrtum eines Jahrhunderts* (2009) und *Einstein, Popper and the Crisis of Theoretical Physics* (2015).

² Zu den Ausnahmen zählen z.B. Richard P. Feynman (*QED – The Strange Theory of Light and Matter*, Kap. 5), Leon Lederman (*The God Particle*, Kap. 3) und Stephen Hawking (*A Brief History of Time*, Kap. 8).

³ Vgl. zum Folgenden auch v. Mettenheim, *Albert Einstein oder: Der Irrtum eines Jahrhunderts* (2009), S. 167ff.; ders., *Einstein, Popper and the Crisis of Theoretical Physics* (2015), S. 183ff.

1.

Max Planck suchte nach einer Formel zur Darstellung des Spektrums der Lichtenergie bei der Erhitzung schwarzer Körper. Es galt vielen Physikern als Idealfall einer von Materialeigenschaften unbeeinflussten Strahlungsenergie. Man nahm an, ein ‚idealer‘ schwarzer Körper reflektiere gar keine Strahlung. Obwohl solche Körper in der Natur nicht vorkommen, bezeichnete man ihr Strahlungsspektrum als ‚Normalspektrum‘. Besonders interessierte man sich für seine Veränderung, wenn ein solcher schwarzer Körper erhitzt wird. Um dem Ideal möglichst nahe zu kommen benutzte man im Experiment anstelle eines wirklich schwarzen Körpers einen von schwarzen Wänden umschlossenen Hohlraum, der zur Beobachtung eine Öffnung enthielt, aus der nur wenig Strahlung entweichen konnte.



(Abb.1: Spektrale Intensitätsverteilung der schwarzen Strahlung bei unterschiedlichen Temperaturen)

Abbildung 1 zeigt die Energieverteilung im Strahlungsspektrum eines solchen schwarzen Körpers. Die Frequenzen sind auf der Abszisse (x-Achse) abgetragen, die Strahlungsenergie auf der Ordinate (y-Achse), und die Kurven geben beispielhaft die Verteilung dieser Strahlungsenergie bei unterschiedlichen Temperaturen wieder, also Resultate damals bekannter Messungen⁴.

Planck suchte nach einer Formel zur Berechnung der dargestellten Energieverteilung. Mehrere waren vorgeschlagen worden, aber keine überzeugte. Die von Wilhelm Wien entwickelte ergab gute Übereinstimmungen für hohe Frequenzen, während die sogenannte Rayleigh-Jeanssche Formel für niedrigere Frequenzen genauere Werte ergab⁵. Durch Interpolation zwischen den beiden Formeln bei gleichzeitiger Einführung der Naturkonstanten h gelang es Planck,

⁴ Zit. nach. Gerthsen/Vogel, *Physik*, 17. Aufl. [1993], S. 543. – Die unterste Kurve zeigt Ergebnisse bei 1000° K, die mittlere bei 1500° K und die oberste bei 2000° K.

⁵ Rayleigh hatte seine Formel zwar schon veröffentlicht, aber Planck kannte sie zunächst noch nicht (vgl. Agassi, *Radiation Theory and the Quantum Revolution* [1993], S.100). Er ging vielmehr von einer ähnlichen Formel aus, die Kurbaum und Rubens entwickelt hatten, passte seine Theorie aber später an die Rayleigh-Jeanssche Formel an (vgl. Hermann, *Max Planck in Die Großen Physiker*, [1997] Bd. II, S. 147f.).

eine Gleichung zu entwickeln, die seitdem als ‚Plancksche Strahlungsformel‘ bezeichnet wird⁶. In heutigen Physiklehrbüchern liest man, sie enthalte die mathematische Darstellung der dargestellten Kurven⁷. Ihre Bedeutung muss hier nicht näher interessieren. Zunächst ist nur wichtig, dass Planck in dem Zusammenhang die Konstante h einführte, die er als ‚Wirkungsquantum‘ bezeichnete und mit $h = 6.55 \times 10^{-27} \text{ erg} \times \text{sec}$ berechnete⁸.

(a) Max Planck stellte seine Theorie am 14. Dezember 1900 einer größeren Öffentlichkeit vor. Der folgende Ausschnitt aus seinem Vortrag beleuchtet den Problemhintergrund, vor dem seine Überlegungen sich abspielten. Er sagte:

„Als ich vor mehreren Wochen die Ehre hatte, Ihre Aufmerksamkeit auf eine neue Formel zu lenken, welche mir geeignet schien, das Gesetz der Verteilung der strahlenden Energie auf alle Gebiete des Normalspectrums auszudrücken, gründete sich meine Ansicht von der Brauchbarkeit der Formel ... nicht allein auf die anscheinend *gute Übereinstimmung* der wenigen Zahlen, die ich Ihnen damals mitteilen konnte, *mit den bisherigen Messungsergebnissen*, sondern hauptsächlich auf den einfachen Bau der Formel und insbesondere darauf, dass dieselbe für die Abhängigkeit der Entropie eines bestrahlten monochromatisch schwingenden Resonators von seiner Schwingungsenergie einen sehr einfachen logarithmischen Ausdruck ergibt,

Da somit die Entropie eines Resonators durch die Art der Energieverteilung auf viele Resonatoren bedingt ist, so vermutete ich, dass sich diese Größe *durch die Einführung von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen* ... würde berechnen lassen müssen. Diese Vermutung hat sich bestätigt; es ist mir möglich geworden, *einen Ausdruck für die Entropie* eines monochromatisch schwingenden Resonators, und somit auch für die Verteilung der Energie im stationären Strahlungszustand *auf deductivem Wege zu ermitteln*,

Indessen ... (scil. Planck legt dar, dass er unter Verzicht auf Einzelheiten nur den zentralen Punkt der Theorie vorstellen kann) ..., und dies kann wohl am besten dadurch geschehen, dass ich Ihnen hier ein neues, ganz elementares Verfahren beschreibe, durch welches man, ohne von einer Spectralformel oder auch von irgendeiner Theorie etwas zu wissen, *mit Hilfe einer einzigen Naturconstanten* die Verteilung einer gegebenen Energiemenge auf die einzelnen Farben des Normalspectrums, und dann mittels einer zweiten Naturconstanten auch die Temperatur dieser Energiestrahlung zahlenmäßig berechnen kann.“ (Meine Hervorhebungen).

Der Textabschnitt umreißt die Aufgabe, die Max Planck sich gestellt hatte. Er hatte die Strahlungsformel bereits gefunden und mit bekannten experimentellen Ergebnissen verglichen. Deswegen sprach er von der ‚Übereinstimmung ... mit den bisherigen Messungsergebnissen‘. Auch die Resultate waren also bekannt. Er suchte aber nach einem Weg, um die Formel auch ‚auf deductivem Wege zu ermitteln‘; das zeigen die kursiv hervorgehobenen Textpassagen.

Sein Problem war die im Prinzip bekannte, der Höhe nach aber unbekanntes Größe der Entropie, also der Umstand, dass bei der Umwandlung von Strahlung in mechanische Energie, oder umgekehrt, immer ein Teil sich nicht umwandeln lässt. Da dessen Proportion unbekannt war, stand die Entropie als Rechengröße nicht zur Verfügung. Das schloss eine exakte Berechnung der Strahlungsenergie insgesamt aus. Aus mathematischer Sicht war Entropie eine Unbekannte, die nur mit Hilfe anderer Gleichungen hätte bestimmt werden können.

Der Textausschnitt deutet auch Plancks Ansatz zur Lösung des Problems an. Die Größe der Entropie sollte ‚durch die Einführung von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen‘ und ‚mit Hilfe einer einzigen Naturconstanten‘ ermittelt werden.

⁶ Die Gleichung lautet $u_\nu d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{d\nu}{e^{h\nu/k\theta} - 1}$. In Plancks Darstellung bezeichnet u die räumliche Energiedichte und ν die Eigenfrequenz eines ‚Resonators‘ (vgl. dazu weiter im Text). Der Ausdruck $u_\nu d\nu$ bezeichnet also die auf der Ordinate abgetragene räumliche Energiedichte u bezogen auf den Differentialquotienten (Grenzwert) der auf der Abszisse abgetragenen Frequenz ν .

⁷ Vgl. z.B. Gerthsen/Vogel, *Physik*, 17. Aufl. [1993], S. 545, bei Gleichung (11.11).

⁸ Max Planck, *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, 4. Aufl. 1921, S. 162. Wegen inzwischen geänderter Maßeinheiten wird h heute mit $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ angegeben.

Planck gab keine andere Begründung. Der zitierte Text zeigt aber, dass es ihm nicht genügte, die Strahlungsformel bereits gefunden zu haben, und auch nicht, dass sie experimentell bereits bestätigt worden war. Noch weniger wollte er sie praktisch anwenden, denn dazu hätte er die idealen Größen, die er zugrunde gelegt hatte, den Werten wirklicher Körper anpassen müssen. Er wollte aber mehr. Die bereits gefundene Formel sollte nicht nur empirisch bestätigt, sondern auch ‚auf deductivem Wege ermittelt‘ werden. Ohne Deduktion erschien sie ihm wertlos, denn erst die mathematische Herleitung erhob sie in seinen Augen in den Rang einer Theorie der ‚exakten Wissenschaft‘.⁹ Es störte ihn nicht, dass seine Deduktion darauf angewiesen war, *ad hoc* eine neue Konstante einzuführen, also eine Rechengröße, die allein dazu diente, das Ergebnis passend zu machen, und die sich zudem auf ‚Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen‘ stützte. Im Gegenteil, seine Überzeugung von der Notwendigkeit deduktiver Begründung war so unerschütterlich, dass er die Konstante h eben deshalb und *nur* deshalb, weil Deduktion ohne sie nicht möglich war, als eine von der Natur selbst vorgeschriebene Größe, also als *Naturkonstante* ansah.

In keinem seiner Werke gab Planck eine weitere Begründung. Noch fünf Jahre später, vermutlich also nach reiflichem Nachdenken, präsentierte er die Konstante h in seinen *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung* in einer neuen Gleichung als freudige Überraschung des Lesers mit den Worten:

‚Auffallend an diesem Resultat (scil. der zuvor aufgestellten neuen Gleichung) ist zunächst das Auftreten einer neuen *universellen Konstante* h von der Dimension eines *Produkts aus Energie und Zeit*.‘ (Meine Hervorhebungen).

In den unmittelbar anschließenden Erläuterungen schrieb er:

‚Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, dass die Konstante h bei den elementaren Schwingungsvorgängen in einem Emissionszentrum *eine gewisse Rolle spielt*, zu deren Ergründung von elektrodynamischer Seite her unsere bisherige Theorie jedoch *keine näheren Anhaltspunkte* liefert. Und doch wird die Thermodynamik der Strahlung erst dann zu einem vollständig befriedigenden Abschluß gelangt sein, *wenn* die Konstante h in ihrer *vollen universellen Bedeutung* erkannt ist‘¹⁰. (Meine Hervorhebungen).

Das war die einzige Erklärung, die Max Planck für die Einführung der Naturkonstanten h gab.

Mit anderen Worten: *Er wusste selbst nichts!* Und zwar noch 1906, also Jahre nach der ersten Veröffentlichung seiner Quantentheorie, ja sogar nach Einsteins Veröffentlichung der Lichtquantenhypothese, auf die wir zurückkommen werden. Er hatte zwar eine dunkle Ahnung davon, dass die Konstante h in ihrer ‚vollen universellen Bedeutung‘ noch erkannt werden musste, aber er selbst hatte von dieser Bedeutung nicht einmal eine vage Vorstellung, weil seine Theorie dafür ‚keine näheren Anhaltspunkte‘ bot. Trotzdem war er unbeirrt der Ansicht, die von ihm *ad hoc* eingeführte Größe h müsse eine ‚universelle Konstante‘ sein, und das nur, weil die bekannten Messergebnisse sich ohne sie nicht in mathematischen Formeln ausdrücken ließen.

Vor diesem Hintergrund erschien ihm nebensächlich, dass seine Strahlungsformel bereits empirisch bestätigt worden war. Deshalb erwähnte er den Umstand nur beiläufig in der Einleitung seines Vortrages. Später sagte er sogar:

‚Es würde nun freilich sehr *umständlich* sein, die angegebenen *Rechnungen* wirklich auszuführen, obwohl es *gewiss nicht ohne Interesse* wäre, an einem einfachen Fall einmal den so zu erreichenden Grad von *Annäherung an die Wahrheit* zu prüfen‘¹¹. (Meine Hervorhebungen).

⁹ Vgl. dazu auch Plancks Vortrag über *Sinn und Grenzen der Exakten Wissenschaft* (1942).

¹⁰ Max Planck, *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, aaO S. 153, 154.

¹¹ Max Planck, *Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum*, aaO, S. 242.

Deutlicher konnte er kaum zum Ausdruck bringen, dass Experimente für ihn allenfalls sekundäre Bedeutung hatten; sie waren zwar ‚nicht ohne Interesse‘, aber ‚umständliche ... Rechnungen‘ lohnten sie nicht.

