

Wie kam Einstein auf die Relativitätstheorie?

Ulrich Eckhardt
Universität Hamburg
Fachbereich Mathematik
— Optimierung und Approximation —
Bundesstraße 55
20 146 Hamburg
E-Mail: Eckhardt@math.uni-hamburg.de

29. November 2005

Albert Einstein, 14. 3. 1879 – 18. 4. 1955¹

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Der Schreibtisch in Bern	1
2	Vorüberlegung: Was ist eine wissenschaftliche Aussage?	2
3	Was fand Einstein vor? — Die Physik zur Zeit Einsteins	4
3.1	Die Physik Newtons	4
3.2	Die „Krise“ der Physik	9
3.3	Die Maxwell'schen Gleichungen	11
3.4	Die Lösung: Spezielle Relativitätstheorie	13
4	Was fand Einstein vor? — Berlin 1914 – 1933	14
5	Einstein heute	19
5.1	Die Physik nach Einstein	20
5.1.1	Die Mathematisierung der Physik	21
5.1.2	Die Physik heute	25

Vortrag am 18. November 2005 im Rahmen der Ringvorlesung „Spektrum der Wissenschaftsgeschichte“.
¹Sämtliche biographischen Angaben sind den Lexika [17] beziehungsweise [21] entnommen.

1 Einleitung: Der Schreibtisch in Bern

Im Jahre 1905 betrat Albert Einstein durch eine große Anzahl von bemerkenswerten Publikationen die wissenschaftliche Bühne. Ziel dieses Vortrags wird sein, Einstein bei seiner wissenschaftlichen Arbeit über die Schulter zu schauen. Schließlich ist es eine interessante Frage, wie Einstein vorgegangen ist. Bei der gegenwärtigen Diskussion über die Neugestaltung der Wissenschaft kann es nützlich sein, sich zu fragen, wie denn unser Hochschulsystem beschaffen sein müßte, um zukünftige Einsteins zu fördern. Wir werden uns nach einem kurzen Blick auf Einsteins Schreibtisch in Bern der Frage zuwenden, was Einstein in der Physik vorfand. Gleichfalls interessant ist es, die geistigen Voraussetzungen zu skizzieren, die Einstein in seiner Berliner Zeit antraf. Schließlich wollen wir untersuchen, was uns Einstein heute zu sagen hat.

Zu dem Schreibtisch des „Experten III. Klasse“ am Eidgenössischen Amt für geistiges Eigentum in Bern schreibt Wolfgang Pauli (der sich hier in Hamburg im Jahre 1923 habilitierte) [39, S. 81]:

Vor 50 Jahren läßt ein jüngerer Angestellter des Patentamtes in Bern, sobald dessen Chef *Haller* durch die Bureauräume geht, regelmäßig eine Gruppe von Papieren in der Schublade verschwinden und holt aus dieser rasch andere heraus, auf denen seine Gutachten über die Patentschriften niedergeschrieben sind. Ich bezweifle, daß *Haller* es nicht bemerkt hat. Warum sollte er es beanstanden, da er doch mit der Arbeit des Angestellten zufrieden war. Wenn heftige Einwendungen von Gesuchstellern gegen die Gutachten des Amtes auf Grund seiner Arbeit erfolgreich abgewiesen waren, sitzt *Haller* des Abends mit einem Stumpfen beim Dreier und spricht befriedigt vor sich hin: „Wir werden denen schon zeigen, wo der Herrgott hockt!“

Wir entnehmen diesem Zitat deutlich: Einstein arbeitete auf seinem neuen Gebiet sicher nicht experimentell, er hätte niemals einen Experimentaufbau „in der Schublade verschwinden“ lassen können, und die ersten Experimente, die seine Theorie bestätigten, wurden erst viel später ausgeführt. Die Situation gemahnt an das frühe Mittelalter, an einen Mönch, der in seiner Zelle das Problem zu lösen versucht, welche Eigenschaften ein Einhorn haben müsse, wenn man nur voraussetzt, daß Gott allmächtig und allgütig sei. Zum Vergleich betrachten wir einen anderen Gelehrten, der etwa hundert Jahre vor Einstein ebenfalls mit einer sensationellen Aussage sein Debüt in der Wissenschaft gab. Es handelt sich um Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770–1831). Dieter B. Herrmann schreibt hierzu [24, S. 52]:

Die Entdeckung der Ceres² ist übrigens von einer kuriosen und wenig bekannten Kontroverse zwischen den Astronomen und dem jungen *G. W. F. Hegel* begleitet gewesen. *Hegel* hatte nämlich in seiner im Jahre 1800 erschienenen Dissertation gerade den umständlichen Beweis angetreten, daß es im Sonnensystem nur 7 Planeten geben könne. Die Entdeckung der Ceres war natürlich eine offenkundige Blamage für die Spekulationen des Philosophen, und die Astronomen zögerten nicht, dies in deutlichen Worten zum Ausdruck zu bringen. *Zach* bezeichnete die Dissertation *Hegels* als „literarischen Vandalismus“ von Leuten, „die erst lernen sollten ehe sie lehren“.

Herrmann ist hier nicht ganz exakt, es handelte sich um Hegels Habilitationsschrift, und er hatte darin aus Platons *Timaios* hergeleitet, daß es in der Lücke zwischen Mars und Jupiter keinen weiteren Planeten geben könne. Der Kleine Planet Ceres nun befand sich aber gerade in dieser Lücke!

²Entdeckung durch *Piazzi* in der Neujahrsnacht 1801, Bahnbestimmung durch *C. F. Gauß*, Wiederauffindung durch *Obers* am 1. Januar 1802 (U.E.).

Was ist nun der Unterschied zwischen Einstein und Hegel in diesen beiden Geschichten? Einstein kannte die Physik seiner Zeit sehr genau, Hegel aber offenbar nicht die Astronomie seiner Zeit. Wir wenden uns nun der Physik zu, die Einstein vorfand. Vorher sollten wir aber kurz die Frage klären, was wir unter einer wissenschaftlichen (genauer einer physikalischen) Aussage verstehen wollen.

2 Vorüberlegung: Was ist eine wissenschaftliche Aussage?

Die Physik stützt sich auf Experimente und Beobachtungen. Bei einer Beobachtung wird ein natürlich ablaufender Vorgang möglichst genau vermessen und beschrieben (Beispiele: Novaausbruch, Meteor, Sonnenflecken). Bei einem Experiment versucht der Physiker unter kontrollierten Bedingungen – nach Möglichkeit im Labor – einen Naturvorgang ablaufen zu lassen und diesen dann wohl vorbereitet zu vermessen (Beispiel: Galileis Versuche mit schiefen Ebenen zur Ermittlung des Fallgesetzes).

Theorien sind – typischerweise formelmäßig – zusammengefaßte Beobachtungsergebnisse. Das Fallgesetz macht sämtliche Protokolle von Einzelexperimenten Galileis überflüssig. Dies liegt daran, daß von einer Theorie erwartet werden muß, daß sie nicht nur die bekannten Beobachtungstatistiken richtig beschreibt, sondern auch alle denkbaren Versuche auf dem von ihr beschriebenen Gebiet, die noch nicht ausgeführt worden sind. Auf diese Weise ist eine Theorie zu prognostischen Aussagen fähig.

Wir betrachten hierzu drei Beispiele von Aussagen:

- Am 29. März 2006 wird eine totale Sonnenfinsternis stattfinden. In der brasilianischen Küstenstadt Natal geht die total verfinsterte Sonne um 8:34 UT auf. Die totale Sonnenfinsternis endet um 11:46 UT in Kasachstan.
- Der Himmel wird morgen bedeckt sein. Am Nachmittag ist mit Regenfällen zu rechnen. Die Regenwahrscheinlichkeit beträgt 30 %.
- Sie ärgern sich über unpassende Bemerkungen, machen den Mund aber zunächst nicht auf. Erst das Bohren in Ihrer Vergangenheit bringt das Faß zum Überlaufen. Dann schlagen Sie so gezielt zurück, daß den anderen die Spucke wegbleibt. Die hohe Kunst im Job besteht darin, Anerkennung auch wirklich anzunehmen und nicht bescheiden abzuwinken oder auf andere zu verweisen. Körperlich geht's Ihnen blendend.
Annett Klingner, Horoskop für die Zeit vom 12. bis 18. November 2005 für Steinbock-Geborene.

Eine „wissenschaftliche“ (genauer: „physikalische“) Aussage sollte die folgenden Eigenschaften haben:

- Sie sollte (nach Möglichkeit) quantitativ sein.
- Sie sollte in der Sprache der Mathematik formulierbar sein.
- Sie sollte aus einer bestätigten Theorie durch Anwendung mathematischer Deduktion herleitbar sein.
- Sie sollte experimentell verifizierbar sein. Das heißt, im Idealfall sollte jede Person an jedem Ort zu jeder Zeit das gleiche Ergebnis erhalten.
- Dabei müssen Theorie und Experiment in enger Wechselwirkung stehen. Wie es Einstein formulierte:

„Erst die Theorie entscheidet darüber, was man beobachten kann.“

Nach diesem Kriterienkatalog ist die erste Aussage eine physikalische Aussage, sie wird durch die außerordentlich vielfältig bestätigte Newtonsche Gravitationstheorie gestützt, sie macht quantitative Aussagen auf der Basis von Berechnungen mittels des Newtonschen Formelapparates. Von diesen Voraussagen erwartet man, daß sie präzise zutreffen.

Auch die zweite Aussage basiert auf einer Theorie. Sie ist ebenfalls das Ergebnis von umfangreichen Berechnungen auf der Basis dieser Theorie. Sie macht jedoch keine quantitativen Voraussagen (die „Regenwahrscheinlichkeit“ ist keine nachvollziehbare wissenschaftliche Aussage, sie dient lediglich dazu, den Eindruck zu erwecken, daß die Voraussage quantitativ sei). Weiterhin erwartet man nicht, daß die Voraussage unbedingt zutrifft. Nichtsdestoweniger handelt es sich hier um eine wissenschaftliche Aussage.

Die dritte Aussage wird mittels einer Theorie gewonnen. Man kann diese jedoch kaum als „bestätigt“ bezeichnen. Zudem gibt es zu jeder astrologischen Theorie ihr widersprechende Gegenteil. Typischerweise enthält eine astrologische Voraussage keine quantitativen Angaben. Wenn eine solche Aussage nicht zutrifft, wird diese niemanden überraschen.

Diese genannten Forderungen machen keinerlei Aussage über die „Wahrheit“ der Voraussagen, die stellen lediglich eine Angabe über die Methodik dar, mittels derer sie gewonnen wurden. Die moderne Wissenschaft – einschließlich der Mathematik – geht mit der Pilatus-Frage „Was ist Wahrheit?“ (Joh. 18,38) äußerst zurückhaltend um.

Die Wissenschaft benutzt eine eigene Sprache, die sich von der Alltagssprache wesentlich unterscheidet. Der Wortschatz ist geringer und die Bedeutung der Worte ist eingeschränkt. Nach einem Häufigkeitwörterbuch der Physik [17] erreicht man mit 1100 Wörtern bereits eine Textabdeckung von 93%, was wissenschaftliche Texte angeht. Von den ersten 1100 Wörtern eines „normalen“ Häufigkeitwörterbuchs stimmen nur 25% mit denen des Fachwörterbuchs überein.

Man betrachte etwa zum Beispiel das Wort „Energie“ im Kontext der Physik und Technik (kinetische Energie eines fahrenden Autos), des Alltags (wir müssen jetzt mit Energie vorgehen) oder der Esoterik (wenn ich mein Bett anders stelle, vermeide ich den Einfluß negativer Energieströme). In der Dichtung macht die Vielzahl der Assoziationen, die ein Wort hervorruft, gerade dessen Wirkung aus.

Die Wissenschaft bedient sich gern der Sprache der Mathematik. Einerseits, um eine größtmögliche Präzision und Eindeutigkeit zu erreichen, aber auch, um sich des mathematischen Apparats zur Deduktion bedienen zu können.

Ernst Mach formulierte dies wie folgt (Ernst Mach, Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung, 1882, zitiert nach [36, S. 467 f]):

Physik ist ökonomisch geordnete Erfahrung. Nicht nur die Übersicht des Erworbenen wird durch diese Ordnung ermöglicht, auch die Lücken und wünschenswerten Ergänzungen treten wie in einer guten Wirtschaft klar hervor. Die Physik teilt mit der Mathematik die zusammenfassende Beschreibung, die kurze kompendiöse, doch jede Verwechslung ausschließende Bezeichnung der Begriffe, deren mancher wieder viele andere enthält, ohne daß unser Kopf dadurch belästigt erscheint. Jeden Augenblick aber kann der reiche Inhalt hervorgeholt, und bis zu voller sinnlicher Klarheit entwickelt werden. Welche Menge geordneter, zum Gebrauch bereit liegender Gedanken faßt z. B. der Begriff Potential in sich. Kein Wunder also, daß mit Begriffen, die so viele fertige Arbeit schon enthalten, schließlich einfach zu operieren ist.

Wegen dieser unterschiedlichen Belegung gleichlautender Begriffe gibt es erhebliche „Sprachprobleme“ zwischen Natur- und Geisteswissenschaften [48] (siehe jedoch [9]).

Jede physikalische (oder mathematische) Aussage läßt sich in eine Aussage in Umgangssprache „übersetzen“. Das Umgekehrte ist im allgemeinen nicht möglich.

Als Beispiel betrachten wir einen wissenschaftlichen Text, der in „normaler“ Sprache formuliert ist (Johann Wolfgang von Goethe, Vorarbeiten zur Morphologie, Handschriftlich, 1788/89, [20, S. 109]):

Bei der fortschreitenden Veränderung der Pflanzenteile wirkt eine Kraft, die ich nur uneigentlich Ausdehnung und Zusammenziehung nennen darf.

