

# Zum Weltbild der modernen theoretischen Physik<sup>1,2</sup>

von

Jürg Fröhlich, ETH Zürich

---

<sup>1</sup> Naturwissenschaftliche Gesellschaft Winterthur, 29. März, 2009

<sup>2</sup> Dem Andenken an meinen ehemaligen Lehrer und Freund *Markus Fierz* (1912-2006) gewidmet

>1.

Meine Damen und Herren

Dieses Jahr 2009 ist nicht nur ein Jahr der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise, die uns vermutlich noch jahrelang beschäftigen wird – mich hat sie schon lange bevor sie eintraf beschäftigt – sondern auch ein Jahr der Jubiläen.

Für evangelische Theologen ist dieses Jahr das *Calvin-Jahr*; für Biologen das *Darwin-Jahr*, und zu diesem Thema haben Sie ja schon zwei Vorträge gehört;

für die Astronominnen und Astrophysiker ist es das Jahr der Astrophysik, und zwar aus Anlass von *Galileis* Erfindung des Fernrohrs, mit dem er dann z. B. die Jupiter Monde entdeckte.

Man kann sich daher mit Recht fragen, ob es sinnvoll sei, diese Vortragsreihe mit einem Referat über theoretische Physik abzuschliessen. Nun, zumindest hat mein Vortrag etwas mit dem Vater der modernen naturwissenschaftlichen Methode und der mathematischen Naturbeschreibung, *Galileo Galilei*, zu tun.

Es ist eine verbreitete Gepflogenheit, dass man sich in Abendgesellschaften gegenseitig fragt: “Was machen Sie beruflich?” Wenn ich darauf antworte, ich sei theoretischer Physiker, dann ist die häufigste Reaktion ungefähr die folgende: “Physik, die habe ich nie verstanden!” Eigentlich würde man gerne

anfügen: “Die mochte ich nie.” Aber dies hielte man für möglicherweise unhöflich.<sup>3</sup>

>2.

Ich weiss nicht, wie **Sie** auf mein Geständnis, ich sei Physiker, reagieren würden, erteile ich Ihnen das Wort. Jedenfalls sind Sie ja zu diesem Vortrag erschienen, woraus ich ein gewisses höfliches Interesse für meinen Gegenstand abzuleiten wage. Aber es ist trotzdem zu erwarten, dass viele unter Ihnen die Physik für schwierig und wenig verständlich halten. Sie mögen sich fragen, was das für Leute sind, die als Physikerinnen oder Physiker ein Leben lang versuchen, mehr über die Natur herauszufinden.

Die Welt ist ungeheuer kompliziert, sodass man sie i.a. gar nicht verstehen kann, und die meisten Fragen, die man über die Welt stellt, haben keine vernünftigen Antworten oder zumindest keine zwingenden, eindeutigen Antworten; man *entscheidet* sich dann für die eine oder andere. Fast alle Fragen, mit denen sich die Philosophen beschäftigen, haben diese Eigenschaft. Das heisst nicht, dass sie uns gleichgültig sein sollen; denn sie beeinflussen das Denken, Fühlen und Handeln der Menschen, und dies macht sie wichtig.

---

<sup>3</sup> Einige sind vielleicht gar ein wenig stolz auf ihr Unverständnis. Sie werden sagen, dass diejenigen, die den Sternenhimmel mit den Augen eines Physikers betrachten, vom Zauber des Kosmos nichts mitbekommen. Dazu sagt der berühmte amerikanische Physiker *Richard P. Feynman*: “Poets say science takes away from the beauty of the stars – mere globs of gas atoms. Nothing is “mere”. I, too, can see the stars...and feel them. But do I see less or more? The vastness of the heavens stretches my imagination ... What is the pattern, or the meaning, or the why? It does not do harm to the mystery to know a little about it. For, far more marvelous is the truth than any artists of the past imagined!”