Die zuletzt zitierte Passage zeigt sogar, dass Planck die ‚Annäherung an die Wahrheit‘ nicht in der Theorie, sondern im Experiment sah. Die Theorie, so wird man ihn verstehen müssen, näherte sich der Wahrheit nicht an; sie *verkörperte* die Wahrheit. Sie allein erschien ihm als ‚exakte Wissenschaft‘, alles andere war bloße Meinung. Sein axiomatisches Wissenschaftsverständnis ging davon aus, dass eine Theorie nach den Regeln der Mathematik aus Prämissen deduziert worden war, deren Wahrheit feststand. Experimente konnten nur helfen, solche Theorien aufzufinden. Sie waren bloße Wegweiser, die den menschlichen Verstand bei der Suche nach korrekter Deduktion unterstützten. Darum konnten sie nur dann eine ‚Annäherung an die Wahrheit‘ sein, wenn sie die deduktiv gefundene Theorie bestätigten. Dass sie eine Theorie bestätigen würden, die korrekt deduziert worden war, setzte er als selbstverständlich voraus. Deshalb war die experimentelle Bestätigung für ihn allenfalls ‚nicht ohne Interesse‘. Keinesfalls aber hätte der Ausgang eines Experiments eine Theorie in Frage stellen oder gar widerlegen können, die deduktiv begründet worden war. Der Gedanke, dass Experimente eine Theorie regelrecht über den Haufen werfen könnten, etwa so, wie die Beobachtungen von Kopernikus, Kepler und Galilei die ptolemäische Theorie über den Haufen geworfen hatten, scheint ihm fremd gewesen zu sein.

(b) Die Vorstellungswelt, in der Planck lebte, lässt sich heute kaum noch darstellen. Sie wird verständlicher, wenn wir uns fragen, was er sich unter einem physikalischen Experiment vorstellte.

Planck zählte zu den ersten Hochschullehrern der Physik, die nur theoretisch arbeiteten. Da es ihm an praktischer Anschauung fehlte, scheint er sich auch bei seinen Gedanken über Experimente von der Mathematik nie ganz gelöst zu haben. In der zuletzt zitierten Passage sprach er davon, die ‚angegebenen Rechnungen wirklich auszuführen‘. Experimente bestanden also für ihn in der Ausführung von ‚Rechnungen‘. Wer den Gedanken nachvollziehen will, muss sich wohl das, was er als physikalisches Experiment ansah, wie eine zeichnerische Konstruktion nach den Regeln der Geometrie vorstellen, die bei sorgfältiger Handhabung der Instrumente gute Annäherungen an die idealen geometrischen Figuren hervorbringen konnte, ohne aber das Ideal jemals zu erreichen. Der Bleistift musste dünn sein, das Lineal gerade, und der Zirkel musste scharfe Spitzen haben. Das würde auch erklären, warum es aus Plancks Sicht darauf ankam, im Experiment ideale Zustände zu schaffen. Denn nur wenn das gelang, konnte es für ihn aussagekräftig sein. Und wenn es aussagekräftig war, musste es die deduktiv begründete Theorie bestätigen. Der Primat lag nach seiner Vorstellung bei der Theorie; das Experiment war sekundär.

2.

Wenden wir uns nun der weiteren Entwicklung der Quantentheorie zu. Nachdem Max Planck seine Theorie am 14. Dezember 1900 vorgestellt hatte, tat Einstein im Jahr 1905 mit seinem Aufsatz *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* den nächsten Schritt¹². Die Lichtquantenhypothese, die er darin formulierte, setzte sich in der Wissenschaft nur mühsam durch. Widerstand kam offenbar nicht zuletzt von Planck selbst¹³.

Bei näherer Überlegung ist das kaum verwunderlich. Die Quantenhypothese erfuhr nämlich durch die Art, in der Einstein sie in seiner neuen Theorie einsetzte, eine radikale inhaltliche Veränderung, die Planck zwar offenbar nie direkt angesprochen hat, die er aber gespürt haben muss, und die ihn im Innersten beunruhigt haben dürfte. Einsteins Lichtquantenhypothese war die erste Revolution in der Geschichte der Quantentheorie, auch wenn sie als solche damals unerkannt blieb. Kein theoretischer Physiker scheint bemerkt zu haben, dass die Voraussetzungen,

¹² Annalen der Physik 1905 S. 132 ff. Das nachfolgende Zitat ist von S. 133.

¹³ Vgl. dazu Albrecht Fölsing, *Albert Einstein - Eine Biographie*, S. 170; Armin Hermann, *Max Planck* in: *Die Großen Physiker*, Bd. II S. 149.

von denen Planck im Jahr 1900 ausgegangen war, mit Einsteins Lichtquantenhypothese im Jahr 1905 bereits wieder aufgegeben wurden.

(a) In Plancks Theorie war h eine abstrakte Größe. Er berechnete sie mit $h = 6.55 \times 10^{-27} \text{ erg} \times \text{sec}$ und bezeichnete sie als ‚Wirkungsquantum‘¹⁴. Die Bezeichnung bedeutete ihm viel, denn sie brachte zum Ausdruck, dass die Bedeutung von h nicht von konkreten Anwendungen abhängig sein sollte. Deshalb schrieb er:

‚Ich möchte dieselbe (scil. die Naturkonstante h) als ‚elementares Wirkungsquantum‘ oder als ‚Wirkungselement‘ bezeichnen, weil sie von derselben Dimension ist wie diejenige Größe, welcher das Prinzip der kleinsten Wirkung seinen Namen verdankt‘¹⁵.

Aus der abstrakten Bedeutung der Konstanten h ergeben sich wichtige Folgerungen.

Heute setzt wohl jeder Physiker voraus, dass das Quantum unteilbar ist. Die meisten werden annehmen, die Unteilbarkeit sei von Max Planck selbst begründet worden. Denn dass eine so fundamentale Entdeckung wie die einer letzten, nicht weiter teilbaren Größe der Natur besonderer Begründung bedarf, erscheint selbstverständlich. Wie könnte man sich sonst in der Physik auf eine solche Größe verlassen?

Trotzdem findet sich in Plancks Schriften keine Bestätigung für diese Annahme. Die Behauptung mag unglaublich klingen, aber ich kann nur bitten, sie mir entweder aufs Wort zu glauben oder ihre Richtigkeit anhand von Plancks Texten nachzuprüfen. Denn ich kann nicht zitieren, was nicht geschrieben wurde. Die Behauptung ist aber von größter Bedeutung für die Beurteilung der theoretischen Physik im 20. Jahrhundert. Nähere Überlegung wird außerdem zeigen, dass es Plancks wissenschaftstheoretischen Überzeugungen diametral widersprochen hätte, nach einer Begründung für die Unteilbarkeit von h auch nur zu suchen. Der einzige Ansatz, den ich in seinen Schriften habe finden können, liest sich jedenfalls so:

‚Der Umstand, dass die Konstante h als eine *bestimmte endliche Größe* eingeführt wird, ist charakteristisch für die ganze hier entwickelte Theorie. Würde man h unendlich klein annehmen, so käme man zu einem Strahlungsgesetz, welches als ein spezieller Fall aus dem allgemeinen hervorgeht (das Rayleighsche Gesetz vgl. ...).‘¹⁶ (Meine Hervorhebung).

Die Sätze zeigen, dass der mathematische Aspekt für Planck im Vordergrund stand. Die Konstante h musste eine ‚bestimmte endliche Größe‘ sein, weil seine Gleichungen nur so ein universelles Gesetz ergaben. Bei Annahme einer *unendlich* kleinen Größe, also bei kontinuierlicher Zu- oder Abnahme hätten sie dagegen nur einen Spezialfall dargestellt, nämlich das Rayleighsche Gesetz. Deshalb führte er das Wirkungsquantum als ‚Naturkonstante‘ ein. Immer wieder hat ihr das Prädikat ‚elementar‘ beigeordnet¹⁷. Sie war für ihn eine Naturkonstante, weil sie mathematisch notwendig war, um die Wiensche Formel und die Rayleigh-Jeanssche Formel miteinander zu vereinbaren. Wäre sie variabel gewesen, dann hätte sie nur noch einen Spezialfall dargestellt. Weil sie aber unbeeinflussbar sein musste, hielt er sie für elementar. An der Zirkelhaftigkeit dieses Gedankengangs nahm er keinen Anstoß, weil es ihm als Anhänger der axiomatischen Methode unumgänglich erschien, von feststehenden Grundwahrheiten auszugehen. Ohne sie, so muss er geglaubt haben, konnte es keine exakte Wissenschaft geben¹⁸.

Aus Plancks Sicht ging es also um ein methodologisches Prinzip. Die Unteilbarkeit von h ergab sich für ihn daraus, dass es sich um eine Konstante handelte. Die Frage, ob sie empirisch teilbar oder unteilbar ist, stellte sich ihm nicht, weil sie aus seiner Sicht keine empirische Tatsache

¹⁴ Max Planck, *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, 4. Aufl. 1921, S. 162. Wegen inzwischen geänderter Maßeinheiten wird h heute mit $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ angegeben.

¹⁵ Max Planck, *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, aaO S. 154.

¹⁶ Max Planck, *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, aaO S. 156.

¹⁷ Max Planck, *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung*, aaO S. 154, 156, 162,

¹⁸ Vgl. dazu auch Plancks Vortrag über *Sinn und Grenzen der Exakten Wissenschaft* (1942).

sondern eine mathematische Notwendigkeit bezeichnete. Ihre elementare Qualität ergab sich nicht aus beobachtbaren Effekten, sondern daraus, dass eine Deduktion der Strahlungsformel ohne sie nicht möglich wäre. Deshalb erschien sie ihm als mathematische und somit *zwingende* Notwendigkeit. Hätte er eine besondere Begründung für ihre Unteilbarkeit gegeben, dann hätte er sich selbst widersprochen. Er hätte Zweifel geäußert, die er nicht hegte.

Am wenigsten hätte Planck auf experimentelle Ergebnisse zurückgegriffen, denn sie hätten nachprüfbar Effekte vorausgesetzt. Solche Behauptungen hat er aber stets vermieden. Seine Domäne war die Theorie; das Experiment erschien ihm zweitrangig. Aus seiner Sicht konnte es im günstigsten Fall eine Annäherung an die Wahrheit erreichen. Seine Naturkonstante h sollte aber aus rein mathematischen Gründen eine universelle Konstante sein. Deshalb bezeichnete er das Quantum nie als ‚Energiequantum‘, sondern immer nur als ‚Wirkungsquantum‘.

(b) Diesen gedanklichen Ansatz hat Einstein bei seinen Überlegungen zur Lichtquantenhypothese von Anfang an aufgegeben. Sein Vorschlag ging dahin, das Wirkungsquantum zunächst hypothetisch als etwas wirklich *Existierendes* zu behandeln und dann zu prüfen, wie weit diese Hypothese trägt. Darin lag eine Verschiebung des Begriffsinhalts, die alles durcheinander brachte.

Die nachfolgenden Abschnitte aus der Einleitung von Einsteins Aufsatz kennzeichnen die Situation. Er schrieb dort¹⁹:

„Nach der Maxwell'schen Theorie ist bei allen rein elektromagnetischen Erscheinungen, also auch beim Licht, die Energie als kontinuierliche Raumfunktion aufzufassen, während die Energie eines ponderablen Körpers nach der gegenwärtigen Auffassung der Physiker als eine über die Atome und Elektronen erstreckte Summe darzustellen ist.

...

Es scheint mir nun in der Tat, dass die Beobachtungen über die ‚schwarze Strahlung‘, Photolumineszenz, die Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht und andere die Erzeugung bez. Verwandlung des Lichts betreffende Erscheinungsgruppen besser verständlich erscheinen unter der *Annahme*, dass die Energie des Lichts diskontinuierlich im Raume verteilt sei. Nach der *hier ins Auge zu fassenden Annahme* ist bei der Ausbreitung eines von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahles die Energie nicht kontinuierlich auf größer und größer werdende Räume verteilt, sondern es besteht dieselbe aus einer endlichen Zahl von *in Raumpunkten lokalisierten Energiequanten, welche sich bewegen, ohne sich zu teilen und nur als Ganze absorbiert und erzeugt werden können.* (Meine Hervorhebungen).

Die Textpassage hat einen methodologischen und einen begrifflichen Aspekt. Es kommt darauf an, die beiden zu unterscheiden.

Zunächst zur Methode. Einstein hätte kaum deutlicher sagen können, dass er eine *Annahme* vorschlagen wollte, nämlich die ‚Annahme, dass die Energie des Lichts diskontinuierlich im Raume verteilt sei.‘ Er ging nicht von einer Wahrheit aus, die er für unbestreitbar hielt, sondern von einer Hypothese, deren Berechtigung an ihren Ergebnissen gemessen werden sollte.

Obwohl Planck und Einstein fast zur selben Zeit schrieben, könnte der Unterschied zwischen ihnen aus methodologischer Sicht kaum größer sein. Planck sah die Strahlungsformel als unbefriedigend an, solange sie nur auf empirische Ergebnisse gestützt werden konnte, und suchte deshalb nach einer deduktiven Begründung. Einstein dagegen verzichtete auf jede Begründung und verwies allein auf die Überzeugungskraft des Ergebnisses. Aus wissenschaftstheoretischer Sicht scheint seine heuristische Methode ihn damit als einen hochmodernen Vertreter der kritisch-rationalen Wissenschaft auszuweisen, der nach der Methode von *trial and error* vorurteilslos neue Hypothesen aufgreift und sie erst nachträglich anhand der Erfahrung überprüft.

Die begriffliche Unschärfe in Einsteins Gedanken machte diesen Fortschritt aber leider wieder zunichte. Er bezeichnete das Quantum nicht als ‚Wirkungsquantum‘ sondern als ‚Energiequantum‘. Bei ihm stand es für eine Energiemenge, war ‚in Raumpunkten lokalisiert‘ und konnte sich sogar ‚bewegen, ohne sich zu teilen‘. Demnach hatte es Eigenschaften, die in der

¹⁹ Albert Einstein, *Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*, S. 132.

Physik nur wirklichen Dingen zukommen. Während Plancks Wirkungsquantum eine abstrakte Rechengröße war, war Einsteins Energiequantum eine empirische Größe.