Besser wäre es, ihr ein x oder y nach algebraischer Weise zu geben, denn die Worte Ausdehnung und Zusammenziehung drücken diese Wirkung nicht in ihrem ganzen Umfange aus. Sie zieht zusammen, dehnt aus, bildet aus, bildet um, verbindet, sondert, färbt, entfärbt, verbreitet, verlängert, erweicht, verhärtet, teilt mit, entzieht und nur allein, wenn wir alle ihre verschiedenen Wirkungen in einem sehen, dann können wir das anschaulicher kennen, was ich durch diese vielen Worte zu erklären und auseinanderzusetzen gedacht habe. Sie tut das alles so stückweise, so sachte, so unmerklich, daß sie zuletzt uns vor unseren Augen einen Körper in den andern verwandelt, ohne daß wir es gewahr werden.

Interessant ist, daß Goethe mit der Formulierung „Besser wäre es, ihr ein x oder y nach algebraischer Weise zu geben“ auszudrücken versucht, daß man solcherlei eigentlich mathematisch formulieren müsse. Er wußte aber genau, daß ihm die Mathematik nicht zugänglich war. Zur Ehrenrettung Goethes sei gesagt, daß es zwar heute eine „Mathematische Morphologie“ gibt, daß diese aber sicher nicht das liefert, was Goethe in vollkommenen Worten der Umgangssprache auszudrücken vermochte.

Aussagen, Resultate von Beobachtungen und Experimenten faßt man zu Theorien zusammen. Diese sollten untereinander konsistent sein (Beispiel: Die kinetische Theorie der Wärme ist mit der Mechanik konsistent), sie sollten qualitativ sein, das heißt auch überprüfbar. Sie sollten zudem mit den Beobachtungen verträglich sein.

Es ist das Bestreben der Physiker aller Zeiten, die einzelnen Theorien der verschiedenen physikalischen Teilgebiete zu vereinigen. So konnte die kinetische Gastheorie das Verhalten der Gase dadurch beschreiben, daß sie das Gas aus einer großen Anzahl von mechanisch wechselwirkenden Molekülen modelliert.

3 Was fand Einstein vor? — Die Physik zur Zeit Einsteins

Wir versetzen uns nun an den Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts zurück, als Einstein sich daran machte, seine „spezielle“ Relativitätstheorie auszuformulieren. Wir müssen uns fragen, aus welcher Situation heraus Einstein auf seine Relativitätstheorie kam. Dabei werden wir nicht nur die Situation der Physik dieser Zeit beleuchten müssen, gerade bei Einstein hat es eine für einen theoretischen Physiker bemerkenswerte Wechselwirkung von Geistesgeschichte und Physik gegeben.

3.1 Die Physik Newtons

Im Jahre 1687 erschien das Werk von Isaac Newton (1642–1727)

Philosophiae naturalis principia mathematica, London, 1687. (Zitate nach der Übersetzung J. Ph. Wolfers, 1872, siehe [36, S. 227 ff])

In diesem Werk geht Newton von den folgenden Voraussetzungen aus:

- I.** Die *absolute, wahre* und *mathematische Zeit* verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig, und ohne Beziehung auf irgend einen äusseren Gegenstand. Sie wird so auch mit dem Namen: *Dauer* belegt.

Die *relative, scheinbare* und *gewöhnliche Zeit* ist ein fühlbares und äusserliches, entweder genaues oder ungleiches, Maass der Dauer, dessen man sich gewöhnlich statt der wahren Zeit bedient, wie Stunde, Tag, Monat, Jahr.

- II.** Der *absolute Raum* bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äusseren Gegenstand, stets gleich und unbeweglich.

Der *relative Raum* ist ein Maass oder ein beweglicher Teil des erstern, welcher von unseren Sinnen, durch seine Lage gegen andere Körper bezeichnet und gewöhnlich für den unbeweglichen Raum genommen wird. Z. B. ein Theil des Raumes innerhalb der Erdoberfläche; ein Theil der Atmosphäre; ein Theil des Himmels, bestimmt durch seine Lage gegen die Erde. Der absolute und relative Raum sind dasselbe an Art und Größe, aber sie bleiben es nicht immer an Zahl. Bewegt sich z. B. die Erde, so ist der Raum unserer Atmosphäre, welcher in Bezug auf unsere Erde immer derselbe bleibt, bald der eine, bald der andere Theil des absoluten Raumes, in welchen die Atmosphäre übergeht und ändert sich so beständig.

- III.** Der *Ort* ist ein Theil des Raumes, welchen ein Körper einnimmt, und, nach Verhältniss des Raumes entweder *absolut* oder *relativ*.

Er ist ein Theil des Raumes, nicht aber der Platz oder die Lage des Körpers oder die ihn umgebende Oberfläche. Denn die Orte gleicher fester Körper sind stets einander gleich, wogegen die Oberflächen, wegen der Unähnlichkeit der Gestalt meistens ungleich sind. Die Lage eines Körpers hat aber eigentlich gar keine Grösse und ist nicht so sehr ein Ort, als ein Verhältniss des Ortes. Die Bewegung des Ganzen ist identisch mit der Summe der Bewegungen seiner einzelnen Theile, daher die Ortsveränderung des Ganzen identisch mit der Summe der Ortsveränderungen seiner einzelnen Theile. Er befindet sich daher innerhalb des ganzen Körpers.

Auf der Basis dieser Voraussetzungen formulierte Newton dann seine drei Gesetze:

- 1. Gesetz** Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.
- 2. Gesetz** Die Aenderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.
- 3. Gesetz** Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper auf einander sind stets gleich und von entgegengesetzter Richtung.

Die ersten beiden Gesetze faßt man heutzutage zu einem zusammen. Sie drücken das *Trägheitsprinzip* der Newtonschen Mechanik, welches auf Galilei zurückgeht, aus.

Nach Erscheinen des Newtonschen Werkes setzte die Kritik daran ein. Einer der hervorragendsten und kompetentesten Kritiker war der Philosoph und Mathematiker George Berkeley (1685–1753). Er kritisierte in seiner Schrift *de motu* (1720) die Newtonsche Bewegungstheorie [6]. Insbesondere waren für Berkeley die beiden Konzepte des absoluten Raumes und der absoluten Zeit nicht akzeptabel. Einstein spricht davon, daß selbst Newton ein „Unbehagen“ bei diesen Begriffen empfand [12, S. 116]. Mit dieser Kritik befindet sich Berkeley in Übereinstimmung mit modernen

Autoren. Zitiert sei insbesondere Ernst Cassirer, der in Hamburg wirkte und der im Jahre 1921 ein bemerkenswert sachkundiges Buch über Einsteins Relativitätstheorie schrieb. Dort formuliert er das Problem so [9, S. 22]:

Die Schwierigkeit aber, die innerhalb des Gesamtaufbaus der klassischen Mechanik in der Formulierung des Trägheitsprinzips zurückbleibt, drückt sich zuletzt in einem erkenntnistheoretischen Zirkel aus, aus dem es für sie kein Entrinnen zu geben scheint. Um den *Sinn* des Trägheitssatzes zu fassen, bedürfen wir des Begriffs der „gleichen Zeiten“ – ein brauchbares physikalisches Maß für gleiche Zeiten aber kann, wie sich auf der anderen Seite ergibt, immer nur gewonnen werden, wenn man das Trägheitsgesetz seinem Inhalt und seiner Geltung nach schon als gegeben voraussetzt. In der Tat pflegt die Mechanik – seit Carl Neumanns bekannter Schrift „über die Prinzipien der Galilei-Newton’schen Theorie“, ³ die die moderne Diskussion über das Trägheitsgesetz zuerst in Fluß gebracht hat – „gleiche Zeiten“ geradezu als solche zu *definieren*, innerhalb derer ein sich selbst überlassener Körper gleiche Wegabschnitte zurücklegt. Auch MAXWELL faßt in seiner Darstellung der Newtonschen Mechanik das Gesetz der Trägheit als reine Maßdefinition auf. Das erste Gesetz Newtons – so erklärt er scharf und prägnant – sagt aus, unter welchen Bedingungen keine äußere Kraft vorhanden ist⁴.

In „naturwissenschaftlich lakonischer“ Sprache heißt dies bei Max Born [8, S. 267]:

Der absolute Raum hat nahezu spiritistischen Charakter. Fragt man: „was ist die Ursache der Fliehkräfte?“, so lautet die Antwort: „der absolute Raum“. Fragt man aber: „was ist der absolute Raum und worin äußert er sich sonst?“, so weiß niemand eine andere Antwort als die: „der absolute Raum ist die Ursache der Fliehkräfte, sonst hat er keine Eigenschaften“.

Die „Objekte“ der Newtonschen Theorie sind „Massenpunkte“, das heißt, als punktförmig idealisierte Massen, und der „schattenhafte Begriff“ des absoluten Raumes (Einstein [12, S. 155]). Der absolute Raum ist dabei unverzichtbar, wie Newton durch eine ausführliche Beschreibung seines „Eimerversuchs“ darlegt (Zitiert nach [36, S. 232 f]):

Man hänge z. B. ein Gefäß an einem sehr langen Faden auf, drehe dasselbe beständig im Kreise herum, bis der Faden durch die Drehung sehr steif wird; Hierauf fülle man es mit Wasser und halte es zugleich mit letzterem in Ruhe. Wird es nun durch eine plötzlich wirkende Kraft in entgegengesetzte Kreisbewegung versetzt und hält diese, während der Faden sich ablöst, längere Zeit an, so wird die Oberfläche des Wassers anfangs eben sein, wie vor der Bewegung des Gefäßes, hierauf, wenn die Kraft allmählig auf das Wasser einwirkt, bewirkt das Gefäß, dass dieses (das Wasser) merklich sich umzudrehen anfängt. Es entfernt sich nach und nach von der Mitte und steigt an den Wänden des Gefäßes in die Höhe, in dem es eine hohle Form annimmt. (Diesen Versuch habe ich selbst gemacht). Durch eine immer stärkere Bewegung steigt es mehr und mehr an, bis es in gleichen Zeiträumen mit dem Gefäße sich umdreht und relativ zu demselben ruhet. Dieses Ansteigen deutet auf ein Bestreben, sich von der Axe der Bewegung zu entfernen, und durch einen solchen Versuch wird die wahre

³Carl Neumann, Über die Prinzipien der Galilei-Newtonschen Theorie, Lpz. 1870.

⁴J. C. Maxwell, Substanz und Bewegung (Matter and motion), dtsh. von E. v. Fleischel, Braunsch. 1881, S. 31.

und absolute kreisförmige Bewegung des Wassers, welche der *relativen* hier ganz entgegengesetzt ist, erkannt und gemessen. Im Anfange, als die *relative* Bewegung des Wassers im Gefässe am grössten war, verursachte dieselbe kein Bestreben, sich von der Axe zu entfernen. Das Wasser suchte nicht, sich dem Umfange zu nähern, indem es an den Wänden emporstieg, sondern blieb eben, und die *wahre* kreisförmige Bewegung hatte daher noch nicht begonnen. Nachher aber, als die relative Bewegung des Wassers abnahm, deutete sein Aufsteigen an den Wänden des Gefässes das Bestreben an, von der Axe zurückzuweichen, und dieses Bestreben zeigte die stets wachsende *wahre* Kreisbewegung des Wassers an, bis diese endlich am grössten wurde, wenn das Wasser selbst *relativ* im Gefässe ruhte. Jenes Bestreben hängt nicht von der Uebertragung des Wassers in Bezug auf die umgebenden Körper ab, und deshalb kann die *wahre* Kreisbewegung nicht durch eine solche Uebertragung erklärt werden. Einfach ist die wirkliche kreisförmige Bewegung eines jeden sich umdrehenden Körpers, dem einfachen Streben gleichsam als eingenthümliche angemessene Wirkung entsprechend. Die *relativen* Bewegungen sind nach den mannichfachen Beziehungen auf äussere Körper unzählig, als Schatten der Beziehung sind sie aller *wahren* Wirkung baar; ausser insofern, als sie an jeder *einfachen* und *wahren* Bewegung Theil nehmen.

Newton argumentiert hier also, daß das im Gefäß befindliche Wasser den absoluten Raum „spürt“ und daß dies die Ursache der beobachteten Trägheitskräfte sei. Der Eimerversuch hat bis in die neueste Zeit die Physiker beschäftigt. Ein weiterer experimenteller Befund, der die Existenz des absoluten Raumes zwingend zu erfordern scheint, ist das Foucaultsche Pendel.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Newtonschen Theorie ist das Gravitationsgesetz. Wir schauen uns dieses Gesetz in seiner einfachsten Form einmal an (sogenannte Einkörperbewegung).

Es bezeichne mit $\mathbf{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))$ die Position eines Körpers der Masse m zum Zeitpunkt t , der sich um einen Zentralkörper der Masse M im (festen) Punkte $\mathbf{r}_0 = (x_0, y_0, z_0)$ bewegt. G sei die Gravitationskonstante. Der (Euklidische) Abstand des Körpers vom Zentralkörper zur Zeit t ist

$$\|\mathbf{r}(t) - \mathbf{r}_0\| = \sqrt{(x(t) - x_0)^2 + (y(t) - y_0)^2 + (z(t) - z_0)^2}.$$

Dann ist

$$m\ddot{\mathbf{r}} = -G \cdot mM \cdot \frac{\mathbf{r}(t) - \mathbf{r}_0}{\|\mathbf{r}(t) - \mathbf{r}_0\|^3}$$

Auf der linken Seite dieser Gleichung tritt die Position des Körpers, versehen mit zwei Punkten auf. Dies ist die von Newton eingeführte Abkürzung für die *Beschleunigung*, die auf dem Körper wirkt. In Newtons zweitem Gesetz wird die Beschleunigung als „Änderung der Bewegung“ bezeichnet. Anstelle von „Bewegung“ würden wir heute „Geschwindigkeit“ sagen. Das Produkt von Masse und Beschleunigung auf der linken Seite ist also nach dem zweiten Gesetz gleich der einwirkenden Kraft, und diese ist nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz proportional zum Produkt der beiden Massen und einer von der Entfernung abhängenden Größe, die in Richtung vom Körper zum Zentralkörper wirkt. Dies ist der Inhalt des Ausdrucks auf der rechten Seite.