Physikerinnen und Physiker sind Leute, die begriffen haben, dass man, will man etwas gut verstehen, sich mit **äusserst einfachen** Phänomenen beschäftigen muss. Denken Sie an Galilei, der vom schiefen Turm in Pisa Steine fallen liess, woraus Einsichten entstanden, die die Welt verändern sollten!<sup>4,5</sup> Die Physik befasst sich mit derart einfachen und isolierten natürlichen Erscheinungen, dass man hoffen kann, sie mathematisch präzise beschreiben zu können. Damit wird man in sehr geringem Ausmasse befähigt, relevante Aussagen über Eigenschaften oder über die Zukunft der natürlichen Welt zu machen; etwa über das Auftreten einer Sonnenfinsternis oder eines Kometen, den Gefrierpunkt oder Siedepunkt von Wasser, über den Zerfall instabiler Teilchen, oder die in einer Kernwaffenexplosion freigesetzte Energie. Obwohl eine mathematisch präzise Beschreibung unserer Wahrnehmungen von Naturvorgängen das Ziel jeder Naturwissenschaft sein müsste, gelingt sie in überzeugender Weise bis anhin nur in der Physik; und zwar eben deshalb, weil sich die Physik nur mit den *vergleichsweise einfachsten* natürlichen Erscheinungen befasst.

>3.

---

<sup>4</sup> Dass Galilei die Fallgesetze auf diese Weise entdeckt haben soll, scheint allerdings eine Legende zu sein. Er hat sie offenbar mit Experimenten auf schiefen Ebenen gefunden.

<sup>5</sup> An dieser Stelle wäre auch an die Kurzgeschichte "Der Kreisel", von *Franz Kafka*, zu erinnern, die von einem etwas wunderlichen Philosophen handelt, von dem Kafka sagt: "Er glaubte nämlich, die Erkenntnis jeder Kleinigkeit, also zum Beispiel auch eines sich drehenden Kreisels, genüge zur Erkenntnis des Allgemeinen. Darum beschäftigte er sich nicht mit den grossen Problemen, das schien ihm unökonomisch." (Immerhin, der Kreisel ist nicht gerade das einfachste mechanische System, was man bei der Lektüre des meisterhaften Werks von Klein und Sommerfeld über die Theorie des Kreisels lernen könnte.)

Die Sehnsucht, die Welt zu verstehen, ist ein Grundstreben der Menschen. Sie ist zwar deshalb absurd, weil sie ihr Ziel nie erreicht, kann aber ein ganzes Leben gestaltend durchwirken. *Albert Camus* sagt in seinem philosophischen Hauptwerk "Le Mythe de Sisyphe" dazu: "Je disais que le monde est absurde, et j'allais trop vite. Le monde n'est pas *raisonnable*, c'est tout ce qu'on peut dire. Mais ce qui est absurde, c'est la confrontation de cet irrationnel et de ce désir éperdu de clarté dont l'appel résonne au plus profond de l'homme. A partir du moment où elle est reconnue, l'absurdité est une passion, la plus déchirante de toutes."

Nun würde man sich allerdings trotz jener Sehnsucht kaum ein Leben lang mit einem Gegenstand beschäftigen, wenn man wüsste, dass dieser Beschäftigung jeder Erfolg versagt bleibt. In der Tat, die Fortschritte in den Erkenntnissen der Physik haben nicht nur unser Bild von der Welt entscheidend geprägt, sondern auch die Welt, in der wir leben, tiefgreifend verändert. Die gesamte moderne Technik ist zum grössten Teil *physikalische* Technik; sie beherrscht unser Leben in erstaunlichem Ausmass, im Guten wie im Schlechten. Wir können uns zwar die moderne Technik zunutze machen, ohne etwas davon zu verstehen. Aber ohne ein ziemlich tiefes Verständnis der Naturvorgänge im Sinne der *Physik* wäre sie nie entstanden und würde sie stagnieren, auch in ihren

Anwendungen auf nicht-physikalische Untersuchungen, wie diejenigen der Biologie. Diese Tatsache haben offenbar viele Wissenschaftspolitiker noch nicht begriffen.