Was bedeutet diese Begriffsverschiebung? Logische Fehler treten nicht nur auf der Ebene abstrakter Begriffe oder Zeichen auf; dort sind sie sogar eher selten. Meist bestehen sie darin, dass Wörtern oder Zeichen eine Bedeutung zugeordnet und diese im weiteren Verlauf nicht beachtet wird. Diese Zuordnung von Wort und Bedeutung oder Zeichen und Bedeutung schafft eine Fehlerquelle, auf die Wissenschaftler sorgfältig achten müssen. Denn die Anwendung logischer Regeln besteht darin, dass wir Wörter oder Zeichen mit Inhalten verknüpfen, indem wir ihnen eine Bedeutung zuordnen, etwa indem wir bestimmen, dass c die Lichtgeschwindigkeit, h Plancks Konstante oder t die Zeit bezeichnen soll²⁰. Der Vorgang lässt sich mit einem Etikett vergleichen, das die Hausfrau auf ein Glas von Eingemachtem klebt. Wie Etiketten, so erhalten auch Zeichen oder Wörter ihre inhaltliche Bedeutung dadurch, dass wir sie ihnen zuordnen. Sie stehen dann für etwas, das mit ihnen selbst nicht identisch ist. Die Gefahr einer Verwirrung von Begriff und Bedeutung ist aber bei abstrakter Zuordnung weit größer als beim Einmachen von Marmelade, denn mit jeder Zuordnung verlassen wir das Gebiet der ‚reinen‘ Mathematik oder der ‚formalen‘ Logik und schaffen ein Problem, das dort nicht vorkommt.

Fehler dieser Art sind Einstein immer wieder unterlaufen. Auch im Falle der Quantentheorie benutzte er identische Ausdrücke trotz gedanklichen Zusammenhangs in unterschiedlicher Bedeutung. Er vollzog undeklarierte Begriffsverschiebungen und nahm sie im nächsten Augenblick teilweise wieder zurück, wodurch alles noch schlimmer wurde.

Obwohl er Plancks abstraktes ‚Wirkungsquantum‘ zu einem ‚Energiequantum‘ umfunktionierte, das ‚in Raumpunkten lokalisiert‘ und in der Lage war, sich zu ‚bewegen, ohne sich zu teilen‘, ging Einstein davon aus, dass Energiequanten ‚nur als Ganze absorbiert und erzeugt werden können‘. Damit setzte er ihre Unteilbarkeit voraus, *obwohl niemand sie bis dahin begründet hatte*. Planck hatte sie nicht begründet, weil sie ihm mathematisch notwendig erschien und deshalb aus seiner Sicht keiner Begründung bedurfte; das haben wir gesehen²¹. Einstein scheint es aber nicht gesehen zu haben, denn er machte seine Behauptung, das Energiequantum sei unteilbar, auch nicht als Hypothese erkennbar, deren Wahrheit im Experiment nachzuprüfen wäre. Vielmehr erweckte er den Anschein, als handle es sich um dieselbe Größe, die Max Planck eingeführt und deren Unteilbarkeit er, wie Einstein wohl geglaubt haben muss, deduktiv begründet hatte.

Hätte Planck mit h nicht eine Maßeinheit sondern eine reale Energiemenge bezeichnet, dann hätte er ihre Unteilbarkeit begründen müssen. Denn warum sollte es eine Energiemenge geben, die nicht unterschritten werden kann? Maxwells Theorie ging ja, wie Einstein selbst schrieb, gerade im Gegenteil davon aus, dass Energie kontinuierlich zu- oder abnimmt, also unbegrenzt teilbar ist. Und selbst wenn es eine Grenze der Teilbarkeit gäbe: Warum sollte sie bei $h = 1.055 \times 10^{-27}$ [erg \times sec] liegen? Auf den ersten Blick konnte das niemandem einleuchten. Zumindest wären große Anstrengungen nötig gewesen, um die Behauptung glaubhaft zu machen, und die Aussicht, andere Wissenschaftler davon zu überzeugen, war gering.

Dazu kam es aber nicht. Planck hielt es für unnötig, die Unteilbarkeit des Quantums zu begründen, weil er sie für eine mathematische Notwendigkeit hielt. Einstein dagegen setzte schon in der Einleitung seines Aufsatzes ohne Erklärung voraus, dass das Quantum unteilbar sei und nicht nur eine abstrakte Energiemenge *bezeichne*, sondern selbst aus Energie *bestehe*. Damit unternahm er eine Verschiebung des Begriffsinhalts, die allen weiteren Schlussfolgerungen die Grundlage entzog. Aus Plancks *rechnerischer* Größe der Naturkonstanten h wurde bei ihm die *empirische* Größe einer kleinstmöglichen Energiemenge. Plancks ‚Wirkungsquantum‘ wurde ohne Hinweis auf die Verschiebung der Bedeutung zum ‚Energiequantum‘ denaturiert. Und damit nicht genug: Einsteins Energiequanten konnten sich sogar im Raum bewegen, wie der zuletzt zitierte Text

²⁰ Vgl. oben Teil I, 3c (S. 8f.). – Alle Regeln der Logik lassen sich letztlich auf die (selbstaufgelegte) Pflicht zurückführen, sprachliche Ausdrücke innerhalb eines gedanklichen Zusammenhangs einheitlich zu verwenden (*ne venire contra factum proprium*). Dazu näher v. Mettenheim, *Einstein, Popper and the Crisis of Theoretical Physics* (2015), S. 105ff.

²¹ Vorstehend, Abschnitte 1 und 2a.

zeigt. Am Ende des Aufsatzes bezeichnete er selbst sie als ‚Lichtquanten‘.²² Damit waren sie nichts anderes als Lichtpartikeln, also das, was die heutige Theorie als ‚Photonen‘ bezeichnet. Seine Lichtquantenhypothese war der Sache nach eine Rückkehr zur Emissionstheorie des Lichts, die Newton zugeschrieben wurde, im 19. Jahrhundert aber als überwunden galt, weil viele physikalische Effekte des Lichts sich nur mit der auf der Ätherhypothese aufbauenden Wellentheorie befriedigend erklären ließen.

(c) Gegen eine Rückkehr zur Emissionstheorie wäre aus wissenschaftstheoretischer Sicht nichts einzuwenden gewesen, wenn sie ausdrücklich erfolgt wäre. In Diskussionen widerstreitender physikalischer Theorien werden oft neue Ideen entwickelt. Deshalb hätte eine offene Auseinandersetzung zwischen der Wellentheorie des Lichts und einer neuen Variante der Emissionstheorie durchaus dem wissenschaftlichen Fortschritt dienen können.

Aber so war es leider nicht. Einsteins Rückkehr zur Emissionstheorie erfolgte weder ausdrücklich noch offen. Im Gegenteil, die Verschiebung des Begriffsinhalts, von der er ausging, war in Prämissen versteckt, die er voraussetzte, ohne sie zu erklären oder zu begründen. Er selbst scheint gar nicht bemerkt zu haben, dass er mit seiner Lichtquantenhypothese den Boden der Planckschen Theorie bereits wieder verlassen hatte. Die Naturkonstante h wird in seinem Aufsatz *Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*²³ kein einziges Mal erwähnt! Deshalb kommt auch die Größe des Wirkungsquantums von $h = 1.055 \times 10^{-27}$ [erg x sec] bei ihm nicht vor. Und Planck scheint nicht in der Lage gewesen zu sein, seine Zweifel zu artikulieren und anderen zu vermitteln.

So bleibt es bei der staunenswerten Tatsache, dass die *Unteilbarkeit* des Quantums seit über hundert Jahren bis zum heutigen Tage niemals begründet, aber auch niemals experimentell nachgeprüft wurde. Max Planck hatte sie nicht begründet, weil er sein ‚Wirkungsquantum‘ als abstrakte Größe einführte, die aus mathematischer Notwendigkeit folgte. Einstein hielt eine Begründung nicht für nötig, weil er an Plancks Deduktion glaubte, die nicht existierte. Er verschob aber die Bedeutung des Quantenbegriffs, indem er aus der *abstrakten* mathematisch-physikalischen Größe eine *konkrete* empirische Größe machte, die er als ‚Energiequantum‘ bezeichnete und als Energiemenge behandelte. Damit wäre experimentelle Nachprüfung unerlässlich gewesen. Da er selbst aber die Begriffsverschiebung nicht bemerkt hatte und andere seine Theorie gläubig hinnahm, wurde die Hypothese der Unteilbarkeit des Quantums der Diskussion entzogen. Sie entbehrt bis heute jeder Grundlage.

²² Albert Einstein, *Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*, Annalen der Physik Bd. 17 (1905), S. 144-147.

²³ Annalen der Physik Bd. 17 (1905), S. 132 ff.

II. DIE RELATIVITÄTSTHEORIE

Zu den Irrwegen der theoretischen Physik zählt auch die Relativitätstheorie. Zunächst wurde sie keineswegs unbedenklich hingenommen, aber die Kritik konnte sich nicht durchsetzen²⁴. Heute glauben nur wenige Laien, wenigstens die Spezielle Relativitätstheorie verstanden zu haben. Physiker halten sie meist für unbezweifelbar, lassen sich aber ungern in Diskussionen darüber verwickeln. Das ist verständlich, denn der Theorie liegt ein mathematischer Fehler zugrunde, der sich sogar *beweisen lässt*²⁵. Er hat wesentlich dazu beigetragen, die Entwicklung der theoretischen Physik in eine falsche Richtung zu lenken.

1.

Einstein veröffentlichte seine Spezielle Relativitätstheorie 1905 in der Abhandlung *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*²⁶. Einleitend legte er dar, eine vom Begriff der ‚absoluten Ruhe‘ ausgehende Theorie führe in der Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien. Das begründete er mit Beispielen und äußerte die ‚Vermutung‘, dass für alle Koordinatensysteme, für die mechanische Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten. Diese Vermutung erhob er sodann zur ‚Voraussetzung‘ und führte die weitere ‚Voraussetzung‘ ein,

„daß sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustand des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit V fortpflanze“.

Sie wird heute meist als ‚Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit‘ bezeichnet.

In I § 1 definierte Einstein die Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse, an den Raumpunkten A und B eines Koordinatensystems, an denen sich ‚Uhren‘ befinden. Er schickte voraus:

„Wir nennen dies Koordinatensystem zur Unterscheidung von später einzuführenden Koordinatensystemen und zur Präzisierung der Vorstellung das „ruhende System““.

Seine Definition der Gleichzeitigkeit bezog sich also auf ein ruhendes System. Das wird sich als wichtig erweisen, weil er sie später auf bewegte Systeme übertrug. Zunächst schrieb er:

„Es ist aber ohne weitere Festsetzung nicht möglich, ein Ereignis in A mit einem Ereignis in B zeitlich zu vergleichen; wir haben bisher nur eine ‚ A -Zeit‘ und eine ‚ B -Zeit‘, aber keine für A und B gemeinsame Zeit definiert. Die letztere Zeit kann nun definiert werden, indem man *durch Definition* festsetzt, daß die ‚Zeit‘, welche das Licht braucht, um von A nach B zu gelangen, gleich ist der ‚Zeit‘, welche es braucht, um von B nach A zu gelangen. Es gehe nämlich ein Lichtstrahl zur ‚ A -Zeit‘ t_A von A nach B ab, werde zur ‚ B -Zeit‘ t_B in B gegen A zu reflektiert und gelange zur ‚ A -Zeit‘ t'_A nach A zurück. Die beiden Uhren (scil. die er sich an den Orten A und B aufgestellt dachte) laufen definitonsgemäß synchron, wenn

$$(1) \quad t_B - t_A = t'_A - t_B$$

....

²⁴ Vgl. z. B. Fricke, *Der Fehler in Einsteins Relativitätstheorie* (1920).

²⁵ Im Text folgt eine Kurzfassung dieses Beweises. Ausführlichere Darstellungen finden sich in v. Mettenheim, *Albert Einstein oder: Der Irrtum eines Jahrhunderts* (2009) S. 214ff; ders. in *The Oscillation Project with Emulsion-Tracking Apparatus (OPERA) experiment: An argument for superluminal velocities?* Physics Essays, Bd. 25 (2012), S. 397-403, und in *Einstein, Popper and the Crisis of Theoretical Physics*, (2015), S.235ff. - Zur logischen Seite vgl. auch schon v. Mettenheim, *Popper versus Einstein* (1998) S. 31ff. Damals hatte ich noch nicht erkannt, dass die logische Widersprüchlichkeit der Relativitätstheorie sich auch in den mathematischen Gleichungen niederschlagen muss.

²⁶ Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Annalen der Physik Bd. 17 [1905], S. 891 ff.