Auch das Newtonsche Gravitationsgesetz war nicht unumstritten. Insbesondere war schwer verständlich, auf welche Weise der Zentralkörper über eine beträchtliche Entfernung ohne ein vermittelndes Medium und ohne Zeitverzug wirken könnte. Schon Galilei hatte in seinem *Dialog* die Vorstellung Keplers getadelt, wonach Ebbe und Flut auf die fernwirkende Anziehungskraft des Mondes zurückführbar seien [19, S. 483–483]

Von allen bedeutenden Männern aber, die sothaner wunderbarer Naturerscheinung ihr Nachdenken gewidmet haben, wundere ich mich zumeist über *Kepler*, mehr als über jeden anderen. Wie konnte er bei seiner freien Gesinnung und seinem durchdringenden Scharfblick, wo er die Lehre von der Erdbewegung in Händen hatte, Dinge anhören und billigen, wie die Herrschaft des Mondes über das Wasser, die verborgenen Qualitäten und was der Kindereien mehr sind?

In seiner erwähnten Schrift *de motu* hat sich Berkeley ebenfalls gegen das Fernwirkungskonzept gewandt, und auch dieses Punkt der Newtonschen Theorie blieb bis in die Neuzeit ein Problem, welches erst durch Einsteins allgemeine Relativitätstheorie eine befriedigende Erklärung fand.

In seinem 1725 erschienen *Gulliver* äußert sich Jonathan Swift auch über das Newtonsche Gravitationsgesetz. Er schreibt im dritten Teil, Kapitel VIII [51]:

Alsdann bat ich den Gouverneur, Descartes und Gassendi zu zitieren, und überredete dieselben, ihre Systeme dem Aristoteles darzulegen. Dieser große Philosoph gestand offen seine Versehen in der Naturphilosophie ein, weil er in vielen Dingen nur nach Vermutungen urteilen konnte, wie dies bei allen Menschen der Fall ist. Er war der Meinung, das System Gassendis, welches die Lehre Epikurs so genießbar wie möglich zugerichtet habe, ebenso auch die cartesianischen Wirbel müßten auf gleiche Weise verworfen werden. Dasselbe Schicksal sagte er dem Gesetz der Anziehungskraft Newtons voraus, welches die Gelehrten jetzt mit so viel Eifer verfechten. Er sagte: neue Natursysteme glichen den Moden, die mit jedem Zeitalter wechseln; sogar diejenigen, welche sie nach mathematischen Grundsätzen beweisen wollen, würden nur eine Zeitlang blühen, und sobald diese verflossen sei, in Vergessenheit geraten.

Swift hielt also das Newtonsche Gravitationsgesetz für eine Mode der Wissenschaft, die alsbald wieder durch eine andere ersetzt werden würde.

Wir wenden uns noch einmal dem Symbol $\dot{\mathbf{r}}$ auf der linken Seite der Gleichung des Einkörperproblems zu. Für seine Theorie benötigte Newton eine Präzision der Begriffe „Geschwindigkeit“ und „Beschleunigung“. Für uns ist dies schwer vorstellbar, da wir – durch den Kraftfahrzeugverkehr – alltäglich mit derlei Begriffen umgehen. Wenn ich mit einem Kraftfahrzeug nach München fahre – es sind dies ziemlich genau 800 km – und ich benötige dazu 8 Stunden, dann war meine Durchschnittsgeschwindigkeit 800 km / 8 Stunden oder 100 km/h. Das heißt, die Durchschnittsgeschwindigkeit, die ich auf dieser Strecke hatte, berechnet sich als der Quotient $\Delta s / \Delta t$, wobei Δs die zurückgelegte Wegstrecke und Δt die dazu benötigte Zeit ist. Die so erhaltene Durchschnittsgeschwindigkeit ist nur ein grobes Maß für die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit, zum Beispiel enthält die angegebene Zeit eine Mittagspause, Baustellenverkehr und Strecken, auf denen ich wesentlich schneller fuhr. Will man es genauer haben, dann muß man für geeignete Teilstrecken Δs die erforderlichen Zeiten Δt ermitteln. Man weiß, daß die weißen Begrenzungspfähle an der Autobahn 500 m voneinander entfernt sind. Benötige ich von einem dieser Pfähle zum nächsten gerade 15 Sekunden, dann ist meine Durchschnittsgeschwindigkeit auf dieser Strecke $\Delta s / \Delta t = 500 \text{ m} / 15 \text{ s} = 0.5 \text{ km} / (15 / 3600 \text{ s}) = 120 \text{ km/h}$. Der Begriff der Durchschnittsgeschwindigkeit hat den Nachteil, daß man für eine vollständige Angabe immer noch die Wegstrecke beziehungsweise das Zeitintervall, auf die sich die Angabe bezieht, hinzufügen muß. Newton hatte daher die Idee, die Geschwindigkeit auf „kleine“ Zeitintervalle – im Extremfall für das Zeitintervall Null anzugeben. Man hat dann einerseits eine Zahlenangabe für die „momentane“ Geschwindigkeit, die auch ohne Angabe eines Meßintervalls sinnvoll ist, jedoch ergibt sich das Problem, daß nicht ganz klar ist ob ein solcher Ausdruck auch sinnvoll gebildet werden kann. Wir sind heute derartige Begriffsbildungen gewohnt, aber zu Newtons Zeit war dies schon eine sehr kühne Idee. George Berkeley kritisierte diese Idee in seiner Schrift *The Analyst* von 1734.

Das Problem der Begründung der Infinitesimalrechnung blieb bis ins neunzehnte Jahrhundert offen. Es ist interessant, daß sogar Karl Marx um 1850 drei vergebliche Versuche unternahm, die Infinitesimalrechnung „dialektisch“ zu begründen [32]. Eine strenge Grundlegung wurde von Cauchy (1789–1857) im Jahre 1821 (*Cours d'Analyse*) und später von Karl Theodor Wilhelm Weierstraß (1815–1897) gegeben. Einstein bemerkt zur Differentialrechnung: „... vielleicht der größte gedankliche Schritt, den zu tun einem Menschen je vergönnt war.“ [12, S. 160].

Die Beschleunigung erhält man aus der Geschwindigkeit durch einen ähnlichen Schritt, man dividiert den Geschwindigkeitszuwachs, der in einem bestimmten Zeitintervall erzielt wurde, durch die Länge dieses Zeitintervalls. Diesen Vorgang kennt ebenfalls jeder Kraftfahrer, die Beschleunigung eines Wagens wird angegeben durch die Zeit, die der Wagen benötigt, um von 0 auf 100 km / h zu beschleunigen.

Differentialgesetze sind ein Ausdruck des Galileischen Objektivitätspostulats [37, S. 36 f]. Danach ist der Bewegungszustand eines Körpers nur abhängig von seiner momentanen Position und seiner momentanen Geschwindigkeit sowie von den jeweils einwirkenden Kräften, nicht aber von der Vorgeschichte oder von dem Ziel der Bewegung, wie dies beispielsweise Aristoteles annahm.

Hat man eine formelhafte Beschreibung von Naturvorgängen gefunden, wie etwa die Newtonschen Bewegungsgleichungen, dann versucht man, sogenannte *Invarianzen* dieser Gleichungen zu finden, das heißt, mathematische Transformationen, die die Gleichungen unverändert lassen. Nun sieht der „Fachmann“ alsbald, daß die Newtonschen Gleichungen unverändert bleiben, wenn man die Ortskoordinaten in einem gleichmäßig geradlinig mit der Geschwindigkeit v bewegten Koordinatensystem anschreibt (Galilei-Transformation),

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} + \mathbf{v} \cdot t.$$

Das bedeutet, daß die in einem festen Labor beobachteten mechanischen Erscheinungen nicht zu unterscheiden sind von den Erscheinungen, die man in einem Eisenbahnzug erhalten würde, der sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit bewegt, also unbeschleunigt und erschütterungsfrei auf gerader Strecke, beobachten würde.

Eine weitere wichtige Invarianz ist die der Zeitumkehr. Ändert man das Vorzeichen der Zeit ($t \rightarrow -t$), dann ändern sich die Gleichungen ebenfalls nicht. Das bedeutet, daß jeder mechanische Vorgang abensogut vorwärts wie rückwärts verlaufen könnte. In der Tat hat man die Bewegung des Erde–Mond–Systems für längere Zeit rechnerisch zurückverfolgt und das durch paläontologische Daten gestützte Resultat erhalten, daß zu Beginn des Kambriums, also vor etwa 400 Millionen Jahren, die Länge des Tages nur 22 Stunden betrug (vgl. die Beiträge von Munk und Wells in [31]).

Aller Kritik hatten die Anhänger der Newtonschen Mechanik ein gewichtiges und unwiderlegliches Argument entgegenzusetzen: Diese „erklärte“ die Vielzahl der Erscheinungen – vom Galileischen freien Fall und der Bewegung einer Kugel auf einer schiefen Ebene über die Stoßgesetze bis hin zu den Planetenbewegungen – vermöge einer einfachen Theorie, die aus wenigen Prinzipien herleitbar war mit einer Genauigkeit, die im Falle astronomischer Phänomene sprichwörtlich geworden ist. Am 15. Oktober 1997 wurde auf Cape Canaveral *Cassini/Huygens*, ein gemeinsames Projekt von NASA, ESA und ASI gestartet. Am 14. Januar 2005 erreichte die Huygens-Sonde den Saturnmond Titan. Dieses Raumfahrtunternehmen erforderte extreme Präzision bei der Berechnung der Bahn, und diese wurde erreicht auf der Grundlage der vor über dreihundert Jahren formulierten Newtonschen Gesetze!

3.2 Die „Krise“ der Physik

Von der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts bis Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts zeigten sich im festgefügtten Gebäude der Physik Risse. Es gab verschiedene Erscheinungen, die mit der so ausgezeichnet bewährten Newtonschen Mechanik nicht so recht vereinbar waren.

Die Thermodynamik und die kinetische Gastheorie hatten sich überzeugend auf die Newtonsche Mechanik zurückführen lassen. Indem man annimmt, daß ein Gas aus einer sehr großen Anzahl von Teilchen besteht, die sich in ungeordneter Bewegung befinden, wobei die mittlere Geschwindigkeit der Temperatur proportional ist, hatten James Clerk Maxwell (1831–1879), Ludwig Boltzmann (1844–1906) und andere beeindruckende Modelle hoher Erklärungskraft für das Verhalten von Gasen hergeleitet. Nun hatten wir gesehen, daß für mechanische Vorgänge die Invarianz bezüglich Zeitumkehr gilt. Hingegen weisen thermodynamische Vorgänge diese Invarianz nicht auf. Wenn Wasser in einem Glas abgekühlt ist, dann kann es nicht wieder „von selbst“ warm werden, wenn Würfelzucker in Kaffee aufgelöst ist, dann kann es nicht vorkommen, daß die Zuckermoleküle im Kaffee ihre Bahnen zurücklaufen und sich dann wieder zu einem Zuckerstück zusammenfinden. Es besteht also ein systematischer Unterschied zwischen den rein mechanischen Vorgängen und den thermodynamischen. Dieser Unterschied findet seinen Ausdruck im sogenannten *Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik*. Aus diesem Satz folgte Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822–1888), daß das Universum einem „Wärmetod“ zustrebe, einem Zustand, in dem alle Temperaturdifferenzen aufgehoben seien. Friedrich Engels opponierte heftig gegen diese Auffassung, etwa in der unveröffentlichten *Einleitung zur Naturdialektik* aus dem Jahre 1875–1876 [15, S. 34]:

Wir kommen also zu dem Schluß, daß auf einem Wege, den es später einmal die Aufgabe der Naturforschung sein wird aufzuzeigen, die in den Weltraum ausgestrahlte Wärme die Möglichkeit haben muß, in eine andre Bewegungsform sich umzusetzen, in der sie wieder zur Sammlung und Betätigung kommen kann. Und damit fällt die Hauptschwierigkeit, die der Rückverwandlung abgelebter Sonnen in glühenden Dunst entgegenstand.

Engels erteilt hier also den Naturforschern späterer Zeiten einen Forschungsauftrag, dem diese jedoch nicht genügen wollten – oder konnten!

Im Jahre 1872 hielt Emil Heinrich du Bois-Reymond einen vielbeachteten Vortrag „Über die Grenzen der Naturerkenntnis“. In diesem Vortrag stellte er eine Reihe von Fragen, die er jeweils mit *ignorabimus* (wir werden es nie wissen) beantwortete. Derartige Voraussagen sind sehr unvorsichtig, und es gab auch heftige Opposition. Diese Opposition belegt aber deutlich, daß eine Reihe von Naturwissenschaftlern nicht bereit war, die Existenz von grundsätzlich unlösbaren Problemen zu akzeptieren. Die Rede du Bois-Reymonds hat auch noch in der jüngsten Zeit zu Reaktionen geführt, etwa bei Dominique Lecourt [27, Zweiter Teil, 2.b)].

Nachdem im Laufe des neunzehnten Jahrhunderts die elektrischen Phänomene ein völlig neues Gebiet der Physik aufgezeigt hatten, welches sich nur sehr unvollkommen in das Bild der Mechanik einfügen ließen, entdeckte im Jahre 1895 Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) die (in Deutschland) nach ihm benannten Strahlen. Alle diese Erscheinungen machten deutlich, daß die Physik noch nicht abgeschlossen war.