>4.

Die uns geläufige Unterteilung der beobachtenden, experimentellen und theoretischen Beschäftigung der Menschen mit der Natur in verschiedene, einigermaßen wohldefinierte Disziplinen – Astronomie, Physik, Chemie, Biologie, etc. – stammt aus der Neuzeit. Zuvor war sie unter dem Begriff ‘Naturphilosophie’ zusammengefasst, und die Notwendigkeit, Ideen über die Natur dem Test von Experimenten zu unterziehen, wurde vor Galilei nicht klar wahrgenommen.

Die Physik beschäftigt sich mit den Phänomenen der unbelebten Natur, mit den kleinsten im Bereich der Elementarteilchen bis zu den grössten des Universums. Ihr Ziel ist, mathematisch formulierbare Gesetze zu finden, nach denen sich die Natur verhält, und solche Gesetze für die Zwecke praktischer Anwendungen in der Technik nutzbar zu machen.

Der heutzutage dominante Standpunkt, was das Geschäft der *theoretischen Physik* anbetrifft, wurde von *Niels Bohr* wie folgt umschrieben<sup>6</sup>: “In our description of Nature the purpose is **not** to disclose the ‘real essence’ of the phenomena but only to track

---

<sup>6</sup> *Niels Bohr*, “Collected Works”, North-Holland 1985, Band 6, S. 296

down, so far as it is possible, **relations** between the manifold aspects of our experience.”

Das eigentliche Wunder im Geschäft der Physik – und darauf hat der grosse theoretische Physiker *Eugene Wigner* eindringlich hingewiesen – ist die unerklärliche *Effizienz der Mathematik* im Beschreiben von Naturvorgängen. Ihre mathematische Sprache macht die Physik gleichermassen einfach und schwierig, auf alle Fälle aber sehr verlässlich. Wieso ist dieses Erzeugnis menschlichen Geistes, das wir Mathematik nennen, so hervorragend erfolgreich in der Erfassung von Naturvorgängen auf Erden und in den hintersten Sphären des Universums? Diese Frage wäre ein ergiebiger Ausgangspunkt für philosophische Betrachtungen, etwa über den Gegensatz zwischen Materialismus und Platonismus, oder über Relativismus im Sinne von *Feyerabend*, oder über die soziale Bedingtheit aller Erkenntnis.

>5.

### **1. Eine kurze historische Exkursion**

Die grossen abendländischen Begründer der neuzeitlichen Physik, *Kopernikus, Kepler, Galilei, Hooke* und *Newton*, waren zwar in ihrem Denken von z.T. uralten philosophischen Vorstellungen geprägt, interpretierten diese aber eher als göttliche Offenbarungen und befassten sich nebst ihrer Tätigkeit als Naturforscher eher mit Theologie als mit Philosophie. Das Wirken Gottes in der Welt war

ihnen eine Gewissheit. In dieser Beziehung unterscheiden sie sich von antiken Naturphilosophen und Mathematikern, wie Seneca, Ptolemaeus, dem grossen *Archimedes*, u.a. Die Denker der Italienischen Renaissance und der britischen Aufklärung waren der Ansicht, dass das Buch der Natur und ein Buch religiöser Offenbarung über verschiedene – heute würde man sagen “*komplementäre*” – Aspekte unserer Existenz sprechen, und dass deshalb Wissenschaft und Religion sich nicht widersprechen. Damit war auch klar, dass die Naturwissenschaften nie ein umfassendes Verständnis der Welt ermöglichen würden. Dieser Standpunkt war neu. Pragmatisch betrachtet sollte er Konflikte mit der Kirche vermeiden. Darin hatte er, wie uns allen bekannt ist, allerdings keinen Erfolg. Er war und ist zu keiner Zeit selbstverständlich.<sup>7</sup> Ihm ist der grossartige Aufschwung der Naturwissenschaften in Europa zu einem wesentlichen Teil zu verdanken.<sup>8</sup>