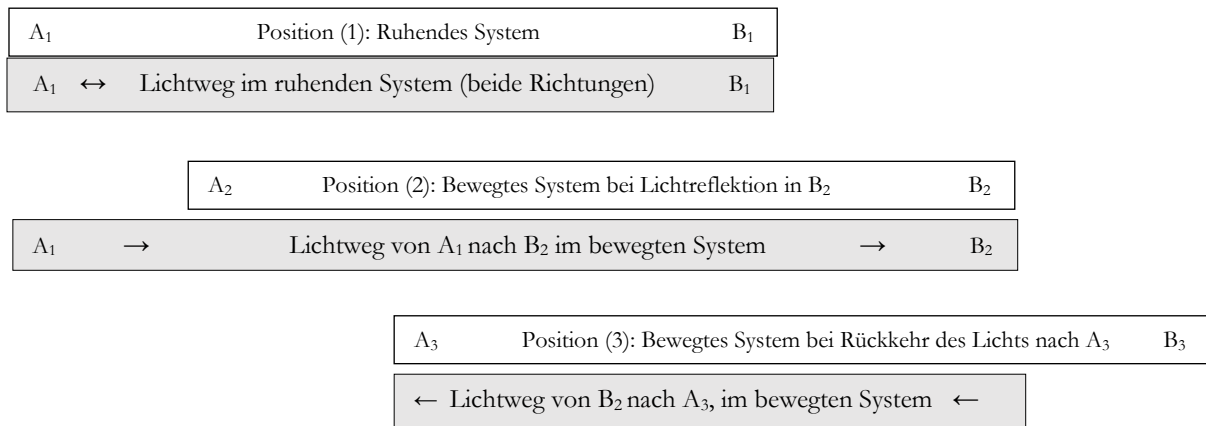
Wir setzen noch der Erfahrung gemäß fest, daß die Größe

$$(2) \quad \frac{\overline{2AB}}{t'_A - t_A} = V$$

eine universelle Konstante (die Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume) sei. (Einsteins Hervorhebungen).

(a) Der Fehler beginnt in Gleichung (2). Ihr Nenner ($t'_A - t_A$) verweist für die *Dauer* des Transports auf die Zeit, die Licht für den Weg von A nach B und zurück nach A benötigt. Ihr Zähler ($\overline{2AB}$) verweist aber für den *Transportweg* nicht auf den Weg von A nach B und zurück nach A , sondern *verdoppelt* den Weg von A nach B .

Einstein muss angenommen haben, Hin- und Rückweg seien gleichlang. Das trifft im ruhenden System zu, aber nicht im bewegten, denn Licht benötigt Zeit für seine Reise, und inzwischen bewegt sich das System. Das hat mit der ‚Konstanz der Lichtgeschwindigkeit‘ nichts zu tun, denn es geht nicht um die Geschwindigkeit des Lichts sondern um die Entfernung, die es zurücklegt. Ein Diagramm verdeutlicht das:



Die Lichtwege von A_1 nach B_2 und von B_2 zurück nach A_3 sind im bewegten System verschieden lang, weil das System sich bewegt, während das Licht unterwegs ist.

Einstein muss das übersehen haben. Obwohl er die Begriffe ‚Gleichzeitigkeit‘ und ‚Lichtgeschwindigkeit‘ in den Gleichungen (1) und (2) für *ruhende* Systeme definiert hatte, übertrug er diese Definitionen in § 2 auf ein *bewegtes* System, an dessen Enden A und B sich wiederum ‚Uhren‘ befinden sollten. Die Geschwindigkeit des Lichts bezeichnete er weiterhin mit V , die des bewegten Systems mit v . Er schrieb:

‚Wir denken uns ferner, daß sich bei jeder Uhr ein *mit ihr bewegter* Beobachter befinde, und daß diese Beobachter *das im § 1 aufgestellte Kriterium für den synchronen Gang zweier Uhren* anwenden. Zur Zeit t_A gehe ein Lichtstrahl von A aus, werde zur Zeit t_B in B reflektiert und gelange zur Zeit t'_A nach A zurück. Unter *Berücksichtigung des Prinzips von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit* finden wir:

$$(3) \quad t_B - t_A = \frac{r_{AB}}{V - v}$$

und

$$(4) \quad t'_A - t_B = \frac{r_{AB}}{V + v},$$

wobei r_{AB} die Länge des bewegten Stabes - im ruhenden System gemessen - bedeutet. Mit dem Stabe bewegte Beobachter würden also die beiden Uhren nicht synchron gehend finden, während im ruhenden System befindliche Beobachter die Uhren als synchron laufend erklären würden.

Wir sehen also, daß wir dem Begriffe der Gleichzeitigkeit keine „absolute“ Bedeutung beimessen dürfen, sondern daß zwei Ereignisse, welche, von einem Koordinatensystem aus betrachtet, gleichzeitig sind, von einem relativ zu diesem System bewegten System aus betrachtet, nicht mehr als gleichzeitige Ereignisse aufzufassen sind.” (Meine Hervorhebungen).

Der Text zeigt, dass Einstein die Definition der Gleichzeitigkeit *bewusst* vom ruhenden auf das bewegte System übertrug. Er begründete den Schritt sogar besonders. Mit dem Hinweis auf ‚das im § 1 aufgestellte Kriterium für den synchronen Gang zweier Uhren‘ verwies er auf Gleichung (1), die er für das ruhende System aufgestellt hatte. Seine ‚Berücksichtigung des Prinzips von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit‘ konnte also nur bedeuten, dass dieses Prinzip auch im bewegten System gelten sollte. Sonst wäre der Hinweis bedeutungslos. Und seine Fußnote zur Erläuterung der Gleichungen (3) und (4) räumt jeden Zweifel aus. Sie lautet²⁷:

„Zeit“ bedeutet hier „Zeit des ruhenden Systems“ und zugleich „Zeigerstellung der bewegten Uhr, welche sich an dem Orte, von welchem die Rede ist, befindet“²⁸.

Die Worte ‚und zugleich‘ lassen keinen Zweifel daran zu, dass die Bedeutung von t und t' in den Gleichungen (3) und (4) dieselbe sein sollte wie in Gleichung (1), also im ruhenden System. Sonst wären t und t' in den Gleichungen (3) und (4) undefiniert.

(b) Die Ausdrücke der linken Seiten der Gleichungen (3) und (4) sind die gleichen wie die der beiden Seiten von Gleichung (1). Einstein hatte keine neuen Definitionen eingeführt. Wir können also die rechten Seiten von (3) und (4) in (1) einsetzen und erhalten so die Gleichung

$$(5) \quad \frac{r_{AB}}{V - v} = \frac{r_{AB}}{V + v} .$$

Diese lässt sich durch Kürzen der gleichlautenden Zähler umformen in die Gleichungen

$$(6a, b) \quad V - v = V + v \quad \text{oder} \quad +v = -v .$$

Damit ist der Selbstwiderspruch *bewiesen*. Einstein hat ‚plus‘ und ‚minus‘ gleichgesetzt.

(c) Der Ursprung des Fehlers liegt darin, dass Einstein seine Definition der Lichtgeschwindigkeit V in Gleichung (2) nicht mehr beachtete, als er der ‚Länge des bewegten Stabes - im ruhenden System gemessen -‘ in den Gleichungen (3) und (4) das Zeichen r_{AB} zuordnete.

Der Ausdruck ‚Länge des bewegten Stabes - im ruhenden System gemessen -‘ bezeichnet dasselbe wie der Ausdruck \overline{AB} in Gleichung (2). Einstein hat derselben Größe im ruhenden System und im bewegten System verschiedene Zeichen zugeordnet. Aber Gleichung (2) *verdoppelt* im Zähler $2\overline{AB}$ die Strecke von A nach B , während ihr Nenner $t'_A - t_A$ die Geschwindigkeit des Transports nach der Zeit bemisst, die das Licht für den Weg von A nach B und zurück nach A benötigt. Das Zeichen r_{AB} , bezog sich also in Gleichung (3) auf eine andere Strecke als in Gleichung (4). Das zeigt obiges Diagramm. Obwohl Einstein voraussetzte, dass die Lichtgeschwindigkeit konstant sei, definierte seine Gleichung (2) das Zeichen V nicht als *konstante* Geschwindigkeit sondern als *Durchschnittsgeschwindigkeit* des Lichts auf verschieden langen Strecken.

²⁷ S. 896. - Die kursiv gesetzten Passagen stehen in Einsteins Text in Anführungszeichen.

²⁸ Die Gleichsetzung der Begriffe ‚Zeit‘ und ‚Zeigerstellung der bewegten Uhr‘ verwechselt die Zeit mit einem Instrument zur Zeitmessung. Darin könnte der Ursprung dieses Fehlers liegen, den wir im nächsten Abschnitt auch bei anderen Autoren (Haefele/Keating) antreffen werden.

Damit bricht nicht nur die Spezielle Relativitätstheorie sondern auch die Allgemeine Relativitätstheorie in sich zusammen. Sie geht von denselben Prämissen aus und soll deren Anwendung auf gekrümmte und beschleunigte oder verzögerte Bewegungen ermöglichen. Da diese einander widersprechen und da aus widersprüchlichen Prämissen jede *beliebige* Schlussfolgerung scheinbar folgerichtig abgeleitet werden kann, sind nach den Regeln der Mathematik auch alle Ergebnisse der Allgemeinen Relativitätstheorie willkürlich und damit hinfällig²⁹.

2.

Theoretische Physiker pflegen dem entgegenzuhalten, die Relativitätstheorie sei experimentell so gut bestätigt, dass die Frage ihrer Begründung bedeutungslos sei. Die Beweislage sei überwältigend. Manche behaupten sogar, die Relativitätstheorie habe sich bei der Steuerung von Raumschiffen als unentbehrlich erwiesen. Solches habe ich oft gehört, aber nur selten gelesen.

a) Eine Ausnahme war das Experiment von Hafele und Keating³⁰. Die beiden ließen 1971 je zwei Caesium-Uhren in östlicher und westlicher Richtung in Flugzeugen um die Erde reisen und verglichen sie danach mit stationären Referenzuhren, mit denen sie zuvor übereingestimmt hatten.

Die bewegten Uhren zeigten anders an, als die Referenzuhren. Eine Verzögerung ergab sich allerdings nur in östlicher Richtung, in westlicher dagegen eine Beschleunigung. Nach der Relativitätstheorie sollte aber die Zeit des bewegten Systems gegenüber der des ruhenden Systems unabhängig von der Bewegungsrichtung *immer* verlangsamt sein³¹. Einstein hatte gesagt³²:

„Befinden sich in A zwei synchron gehende Uhren und bewegt man die eine auf einer geschlossenen Kurve mit konstanter Geschwindigkeit, bis sie wieder nach A zurückkommt, was t Sekunden dauern möge, so geht die letztere Uhr bei ihrer Ankunft in A gegenüber der unbewegt gebliebenen um $\frac{1}{2} tv^2/c^2$ Sek. nach. Man schließt daraus, daß eine am Erdäquator befindliche Uhr um einen sehr kleinen Betrag langsamer laufen muß als eine genau gleich beschaffene, sonst gleichen Bedingungen unterworfenen, an einem der Erdpole befindliche Uhr.“

Eine Beschleunigung der Zeit war also mit Einsteins eigenem Verständnis seiner Theorie nicht vereinbar. Hafele/Keating sahen die Dinge dennoch anders. Sie schrieben:

Betrachten wie die (rotierende) Erde so, wie ein *trägheitsloser Beobachter, der aus großer Entfernung auf den Nordpol herunterschaut*, sie sehen würde. Eine stationäre Uhr an der Erdoberfläche am Äquator hat relativ zum nichtrotierenden Raum die Geschwindigkeit $R\Omega$, ist also verglichen mit *hypothetischen Koordinatenuhren dieses Raumes im Verhältnis $1 - R^2\Omega^2/2c^2$ verlangsamt*, wobei R den Erdradius und Ω die Winkelgeschwindigkeit bezeichnen. Andererseits hat eine fliegende Uhr, die den Äquator auf Äquatorebene in Oberflächennähe mit der Geschwindigkeit v umkreist, eine koordinierte Geschwindigkeit von $R\Omega + v$, ist also im Verhältnis $1 - (R\Omega + v)^2/2c^2$ verlangsamt. Wenn daher τ und τ_0 die jeweiligen Zeiten sind, die bei einer vollen Erdumrundung von den fliegenden Uhren und den *Referenzuhren am Boden* angezeigt werden, dann entspricht ihre Zeitdifferenz in erster Annäherung $\tau - \tau_0 = (2R\Omega v + v^2) \tau_0/2c^2$. Folglich sollte eine Erdumrundung in Richtung der Erdrotation (westlich, $v > 0$) für die fliegende Uhr einen Zeitverlust verursachen, während eine Erdumrundung entgegen

²⁹ Karl Popper, *Was ist Dialektik? (Vermutungen und Widerlegungen* Bd. II [1997], S. 459ff.). – Vgl. auch unten Abschn. 2b.

³⁰ J.C. Hafele/R.E. Keating, ‘Around-the-World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains’, S. 166; dieselben ‘Around-the-World Atomic Clocks: Observed Relativistic Time Gains’, S. 168.

³¹ Zu den experimentellen Befunden vgl. näher A. G. Kelly, ‘Reliability of Relativistic Effect Tests on Airborne Clocks’, The Institution of the Engineers of Ireland, Monograph No. 3; Kelly bezweifelt die Korrektheit der Protokollierung. Zu den logischen Fehlern der Interpretation des Experiments auch mein ‘Popper versus Einstein’, S. 69 ff.

³² Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, aaO S. 904f.

der Erdrotation (östlicheinen Zeitgewinn verursachen sollte, sofern $v \sim R \Omega$.) (Meine Übersetzung, meine Hervorhebungen).

Der Fehler liegt hier klar zutage. Hafele/Keating hatten ihrer Berechnung die Perspektive eines ‚trägheitslosen Beobachters‘ zugrunde gelegt, ‚der aus großer Entfernung auf den Nordpol herunterschaut‘. Im Experiment verglichen sie aber die bewegten Uhren nicht mit einem solchen Beobachter, sondern mit ‚Referenzuhren am Boden‘, die also mit der Erde rotierten. Die Flüge dauerten in beiden Richtungen mehr als 24 Stunden. Selbst auf dem westlichen Flug rotierten also die Uhren in östlicher Richtung. Relativ zu einem Beobachter auf der Polachse hätte ihre Geschwindigkeit daher nur negativ sein können ($v < 0$), wenn der Beobachter selbst auf Polachse rotiert hätte, aber in dem Fall wäre er nicht ‚trägheitslos‘. Hafele/Keating haben die durch die Erdrotation verursachte Eigengeschwindigkeit der stationären Uhren nicht berücksichtigt.