Im Jahre 1896 entdeckten Antoine-Henri Becquerel (1852–1908) und Ernest Rutherford (1871–1937) die Radioaktivität, in den Jahren 1902–1903 wies Rutherford nach, daß Elemente, die man bislang als die letzten unteilbaren Bausteine der Natur gehalten hatte, durch Atomzerfall in andere Elemente verwandelt werden können.

1882 unternahm Albert Abraham Michelson (1852–1931) präzise Messungen der Lichtgeschwindigkeit, die er später immer weiter verfeinerte, unter anderem 1881 in Berlin. Das Ergebnis dieser Messungen war, daß die Lichtgeschwindigkeit konstant ist, ob man sie nun in Richtung der Bewegung der Erde oder senkrecht dazu mißt. Das heißt, daß das Licht offenbar nicht den Galilei-Transformationen gehorcht.

Es ist eine interessante historische Tatsache, daß fast zeitgleich mit der sogenannten Krise der Physik auch die Mathematik Erschütterungen ihrer Grundlagen erfuhr. Obgleich kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen diesen Erscheinungen besteht, kann es doch die Sensibilität

der Physiker gegenüber Grundlagenfragen geschärft haben, wenn „sogar“ die anscheinend logisch unerschütterliche Mathematik Probleme hatte.

Die Reaktionen der Physiker Ende des neunzehnten Jahrhunderts waren unterschiedlich. Wohl die Mehrzahl der Physiker hielt die Situation nicht für alarmierend. Sie meinten, daß Schönheitsreparaturen, ein wenig Gips und Tünche ausreichten, um die Schäden zu beheben. Einige Physiker hingegen interpretierten die auftretenden Phänomene als Anzeichen ernsthafter Probleme. Sie legten unterschiedliche Rezepte zur Grundsanie rung vor.

Als Heilmittel gegen die sich allseits abzeichnenden Schwierigkeiten verschrieb der Physiker Ernst Mach (1838–1916) der Physik eine radikale „Abmagerungskur“. Er ließ nur solche Phänomene als Gegenstände der Physik gelten, die sich unmittelbar auf Beobachtungen beziehen. Albert Einstein bezog sich häufiger auf Mach als einen seiner Vorläufer, dem er viel verdanke. Als Konsequenz seiner radikalen Forderungen lehnte Mach auch den Atomismus ab, da Atome zu seiner Zeit nicht der unmittelbaren Beobachtung zugänglich waren. Gegen die naturphilosophischen Forderungen Machs, die später im sogenannten *Wiener Kreis* als Neopositivismus weiterentwickelt wurden, polemisierte Wladimir Iljitsch Lenin in einer Streitschrift [28].

Die Krise wurde, wie erwähnt, von der Mehrzahl der Physiker nicht als solche empfunden. Dies belegt ein Streit, der sich an einen Vortrag von Friedrich Wilhelm Ostwald (1853–1932) im Jahre 1895 anschloß. In diesem Vortrag stellte Ostwald seine *Energetik* vor, ein Konzept, in dem der Grundbegriff „Materie“ durch den Begriff „Energie“ ersetzt werden sollte. Gegen diese „Abschaffung der Materie“ wandten sich der Optiker Marie Alfred Cornu (1841–1902) und der Mathematiker und Physiker Louis Marcel Brillouin (1854–1948) (Die Auseinandersetzung ist dem Buch [27] als Anhang beigelegt). Bekannt und charakteristisch für die Situation ist die folgende Anekdote, die in diesem Zusammenhang häufig zitiert wird (nach [38]):

Max Planck hatte 1879 in München seine Dissertation verteidigt und mußte sich nun entscheiden, auf welchem Gebiet er künftig arbeiten wollte. Von seinem Lehrer Philipp von Jolly hoffte er Rat für eine wissenschaftliche Laufbahn zu erhalten. Der bekannte Gelehrte fragte ihn, was er sich denn selbst für Gedanken darüber gemacht habe. Planck hatte seine Vorliebe für theoretische Physik längst entdeckt und sprach das auch sofort aus. Doch von Jolly winkte ab. »Theoretische Physik, das ist ja ein ganz schönes Fach . . . Aber grundsätzlich Neues werden Sie darin kaum mehr leisten können . . . Man kann wohl hier und da in dem einen oder anderen Winkel ein Stäubchen noch auskehren. Aber was prinzipiell Neues, das werden Sie nicht finden.«

Philipp Gustav von Jolly (1809–1884) ist kein Unbekannter. Er regte zum Beispiel Julius Robert Mayer (1814–1878) zur Publikation seiner Entdeckungen zum mechanischen Wärmeäquivalent an. Experimentalphysikern ist er bekannt durch das nach ihm benannte Gasthermometer.

3.3 Die Maxwell'schen Gleichungen

James Clerk Maxwell (1831–1879) hatte in der Zeit von 1855 (*On Faraday's Lines of Force*) bis 1873 (*Treatise on Electricity and Magnetism*, siehe [34]) das Wissen seiner Zeit über die elektromagnetischen Vorgänge in einem Satz von Gleichungen zusammengefaßt. Insbesondere flossen in die Gleichungen die zahlreichen Experimente sowie die Theorie der „Kraftlinien“ von Michael Faraday (1791–1867) ein. Die Maxwell'schen Gleichungen ließen sich einerseits ebenfalls nicht zwanglos in das gesicherte Lehrgebäude der Mechanik einfügen, auf der anderen Seite wurden sie auf vielfältige Weise experimentell bestätigt. Wir wenden uns zunächst einmal diesen Gleichungen zu.

Grundbegriffe der Maxwell'schen Theorie sind nicht Massenpunkte, wie dies bei den Newton'schen Gleichungen der Fall war, sondern *Felder*. Ein solches Feld ist eine Funktion, die jedem Punkt

(x, y, z) im Raume zu jedem Zeitpunkte t einen *Vektor* zuordnet, also einen Satz von drei Feldgrößen, die zusammen den Betrag und die Richtung des Feldes angeben. Beim *elektrischen Feld* hat man die drei Feldkomponenten

$$(E_x(x, y, z, t), E_y(x, y, z, t), E_z(x, y, z, t)),$$

analog beim magnetischen Feld

$$(H_x(x, y, z, t), H_y(x, y, z, t), H_z(x, y, z, t)).$$

Es gelten nun die folgenden Gleichungen (für den einfachsten Fall eines elektromagnetischen Feldes im Vakuum):

$$\begin{array}{lcl} \frac{1}{c} \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} & \frac{1}{c} \frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} & \frac{1}{c} \frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \\ \frac{1}{c} \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} & \frac{1}{c} \frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \end{array}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0 \qquad \frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} + \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0$$

Auch aus diesen Gleichungen kann man eine Anzahl von Aussagen durch reine „Inspektion“ herleiten. Die Gleichungen stellen „komprimierte Physik“ dar, und sie enthalten zahlreiche Informationen, die der Fachmann durch einfaches Hinsehen oder aber durch formale Ableitung gewinnen kann. Wir werden jetzt skizzieren, wie man einige dieser Informationen aus den Gleichungen findet.

Zunächst einmal handelt es sich – im Gegensatz zu den Newtonschen Gleichungen – um *partielle Differentialgleichungen*, symbolisiert durch die Verwendung des Zeichens „ ∂ “. Solche Gleichungen werden benutzt, um das Verhalten von Feldern zu beschreiben.

Auf den linken Seiten der ersten drei Sätze von Gleichungen tritt ein Faktor $1/c$ auf. c bezeichnet in der Physik die Lichtgeschwindigkeit. Man kann sich fragen, was die Lichtgeschwindigkeit mit elektromagnetischen Phänomenen zu tun hat. Nun ist der Vorfaktor davon abhängig, in welchen Einheiten man die Feldgrößen mißt. Tatsächlich stecken hinter der Tatsache, daß es gute Gründe gibt, alles so zu wählen, daß eben gerade dieser Faktor auftritt, tiefsinnige physikalische Überlegungen. Man vergleiche hierzu zum Beispiel die Diskussion in §8. Vier, fünf oder drei Grundeinheiten in [50].

Man kann aus den Gleichungen herleiten, daß es Lösungen geben muß, die Wellen darstellen, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894), der in Hamburg geboren wurde, konnte tatsächlich im Jahre 1886 elektromagnetische Wellen nachweisen. Er äußerte sich begeistert (zitiert nach [10, S. 172]):

Man kann sich des Gefühls nicht erwehren, daß diese mathematischen Formeln eine eigene, unabhängige Existenz haben, und klüger sind selbst als ihre Entdecker, daß wir aus ihnen mehr gewinnen können, als ursprünglich in sie hineingesteckt wurde.

Die Geschichte ist damit aber noch nicht zu Ende. Zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts studierte Einstein an seinem Schreibtisch in Bern die Maxwell'schen Gleichungen. Schon im neunzehnten Jahrhundert war bekannt, daß diese Gleichungen überraschenderweise nicht invariant sind gegenüber den Galilei-Transformationen. Das heißt, daß elektromagnetische Experimente in einem fahrenden Zug ein klein wenig anders ablaufen müssen, als in einem festen Labor, ein bestürzendes Ergebnis. Der holländische Physiker Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) hatte 1895 bis 1899 herausgefunden, daß die Gleichungen gegenüber einer anderen Klasse von Transformationen invariant sind. Wenn man sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit v in Richtung der x -Achse bewegt, dann lautet diese *Lorentz-Transformation*

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \\y' &= y \quad z' = z \\t' &= \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.\end{aligned}$$

Bei dieser – recht komplizierten – Transformation fällt auf, daß gegenüber der entsprechenden Galilei-Transformation ein von dem Verhältnis der Geschwindigkeit v zur Lichtgeschwindigkeit abhängiger Nenner auftritt. Für Geschwindigkeiten, die klein sind im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit, hat dieser Nenner allerdings nahezu den Wert Eins, und man hat dann wieder die Galilei-Transformation. Das wahrhaft sensationelle und unverständliche Resultat aber ist, daß auch die Zeit im bewegten System transformiert werden muß, um Invarianz zu erhalten. Was hatte das zu bedeuten? War es vorstellbar, daß in einem bewegten System die Zeit anders verläuft, als in einem unbewegten?

3.4 Die Lösung: Spezielle Relativitätstheorie

Die Fragen, die sich in der „Krise der Physik“ so zahlreich und so verwirrend gestellt hatten, bewegten verschiedene Physiker, und einige von ihnen kamen der schließlich von Einstein vorgeschlagenen Lösung sehr nahe. Bereits im Jahre 1904 hatte der Mathematiker und Physiker Henri Poincaré die wichtigsten Tatsachen der speziellen Relativitätstheorie „fast“ vollständig ausgearbeitet [40]. Es ist interessant, daß der bereits zitierte Lenin über Poincaré schrieb [28, S. 312]: „Sie irren, Herr Poincaré: Ihre Werke liefern den Beweis, daß es Leute gibt, die nur Unsinn denken können.“

Das Problem der überraschenden Eigenschaften der Maxwell'schen Gleichungen hatte Einstein schon seit langer Zeit beschäftigt. Er schreibt [45, Autobiographisches, S. 20], [46, S. 52]:

Ein solches Prinzip ergab sich nach zehn Jahren Nachdenkens aus einem Paradoxon, auf das ich schon mit 16 Jahren gestoßen bin: Wenn ich einem Lichtstrahl nacheile mit der Geschwindigkeit c (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum), so sollte ich einen solchen Lichtstrahl als ruhendes, räumlich oszillatorisches, elektromagnetisches Feld wahrnehmen. So etwas scheint es aber nicht zu geben, weder auf Grund der Erfahrung noch gemäß den Maxwell'schen Gleichungen. Intuitiv klar schien es mir von vornherein, daß von einem solchen Beobachter aus beurteilt, alles sich nach denselben Gesetzen abspielen müsse wie für einen relativ zur Erde ruhenden Beobachter. Denn wie sollte der erste Beobachter wissen, bzw. konstatieren können, daß er sich im Zustand rascher, gleichförmiger Bewegung befindet?“

In seiner berühmten Arbeit *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* aus dem Jahre 1905 [11] gelang Einstein dann die Lösung aller dieser Schwierigkeiten. Diese lag darin, zu postulieren, daß die Newtonschen Bewegungsgleichungen ebenfalls invariant gegenüber den Lorentz-Transformationen sein sollen. Damit wären die Galilei-Transformationen lediglich Näherungen für Geschwindigkeiten, die klein sind im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit. Mit diesem Postulat ergab sich dann unmittelbar, daß die Lichtgeschwindigkeit eine universelle Konstante ist, im Einklang zu dem Michelson-Versuch. Hieraus hinwiederum gelangte Einstein zu der Kritik des Begriffes der Gleichzeitigkeit. Aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ergibt sich, daß Gleichzeitigkeit prinzipiell nicht feststellbar ist, und damit nach Machs Konzept in der Physik nichts zu suchen habe. Damit war die spezielle Relativitätstheorie gefunden und formuliert. Hieraus ergab sich folgerichtig – wenn auch nach längerer mathematischer Arbeit – dann im Jahre 1916 die allgemeine Relativitätstheorie.