## >6.

---

<sup>7</sup> Denken Sie z.B. an die Kontroverse um “Kreationismus” versus Darwinismus, die in den USA noch immer gewisse, etwas beschränkte Gemüter erhitzt

<sup>8</sup> Zu einem weiteren Teil ist er der Entstehung der experimentellen Methode und der Technik zu verdanken. Zu Beginn bestand die grosse Mehrheit der Experimente aus astronomischen Beobachtungen. Ihre Reichweite und Genauigkeit nahmen dank der Erfindung des Fernrohrs erheblich zu. Die Entdeckung der Bewegungsgesetze der Mechanik wurde erst durch die Erfindung präziser Zeitmessung in Form der Pendeluhr von *Huygens* möglich. Viele Fortschritte in der Physik verdankt man der Entdeckung immer präziserer Methoden der Zeitmessung. Schliesslich beruht der Aufschwung der Naturwissenschaften in Europa auch auf den damals von Leuten wie *Pascal* und *Descartes* erzielten Fortschritten in der Mathematik.

Mein verstorbener Lehrer und Kollege *Markus Fierz* schreibt in seinem Buch "Naturwissenschaft und Geschichte" – ich zitiere: "Galilei fasste die Welt als Werk Gottes auf, als ein Buch, das vor uns offen liegt und in dem wir lesen müssen. Zwar ist auch die Bibel ein Buch – das Wort Gottes –, aber es ist mit Rücksicht auf den Menschen geschrieben. Das Werk Gottes (eben die Welt) kennt diese Rücksicht nicht, und wenn wir in ihm zu lesen verstehen, lernen wir die eigentlichen Schöpfungsgedanken Gottes kennen, die uns bisher verschlossen waren. Das Buch der Natur ist in der Sprache der Mathematik geschrieben, es handelt vom mathematischen Naturgesetz. Gott wird hier, ganz platonisch, als der grosse Geometer und Mathematiker gesehen, der allen Dingen Mass und Zahl gesetzt hat. Die mathematischen Wahrheiten, die der Mensch begriffen hat, kommen darum an objektiver Gewissheit der göttlichen Erkenntnis gleich. Das sagt Galilei ausdrücklich, und auf die Frage, ob dies nicht allzu kühn gesprochen sei, versichert er, seine Sätze seien weit über den Verdacht der Vermessenheit erhaben." – Ende des Zitats. – Offensichtlich war Galilei von ähnlichem Staunen über die Wirksamkeit der Mathematik in der Naturbeschreibung ergriffen wie nach ihm Wigner und viele andere. Aber er suchte nach einer religiösen Erklärung, wogegen wir modernen Menschen dieses Staunen als solches stehen lassen, oder allenfalls nach

tiefenpsychologischen Erklärungen suchen, wie es der berühmte theoretische Physiker *Wolfgang Pauli* versucht hat.

Für *Newton*, dem wir die Entdeckung der Himmelsmechanik verdanken, war die Physik eine Art symbolischer Gotteslehre. Er fasste den Raum als “sensorium dei” auf, und die Zeit war Ausdruck der Ewigkeit Gottes.

Schon *Leibniz* hat jedoch erkannt, dass Newtons Vermengung physikalischen Denkens mit religiösen Vorstellungen ganz unbefriedigend ist, und hat lebhaft Kritik daran geübt. Für uns heutige Menschen entbehren Galileis und Newtons Projektionen religiöser Vorstellungen in das Naturgeschehen des inneren Zusammenhanges mit den Resultaten ihres physikalischen Denkens. Während dieses sich als höchst folgen- und erfolgreich erwies, sind jene nur noch von historischem Interesse.

Kurz nach Beendigung seines epochalen Hauptwerkes, der “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”, verfiel Newton in eine schwere seelische Krise, eine Gleichgewichtsstörung, die Fierz als teilweise vom gestörten Gleichgewicht seines Weltbildes verursacht interpretierte, und er fährt dann fort – ich zitiere: “Dann wäre sein damaliges Leiden ähnlich der Krankheit, von der heute ein grosser Teil der Menschheit befallen ist” – eine Bemerkung, an die wir uns gelegentlich erinnern sollten.