Das war nicht ihr einziger Fehler, denn Uhren *sind* nicht die Zeit, sondern Geräte, um sie zu messen. Wenn eine Uhr nach der Erdumrundung anders anzeigt als die Referenzuhr, hat sie sich unter dem Einfluss der Reise verändert. Die nächste Frage müsste sein, *warum* sie sich verändert hat. Hafele/Keating haben sich diese Frage nicht gestellt. Das hindert moderne Darstellungen aber nicht daran, ihr Experiment als Bestätigung der Relativität der Zeit zu zitieren³³.

b) Wenden wir uns nun der Theorie zu. Kann es zutreffen, dass die Relativitätstheorie experimentell bestätigt wurde und sich bei der Steuerung von Raumschiffen als unentbehrlich erwiesen hat? Wie kann eine Theorie, die auf einem Selbstwiderspruch beruht, experimentell bestätigt werden?

In Mathematik und Logik ist anerkannt, dass aus widersprechenden Aussagen *jede beliebige* Folgerung scheinbar schlüssig abgeleitet werden kann. Selbst wenn die Folgerung korrekt deduziert wird, ist sie ungültig. Karl Popper hat das wie folgt formuliert:

‚Wenn zwei einander widersprechende Aussagen zugelassen werden, muss jede beliebige Aussage zugelassen werden; denn aus einem Paar kontradiktorischer Aussagen kann jede beliebige Aussage logisch gültig abgeleitet werden.‘³⁴

Er hat auch gezeigt, dass dieser Zusammenhang sogar *bewiesen* werden kann, und zwar im Sinne eines Strengbeweises. Niemand hat ihm widersprochen. Schlussfolgerungen, die aus widersprüchlichen Prämissen gezogen werden, sind also *willkürlich*.

Wollten wir die Relativitätstheorie trotzdem als wahr ansehen, so würde sich die Frage stellen, ob die Regeln von Logik und Mathematik auch für die Physik gelten. Einsteins Relativitätstheorie war wohl die mathematischste Theorie, die jemals zur Lösung eines physikalischen Problems vorgeschlagen wurde. Aber wie kann eine Theorie Anspruch auf Wahrheit erheben, die einerseits auf Mathematik beruht und andererseits auf einem Widerspruch aufbaut? Wie könnte eine solche Theorie experimentell nachgeprüft werden? Wenn es zuträfe, dass Physiker die Relativitätstheorie praktisch anwenden und dass sie bei der Steuerung von Raumschiffen unentbehrlich ist, müssten diese Physiker die angeblichen experimentellen Bestätigungen der Relativitätstheorie von den willkürlichen Ergebnissen unterscheiden, die aus ihren widersprüchlichen Prämissen folgen. Aber wie treffen sie diese Unterscheidung? Wie können sie die *Eigenzeit* eines bewegten Raumschiffs beobachten und experimentell nachprüfen?

Ein Gedankenexperiment verdeutlicht das Problem. Wir starten ein Raumschiff auf dem Nullmeridian in Greenwich, wenn die Sonne dort im höchsten Punkt steht, also um 12.00 *h* Greenwich-Zeit. Nach langer Reise durch den Weltraum lassen wir es dorthin zurückkehren und auf dem Nullmeridian in die Themse stürzen, wenn die Sonne wieder im höchsten Punkt steht. Die Greenwich-Zeit wäre jetzt wieder 12.00 *h*, aber nach der Relativitätstheorie müsste sich die ‚Ei-

³³ Das hindert moderne Darstellungen aber nicht daran, ihr Uhrenexperiment als Bestätigung der Relativität der Zeit zu zitieren. Vgl. z.B. Jürgen Brandes, *Die relativistischen Paradoxien und Thesen zu Raum und Zeit* (1995), S. 38; Hubert Goenner, *Einsteins Relativitätstheorien* (1997), S. 46.

³⁴ Karl Popper, *Was ist Dialektik?* in: *Vermutungen und Widerlegungen* (1997) S. 459. Ich habe seine Formulierung leicht umgestellt.

genzeit‘ des Raumschiffs von ihr unterscheiden. Wie können wir das feststellen? Die Uhren in Greenwich zeigen 12.00 *h*, und die Uhren im Raumschiff könnten demselben Einfluss ausgesetzt gewesen sein wie die in dem Experiment von Hafele/Keating. Können wir die Relativität der Zeit feststellen, indem wir das Raumschiff beobachten? Oder benötigen wir nicht wenigstens einen *Maßstab*, um die Greenwich-Zeit von der ‚Eigenzeit‘ des Raumschiffs zu unterscheiden? Und wenn ja, welchen Maßstab sollen wir benutzen? In der langen Geschichte der Relativitätstheorie hat niemand diese Fragen beantwortet.

3.

Die Relativitätstheorie ist also insgesamt widerlegt. Ihr grundlegender Fehler lag aber nicht auf der Ebene der Mathematik sondern auf der der Wissenschaftstheorie. Das zeigt sich besonders an dem, was Einstein in seinen Aufsätzen *nicht* erwähnte. Seine Auslassungen verdienen hier ausnahmsweise ebenso viel Aufmerksamkeit wie das, was er erörterte. Dazu müssen wir nicht nur den Aufsatz *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* sondern auch den im selben Jahr veröffentlichten Aufsatz *Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* heranziehen, mit dem er die Lichtquantenhypothese begründete³⁵.

(a) Beide Aufsätze erörtern unter anderem die Theorie des Lichts, die in den vorausgegangenen Jahrhunderten eine rasante Entwicklung durchlaufen hatte. René Descartes (1596-1650) hatte noch angenommen, Licht könne an mehreren Orten zugleich sein, und hatte sich Lichtstrahlen deshalb wie starre Stäbe vorgestellt. Aber 1675 entdeckte Olaf Roemer, dass Licht sich mit messbarer Geschwindigkeit ausbreitet. Das überzeugte die Wissenschaft davon, dass es einen *Träger* haben und die Ätherhypothese daher wahr sein müsse. Sowohl Huygens (1629-1695) als auch Newton (1643-1727) waren von der Existenz des Äthers überzeugt. Spätere Entdeckungen, darunter die von Polarisation und Interferenz, hatten die Überzeugungskraft dieser Hypothese weiter verstärkt.

Einstein wollte dagegen zeigen, dass die Einführung eines ‚Lichtäthers‘ sich ‚als überflüssig erweisen‘ werde³⁶. Von einem sorgfältigen Wissenschaftler hätte man daher erwarten sollen, dass er den Phänomenen des Lichts besondere Aufmerksamkeit widmen würde, aber das geschah nicht. In dem Aufsatz *Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* hatte er sie nicht erörtert, und auch sein Aufsatz *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* erwähnte sie nicht. Er erklärte nicht, wie Licht sich ohne Trägersubstanz im Nichts fortbewegen könnte. Ebenso wenig erwähnte er Youngs Doppelschlitzexperiment, das zur Entdeckung der Lichtinterferenz geführt hatte, oder das Phänomen der Polarisation, das nur durch eine Wellentheorie des Lichts verständlich wird. Huygens‘ und Faradays Überlegungen zur Erklärung des Lichts in Analogie zum Schall kamen in den Aufsätzen nicht vor. Alle Entdeckungen des 19. Jahrhunderts zu Licht und Strahlung blieben unerwähnt.

(b) Wenn in einer wissenschaftlichen Abhandlung Gegenargumente unerwähnt bleiben, gilt das als unseriös. Wer Einstein gegen den Vorwurf verteidigen will, kann nur darauf verweisen, dass er damals noch jung war und sein Wissenschaftsverständnis sich von dem unterschieden haben muss, das heute in den empirischen Wissenschaften herrscht. Jedenfalls wüsste ich keine andere Entschuldigung für eine wissenschaftliche Abhandlung, die *alle* in ihrer Zeit bekannten Gegenargumente unerwähnt ließ. Diese zeigt allerdings auch die Grenzen, die ihm gesetzt waren.

Einstein veröffentlichte seine Spezielle Relativitätstheorie im Alter von 26 Jahren, und er scheint sich damals im Wirrwar mathematischer Theoreme und physikalischer Theorien restlos verloren zu haben. Sein Kontakt mit der empirischen Seite der Physik muss weitgehend

³⁵ Albert Einstein, *Über einen die Erzeugung und Umwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* Annalen der Physik Bd. 17 (1905), S. 132 ff; ders., *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* (Annalen der Physik Bd. 17 [1905], S. 891 ff;

³⁶ Annalen der Physik Bd. 17 [1905], S. 892.

zusammengebrochen sein. Manche junge Wissenschaftler durchlaufen solche Stadien in ihrer Entwicklung. Das Verwunderliche am Fall Einstein ist, dass andere theoretische Physiker seine Fehler nicht bemerkten, sondern ihn stattdessen zum Genie stilisierten.

Es muss wohl der Geist jener Zeit gewesen sein, der es so wollte. Die Epoche der Genies lag noch nicht weit zurück, und Genialität war auch in den empirischen Wissenschaften gefragt. Man wusste noch nicht, dass Entdeckungen dort in der Einführung von Hypothesen bestehen, die ‚Bekanntes durch Unbekanntes erklären‘ und nachträglich experimentell überprüft werden. Erst Jahrzehnte später sollte Karl Popper das zeigen, als er schrieb:

„Wir können in der Regel davon ausgehen, dass die Wahrheit des *explicandum* mehr oder weniger gut bekannt ist oder als bekannt gilt. Denn es hätte wenig Sinn, nach einer Erklärung für einen Zustand zu suchen, der sich als frei erfunden herausstellen könnte. (...). Andererseits wird das *explicans*, nach dem wir suchen, in der Regel unbekannt sein. Es muss entdeckt werden. Deshalb wird eine wissenschaftliche Erklärung, sofern sie eine Entdeckung ist, immer die Erklärung des Bekannten durch das Unbekannte sein.“³⁷ (Meine Übersetzung).

Eine Erklärung muss Informationen enthalten, die über das zu Erklärende hinausgehen. Deshalb kann sie nie rein logisch- oder mathematisch-deduktiv aus dem bekannten *explicandum* gewonnen werden, und deshalb können Computer nichts erklären und keine Entdeckungen machen.

(c) Das alles ist heute selbstverständlich oder sollte es wenigstens sein. Einstein suchte aber gar nicht nach einer Erklärung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, die er zur ‚Voraussetzung‘ erhoben hatte. Ebenso wenig versuchte er, Lichtinterferenz oder Polarisation zu erklären, denn das wäre nur mittels neuer Hypothesen wie etwa der Ätherhypothese möglich gewesen und hätte seinem Verständnis der Physik als einer exakten Wissenschaft widersprochen.

Wer bei Einstein nach *Erklärungen* sucht, hätte ihn wohl missverstanden. Er wollte nichts erklären, sondern die mathematischen Ansätze darstellen, die eine korrekte *Beschreibung* der Phänomene des Lichts ermöglichen sollten. Er hatte erkannt, dass Maxwells Gleichungen zu ‚Asymmetrien‘ führen, wenn sie innerhalb eines Koordinatensystems zur Beschreibung von Körpern verwendet werden, die sich relativ zueinander bewegen³⁸, und er muss geglaubt haben, die Lösung des Problems könne nur darin liegen, dass er die Konstante der Zeit als Variable und die variable Lichtgeschwindigkeit als Konstante behandelte. Da er das nicht deduktiv begründen konnte, erhob er beide Annahmen in den Rang von ‚Voraussetzungen‘. Sie waren die Axiome, auf denen er seine Theorie errichtete. Er sah nicht den Unterschied zwischen der nichtempirischen Methode von Logik und Mathematik, die ihre Erkenntnisse deduktiv aus Axiomen gewinnt, die zuvor definiert wurden, und der empirischen Methode von Versuch und Irrtum, die ohne Deduktion auskommt, weil sie ihre Annahmen nachträglich im Experiment kontrolliert.

Einstein muss geglaubt haben, die physikalischen Probleme der Lichtgeschwindigkeit seien allein mit Mitteln der Mathematik zu lösen. Er muss angenommen haben, die Natur verhalte sich *per se* mathematisch, Mathematik sei also ein Element der Natur selbst. Sein berühmter Ausspruch ‚Gott würfeln nicht‘ deutet das an. Zudem sind wir ähnlichen Vorstellungen in *Abschn. I, 2a* dieser Abhandlung auch bei Max Planck begegnet. Sie waren der Grund, weshalb Einstein annahm, die Lichtgeschwindigkeit müsse eine Konstante sein. Und aus demselben Grund unterschied er auch nicht klar zwischen ‚Erklärungen‘ und ‚Beschreibungen‘. Zwei kurze Passagen aus seinem Aufsatz *Zur Methodik der theoretischen Physik* deuten das an. Er schrieb dort³⁹:

³⁷ Vgl. Karl Popper, *Realism and the Aim of Science* (1983), S. 132. In früheren Werken Poppers gibt es ähnliche Aussagen, aber die im Text zitierte erscheint mir als die deutlichste. - Vgl. auch v. Mettenheim, *Popper versus Einstein*, S. 105 ff.

³⁸ Einstein *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, aaO S. 891.

³⁹ Max Planck, *Zur Methodik der theoretischen Physik*: in: ‚Mein Weltbild‘, hgg. von Carl Seelig (1991) S. 185-195.