Man weiß, daß Einstein nicht unumstritten war. Daß er von den Nationalsozialisten nicht akzeptiert wurde, ist trivial. In deren engem Weltbild galt die primitive Gleichsetzung Jude = schlecht. Interessanter ist, daß auch in der sich auf ein wissenschaftliches Weltbild beziehenden jungen Sowjetunion Einstein zunächst verpönt war. Der ehemalige Direktor der Hamburger Sternwarte schreibt in seinem sehr lesenswerten Buch *Sterne, Kosmos, Weltmodelle* [23, S. 19]:

Die damit für ihn [Einstein] erreichte Befriedigung wurde keineswegs allgemein geteilt. Insbesondere erfolgten bald Attacken und Verurteilungen von seiten der Hüter des dialektischen Materialismus. Diese fühlten sich verantwortlich dafür, daß im Weltall ein ewiges Werden und Vergehen möglich sei, daß dem langsamen Absterben von Sternen und Sternsystemen immer ein Neubeginn die Waage halte. Mit einem unendlichen System, etwa dem ungleichmäßig hierarchisch aufgebauten von Lambert–Charlier, oder dem von Seeliger leicht modifizierten System des gleichförmig mit Sternen erfüllten Universums schien das Weltbild des klassischen dialektischen Materialismus ungefährdet vereinbar zu sein. Mit dem neuen Bilde Einsteins aber, dem endlichen Universum, kam der Diamat in Konflikt. Eine der fundamentalen Lehren der Thermodynamik nämlich, die man ihren zweiten Hauptsatz nennt, besagt, daß sich in jedem endlichen und abgeschlossenen System auf die Dauer alle Energieunterschiede, alle Temperaturunterschiede von selbst ausgleichen, daß alle physikalischen Spannungen erschlaffen, alle Antriebe dahinschwinden – kurz, daß das System den Wärmetod stirbt. Der vom Diamat geforderte ewige Wechsel von Werden und Vergehen kann also in Einsteins geschlossen-endlichem Weltmodell nicht untergebracht werden. Einstein war deshalb lange Jahre hindurch verfemt, er wurde zum »Idealisten« gestempelt, dem ärgsten Gegner des »Materialisten«. Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus kann man diese Art der Kritik auf sich beruhen lassen.

Der Grund für die Ablehnung geschlossener Weltmodelle ist in dem obigen Zitat Engels' zu finden, in dem er den Clausiusschen „Wärmetod“ ablehnte.

4 Was fand Einstein vor? — Berlin 1914 – 1933

Im Jahre 1914 kam Albert Einstein nach Berlin. Er hatte zunächst gezögert, Zürich zu verlassen, und es gibt eine hübsche Anekdote darüber [38]:

Eine Delegation der Preußischen Akademie war nach Zürich gereist, um Albert Einstein zu bewegen, nach Berlin zu übersiedeln. Der Delegation gehörten Max Planck und Hermann Walther Nernst an. Planck sagte feierlich und bewegt: »Das Land, in dem Sie geboren sind und das Ihnen die Muttersprache gegeben hat, erwartet sie ... «

»Ja, schon recht, ich liebe mein Deutschland sogar sehr, ich liebe seine Sprache, sein Volk. Aber ich liebe nicht den Krieg, ich liebe den Frieden. Ich bin Pazifist! Wird nicht ein weiterer Pazifist, ein gewisser Einstein, Deutschland lästig werden?«

Planck erwiderte: »Wir denken an den Physiker Einstein, an den Begründer der Relativitätstheorie . . . «

»Aber wie mir kürzlich Langevin mitgeteilt hat, wissen nur zwölf Leute auf der ganzen Welt die Relativitätstheorie zu deuten«, sagte Einstein lachend.

»Schon recht«, erwiderte Nernst, »das ist nur ein Grund mehr, lieber Herr Einstein, zu uns zu kommen, denn acht von den zwölf befinden sich in Berlin.«

Wir wollen uns nun die geistige Situation vergegenwärtigen, die Einstein in Berlin vorfand in einer Periode die durch den Beginn des ersten Weltkrieges 1914 und durch die Machtergreifung der Nationalsozialisten 1933 markiert wird. Zur Bezeichnung dieser extrem zwiespältigen Zeit findet man Begriffe wie *belle époque* (1901–1913), expressionistisches Jahrzehnt (1910–1920), „goldene“ oder „wilde“ Zwanziger, aber auch Inflationszeit (1918–1923) und Weltwirtschaftskrise (Börsenkrach am 24. 10. 1929).

Gegen 1785 war in England eine Umgestaltung der Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung eingeleitet worden, die man heute als „industrielle Revolution“ bezeichnet. In Deutschland war Werner von Siemens [18] Symbolfigur der wissenschaftlich begründeten Industrialisierung. Diese Entwicklung hatte sich in den sogenannten „Gründerjahren“ (1871–1873) noch erheblich beschleunigt. Die industrielle Revolution wurde geistig von einer Wissenschaftseuphorie – aber zugleich auch von einer Wissenschaftsskepsis – begleitet, für die beispielsweise die Werke von Jules Verne (1828–1905) ein gutes Beispiel abgeben. Auch die Polemik von Karl Heinrich Marx (1818–1883) und Friedrich Engels (1820–1895) gegen die pessimistische Sicht von Thomas Robert Malthus (1766–18364) (*An essay on the principle of population*, 1798) ist hierfür ein gutes Beispiel [35]. So schreibt Engels in seinem *Anti-Dühring* (erstmalig 1876 erscheinen) [14, S. 82] von „priesterlich malthusianischen Anschauungen über das Bevölkerungsgedränge“, und „Wie groß auch der Bock sein mag, den Darwin geschossen, indem er in seiner Naivität die Malthussche Lehre so unbesehn akzeptierte, so sieht doch jeder auf den ersten Blick, daß man keine Malthus-Brille braucht, um den Kampf ums Dasein in der Natur wahrzunehmen . . .“. Diese Polemik wurde im Einflußbereich der Sowjetunion übernommen [41] und hat bis zum Ende der Sowjetunion eine verhängnisvolle Rolle gespielt, da sie Argumente gegen einen verantwortungsvollen Umgang mit der Umwelt lieferte.

Belege für diese Wissenschaftseuphorie findet sich im 1848 erschienenen *Manifest der kommunistischen Partei* von Marx und Engels [33, S. 48]:

Die Bourgeoisie hat in ihrer kaum hundertjährigen Klassenherrschaft massenhaftere und kolossalere Produktionskräfte geschaffen als alle vergangenen Generationen zusammen. Unterjochung der Naturkräfte, Maschinerie, Anwendung der Chemie auf Industrie und Ackerbau, Dampfschiffahrt, Eisenbahnen, elektrische Telegrafen, Urbarmachung ganzer Weltteile, Schiffbarmachung der Flüsse, ganze aus dem Boden hervorgestampfte Bevölkerungen — welches frühere Jahrhundert ahnte, daß solche Produktionskräfte im Schoße der gesellschaftlichen Arbeit schlummerten.

Die Spuren dieser Wissenschaftseuphorie lassen sich bis zum Beginn des ersten Weltkrieges verfolgen, etwa in dem Gedicht *Lokomotive* von Gerrit Engelke (1890–1918), welches etwa 1913 entstanden sein dürfte, und in dem die Faszination der Technik, ihr Bedrohliches und der Triumph des Menschen über sie lyrisch gefeiert wird:

GERRIT ENGELKE

Lokomotive

Da liegt das zwanzigmeterlange Tier,
die Dampfmaschine,
auf blankgeschliffener Schiene
voll heißer Wut und sprungbereiter Gier –
da lauert, liegt das langgestreckte Eisen-Biest –
Sieh da: wie Öl- und Wasserschweiß,
wie Lebensblut, gefährlich heiß,
ihm aus den Radgestängen: den offenen Weichen fließt.
Es liegt auf sechzehn roten Räder-Pranken,
wie fiebernd, langgeduckt zum Sprunge,
und Fieberdampf stößt röchelnd aus den Flanken.
Es kocht und kocht die Röhrenlunge –
den ganzen Rumpf die Feuerkraft durchzittert,
er ächzt und siedet, zischt und hackt
im heftigen Dampf- und Eisentakt –
ein Menschenwort wie nichts im Qualm zerflittert.

Das Schnauben wächst und wächst –
du stummer Mensch erschreckst –
du siehst die Wut aus allen Ritzen gären –

Der Kesselröhren-Atemdampf
ist hochgewühlt auf sechzehn Atmosphären:
Gewalt hat jetzt der heiße Krampf:

Das Biest, es brüllt, das Biest, es brüllt,
der Führer ist in Dampf gehüllt –
der Regulatorhebel steigt nach links:
der Eisen-Stier harrt dieses Winks!

Nun bafft vom Rauchrohr Kraftgeschnauf:

Nun springt es auf! Nun springt es auf!

Doch:

Ruhig gleiten und kreisen auf endloser Schiene
die treibenden Räder hinaus auf dem blänkernden Band,
gemessen und massig die kraftangefüllte Maschine,
der schleppende, stampfende Rumpf hinterher –
dahinter – ein dunkler – verschwimmender Punkt –
darüber – zerflatternder Qualm –

Gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts und ganz besonders zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts kam eine tiefe Wissenschaftsskepsis auf, die begleitet wurde von dem Verfall der klassischen Wertvorstellungen und Autoritäten. Als Wegbereiter der skeptischen Sicht wurde insbesondere Friedrich Wilhelm Nietzsche (etwa *Hinfall der kosmologischen Werte*, ca. 1880) angesehen. Dieser Stimmung wurde von Oswald Spengler (1880–1936) in seinem Werk *Der Untergang des Abendlandes* (1918–22) Ausdruck verliehen.

In der Literatur lieferte Georg Kaiser (1878–1945) mit seinem *Gas-Diptychon* (1917–18; 1918–19) ein beklemmendes Beispiel für die Dämonie der Wissenschaft.

In der Einleitung zu seiner Anthologie *Das expressionistische Jahrzehnt* (1962) drückt Gottfried Benn (1886–1956) die geistige Situation zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts aus seiner Sicht aus:

Wirklichkeit – Europas dämonischer Begriff: Glücklich nur jene Zeitalter und Generationen, in denen es eine unbezweifelbare gab, welch tiefes Zittern des Mittelalters bei der Auflösung der religiösen, welche fundamentale Erschütterung jetzt seit 1900 bei Zertrümmerung der naturwissenschaftlichen, der seit 400 Jahren »wirklich« gemachten. Ihre ältesten Restbestände lösten sich auf, und was übrigblieb, waren Beziehungen und Funktionen; irre, wurzellose Utopien; humanitäre, soziale oder pazifistische Makulaturen, durch die lief ein Prozeß an sich, eine Wirtschaft als solche, Sinn und Ziel waren imaginär, gestaltlos, ideologisch, doch im Vordergrund saß überall eine Flora und Fauna von Betriebsmonaden und alle verkrochen sich hinter Funktionen und Begriff. Auflösung der Natur, Auflösung der Geschichte. Die alten Realitäten Raum und Zeit: Funktionen von Formeln; Gesundheit und Krankheit: Funktionen von Bewußtsein; ...

Weiter schreibt Benn:

Wer fragte sonst noch eigentlich nach dem Menschen? Etwa die Wissenschaft, diese monströse Wissenschaft, in der es nichts gab als unanschauliche Begriffe, künstliche abstrahierte Formeln, das Ganze eine im Goetheschen Sinne völlig sinnlose konstruierte Welt? Hier wurden Theorien, die auf der ganzen Erde nur von acht Spezialisten verstanden wurden, von denen sie fünf bestritten, Landhäuser, Sternwarten und Indianertempel geweiht; aber wenn sich ein Dichter über sein besonderes Worterlebnis beugte, ein Maler über seine persönlichen Farbenglücke, so war das anarchisch, formalistisch, gar eine Verhöhnung des Volkes.

Der rücksichtslose Frühkapitalismus, der heraufdämmernde erste Weltkrieg hatten Zweifel an allen „absoluten“ Werten aufkommen lassen. Das Wort „Relativitätstheorie“ erinnerte an „Relativismus“, gab Anlaß zu dem Mißverständnis, daß alle Werte letztlich Konventionen, beliebige Vereinbarungen seien, Moden im Sinne des obigen Zitats von Swift, die „nur eine Zeitlang blühen, und sobald diese verflossen sei, in Vergessenheit geraten.“ Durch die mißverständliche Gleichsetzung von „Relativität“ und „Relativismus“ war Einstein Zielscheibe von Angriffen der „Konservativen“ und Gegenstand von Verbrüderungsversuchen der „Progressiven“. In dem unlängst erschienenen Buch *Einstein on the Beach*, welches von Michael Hagner herausgegeben wurde [22], finden sich hierfür vielfältige Belege (man vergleiche insbesondere den Beitrag *Alles ist relativ* von M. Hampe).

Einstein erlangte eine ungewöhnliche Popularität, Ein Bild von ihm erschien 1919 auf dem Titelblatt der *Berliner Illustrirten* (Anke te Heesen in [22]). Es gibt zahlreiche Gründe für diese für einen theoretischen Wissenschaftler außergewöhnliche Popularität. Sicher spielte die Tatsache eine wichtige Rolle, daß Arthur Stanley Eddington (1882–1944) im Jahre 1919 die Einsteinsche allgemeine Relativitätstheorie durch Nachweis der Lichtablenkung durch das Schwerefeld der Sonne experimentell bestätigt hatte. Dies wurde nach dem verlorenen Weltkrieg als ein Triumph für Deutschland empfunden, welcher nur mit einem Sieg bei der Fußballweltmeisterschaft vergleichbar ist. Damit nicht genug, im Jahre 1921 erhielt Einstein sogar den Nobelpreis!

In Berlin lebte zu dieser Zeit der expressionistische Dichter Carl Einstein (DADA, gab mit George Grosz die Zeitschrift „Der blutige Ernst“ heraus). Carl Einsteins Schriften waren kaum verständlicher als Albert Einsteins Fachbeiträge, als Beispiel sei eines seiner Gedichte aus dem Jahre 1917 angeführt:

TÖDLICHER BAUM

Glasig Zerstückten zerrt tauben Hals in quere Masche.
Gefetzter schwert blättrige Luft.
Dein Fleisch nährt Wind.
Auge blendet fremd Gestirn.
Verscherbter zackt in bergigem Schrei,
Gilb Wiese mit zersticktem Vorwurf.
Eitrige Silbe wölkt.
Zahl färbt rotgestotterten Dampf.
Tropfig Denken speit lockern Herbst.
Zerwesen krankt Fall;
geist
staubt
wurzelt.
Griffe gegabelt jammern dir den Ast.
Aufwirft Haß in kantenen Rauten.
Kreise bleiche Körner,
Hagelgurt.
Runde träges Gift.
Ersticken türmt.