>7.

Das gestörte Gleichgewicht in Newtons Weltbild kann so gedeutet werden, dass sein physikalisches Denken ihn die Welt als ein deterministisches Uhrwerk, das nach ehernen Gesetzen abläuft, sehen liess, dass ihm aber die Ideen von Gottes Gegenwart im Naturgeschehen und vom freien Willen des Menschen trotzdem teuer waren<sup>9</sup>, womit die logische Geschlossenheit seines Weltbildes gestört war. Das sind Gegensätze, die viele unter uns auch heute noch bewegen, was damit zu tun hat, dass sie in der Tat ein Problem darstellen, zwar kein physikalisches, aber eben doch ein Problem; dass die meisten unter uns aber auch gar nicht wissen, wie sich das physikalische Weltbild in neuerer Zeit verändert hat. Gerade davon soll nun in diesem Referat die Rede sein.

>8.

In mancher Beziehung sind wir modernen Physiker zu den alten Ideen der Vorsokratiker *Leukipp* und *Demokrit* zurückgekehrt. Es ist mir nichts darüber bekannt, dass sie ihr Nachdenken über die Welt mit religiösen Projektionen überlagert haben, was sie sehr modern macht. Ihnen verdanken wir drei erstaunliche und für die Naturwissenschaft fundamentale Ideen, von denen im folgenden noch zu reden sein wird:

---

<sup>9</sup> Im mechanistisch-deterministischen Weltbild, wie es aus der Newtonschen Mechanik hervorging, war für Eingriffe Gottes in das Naturgeschehen nur insofern Platz, als man Ihm die Wahl der *Anfangsbedingungen*, aus denen sich die Welt nach den ewigen Gesetzen der Mechanik deterministisch entwickelt, zugestehen konnte – ein allerdings uns moderne Menschen wenig überzeugender Gesichtspunkt

*Erstens:* Die Idee des **Atomismus**, d.h. der Existenz unteilbarer materieller Bausteine, aus denen alles, insbesondere auch der Aether, der den Raum erfüllt oder erzeugt, zusammengesetzt ist. Diese Idee hat sich über die Jahrhunderte hinweg erhalten. Ein experimenteller Nachweis der Existenz von Atomen gelang aber erst zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts. Unmittelbar sichtbar gemacht werden können sie erst seit der Erfindung der Elektronen- und der Tunnelmikroskopie.

*Zweitens:* Das **Kausalgesetz**: Jedes Ereignis ist notwendige Folge einer Ursache. In dieser strikten Form ist uns das Kausalgesetz in der Quantentheorie abhanden gekommen. Die meisten Physiker denken, die Physik erkläre nicht, was Ereignisse eigentlich sind und wie sie zustandekommen. Sie mache nur darüber Aussagen, mit welchen Mitteln Ereignisse sichtbar gemacht werden können und mit welcher Wahrscheinlichkeit sie dann eintreten.<sup>10</sup>

*Drittens:* Das **Naturgeschehen läuft nach ehernen Gesetzen** ab. Als Physiker werden wir an dieser Hypothese festhalten wollen. Wir meinen aber, dass Naturgesetze immer nur einen unvollständigen Ausschnitt des Naturgeschehens mehr oder weniger genau beschreiben. Denn sie sind lediglich *symbolische*

---

<sup>10</sup> Ich halte diese verbreitete Ansicht zwar für diskussionswürdig aber nicht unbedingt für definitiv

und daher unvollständige Nachbildungen von Teilen des Naturgeschehens.

In der Nachfolge von *Archimedes* und *Galilei* ergänzte *Newton* diese drei Ideen durch die Forderung, dass die Gesetze, nach denen sich das Naturgeschehen abspielt, aus der experimentellen Erfahrung gewonnen und an der Erfahrung getestet werden müssen – “**hypotheses non fingo**”<sup>11</sup>. Naturgesetze lassen sich prinzipiell nie *beweisen*, ihre Aussagen sollen aber konkret und präzise genug sein, dass sie sich durch Vergleich mit der Natur verifizieren und allenfalls *falsifizieren* lassen.