„Wenn man aber die euklidische Geometrie als die Lehre von den Möglichkeiten der gegenseitigen Lagerung praktisch starrer Körper auffaßt, sie also als physikalische Wissenschaft interpretiert und nicht von ihrem *ursprünglichen empirischen Gehalt* absieht, so ist die *logische Gleichartigkeit der Geometrie und der theoretischen Physik* eine vollständige.“

...
 „Nach unserer bisherigen Erfahrung sind wir nämlich zum Vertrauen berechtigt, daß die Natur die Realisierung des mathematisch denkbar Einfachsten ist. Durch rein mathematische Konstruktion vermögen wir nach meiner Überzeugung diejenigen Begriffe und diejenigen gesetzlichen Verknüpfungen zwischen ihnen zu finden, die den Schlüssel für das Verstehen der Naturerscheinungen liefern. Die brauchbaren mathematischen Begriffe können durch Erfahrung wohl nahegelegt, aber keinesfalls aus ihr abgeleitet werden. Erfahrung bleibt natürlich das einzige Kriterium der Brauchbarkeit einer mathematischen Konstruktion für die Physik. *Das eigentlich schöpferische Prinzip liegt aber in der Mathematik. In einem gewissen Sinne halte ich es also für wahr, daß dem reinen Denken das Erfassen des Wirklichen möglich sei*, wie es die Alten geträumt haben.“ (Meine Hervorhebungen.)

Die kursiven Textpassagen zeigen, dass Einstein an einen ‚ursprünglichen empirischen Gehalt‘ der euklidischen Geometrie, an die ‚logische Gleichartigkeit der Geometrie und der theoretischen Physik‘ und an ein ‚schöpferisches Prinzip‘ der Mathematik glaubte. Er sah nicht, dass Logik, Mathematik und Geometrie nicht Naturgesetze sondern Teil unserer *Sprache* sind, obwohl die Entwicklung nichteuklidischer Geometrien im 19. Jahrhundert das erneut demonstriert hatte.

Die ‚Regeln der Logik‘ bestehen darin, dass wir einigen der einfachsten und wichtigsten Wörter unserer Sprache, nämlich Wörtern wie ‚ist‘, ‚und‘, ‚oder‘, ‚alle‘, ‚kein‘, ‚wenn ... dann‘, ‚wahr‘, ‚falsch‘ usw., eine Bedeutung zuordnen⁴⁰. Gleiches gilt für die Regeln der Mathematik und der Geometrie, wobei wir dort sprachliche Ausdrücke auch durch noch kürzere Zeichen ersetzen, etwa indem wir bestimmen: *c* steht für *Lichtgeschwindigkeit*, oder *:* steht für *geteilt durch*, oder indem wir einen Strich entlang einem Lineal ziehen und ihn als *Gerade* bezeichnen⁴¹. Die gesamte Mathematik und alle mathematischen Ausdrücke sind *Schöpfungen* des Menschen, und zwar *sprachliche* Schöpfungen. Deshalb begründet jede Anwendung auf empirische Sachverhalte leider auch die Gefahr, dass der Anwender die Bedeutung aus den Augen verliert, die er seinen Zeichen beigelegt hatte, und dass dies das Ergebnis seiner Deduktion beeinflusst. Einstein ist dieser Gefahr oft erlegen. Schon die zitierten Sätze lassen erkennen, dass die Grenze zwischen Empirie und Mathematik für ihn nicht klar gezogen war. Der Grund muss in seinem Verständnis der Mathematik gelegen haben.

Wenn Einstein die Mathematik für ein Element der Natur selbst hielt, mochte es ihm folgerichtig erscheinen, auch zu glauben, wenn er ein physikalisches Phänomen mathematisch beschrieben habe, sei es damit zugleich erklärt. Er scheint das nie so formuliert zu haben, aber die Annahme würde erklären, warum er einerseits behauptete,

„die Einführung eines „Lichtäthers“ (werde) sich ... als überflüssig erweisen“⁴²,

andererseits aber die Phänomene des Lichts, die in den vorausgegangenen Jahrhunderten so viele Physiker von der Existenz dieses ‚Lichtäthers‘ überzeugt hatten, in seinen Aufsätzen gar nicht erwähnte. Ich wüsste jedenfalls keine andere Erklärung. Diese würde die logischen Fehler, die seiner Relativitätstheorie zugrundelagen, wenigstens menschlich verständlich machen.

⁴⁰ Vgl. Dazu auch oben, Abschn. I, 2b.

⁴¹ Alfred Tarski, *Introduction to Logic and to the Methodology of the Deductive Sciences*, pp. 18ff. Letztlich lassen sich alle Regeln der Logik auf die (selbstaufgelegte) Pflicht zurückführen, sprachliche Ausdrücke innerhalb eines gedanklichen Zusammenhangs einheitlich zu verwenden (*ne venire contra factum proprium*); vgl. v. Mettenheim, *Einstein, Popper and the Crisis of Theoretical Physics* S. 105-115.

⁴² Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, Annalen der Physik Bd. 17 [1905], S. 892.

III. DIE ERKLÄRUNG DER SCHWERKRAFT

Der größte Irrweg der theoretischen Physik ist zugleich der älteste. Er liegt in dem Versuch, die Schwerkraft als *Anziehungskraft* zu erklären. Als Denkansatz ist er verständlich, weil Menschen die Welt durch ihre Sinnesorgane erfahren und deshalb besonders in der Kindheit dazu neigen, sich selbst für ihr Zentrum zu halten. Das führte schon in der Antike dazu, die Erde als Mittelpunkt anzusehen und die Schwerkraft als Anziehungskraft zu verstehen. Aus wissenschaftstheoretischer Sicht führt dieser Ansatz aber nicht weiter, weil eine Anziehungskraft selbst erklärungsbedürftig wäre und es bisher keinem Physiker gelungen ist, die Erklärung zu finden.

Man muss es deshalb fast als ein Wunder ansehen, dass es Kopernikus trotzdem gelang, die geozentrische Sicht der Antike wenigstens teilweise zu überwinden, indem er die Sonne ins Zentrum unseres Planetensystems rückte und der Erde einen Platz unter den Planeten zuwies. Auch im kopernikanischen System blieb aber die Schwerkraft eine Anziehungskraft, und das erwies sich als Irrweg. Wenn es jemals gelingen soll, auch sie physikalisch ‚durch das Unbekannte‘ zu erklären, dann müssen wir die geozentrische Sicht ganz überwinden⁴³. Nachdem alle anderen Ansätze gescheitert sind, müssen wir davon ausgehen, dass die Schwerkraft nicht der Materie innewohnt, sondern von außen auf sie einwirkt. Auch dieser Weg wurde zwar oft versucht, sogar schon von Newton selbst⁴⁴, hat aber bisher nie zum Ziel geführt. Trotzdem gibt es noch Hoffnung, denn die bisherigen Ansätze lassen sich verbessern⁴⁵.

1.

Schwerkraft und Materie sind eng miteinander verknüpft. Wenn wir die Schwerkraft verstehen wollen, müssen wir mit der Theorie der Materie beginnen.

Die heutige Theorie geht davon aus, dass Materie sich aus Atomen zusammensetzt. Deren Geschichte begann vermutlich damit, dass Philosophen der Antike sich die Frage stellten, wie ein Körper sich verändern und doch derselbe bleiben kann. Die Vorstellung, dass Materie aus kleinsten Bausteinen besteht, von denen einzelne wechseln können, ohne dass das Ganze seine Identität einbüßt, schien dieses Problem zu lösen, führte aber alsbald zum nächsten, das diesmal in einer Antinomie mündete. Nach allem, was man wusste, war jeder Körper teilbar. Unvorstellbar erschien aber, dass dieser Teilungsprozess *ad infinitum* sollte fortgesetzt werden können. Die Philosophen der Antike grübelten tief über dieser Frage und meinten, irgendwann müsse des Teilens doch ein Ende, also ein Punkt erreicht sein, an dem weitere Teilung nicht mehr möglich ist. Demokrit (460-370 v. Chr.) sah das Problem offenbar als erster. Er gilt zusammen mit Leukippos als Begründer der antiken Atomtheorie, die dem gedachten, letzten und unteilbaren Bestandteil der Materie den Namen $\alpha\tau\omicron\mu\omicron\sigma\acute{\iota}$, das Unteilbare, gab⁴⁶. Die Atome der heutigen Theorie tragen ihren Namen also zu Unrecht. Nicht nur sind sie alles andere als unteilbar; sie erheben auch schon lange nicht mehr den Anspruch, letzte Bausteine der Materie zu sein.

Der atomistischen Theorie, die sich aus diesen Ansätzen entwickelte, lag aber noch ein anderes Prinzip zugrunde, nämlich das der *Einfachheit*. Man suchte nach einfachen Erklärungen, weil nur sie unser Bedürfnis befriedigen können, die Natur zu verstehen.

Das führte zunächst zur Theorie der Elemente. Empedocles (5. Jh. v. Chr.) hatte noch vier Elemente angenommen, aus denen die Welt zusammengesetzt sei, Erde, Wasser, Luft und Feuer. Aristoteles (384-322 v. Chr.) fügte ihnen als ‚Quintessenz‘ den Äther hinzu, und dabei

⁴³ Zur Bestimmung des Begriffs ‚Entdeckung‘ als Erklärung des Bekannten durch das Unbekannte vgl. *Abschn. II, 3b* dieser Abhandlung sowie nachfolgend *Abschn. 2*.

⁴⁴ Siehe dazu Newtons Brief an Boyle vom 28. Feb. 1678, auszugsweise zitiert bei Cajori *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, Bd. II, S. 675.

⁴⁵ Dazu ausführlicher v. Mettenheim, *Popper versus Einstein* (1998), S. 141ff.; ders., *Einstein, Popper and the Crisis of Theoretical Physics* (2015), S. 279ff.

⁴⁶ Vgl. Zeller, *Die Philosophie der Griechen in ihrer geschichtlichen Entwicklung*, 1. Teil, 2. Abt. S. 1038 ff., 1058.

blieb es, bis Descartes (1596-1650) die Zahl der Elemente in seiner Theorie sogar auf drei reduzierte⁴⁷. Als man im 17. und 18. Jahrhundert herausfand, dass es chemische Elemente gibt, die verschiedene Eigenschaften haben, aber nicht weiter reduziert werden können, war das also ein Rückschlag für die atomistische Theorie. Nachdem aber Dalton entdeckt hatte, dass jedes Element aus gleichartigen ‚letzten Teilchen‘ besteht (1808), und Mendelejew das Periodensystem der Elemente entwickelt hatte (1868/69), schienen die Umrisse eines noch einfacheren Systems bereits wieder ins Blickfeld zu geraten.

Dieses System geriet aber in Schwierigkeiten, bevor es vollendet war, als Michael Faraday die Elektrolyse erfand (1834), woraus sich die Notwendigkeit ergab, zwischen Elementen und ihrer elektrischen Ladung zu unterscheiden. Das veranlasste Hendrik Antoon Lorentz, die Theorie des Elektrons vorzuschlagen (1895), mit der er die chemischen Eigenschaften des Elements dem Atomkörper, seine elektrische Ladung dagegen den Elektronen zuordnete.

Zunächst dachte man sich Elektronen innerhalb des Atoms verteilt, etwa wie Rosinen in einem Plumpudding, oder außen am Atom angebracht wie Sprungfedern, die kraft ihrer Elastizität elektrische Energie an benachbarte Atome weitergeben. In der Literatur jener Zeit ist deshalb manchmal von ‚Resonatoren‘ die Rede⁴⁸. Empirische Entscheidungskriterien standen aber nicht zur Verfügung, und als Ernest Rutherford 1911 das planetarische Atommodell zur Diskussion stellte, stieß er noch immer sozusagen in ein theoretisches Vakuum. Dass seine Theorie sich durchsetzen konnte, verdankte sie vor allem ihrer Eleganz. Das planetarische Atommodell ist nicht nur anschaulich sondern wird auch dem Prinzip der Einfachheit gerecht, indem es die Ordnung des Universums auf der Ebene des Atoms wiederholt. Heute geht wohl fast jeder theoretische Physiker davon aus, dass Materie sich aus Atomen zusammensetzt, die aus einem Kern und einem oder mehreren Elektronen oder anderen Teilchen bestehen, die ihn wie Planeten umkreisen.

Auch diese Theorie geriet aber in Schwierigkeiten, als Otto Hahn und Fritz Strassmann 1938 zeigten, dass selbst das Atom nicht unteilbar ist, sondern sich durch Beschuss mit Partikeln in Teile zerlegen lässt, die andere chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen als das ursprüngliche Atom⁴⁹. Auf der Suche nach einer Erklärung dieses Phänomens wurden seitdem immer neue Teilchen entdeckt, aus denen sich der Atomkern und die ihn umgebende Hülle zusammensetzen sollen. Von der einst so einfachen Theorie des planetarischen Atommodells ist wenig geblieben. Nach heutigen Vorstellungen setzt sich das Atom aus einer Vielzahl verschiedener Teilchen zusammen, die ihrerseits so viele verschiedene Zustände einnehmen und sonstige Qualitäten haben sollen, dass von Einfachheit keine Rede mehr sein kann. Trotzdem bleibt die Schwerkraft noch immer unerklärt. Wenigstens darin scheinen sich heute die meisten theoretischen Physiker einig zu sein⁵⁰.

Aus wissenschaftstheoretischer Sicht spricht also nichts dagegen, das planetarische Atommodell durch eine einfachere Theorie zu ersetzen, die auch die Schwerkraft erklärt. Wenn das jemals gelingen soll, muss die theoretische Physik einen neuen Weg finden.