Es kam zu interessanten Verwechslungen beider Einsteins, sogar in der jüngsten Zeit. Der Beitrag von Carsten Könnecker in dem erwähnten Sammelband [22] trägt den Titel »Katastrophal für bürgerliche Hirne«. Dieses Zitat bezieht sich auf *Das große Bestiarium* von Franz Blei (1922), in dem steht [7]:

DER EINSTEIN. Das ist eine kometarische Angelegenheit, insofern der Einstein ein Schwanz- oder Irrstern des metaphysischen Himmels ist, aus dem er zuweilen, auf nicht erklärbarer Weise, da seine Bahn nicht berechenbar, in die Erdatmosphäre abirrt, hier zum Glühen kommt und zum Sprühen und Spucken. Sein also irdisches Auftauchen ist katastrophal für bürgerliche Hirne, deren breiige Substanz bei Einsteins größter Erdnähe vor Wut zum Kochen kommt. Worauf der Einstein wieder seine metaphysische Laufbahn fortsetzt, von der nicht einmal sein schärfster Beobachter Rowohlt weiß, wie sie verläuft.

In dem Zitat bei Könnecker [22, S. 90] ist der sich auf Rowohlt beziehende letzte Halbsatz weggelassen und das Zitat auf Albert angewandt, Franz Blei hat aber Carl gemeint!

Ein wenig gehört hier dazu, daß der bekannte Hamburger Kunstphilosoph Aby Warburg am 4. September 1928 Albert Einstein in Scharbeutz besuchte. In dem Beitrag von Horst Bredekamp in [22] wird über diesen Besuch berichtet. Man hat hier den Eindruck, daß zwei sehr bedeutende Vertreter verschiedener Sprachbereiche vergebens versucht haben, miteinander zu kommunizieren. Die Situation gemahnt an den Begriff der „zwei Kulturen“ [48], ohne daß hieran die üblichen Vorurteile geknüpft sein sollen. Wenn ich mit einem japanischen Haiku nicht so recht etwas anfangen kann, dann liegt dies nicht an dem Gedicht, eher an meinem Versäumnis, Japanisch gelernt zu haben. Letzteren Defekt vermag ich zu bedauern, aber es will sich bei mir kein rechtes Schuldbewußtsein einstellen. Wir haben hier eben wirklich zwei Welten, zwischen denen eine Kommunikation nicht unmöglich ist, jedoch äußerst mühsam.

5 Einstein heute

Die Zeit nach Einstein wurde immer wieder als das „Zeitalter der Wissenschaft“ apostrophiert. Wie sieht es damit wirklich aus? Einige Zahlen mögen die heutige Situation illustrieren

- In den Vereinigten Staaten gab es um 1970 schätzungsweise 10 000 berufsmäßige Astrologen, aber nur 2 000 Astronomen (nach Robert S. Morison (zitiert bei [47, S. 34]). Heute dürfte sich das Verhältnis eher zu Ungunsten der Astronomen verändert haben.
- Die Deutsche Forschungsgemeinschaft gab im vergangenen Jahr 1.307 Milliarden Euro aus. Dies ist natürlich nicht der Gesamtaufwand für Forschung in Deutschland, aber ein erheblicher Teil der universitären Forschung wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert.
Nach Angaben des Zentralverbandes Zoologischer Fachbetriebe wurden im Jahr Jahr 2002 rund 2.9 Milliarden Euro für Futtermittel und Zubehör für Haustiere ausgegeben.
Spätere Generationen werden unser Zeitalter wohl kaum „Zeitalter der Wissenschaft“ nennen, eher „Zeitalter der Schoßtiere“.

- Bei einem Besuch einer Hamburger Firma erklärte ein Vertreter der Firma auf die Frage, warum deren Produkte deutlich teurer seien als anscheinend gleichwertige Produkte von Konkurrenzfirmen, daß dies an dem hohem Forschungsaufwand bei der Entwicklung dieser Produkte liege. Ein Blick in den Geschäftsbericht 2003 der Firma belegt, daß tatsächlich in diesem Jahre der Aufwand für Forschung und Entwicklung 2.1% des Umsatzes betragen hatte [5, S. 42].

Im gleichen Jahre betrug der Aufwand für „Werbung, Handelsmarketing und ähnliche Positionen“ 28.0% des Umsatzes [5, S. 59].

Vielleicht sollte man hier noch anmerken, daß sich in der Zeit von 1994 bis 2003 der Umsatz der Firma um einen Faktor 1.8 erhöht hat, wohingegen die Ausgaben für Forschung und Entwicklung zwar leicht angestiegen, aber von 3.1% des Umsatzes im Jahre 1994 auf 2.1% des Umsatzes im Jahre 2003 real gefallen sind [5, S. 89].

Es liegt nahe, zu fragen, was Einstein für unserer Zeit bewirkt hat. Wie würde unsere Welt aussehen, wenn es nicht zur Relativitätstheorie gekommen wäre? Auf diese Frage findet sich schnell die Antwort, daß das globale Ortungssystem GPS ohne relativistische Korrekturen nicht mit der bekannten Präzision funktionieren würde. Dies sei zugegeben, jedoch ist dies recht unspektakulär. Wir erinnern uns ja auch nicht jedesmal der Maxwellschen Gleichungen, wenn wir das elektrische Licht andrehen! Die Theoretiker der Wärmekraftmaschine haben eine Entwicklung in die Wege geleitet, die sich bei jeder Straßenüberschreitung deutlich manifestiert und die sich anschießt, sogar das Klima unseres Planeten spürbar zu ändern. Die Pioniere des Computers (für mich ohne jeden Zweifel allen voran Alan Turing) haben unsere Welt derart verändert, daß man den Wirkungen ihrer Erfindung kaum noch entkommen kann. Was ist dagegen – bei allem Respekt – das GPS-System?

Man liest oft in populärwissenschaftlichen Darstellungen, daß Einstein Newton „widerlegt“ habe. Die Philosophie Kants, die den absoluten Raum und die absolute Zeit Newtons in den Rang von Kategorien erhebe, von Anschauungsformen, welche synthetisch a priori sind, wird gelegentlich als „überholt“ disqualifiziert. Einstein habe ja gerade in seiner allgemeinen Relativitätstheorie gezeigt, daß der Raum nicht Euklidisch sei, schon in seiner speziellen Relativitätstheorie, daß sogar die Zeit relativ und nicht universell sei. Hinter solchen Äußerungen mag das Denkschema der „wissenschaftlichen Revolutionen“ von Thomas Kuhn stecken [25]. Demnach entwickelt sich die Wissenschaft durch revolutionäre „Paradigmenwechsel“, und man mag dies so interpretieren: Einstein hat gesiegt, Newton und Kant unter die Guillotine!

Demgegenüber liest man nicht ohne Verwunderung, daß der Astrometrie-Satellit Hipparcos der ESA, welcher von 1989 bis 1993 aktiv war, 118 218 Sterne hochpräzise vermessen habe, vornehmlich zu dem Zweck, ein genaues Referenzsystem für die Astronomie zu definieren, also eines Systems, welches frei von Trägheitskräften ist, und das wäre ja ein System, welches für die praktische Anwendung über die gleichen Eigenschaften verfügt, wie sie der absolute Raum Newtons hat.

Wir lesen ebenfalls, daß in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig die Zeit mit einer Unsicherheit von 1.5×10^{-14} bestimmt wird, das heißt, die Länge eines Jahres wird auf eine millionstel Sekunde „relativ zu einer idealen Uhr“ gemessen. Wozu dieser Aufwand, wenn es eine absolute Zeit doch gar nicht gibt?

Hat also die Relativitätstheorie zu einer Veränderung unseres Denkens geführt? Die Antwort lautet meines Erachtens: Nein! Um nur ein Symptom zu nennen: Oben war von der *Lichtablenkung* im Schwerefeld der Sonne die Rede. „In Wirklichkeit“ wird aber nichts abgelenkt, das Licht verläuft nach Einstein auf geodätischen Bahnen im Riemannschen Raum. Wenn wir von „Ablenkung“ sprechen, dann steht dahinter das Bild eines „wirklichen“ Euklidischen Raumes (den es ja nicht gibt, sicher nicht in der Realität, allenfalls in einem Platonischen „Ideenhimmel“).

Sind also Einsteins Theorien folgenlos geblieben?

5.1 Die Physik nach Einstein

Anstatt mich in philosophische Subtilitäten zu verlieren, möchte ich meine Fragestellung einschränken darauf, was sich in der Physik nach Einstein geändert hat. Zunächst ist eine deutliche Verschiebung des Interesses von Qualitativen zum Quantitativen zu beobachten. Zahlreiche Gebiete, die ursprünglich zentrale Fragestellungen der Physik darstellten, sind heute allenfalls unter der Rubrik „Kuriosa“ zu finden. Ein schönes Beispiel sind hier die Lichtenbergschen Figuren. Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799) beobachtete, daß auf einem elektrisch geladenen Nichtleiter, einem sogenannten Elektrophor, Staubeilchen sich zu interessanten Mustern anordnen, die heute als *Lichtenbergsche Figuren* bezeichnet werden. Lichtenberg empfiehlt den Physikern seiner Zeit das Studium dieser Figuren, um damit zu einem Verständnis der Elektrizität zu gelangen [29]. Für diesen Zweck sind die Figuren aber viel zu komplex, ihre Erzeugung zu sehr von Zufälligkeiten und dem Geschick des Experimentators abhängig und ihre Auswertung und Interpretation hoffnungslos kompliziert.

Ein ähnliches Beispiel, welches auf auf Lichtenberg führt: Unlängst hat David Auerbach über den sogenannten *Mpemba-Effekt* publiziert [1, 2]. Es handelt sich darum, daß Wasser anscheinend schneller zu Speiseeis gefriert, wenn man es erhitzt in das Tiefkühlfach bringt. Dieser anscheinend paradoxe Befund hat auch schon Lichtenberg beschäftigt. Er schreibt in seinen *Sudelbüchern* (Heft H [1923])

Der D^r Gehler im Art. *Eis* sagt, Mairan habe die alte Meinung, daß gekochtes Wasser eher gefriere, als ungekochtes, falsch befunden. Vielleicht kann ich auch hier entscheiden. Ich habe es zuverlässig wahr befunden, allein man muß das Wasser noch heiß mit dem ungekochten aussetzen. Dieser Versuch muß ja wiederholt werden, —
Zu ändern Zeiten wollte es mir nicht gelingen.

Interessant ist hier, daß Lichtenberg als Physiker die Problematik dieses Versuchs deutlich herausstellt: Der Effekt ist nicht reproduzierbar, und damit nach den strengen Kriterien der modernen Erkenntnistheorie nicht Gegenstand der Physik – allenfalls als Kuriosum, es sei denn, man könnte die Versuchsbedingungen angeben, unter denen der Versuch stets gelingt – beziehungsweise man hätte eine Theorie, die nach Einstein sagen könnte, was man beobachtet.

5.1.1 Die Mathematisierung der Physik

Ich möchte nun noch einer Erscheinung nachgehen, die in der modernen Physik zu beobachten ist, und an der Einstein entscheidend und bewußt mitgewirkt hat. Es handelt sich um die „Mathematisierung“ der Physik, um die zunehmende Ersetzung sinnlich wahrnehmbarer Objekte durch Abstrakta, wie etwa Systeme von partiellen Differentialgleichungen. Die einzig „richtige“, zumindest unmißverständliche und präzise Antwort auf die Frage, was ein elektrisches Feld sei, ist: „Eine Lösung der Maxwell’schen Gleichungen“. Diese Entwicklung wurde schon von Goethe sehr zwiespältig gesehen. Er hatte selbst kein, wie er sagte, „heiteres“ Verhältnis zur Mathematik, wußte aber durchaus, daß Mathematik der Naturforschung unentbehrlich sei, wie ja auch das eingangs angeführte Zitat belegt. Es gibt zahllose Aussagen Goethes zum Thema „Mathematik“, und in seiner „Farbenlehre“ polemisierte er heftig – und nicht unbegründet – gegen die Newtonianer und deren abstrakte, das heißt letztlich auch mathematische, Sicht der Lichterscheinungen. Bekannt ist seine Aussage (*Maximen und Reflexionen*, 1279):

Die Mathematiker sind eine Art Franzosen: redet man zu ihnen, so übersetzen sie es in ihre Sprache, und dann ist es alsobald ganz etwas anderes.

Weniger bekannt ist (*Maximen und Reflexionen*, 710):

Wie man der französischen Sprache niemals den Vorzug streitig machen wird, als ausgebildete Hof- und Weltsprache, sich immer mehr aus- und fortbildend, zu wirken, so wird es niemand einfallen, das Verdienst der Mathematiker gering zu schätzen, welches sie, in ihrer Sprache die wichtigsten Angelegenheiten verhandelnd, sich um die Welt erwerben, indem sie alles, was der Zahl und dem Maß im höchsten Sinne unterworfen ist, zu regeln, zu bestimmen und zu entscheiden wissen.

Die im letzten Satz angedeutete Relativierung wird noch deutlicher ausgedrückt in (*Maximen und Reflexionen*, 1281):

Wir müssen erkennen und bekennen, was Mathematik sei, wozu sie in der Naturforschung wesentlich dienen könne, wo hingegen sie nicht hingehöre, und in welche klägliche Abirrung Wissenschaft und Kunst durch falsche Anwendung seit ihrer Regeneration geraten sei.