Die Verbannung religiöser Vorstellungen und des Leib-Seele Problems aus dem Reich der Physik hat sich im neunzehnten Jahrhundert endgültig durchgesetzt. Die Physiker entwickelten damals ein mechanistisches Weltbild: Die Materie ist aus Atomen zusammengesetzt; die Welt ist eine Maschine, die nach den ewigen Gesetzen der Mechanik und Optik läuft; dabei hat das Kausalgesetz universelle Gültigkeit. Die Naturgesetze, die die Menschen auf Erden entdecken, gelten überall im Universum in gleicher Weise; eine Überzeugung, die schon *Giordano Bruno* vertrat, was zu seiner Zeit sehr revolutionär war.

Zwar wurden im neunzehnten Jahrhundert als Ergänzung zu den Gesetzen der Mechanik und der Optik diejenigen der

---

<sup>11</sup> Hier sei allerdings an das oben angeführte *Pauli*-Zitat vom “zur Deckung-Kommen” erinnert

**Elektrodynamik** entdeckt. Aber derjenige, der diese Entdeckung zum Abschluss brachte, *James Clerk Maxwell*, erkannte, dass die Optik ein Spezialfall der Elektrodynamik sei, und er versuchte, die elektrischen und magnetischen Felder als Schwingungsmuster eines den ganzen Raum erfüllenden elastisch-mechanischen Mediums zu verstehen, d.h. die Elektrizitätslehre und die Optik letztlich auf die Mechanik zurückzuführen. Hier erscheint die Idee des **Reduktionismus**. Maxwell ist einer der ganz grossen theoretischen Physiker, und er hat mit seiner Rückführung der Optik auf die Elektrodynamik die erste erfolgreiche **Vereinheitlichung** zweier scheinbar von ganz verschiedenen Phänomenen handelnder Theorien zustandegebracht und damit dem Traum einer **einheitlichen Theorie** aller natürlichen Erscheinungen zu einem ungeahnten Aufschwung verholfen. Aber Maxwells Versuche, die Elektrodynamik mechanisch zu erklären, blieben letztlich erfolglos.

>9.

## **2. Die Krise des mechanistischen Weltbildes und die Geburt der modernen Physik**

Derjenige, der die Krise des alten Weltbildes als einer der ersten klar erkannt und ausgesprochen hat, war *Heinrich Hertz*<sup>12</sup>. In

---

<sup>12</sup> Ich verweise hier auf die hervorragende Hertz-Biografie von *Albrecht Fölsing*, „*Heinrich Hertz, eine Biografie*“, erschienen bei Hoffmann und Campe, 1997

seiner Kieler Vorlesung “Über die Constitution der Materie” sagt er – ich zitiere:

“Die kleinsten selbständigen gleichen Teilchen, von denen wir reden, die Atome, sind jedenfalls äusserst komplizierte Dinge. Keine Vorstellung von ihnen kann unpassender sein als die von einem ausdehnungslosen Punkte... Wir sehen, dass die Atome fähig sind, Schwingungen in ihrem Inneren auszuführen; es müssen also schon mehrere Massen vorhanden sein, die durch Kräfte in der gegenseitigen Ruhelage gehalten werden;...”

Erstaunlicherweise nimmt Hertz das *Rutherford'sche* Modell des Atoms voraus, indem er den Aufbau der Atome mit dem Planetensystem vergleicht. Mit ansteckendem Optimismus geht er davon aus, dass eine Theorie der Atome gefunden werden könne.