2.

Wer in dieser Situation nach Erklärungen physikalischer Effekte sucht, muss sich mit einem Prinzip auseinandersetzen, das als ‚Lokalitätsprinzip‘ bezeichnet wird. Es besagt, dass physikalische Effekte nur durch *unmittelbare* Einwirkung eines Objekts auf ein anderes Objekt erklärt werden können. Descartes war wohl der erste, der es formulierte und sich auch bemühte, es in seinen

⁴⁷ René Descartes, *Traité de la Lumière*, Kap. V, (*Œuvres* Bd. XI S. 1 ff., 23 ff.).

⁴⁸ Vgl. z. B. den in *Teil II, 1a* zitierten Vortrag Max Plancks vom 14.12. 1900.

⁴⁹ Die frühere Mitarbeiterin von Max Planck, Lise Meitner, hatte Deutschland zu der Zeit wegen der Judenverfolgungen bereits verlassen.

⁵⁰ Vgl. Richard P. Feynman, *QED – The Strange Theory of Light and Matter*, Kap. 5; Leon Lederman, *The God Particle*, Kap. 3; Stephen Hawking, *A Brief History of Time*, Kap. 8.

Theorien zu beachten. In unserer Zeit scheint es aber Physiker zu geben, die es als Problem ansehen und deshalb in Frage stellen⁵¹.

Wenn wir Karl Poppers Grundsätze des Methodologischen Nominalismus beachten, existiert dieses Problem nicht⁵². Aus dieser Sicht geht es nämlich nicht um die Frage, was eine Erklärung ‚wirklich ist‘, ob man also z.B. physikalische Phänomene auch auf der Ebene von Transzendenz oder Psychologie erklären kann. Vielmehr geht es allein darum, welcher Art von Erklärungen wir das Attribut ‚physikalisch‘ zuordnen, wenn wir uns klar ausdrücken wollen. Das Lokalisierungsprinzip ist dafür gut geeignet, weil es das anspricht, was die meisten Menschen unter ‚physikalischen Erklärungen‘ verstehen, insbesondere wenn sie diese von anderen Arten von Erklärungen unterscheiden wollen. Deshalb ordne ich den Ausdruck ‚physikalisch‘ hier nur solchen Erklärungen zu, die physikalische Wirkungen durch unmittelbare Einwirkung eines Objekts auf ein anderes erklären.

Der Begriff ‚Erklärung‘ bedarf aber auch selbst einer Klarstellung, die wir oben in *Abschn. II, 3b* schon gesehen haben und hier im Auge behalten müssen. Erklärungen bestehen aus zwei Teilen, dem *explicandum* und dem *explicans*. Die im *explicandum* enthaltene Information muss bekannt sein, denn sonst bräuchten wir keine Erklärung für sie. Die Information des *explicans* muss also über die im *explicandum* enthaltene hinausgehen. Wenn die Erklärung eine Entdeckung sein soll, muss diese Information sogar *neu* hinzukommen. Jede Erklärung, die den Namen ‚Entdeckung‘ verdient, muss darin bestehen, dass sie Bekanntes durch Unbekanntes erklärt⁵³. Sie muss *erfunden* werden. Erst danach können wir versuchen, sie im Experiment zu überprüfen.

(a) Das gilt auch für die Schwerkraft. Aristoteles wollte sie noch aus dem ‚Wesen‘ materieller Körper erklären, das darin bestehe, dem Erdmittelpunkt zuzustreben, während das ‚Wesen‘ der Luft darin bestehe, sich von ihm zu entfernen. Das war keine Erklärung im Sinne unserer Begriffsbestimmung, weil sie keine neue Information einführte, sondern als bekannt voraussetzte, was sie zu erklären vorgab. Dennoch beeinflusste sie das Weltbild der Physiker für Jahrtausende. Im ptolemäischen System blieb die Erde Mittelpunkt des Kosmos und Zentrum der Gravitation. Kopernikus wies ihr zwar einen Platz unter den Planeten zu, sah aber die Schwerkraft weiterhin als Anziehungskraft an. Auch Newton ordnete sie unter den ‚zentripetalen Kräften‘ ein⁵⁴. Da aber auch er sie nicht erklären konnte, obwohl er zwischen Erklärungen und Beschreibungen klar unterschied, überließ er dieses Problem den ‚Überlegungen seiner Leser‘.⁵⁵ Seine überragenden Erfolge auf anderen Gebieten ließen Kritik offenbar gar nicht erst aufkommen.

Das Weltbild der Physiker wurde aber für Jahrtausende auch von der Ätherhypothese geprägt, zu der schon Aristoteles sich bekannt hatte. Zunächst ging es dabei allerdings nicht um die Erklärung der Schwerkraft sondern allein um die Theorie des Lichts, weil niemand sich vorstellen konnte, wie Licht ohne transportierendes Medium von einem Himmelskörper zum anderen gelangen könnte. Sowohl Huygens als auch Newton nahmen deshalb an, das Weltall müsse von einer unsichtbaren Substanz erfüllt sein, die alle Himmelskörper umströmt, und nannten sie ‚Äther‘. Einstein und seine Anhänger glaubten dagegen, in der Theorie des Lichts ohne die Ätherhypothese auskommen zu können⁵⁶.

In der Zeit nach Newton gab es aber auch Versuche, die Ätherhypothese zur Erklärung der Schwerkraft heranzuziehen und dabei das Lokalisierungsprinzip zu beachten. Matthew Edwards

⁵¹ Aspect, Grangier, Roger, *Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities*, Phys.Rev.Lett. 49 (1982), S. 91.

⁵² Vgl. zum Folgenden Karl Popper, *Die Offene Gesellschaft und ihre Feinde*, 7. deutsche Aufl. (1992), Bd. II, S. 18-29.

⁵³ Dazu Karl Popper, *Realism and the Aim of Science*, S. 132; auch v. Mettenheim, ‚Popper versus Einstein‘, S. 105 ff.

⁵⁴ Cajori, *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, Bd. I, S.2.

⁵⁵ Zitiert nach Cajori, *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, Bd. II, S. 633f. (Meine Übersetzung).

⁵⁶ *Annalen der Physik* Bd.. 17 [1905], S. 892. Vgl dazu *Teil I*, 2 dieser Abhandlung.

hat sie unlängst in dem Band *Pushing Gravity* zusammengefasst⁵⁷. Allen ist gemeinsam, dass sie zwischen Äther und Materie unterscheiden, sie also als verschiedene Substanzen ansehen und annehmen, der die Materie umströmende Äther schiebe oder drücke diese irgendwie in Richtung auf das Gravitationszentrum. Eine weitere Gemeinsamkeit liegt darin, dass keine dieser Theorien versucht, über die Schwerkraft hinaus auch andere physikalische Phänomene zu erklären. Das rückt sie zumindest in die Nähe bloßer *ad hoc*-Erklärungen.

Wir müssen dem hier nicht weiter nachgehen, weil ein besserer Ansatz möglich ist, den ich an anderer Stelle dargestellt habe⁵⁸. Er ähnelt den erwähnten Theorien in mancher Hinsicht, unterscheidet sich aber von ihnen in einem wichtigen Punkt. Er sieht nämlich Materie und Äther nicht als zweierlei Substanzen an, sondern als verschiedene *Zustände* derselben Substanz. Er geht also davon aus, dass die Materie selbst aus Ätherpartikeln besteht, die sich nur in einem anderen Aggregatzustand befinden als der sie umgebende nicht-materielle Äther, etwa so, wie Wasser sich in einem anderen Aggregatzustand befindet als Eis oder Wasserdampf.

Die Forschungsergebnisse der neueren Atomtheorie drängen zu diesem Ansatz. Was immer man nämlich sonst von ihnen halten mag, die Vielfalt der Ergebnisse zeigt jedenfalls, dass selbst auf der subatomaren Ebene immer noch so viele Unterschiede zwischen den einzelnen Bestandteilen der Materie zu beobachten sind, dass von Einfachheit keine Rede mehr sein kann. Wenn es wirklich so viele Partikeln, Familien von Partikeln und Zustände von Partikeln gäbe, wie die heutige Theorie annimmt, und wenn wir zudem davon ausgehen müssten, dass auf der Ebene der Materie selbst dort Bewegung stattfindet, wo sich scheinbar nichts bewegt, dann könnte die heutige Atomtheorie unser Bedürfnis nach einfacher Erklärung der Materie nicht befriedigen. Wir müssten vielmehr versuchen, auf einer tieferen Ebene eine neue Erklärung zu finden, die auch die Gravitation einschließt. Die Ätherhypothese ermöglicht einen solchen Ansatz.

(b) Die Theorie, die ich vorschlage, geht davon aus, dass Äther das Weltall erfüllt und sich in ständiger Bewegung befindet. Bis dahin sind sich wohl alle Anhänger von Äthertheorien einig⁵⁹. Meine Theorie geht aber davon aus, dass die Bewegung des Äthers nicht von innen, sondern von *außen* kommt, also von der *Peripherie* des Weltalls, und dass sie in dem Maße abnimmt, sich also *verlangsamt*, wie der Äther sich dem jeweiligen Zentrum der Materie nähert.

Auf erste Sicht mögen diese Annahmen fernliegend, vielleicht sogar widersprüchlich erscheinen, weil Newtons Theorie die Wirkung der Schwerkraft als *Beschleunigung* beschreibt. Nähere Überlegungen zeigen aber, dass die Annahmen schlüssig und notwendig sind, wenn wir zur Äthertheorie zurückkehren. Sie erlauben nämlich, die Schwerkraft durch unmittelbare Einwirkung eines Objekts auf ein anderes Objekt zu erklären und damit dem Lokalisierungsprinzip zu genügen ohne Newtons korrekte Beschreibung der Gravitationsgesetze aufzugeben. Sie ermöglichen also, die Schwerkraft *physikalisch* zu erklären, und nicht nur sie.

Wenn Äther das Weltall erfüllt, muss er *elastisch* sein, denn ohne Elastizität wäre ein von Äther erfülltes Weltall ein starrer Block, in dem Bewegung unmöglich wäre. Elastizität impliziert aber neben Bewegung auch weitere Eigenschaften. Sie bedeutet, dass der Äther keine homogene Substanz sein kann, sondern aus *Partikeln* bestehen muss, die sich relativ zueinander bewegen können. Wollten wir nämlich den Äther als homogene Substanz ansehen, dann müssten wir zunächst erklären, wie innerhalb dieser Substanz Bewegung möglich sein soll, obwohl sie homogen ist. Wenn also der Äther also aus Partikeln bestehen muss, wäre eine Rückkehr zu Descartes' Theorie von Ätherpartikeln verschiedener Größen durchaus möglich, wenngleich diese nicht notwendigerweise kugelförmig sein müssten.

⁵⁷ Matthew R. Edwards, *Pushing Gravity, New Perspectives on Le Sage's Theory of Gravitation* (2002). Als spätere Veröffentlichung mit diesem Ansatz ist mir nur Duncan Shaws Abhandlung *The cause of gravity – a concept*, *Physics Essays* 25, 1 (2012), p. 66ff., bekannt. Das im Text Gesagte gilt auch für ihn.

⁵⁸ *Popper versus Einstein* (1998), S. 111-195; *Einstein, Popper and the Theory of Light and Matter* (2015), Kap. 11, 12.

⁵⁹ Die Theorie, nach der die Erde sich durch ruhenden Äther bewegt, wird soweit ersichtlich seit den Michelson/Morley-Experimenten nicht mehr vertreten.

Die erwähnten Eigenschaften des Äthers implizieren weitere. Elastizität bedeutet Bewegung, und Bewegung benötigt Zeit. Jede elastische Reaktion einer Ätherpartikel auf den Impuls einer anderen Ätherpartikel muss also mit zeitlicher Verzögerung stattfinden, denn anderenfalls wäre sie keine Bewegung im physikalischen Sinne. Die zeitliche Verzögerung verursacht aber auch einen Verlust an Energie, denn sie stört den Rhythmus der elastischen Resonanzen zwischen den Ätherpartikeln. Auf der Ebene der Materie können wir das in der Vorrichtung beobachten, die gemeinhin als ‚Newton-Schaukel‘ bezeichnet wird, obwohl die Bezeichnung ‚Huygens-Schaukel‘ passender wäre.



Abb. 2, Erklärung der Entropie: Elastische Reaktionen implizieren Bewegung, und Bewegung impliziert Zeit.. Zeitintervalle stören die Ordnung elastischer Resonanzen. Wenn die linke Kugel auf die nächste trifft, pflanzen sich die Impulse durch die benachbarten Kugeln fort, so dass zunächst nur die rechte Kugel wegspringt, während die dazwischen befindlichen ihre Position annähernd beibehalten. Im weiteren Verlauf verursacht die zeitliche Verzögerung der Reaktionen aber einen allgemeinen Verlust der Ordnung und damit der Energie.

Die Hypothese elastischer Ätherpartikeln ermöglicht so zugleich eine physikalische Erklärung der *Trägheit* und der *Entropie*.

Die Ätherhypothese muss ferner davon ausgehen, dass der Äther seine Geschwindigkeit der Erdatmosphäre anpasst, denn dazu zwingen bekannte Beobachtungen⁶⁰. Wir sehen einerseits, dass andere Himmelskörper sich relativ zur Erde mit hohen Geschwindigkeiten bewegen. Andererseits konnten aber Michelson und Morley bei ihren Experimenten trotz größter Sorgfalt keinen Einfluss der Erdbewegung auf die Geschwindigkeit des Lichts feststellen⁶¹. Wenn also der Äther existiert, muss er sich in Bewegung befinden, die sich aber im Umfeld der Erde der dort obwaltenden Geschwindigkeit anpasst. In dem Punkt sind sich heute wohl ebenfalls alle Anhänger der Ätherhypothese einig.