Gegen Ende des neunzehnten und zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts bereitete die Mathematisierung der Physik zahlreichen Physikern Unbehagen. Als Kronzeugen hierfür möchte ich jedoch Friedrich Engels (1820–1895) und Wladimir Iljitsch Lenin (1870–1924) anführen. Man mag sich fragen, was diese beiden aus anderen Zusammenhängen bekannten Personen zu unserem Thema beitragen könnten. Engels war Fabrikant, hatte eine kaufmännische Lehre absolviert, und Lenin war Advokat. Beide waren jedoch herausragende Vertreter einer Bewegung, die das Wort „Fortschritt“ besetzt hielt. Demgemäß waren beide genötigt, sich zum wissenschaftlichen Fortschritt zu äußern. Engels schrieb das Buch *Anti-Dühring* [14] und Lenin das Buch *Materialismus und Empirio-kritizismus* [28]. Beide Bücher bildeten in den Staaten des Ostblocks die Grundlage jeder epistemologischen Diskussion, jedoch auch im Westen gab es zahlreiche Autoren, die sich ernsthaft damit auseinandersetzten, etwa [27]. In seinem *Anti-Dühring*, aber auch in seinen Texten zur *Dialektik der Natur* [15] kam Engels immer wieder auf die Mathematik zu sprechen. So schreibt er in einem Text zum Thema *Maß der Bewegung. — Arbeit* aus dem Jahre 1880–1881 (in [15]), welcher für sich hochinteressant ist, über das Lehrbuch von Thomson und Tait (*A Treatise on Natural Philosophy*, Oxford 1867) – Thompson ist besser als Lord Kelvin bekannt:

Das Denken ist im Buch dieser beiden Schotten verboten, es darf nur gerechnet werden.

Unter dem Begriff „rechnen“ verstand Engels die Anwendung der Mathematik. In einem Text über Elektrizität aus dem Jahre 1882 findet man:

Die exklusive Empirie, die sich das Denken höchstens in der Form mathematischen Rechnens erlaubt, bildet sich ein, nur mit unleugbaren Tatsachen zu hantieren.

Interessant ist hier, daß Engels „rechnen“ dem Begriff „Empirie“ unterordnet.

Ergiebiger für unser Thema ist allerdings Lenin, sein Buch erschien vier Jahre nach Einsteins Arbeit über allgemeine Relativitätstheorie. Das Buch wendet sich gegen Ernst Mach und seine Anhänger in Rußland. Lenin stützt sich dabei auf den Epistemologen Abel Rey (1873–1940), der recht wenig bekannt ist, fast nur im Zusammenhang mit Lenins Werk. Abel Rey hatte im Jahre 1907 ein Werk verfaßt [43], aus welchem Lenin ausgiebig zitierte. Dieses Werk ist deshalb von Interesse, weil Rey zu den Physikern gehörte, die das Unbehagen an der Mathematisierung am deutlichsten formulierten. Lenin diskreditiert zunächst seinen Gewährsmann gründlich, indem er schreibt [28, S. 268]:

Der Verfasser ist allerdings selbst Positivist, das heißt ein Wirrkopf . . . Wo es sich um eine genaue philosophische Bestimmung der Begriffe oder gar um den Materialismus handelt, darf man Rey nicht trauen, denn Rey ist gleichfalls Professor und als solcher voll grenzenloser Verachtung für die Materialisten (in bezug auf die Erkenntnistheorie des Materialismus zeichnet er sich durch grenzenlose Unwissenheit aus).

Dieses Zitat ist ein typisches Beispiel für den Stil Lenins. Es scheint auch, daß Lenin wenig von Professoren hielt. Aber lesen wir weiter [28, S. 328]:

Die Mathematiker, schreibt Rey, die gewohnt sind, mit einer Wissenschaft umzugehen, in der das Objekt — wenigstens scheinbar — vom Geist des Gelehrten erzeugt wird oder wo jedenfalls die konkreten Erscheinungen sich nicht in die Forschungen hineinmengen, haben sich von der Physik eine zu abstrakte Vorstellung gebildet: indem sie bemüht waren, die Physik der Mathematik anzunähern, übertrugen sie die allgemeine Theorie der Mathematik auf die Physik . . . Alle Experimentatoren weisen auf den Einbruch (invasion) des Geistes der Mathematik in die Methoden des physikalischen Urteilens und in die Auffassung der Physik hin. Läßt sich nicht durch diesen Einfluß — der dadurch nicht geringer wird, daß er mitunter verborgen bleibt — die häufige Unsicherheit, das schwankende Denken betreffs der Objektivität der Physik, die Umwege, auf denen man zur Objektivität gelangt, die Hindernisse, die dabei zu überwinden sind, erklären? . . .

Weiterhin [28, S. 329]:

Die abstrakten Fiktionen der Mathematik haben gewissermaßen eine spanische Wand aufgerichtet zwischen der physikalischen Realität und der Weise, wie die Mathematiker die Wissenschaft von dieser Realität verstehen.

...

Doch die Kompliziertheit ihrer Theorie, ihre Umschweife hinterlassen ein peinliches Gefühl. Es ist zu gemacht, zu sehr gesucht, konstruiert (*édifié*); der Experimentator findet hier nicht jenes spontane Vertrauen, das ihm die stete Berührung mit der physischen Realität einflößt

Schließlich, deutlich und unmißverständlich [28, S. 329]:

Die Krise der Physik besteht in der Eroberung der Physik durch den Geist der Mathematik. Die Fortschritte der Physik einerseits und die der Mathematik andererseits führten im 19. Jahrhundert zu einer innigen Verbindung dieser beiden Wissenschaften ... Die theoretische Physik wurde zur mathematischen Physik ...

Das folgende Zitat ist ebenfalls aufschlußreich [28, S. 330]:

Die Elemente als reale, objektive Gegebenheiten, d. h. als *physische* Elemente, sind ganz verschwunden. Übriggeblieben sind formale Relationen, ausgedrückt in Differentialgleichungen.

Lenin resümiert [28, S. 330]:

Der große Erfolg der Naturwissenschaft, die Annäherung an so gleichartige und einfache Elemente der Materie, deren Bewegungsgesetze sich mathematisch bearbeiten lassen, läßt die Mathematiker die Materie vergessen, »Die Materie verschwindet«, es bleiben nur Gleichungen.

Es ist interessant, daß vor etwa einem Jahrzehnt ein Artikel in der *Wirtschaftswoche* erschien, der die zunehmende Mathematisierung in den Wirtschaftswissenschaften beklagte. Auch hier liest man „Der Siegeszug der Gleichungen führt die Wirtschaftswissenschaften ins Abseits“. Es ist vielleicht eine Bestätigung dieser Befürchtungen, daß der Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften häufig an Mathematiker verliehen wird, wie in diesem Jahr an Robert J. Aumann und Thomas C. Schelling für ihre Arbeiten auf dem Gebiet der Spieltheorie.

Albert Einstein hat diese Entwicklung gesehen, begrüßt und befördert. Er schrieb in einer Arbeit über *Maxwells Einfluß auf die Entwicklung der Auffassung des Physikalisch-Realen* [12]:

Zwar suchte Maxwell diese Gleichungen durch mechanische Gedankenkonstruktionen zu begründen bzw. zu rechtfertigen.

Aber er gebrauchte mehrere derartige Konstruktionen nebeneinander und nahm keine derselben wirklich ernst, so daß nur die Gleichungen selbst als das Wesentliche erschienen und die in denselben auftretenden Feldstärken als elementare, nicht auf anderes zurückführbare Wesenheiten. ...

...

Nach Maxwell dachte man sich das Physikalisch-Reale durch nicht mechanisch deutbare, kontinuierliche Felder dargestellt, die durch partielle Differentialgleichungen beherrscht werden. Diese Veränderung der Auffassung des Realen ist die tiefgehendste und fruchtbarste, welche die Physik seit Newton erfahren hat;

Ausführlicher äußerte sich Einstein in einem Artikel *Zur Methodik der theoretischen Physik* aus dem Jahre 1930 [12]:

Die Naturforscher jener Zeiten [des 18. und 19. Jahrhunderts] waren ... zumeist vom Gedanken durchdrungen, daß die Grundbegriffe und Grundgesetze der Physik nicht im logischen Sinne freie Erfindungen des menschlichen Geistes seien, sondern daß dieselben aus den Experimenten durch „Abstraktion“ – d. h. auf einem logischen Weg – abgeleitet werden könnten. Die klare Erkenntnis von der Unrichtigkeit dieser Auffassung brachte eigentlich erst die allgemeine Relativitätstheorie, denn diese zeigte, daß man mit einem von dem Newtonschen weitgehend abweichenden Fundament den einschlägigen Kreis von Erfahrungstatsachen sogar in befriedigenderer und vollkommenerer Weise gerecht werden könnte, als es mit Newtons Fundament möglich war.

Aber ganz abgesehen von der Frage der Überlegenheit wird der fiktive Charakter der Grundlagen dadurch völlig evident, daß zwei wesentlich verschiedene Grundlagen aufgezeigt werden können, die mit der Erfahrung weitgehend übereinstimmen. Es wird dadurch jedenfalls bewiesen, daß jeder Versuch einer logischen Ableitung der Grundbegriffe und Grundgesetze der Mechanik aus elementareren Erfahrungen zum Scheitern verurteilt ist.

Der Mathematikphilosoph Oskar Becker schrieb 1959 [3, S. 30]:

Das paradoxe, aber entscheidend wirksame Verfahren, um der Natur ihre Geheimnisse zu entreißen und ihre Kräfte uns fügsam zu machen, ist: auf die Erkenntnis des „Wesens“ zu verzichten. Dieses Motiv tritt ganz bewußt schon bei Galilei auf. Nachdem er in seiner Anfangszeit in Pisa noch ganz als Schüler der Pariser Terministen (Scholastikern des 14. Jahrhunderts, unter denen Buridan und Oresme die bedeutendsten sind) gearbeitet hatte, wandte er sich in Padua (ab 1592) von dieser mittelalterlichen Tradition ab, indem er auf die Erforschung der *Ursachen* der Fall- und Wurfbewegung verzichtete und sich auf das Studium des *Verlaufs* der Erscheinungen beschränkte. Obwohl dieser Verzicht wohl nur als ein vorläufiger gemeint war, handelt es sich hier doch um ein entscheidendes Ereignis. Denn diese paradoxe Methode, in die Geheimnisse der Natur einzudringen, weiter als je zuvor, indem man die Beantwortung derjenigen Fragen, welche man von je her an sie gestellt hatte (man denke nur an die vierlei Ursachen des Aristoteles), verzichtet, hat sich in der Folge immer wieder bewährt. Und zwar hat sie gerade die theoretische Einsicht gefördert, nicht etwa nur die experimentelle Praxis. Das ist besonders erstaunlich, bei näherer Überlegung jedoch durchaus nicht unerklärlich.

Man kann den vorteilhaften Effekt der Mathematisierung sehr schön am Umfang von Mechanik-Lehrbüchern erkennen. Das Lehrbuch von Wilhelm Schell aus dem Jahre 1868 [44] umfaßt 970 Seiten. Das Lehrbuch von Arnold Sommerfeld, welches in erster Auflage 1942 erschien [49], nur noch 276 Seiten. Das modernere Lehrbuch von Landau und Lifschitz, dessen erste Auflage 1950 erschienen sein dürfte, hat nur noch einen Umfang von 204 Seiten. Dabei kann man nicht sagen, daß das letztgenannte Buch weniger Inhalt enthalte als das Buch von Schell. Von 1868 bis 1950 hat eine „Datenkompression“ der mechanischen Inhalte auf ein Fünftel stattgefunden, und dies allein durch mathematische Straffung und Präzisierung.

Dieser Kompressionseffekt ist aber nicht der einzige Grund für die zunehmende Abstrahierung und Mathematisierung in der Physik. Wie schon in dem eingangs zitierten Text von Mach erwähnt, führt die strenge „ökonomische“ Straffung der Ideen zu neuen Einsichten und die „elegante“ Formulierung hat einen eigenen ästhetischen Reiz, der für manche Physiker (und natürlich für alle Mathematiker) allein schon ein Anreiz zu weiterer Vervollkommnung der mathematischen Instrumente ist. Als Beleg seien zwei Zitate angeführt [10, S. 210]:

Einstein wurde einmal gefragt, was er machen würde, wenn eine experimentelle Überprüfung seiner allgemeinen Relativitätstheorie nicht mit den theoretischen Vorhersagen übereinstimmen würde. Der Gedanke beunruhigte ihn gar nicht: »Da könnt' mir halt der liebe Gott leid tun, die Theorie stimmt doch.« Paul Dirac, der theoretische Physiker, dessen Schönheitssinn ihn eine elegante Gleichung für das Elektron konstruieren ließ, die zur erfolgreichen Vorhersage der Existenz von Antimaterie führte, sprach einen ähnlichen Gedanken aus: »Es ist wichtiger, daß die Gleichungen schön sind, als daß sie zu den Experimenten passen.«

5.1.2 Die Physik heute

Das Ptolemäische Universum kann man sich als einen hübschen Briefbeschwerer auf Gottes Schreibtisch vorstellen. In der Mitte die Erde, umkreist von Sonne, Mond und Planeten, umgeben von der Fixsternsphäre, ganz außen das *primum mobile*, und nach Ansicht der Platoniker gab das Ganze noch eine hübsche Sphärenmusik ab. Einer der Haupteinwände gegen das Kopernikanische System war, daß wegen des Fehlens der Fixsternparallaxen diese Kristallkugel unermeßlich groß sein müßte. Wenn Gott die Erde in diesem riesigen Universum hätte sehen wollen, dann hätte er ein sehr starkes Mikroskop verwenden müssen. Im Laufe der Jahrhunderte wuchs das Universum mehr und mehr an, selbst ein unendliches Universum wurde verschiedentlich gehandelt (man erinnere sich an das Zitat von Otto Heckmann). Im Laufe des zwanzigsten Jahrhunderts hörte dieses Wachstum des Universums auf, man einigte sich mehr und mehr auf ein endliches Universum. Durch die allgemeine Relativitätstheorie jedoch wurde dieses Universum nun über alle Vorstellungskraft kompliziert: Es hatte eine nichteuklidische Geometrie, es war angefüllt von exotischen Objekten wie Schwarzen Löchern, und in neuester Zeit ist es möglicherweise eingebettet in ein relativ hochdimensionales Universum mit „engerollten“ Dimensionen, welches selbst die Fachleute nur unvollkommen verstehen. Das Ganze ist noch mit mysteriöser Dunkler Materie beziehungsweise Dunkler Energie angefüllt, welche man nicht sehen oder wahrnehmen kann, welche sich allein durch Wirkung manifestiert.

Dieser Trend zur Mathematisierung hat sich in zahlreichen Gebieten der Physik fortgesetzt, man kann extreme Zustände der Materie nur noch mittels mathematischer Gleichungen beschreiben, dies gilt nicht nur für die Welt im Großen, dies gilt auch für die Welt der Elementarteilchen, die sich durch quantenmechanische Wellenfunktionen anscheinend vollständig und mit hoher Präzision aber unter Verlust jeder Anschauung darstellen lassen.

An dieser Stelle verbleibt es mir nur noch, mit einem Zitat von Albert Einstein zu enden. Schon die mittelalterlichen Philosophen, etwa Wilhelm von Ockham [4] waren davon beeindruckt, daß unsere Welt konsistent ist, also Gesetzen gehorcht, die wir erkennen und verstehen können. Viele dieser Philosophen interpretierten dies als einen Gnadenakt Gottes: In einer kontingenten Welt, in der jeder Vorgang durch den für uns unerforschlichen Willen Gottes gelenkt wird, gibt es für uns keinerlei Möglichkeit des Verstehens. Eine solche Welt wäre eine Alptraumwelt! Albert Einstein formulierte seine Verwunderung über die Verstehbarkeit der Welt 1936 in einem Artikel in der Zeitschrift *The Journal of the Franklin Institute*, in dem er sich auch zu Kant äußert [13, S. 65]

Daß die Gesamtheit der Sinneserlebnisse so beschaffen ist, daß sie durch das Denken (Operieren mit Begriffen und Schaffung und Anwendung bestimmter funktioneller Verknüpfungen zwischen diesen sowie Zuordnung der Sinneserlebnisse zu den Begriffen) geordnet werden können, ist eine Tatsache, über die wir nur staunen, die wir aber niemals werden begreifen können. Man kann sagen: Das ewig Unbegreifliche an der Welt ist ihre Begreiflichkeit. Daß die Setzung einer realen Außenwelt ohne jene Begreiflichkeit sinnlos wäre, ist eine der großen Erkenntnisse Immanuel Kants.

Literatur

- [1] David Auerbach: Wasser, Eis und der Mpemba-Effekt, *Spektrum der Wissenschaft*, April 1996, 15–17.
- [2] David Auerbach: Supercooling and the Mpemba effect: When hot water freezes quicker than cold, *American Journal of Physics*, 63(10):882–885, October 1995.
- [3] Oskar Becker: *Größe und Grenze der mathematischen Denkweise*, Verlag Karl Alber, Freiburg/München, 1959.
- [4] Jan P. Beckmann: *Wilhelm von Ockham*, (*Beck'sche Reihe, Denker, BsR 533*), Verlag C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München, 1995.
- [5] Beiersdorf: *Geschäftsbericht 2003*, Beiersdorf Aktiengesellschaft, Corporate Identity, Hamburg, 2003.
www.Beiersdorf.de
- [6] George Berkeley: *Schriften über die Grundlagen der Mathematik und Physik*, Eingeleitet und übersetzt von Wolfgang Breidert, (*suhrkamp taschenbuch wissenschaft 496*), Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1985.
- [7] Franz Blei: *Das große Bestiarium. Zeitgenössische Bildnisse. (dtv 129)*, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München, 1963.
- [8] Max Born: *Die Relativitätstheorie Einsteins*, (*Heidelberger Taschenbücher 1*), Vierte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1964.
- [9] Ernst Cassirer: *Zur Einstein'schen Relativitätstheorie. Erkenntnistheoretische Betrachtungen*, Bruno Cassirer Verlag, Berlin, 1921.
- [10] Paul Davies: *Der Plan Gottes. Die Rätsel unserer Existenz und die Wissenschaft*, (*Insel-Taschenbuch 1934*), Aus dem Englischen von Anita Ehlers, Insel-Verlag, Frankfurt am Main und Leipzig, 1996.
- [11] Albert Einstein: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17:891–921, 1905
- [12] Albert Einstein: *Mein Weltbild*, Herausgegeben von Carl Seelig, Neue, vom Verfasser durchgesehene und wesentlich erweiterte Auflage, (*Ullstein Buch Nr. 65*), Ullstein GmbH, Frankfurt/M — Berlin — Wien, 1970.
- [13] Albert Einstein: *Aus meinen späten Jahren*, (*Ullstein-Buch Nr. 35196: Ullstein-Materialien*), Verlag Ullstein GmbH, Frankfurt/M – Berlin – Wien, Juni 1984.
- [14] Friedrich Engels: *Herrn Eugen Dührings Umwälzung der Wissenschaft* (*»Anti-Dühring«*), Dietz Verlag, Berlin, 1960.
- [15] Friedrich Engels: *Dialektik der Natur*, Verlag für fremdsprachige Literatur, Peking, 1976.
- [16] Hans-Ludwig Wußing, Hans Dietrich, Walter Purkert und Dietrich Tutzke, Hrsg.: *Fachlexikon abc. Forscher und Erfinder*, Verlag Harri Deutsch, Thun · Frankfurt am Main, 1992.

- [17] Fachwortschatz: *Fachwortschatz Physik, Häufigkeitwörterbuch Russisch, Englisch, Französisch*, Verlag Enzyklopädie, Leipzig, 1976.
- [18] Wilfried Feldenkirchen: *Werner von Siemens. Erfinder und internationaler Unternehmer*, R. Piper GmbH & Co. KG, München, 1996.
- [19] Galileo Galilei: *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische*, Aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von Emil Strauss, Druck und Verlag von B. G. Teubner, Leipzig, 1891.
- [20] Johann Wolfgang Goethe: *Schriften zur Botanik und Wissenschaftslehre, dtv Gesamtausgabe, Band 39*, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München, 1963.
- [21] Siegfried Gottwald, Hans-Joachim Ilgands und Karl-Heinz Schlotte, Hrsg.: *Lexikon bedeutender Mathematiker*, Verlag Harri Deutsch, Thun · Fankfurt (M.), 1990.
- [22] Michael Hagner, Hrsg.: *Einstein on the Beach. Der Physiker als Phänomen*, S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 2005.
- [23] Otto Heckmann: *Sterne, Kosmos, Weltmodelle. Erlebte Astronomie*, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München, 1980.
- [24] Dieter B. Herrmann: *Geschichte der Astronomie von Herschel bis Hertzprung*, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1975.
- [25] Thomas Samuel Kuhn: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, (suhrkamp taschenbuch wissenschaft Band 25)*, 2. Aufl., 1. Aufl. 1967, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1976.
The Structure of Scientific Revolutions, (International Encyclopedia of Unified Science, Vol. II, No. 2), The University of Chicago Press, Chicago & London, The University of Toronto Press, Toronto, 1962.
- [26] L. D. Landau und E. M. Lifschitz: *Lehrbuch der theoretischen Physik. Band I. Mechanik*, In deutscher Sprache herausgegeben von G. Heber, 7. Auflage, Akademie-Verlag, Berlin, 1970.
- [27] Dominique Lecourt: *Lenins philosophische Strategie. Von der Widerspiegelung (ohne Spiegel) zum Prozeß (ohne Subjekt)*, Übersetzt von Ursel Rütt-Förster, (Ullstein Buch Nr. 3207), Verlag Ullstein GmbH, Frankfurt/M — Berlin — Wien, 1975
- [28] W. I. Lenin: *Materialismus und Empiriokritizismus. Kritische Bemerkungen über eine reaktionäre Philosophie*, Verlag für fremdsprachige Literatur, Moskau, 1947.
Материализм и эмпириокритицизм. Критические заметки об одной реакционной философии. Москва, Звено, 1909.
- [29] Georg Christoph Lichtenberg: *De nova methodo naturam ac motum fluidi electrici investigandi. Novi Commentarii Societatis Regiae Scientiarum Gottingensis. Commentationes physicae et mathematicae classis 8*, 168–180, 1778.
Von einer neuen Art die Natur und Bewegung der elektrischen Materie zu erforschen. Erste Abhandlung.
In Georg Christoph Lichtenberg: *Schriften und Briefe*, Dritter Band, Seiten 24–34. Carl Hanser Verlag, München, 1992.

- [30] Gerhard Maier: Schnellstraße zum Ruhm. Der Siegeszug der Gleichungen führt die Wirtschaftswissenschaften ins Abseits und zerstört die Berufschancen der Volks- und Betriebswirte. *Wirtschaftswoche*, Nr. 7 · 7. 2. 1992, S. 67–68.
- [31] B. G. Marsden and A. G. W. Cameron, editors: *The Earth–Moon System*, Plenum Press, New York, 1966.
- [32] Karl Marx: *Mathematische Manuskripte*, Herausgegeben, eingeleitet und kommentiert von Wolfgang Endemann. (*Scriptor–Taschenbücher Sozialwissenschaften; S 10: Beiträge zur Theorie der Gesellschaft*), Scriptor–Verlag, Kronberg, Ts., 1974.
- [33] Karl Marx und Friedrich Engels: *Manifest der kommunistischen Partei*, Dietz Verlag, Berlin, 1968.
- [34] James Clerk Maxwell: *Über Faradays Kraftlinien. Über physikalische Kraftlinien*, (*Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Band 69 (Reprint der Bände 69 und 102)*), Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 1995.
- [35] Ronald Lindley Meek, editor: *Marx and Engels on Malthus: Selections from the writings of Marx and Engels dealing with the theories of Thomas Robert Malthus*, Edited with an Introductory Essay and Notes by Ronald L. Meek. Translations from the German by Dorothea L. Meek and Ronald L. Meek. Lawrence and Wishart, London, 1953.
- [36] Karl von Meyenn, Hrsg.: *Lust an der Erkenntnis. Triumph und Krise der Mechanik. Ein Lesebuch zur Geschichte der Physik*, (*Serie Piper, 1146*), R. Piper Verlag, München, Zürich, Februar 1990.
- [37] Jaques Monod: *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie*, (*dtv 1069*), Deutsch von Friedrich Giese, Vorrede zur deutschen Ausgabe von Manfred Eigen. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1975.
- [38] Ewald Oetzel und Wolfgang Polte: *Der gescholtene Thales. Anekdotisches um Gelehrte und Gelehrige aus zwei Jahrtausenden*, Mit Illustrationen von Manfred Bofinger, Urania-Verlag, Leipzig · Jena · Berlin, 1989.
- [39] Wolfgang Pauli: *Physik und Erkenntnistheorie*, Mit einleitenden Bemerkungen von Karl von Meyenn. (*Facetten der Physik, Band 15*), Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1984.
- [40] Henri Poincaré: Der Stand der theoretischen Physik an der Jahrhundertwende. Vortrag in St. Louis 1904. *Physik. Bl.*, 15:145–149, 193–201, 1959.
- [41] A. J. Popow: *Der moderne Malthusianismus — eine menschenfeindliche Theorie der Imperialisten*, Gospolitdat, Moskau, 1953.
- [42] Karl Popper: *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*, Routledge & Kegan Paul, London, 1963.
Vermutungen und Widerlegungen. Das Wachstum der wissenschaftlichen Erkenntnis, 2 Teilbände, Teilband I: *Vermutungen*. Übersetzt von Gretl Albert, Melitta Mew, Karl Popper und Georg Siebeck, J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen, 1994.
- [43] Abel Rey: *La théorie physique chez les physiciens contemporains*, F. Alcan, Paris, 1907.

- [44] Wilhelm Schell: *Theorie der Bewegung und der Kräfte. Ein Lehrbuch der theoretischen Mechanik mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse technischer Hochschulen*, Druck und Verlag von B. G. Teubner, Leipzig, 1868.
- [45] Paul Arthur Schilpp, Hrsg.: *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher. Eine Auswahl, (Facetten der Physik)*, Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1983.
- [46] Paul Arthur Schilpp, editor: *Albert Einstein, Philosopher-Scientist, (The Library of Living Philosophers, 7)*, The Library of Living Philosophers, Evanston, Ill., 1949.
- [47] Dietrich Schroerer: *Physik verändert die Welt? Die gesellschaftliche Dimension der Naturwissenschaft*, Aus dem Englischen übersetzt von Ernst Streeruwitz, (*Facetten der Physik, Band 16*)/, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, 1984.
Physics and its Fifth Dimension, Addison-Wesley Publishing Company, 1972.
- [48] C. P. Snow: *Die zwei Kulturen. Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz*, Klett-Cotta, Stuttgart, 1967.
[engl. Ausgabe 1959]
- [49] Arnold Sommerfeld: *Vorlesungen über theoretische Physik, Band I. Mechanik*, Vierte Auflage, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig, 1949.
- [50] Arnold Sommerfeld: *Vorlesungen über theoretische Physik, Band III. Elektrodynamik*, Nachdruck der vierten, durchgesehenen Auflage, Verlag Harri Deutsch, Thun · Frankfurt/M., 1977.
- [51] Jonathan Swift: *Reisen in verschiedene fernegelegene Länder der Erde von Lemuel Gulliver, erst Wundarzt, später Kapitän verschiedener Schiffe, (Die Fischer Bibliothek der hundert Bücher, Exempla Classica 15)*, Übertragen von Franz Krottenkamp, Firscher Bücherei, Frankfurt am Main, 1960.