Dass die Bewegung des Äthers nach dem hier vorgeschlagenen Ansatz nicht von einem Zentrum ausgeht sondern von außen kommt, mag auf den ersten Blick gewagt erscheinen, ist aber bei näherer Überlegung eher eine Selbstverständlichkeit, die nur der Tradition des geozentrischen Weltbildes widerspricht. Sie ist weniger vertraut, aber keineswegs gewagter als etwa die Theorie des ‚Urknalls‘. Auch diese lässt die eigene Ursache unerklärt, kann aber zudem nicht einmal eine plausible Erklärung für all die Rotation anbieten, die wir in unserem Planetensystem und in anderen Galaxien beobachten. Dagegen unterstützt die Allgegenwart der Rotation die Hypothese einer von außen kommenden Bewegung des Äthers.

Sie bietet sogar Ansätze zu weiterführenden Spekulationen. So könnte das Universum aus einer Kollision gegenläufiger Ätherströme entstanden sein, gewissermaßen aus einem Frontalzusammenstoß, der auf der Ebene der Ätherpartikeln bei geringstem seitlichen Versatz zu Drehmomenten und damit zur Entstehung rotierender Systeme führen müsste. Deren Rotation würde sich dann auf der Ebene der Materie zunächst in der Rotation kleinster Systeme und schließlich in der ganzen Galaxien niederschlagen, vielleicht sogar in der des Universums. Das soll aber hier dahinstehen, damit wir das Ziel einer Erklärung der Schwerkraft nicht aus den Augen verlieren.

⁶⁰ Laut A. P. French, (Special Relativity [1968], S. 45) hat Augustin Jean Fresnel das schon 1818 angenommen.

⁶¹ Bernard Jaffe (*Michelson and the Speed of Light*, S. 76), zitiert Michelson mit den Worten: ‘Die Hypothese eines *rubenden* Äthers hat sich als Irrtum erwiesen‘ (Jaffes Hervorhebung, meine Übersetzung).

3.

Die Hypothese einer *von außen* kommenden Bewegung des Äthers, die sich in Richtung auf das jeweilige Gravitationszentrum *verlangsamt*, ermöglicht eine physikalische Erklärung der Schwerkraft. Sie ist insofern einfach, als sie über das Gesagte hinaus keine weiteren Hypothesen voraussetzt, und insofern als auch sie die Ordnung der Galaxien, die wir im Weltall beobachten, auf der sub-materiellen Ebene wiederholt. Sie erfordert allerdings erhebliches Vorstellungsvermögen. Das sollte aber nicht gegen sie sprechen, denn wenn es eine einfachere Erklärung der Schwerkraft gäbe, wäre sie wohl kaum so lange unentdeckt geblieben.

(a) Wir denken wir uns nun zunächst eine einzelne *materielle* Partikel, die sich im Weltall bewegt und von der von außen kommenden Bewegung des Äthers in das Gravitationsfeld unserer Erde gedrückt wird. Diese materielle Partikel ist in unserer neuen Theorie kein geschlossener Körper sondern besteht aus noch kleineren Ätherpartikeln. Wir können sie uns wie einen Wirbel von Ätherpartikeln vorstellen, dessen Bestandteile wie in einer Windhose um eine gemeinsame Achse rotieren. Diese rotierende Ordnung ist es, die wir mit unseren begrenzten Beobachtungsmöglichkeiten als Materie wahrnehmen, und sie erklärt deren Stabilität, die so lange andauert, wie der Wirbel selbst. *Die Ursache der Stabilität der Materie liegt also darin, dass die den Wirbel bildenden Ätherpartikeln sich in gleicher Richtung bewegen und deshalb durch Kollisionen weniger Energie verlieren als die den Wirbel umgebenden ungeordneten Ätherpartikeln.*

Im Schwerefeld der Erde ist unsere materielle Partikel von Ätherpartikeln umgeben, die chaotisch sind oder weniger geordneten Systemen angehören, sich also nicht zu Materie geordnet haben. Was wird geschehen? Eine Windhose bleibt eine Zeitlang stabil, bis äußere Umstände sie zusammenbrechen lassen. Unsere materielle Partikel stößt im Schwerefeld der Erde ebenfalls auf äußere Umstände, nämlich auf andere Ätherpartikeln, die sich noch nicht zu Wirbeln geordnet haben. Aufgrund der Beharrungskräfte ihrer Wirbelbewegung ist die Ordnung der materiellen Partikel deshalb stabiler als die der sie umgebenden chaotischen Ätherpartikeln.

Die vordere Front der materiellen Partikel stößt nun auf den Widerstand der chaotischen Ätherpartikeln. Da deren Stabilität geringer ist als ihre, tendiert sie dazu, die eigene Ordnung zu bewahren, was bedeutet, dass sie auch die Tendenz hat, die eigene Geschwindigkeit beizubehalten. Durch die Kollisionen mit anderen Ätherpartikeln verliert sie zwar an Geschwindigkeit, aber nicht in gleichem Maße wie der sie umgebende chaotische Äther. Da ihr Bewegungsimpuls von außen kommt, sie also in Bewegungsrichtung von hinten geschoben wird, wird sie den chaotischen Äther solange durchdringen, bis sie auf Widerstand stößt, der größer ist als ihre inneren Beharrungskräfte. *Die physikalische Erklärung der Schwerkraft liegt also darin, dass der Bewegungsimpuls der Erdbeschleunigung von außen kommt und dass rotierende Systeme kraft ihrer inneren Stabilität ein größeres Beharrungsvermögen haben, als chaotische Systeme, diese also gewissermaßen ‚überholen‘.*

Diese Erklärung gilt nicht nur für die Bewegung der Materie relativ zum sie umgebenden chaotischen Äther. Sie behält ihre Gültigkeit auch für Bewegungen innerhalb der Materie selbst, denn auch dort gibt es stabilere und weniger stabile Systeme. Feste materielle Körper sind stabiler als Flüssigkeiten und Flüssigkeiten sind stabiler als Gase. Deshalb können feste Körper allein aufgrund der Schwerkraft und ihrer größeren Stabilität Flüssigkeiten und Gase solange verdrängen, bis sie, z.B. an der Erdoberfläche, mit anderen festen Körpern kollidieren.

(b) Die dargestellte Theorie erklärt nicht nur die Schwerkraft selbst. Sie kann auch eine Reihe anderer physikalischer Phänomene erklären oder wenigstens Ansätze für deren Erklärung bieten.

Zu diesen zählt nicht nur der Transport des Lichts, der ohne ein transportierendes Medium unerklärlich bliebe. Die heutige Theorie, die ohne den Äther auskommen möchte, hat auch keine Erklärung für viele andere physikalische Phänomene. Dazu zählen unter anderem der Magnetismus, die Transparenz von Materialien, die Bedeutung von Kräftelinien innerhalb von Materialien, die Wirkungen von Katalysatoren und von homöopathischen Medikamenten. Sie alle sind heute unerklärt. Dagegen kann die Theorie des elastischen Äthers mit dem Prinzip der Resonanz

wenigstens Ansätze zu ihrer Erklärung bieten. Auch zur Erklärung von Gewittern kann sie wenigstens Ansätze bieten, indem sie diese durch Aufeinandertreffen von Ätherwellen verschiedener Wellenlängen erklärt, die sich in Entladungen einander anpassen. Zugleich beantwortet sie die Frage, ob Energie aus transversalen oder longitudinalen Wellen besteht. Wenn nämlich durch Kollision von Ätherpartikeln Impulse entstehen und durch deren Elastizität transportiert werden, ist die Annahme naheliegend, dass jeder Impuls nicht nur eine Kontraktion der Ätherpartikeln in Bewegungsrichtung sondern auch eine Expansion in Querrichtung zur Folge hat, die dann infolge ihrer Elastizität in dieser Richtung gleiche, wenn auch schwächere Wellen auslöst.

Der wohl wichtigste erklärungsbedürftige Effekt ist aber die Rotation der Materie, die wir allenthalben beobachten, hier auf der Erde, in unserem Planetensystem und in den Galaxien des Universums. Die heutige Theorie kann sie nicht erklären. Sie lässt sogar die Erdrotation selbst unerklärt, weil nicht einmal die populäre Urknalltheorie eine Erklärung dafür anbietet. Wenn es den Urknall wirklich gegeben hätte, würde er zwar erklären, warum Himmelskörper sich bewegen, aber nicht, warum sie sich zu rotierenden Systemen ordnen.

Die Hypothese eines elastischen Äthers, der aus rotierenden Wirbeln besteht, ermöglicht dagegen eine einfache Erklärung dieses Phänomens. Wir glauben zu wissen, dass die Trägheit der Materie der Multiplikation von Masse und Geschwindigkeit entspricht. Wenn eine Kugel sich in gerader Linie bewegt und zugleich um die eigene Querachse rotiert, bewegt sich ein Teil ihrer rotierenden Masse in Bewegungsrichtung, der andere Teil ihr entgegen. Die Massenträgheit der ist also auf der ‚schnellen‘ Seite der Kugel größer als auf der ‚langsamen‘ Seite. Deshalb wird äußerer Widerstand die Kugel in eine Kurvenbewegung drücken, wobei die ‚schnelle‘ Seite der Kugel auf der Außenseite und die ‚langsame‘ auf der Innenseite der Kurve sein wird. Ballspieler und Billardspieler kennen den Effekt. Der gleiche Effekt muss auch in den Wirbeln wirken, aus denen sich der Äther zusammensetzt, denn auch dort sind die Beharrungskräfte eines rotierenden Systems auf dessen ‚schneller‘ Seite größer als auf der ‚langsamen‘ Seite, weil die hemmenden Kräfte des umgebenden chaotischen Äthers proportional geringer sind. Das erklärt die Spiralförmigkeit der Wirbel und Galaxien aus bekannten physikalischen Gesetzen. Zugleich erklärt es, warum materielle Einheiten sich im Weltall letztlich zu rotierenden Bewegungen ordnen, weil sie so geringeren Widerständen ausgesetzt sind.

(c) Schließlich stellt sich die Frage, ob die dargestellte Theorie experimentell nachprüfbar ist. Ich halte das für möglich.

Einen Ansatzpunkt bietet die Annahme, dass die Lichtgeschwindigkeit sich bei Annäherung an die Erde verlangsamt. Zwei Experimente, mit denen sie nachgeprüft werden könnte, habe ich bereits vorgeschlagen⁶². Eines davon bestünde in terrestrischen Messungen der Lichtgeschwindigkeit in unterschiedlichen Höhenlagen⁶³. Das andere könnte von dem Prinzip ausgehen, das Olaf Roemer im Jahr 1675 zur Entdeckung der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit führte. Er benutzte damals die Bewegungen der Jupitermonde als ‚Uhren‘, indem er ihre Positionen im Zeitpunkt der Jupiter-nächsten Position der Erde auf ihrer Umlaufbahn mit denen in der entferntesten Position verglich. Dabei stellte er Zeitdifferenzen fest, die im Rhythmus von sechs Monaten schwankten und sich deshalb nicht mit den Umlaufbahnen der Jupitermonde sondern nur mit der Bahn der Erde um die Sonne erklären ließen, also mit der Dauer des Lichttransportes bei größeren oder kleineren Entfernungen. Wenn aber die Lichtgeschwindigkeit sich bei Annäherung an die Erde verlangsamt, wie die hier dargestellte Theorie annimmt, müssten sich bei Messungen im Abstand von drei Monaten bzw. 90° der Erdumlaufbahn auch Unterschiede in der Lichtgeschwindigkeit selbst beobachten lassen.

Das mag vielleicht dahinstehen, denn das interessanteste Experiment hat inzwischen bereits begonnen, nämlich der Bau des Fusionsreaktors ITER in Südfrankreich. Er soll die Wasser-

⁶² Popper versus Einstein (1998), S. 189-195.

⁶³ Michelsons Experimente erfolgten unter anderen Gesichtspunkten. Einzelne von ihnen könnten bereits auf unterschiedliche Lichtgeschwindigkeiten deuten. Vgl. Jaffe *Michelson and the Speed of Light* (1971), S. 164ff.

stoff-Helium-Fusion, die nach heutiger Theorie auf der Sonne stattfindet, hier auf der Erde nachvollziehen und für die Energiegewinnung nutzbar machen. Ältere Versionen der ITER-Website wiesen noch zutreffend darauf hin, dass wir die Gravitationsbedingungen, die auf der Sonne herrschen, auf der Erde nicht im Experiment simulieren können. Das bedeutet aber zugleich, dass wir auch die *Druckverhältnisse*, die auf der Sonne herrschen, nicht in einem Fusionsreaktor simulieren können, weil sie den Reaktor sprengen würden. Dieser Unterschied mag aus Sicht einer Theorie unwichtig erscheinen, die von inkompressiblen Atomkernen ausgeht und die nach heutiger Theorie sie umkreisenden Partikel vernachlässigt. Für eine Theorie, nach der die Materie selbst aus *elastischen Ätherwirbeln* besteht, dürfte er aber entscheidend sein. Deshalb rechne ich nicht damit, dass das ITER-Experiment gelingen wird.

Aber wie immer dieses Experiment ausgeht: Die theoretische Physik wird erst wieder Fortschritte machen, wenn sie akzeptiert, dass die Mathematik kein Element der Natur sondern Teil der menschlichen Sprache ist, also eine Erfindung des Menschen.