Als nach *J. J. Thomsons* Entdeckung des Elektrons im Jahre 1897 das Rutherford'sche planetare Atommodell entstand und gar durch Streuexperimente untermauert wurde, entdeckte man, dass es im Rahmen der klassischen Physik zu grossen Widersprüchen Anlass gibt: Nimmt man dieses Modell ernst, so kommt man im Rahmen der klassischen Mechanik und Elektrodynamik elektrisch geladener Punktteilchen zum Schluss, dass

**erstens**, die Atome instabil sein und in kürzester Zeit verstrahlen müssten; und

**zweitens**, die erstaunliche Identität im Verhalten verschiedener Atome der gleichen Sorte, z.B. in chemischen Reaktionen, und die Spektren des von Atomen ausgestrahlten Lichtes keine natürliche Erklärung finden würde.

Allgemein zu reden, fanden im Rahmen der Physik des neunzehnten Jahrhunderts fast gar keine Eigenschaften kondensierter Materie, wie ihre Farbe, ihr Aggregatzustand, ihre spezifische Wärme bei tiefen Temperaturen, ihre elektrische Leitfähigkeit... vor allem aber nicht der Umstand, dass sie so **stabil** ist und dass ihre Eigenschaften über die Zeiten in allen Experimenten in gleicher Weise in Erscheinung treten, eine plausible Erklärung. Eigentlich wäre für die klassische Physik eine **Kontinuumstheorie der Materie** natürlich gewesen, so wie sie für Gase, Flüssigkeiten und feste Körper von *Bernoulli*, *Euler* und anderen entwickelt worden war. An einer Kontinuumstheorie der Materie hielten deshalb berühmte Wissenschaftler wie *Mach* und *Ostwald* bis zum Ende des ersten Jahrzehnts des 20. Jahrhunderts fest, als sie schon obsolet war.

>10.

Angeregt durch Bedürfnisse der eben entstehenden elektrischen Beleuchtungsindustrie machten an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Berlin anno 1900 zwei Gruppen von Experimentalphysikern, nämlich *Lummer* und *Pringsheim* und

dann *Rubens* und *Kurlbaum*, Experimente über die spektrale Zusammensetzung des Lichtes, das von einer Glühbirne im thermischen Gleichgewicht ausgesandt wird. Sie fanden höchst merkwürdige Resultate, die im Rahmen der klassischen Physik gar nicht zu deuten waren. *Max Planck* war damals sozusagen der Haustheoretiker in Berlin. Ihm gelang es Ende 1900, eine relativ einfache Formel zu erraten, die die experimentellen Befunde seiner experimentellen Kollegen mit grosser Genauigkeit wiedergab: Wir sprechen von der **Planckschen Formel** für die spektrale Energiedichte der Hohlraumstrahlung, und diese Formel steht für die **Geburtsstunde der Quantentheorie**.

>11.

In Plancks Formel kamen eine schon bekannte und zwei neue fundamentale Naturkonstanten vor: die Lichtgeschwindigkeit,  $c$ , die für die Wärmelehre fundamentale Boltzmannsche Konstante,  $k$ , und die für die Quantentheorie zentrale Plancksche Konstante,  $h$ , die man auch **Plancksches Wirkungsquantum** nennt. Die Werte dieser Konstanten bestimmte Planck mit ansprechender Genauigkeit aus den experimentellen Resultaten seiner Berliner Kollegen. Bekannt war ihm ausserdem die Gravitationskonstante,  $G_{Newton}$ , die in Newtons Gesetz der universellen Gravitation vorkommt. Planck erkannte, dass es sich bei diesen vier Konstanten um *fundamentale Naturkonstanten* handelt. Er sagt

dazu – ich zitiere: “Diese Grössen behalten ihre natürliche Bedeutung so lange bei, als die Gesetze der Gravitation, der Lichtausbreitung im Vacuum und die beiden Hauptsätze der Wärmetheorie in Gültigkeit bleiben; sie müssen also, von den verschiedensten Intelligenzen nach den verschiedensten Methoden gemessen, sich immer wieder als die nämlichen ergeben.” Er erahnte, dass sie gegen alle Absichten eines konservativen Geistes für revolutionäre Veränderungen im physikalischen Weltbild stehen, und von diesen soll im folgenden die Rede sein.

Planck selbst hat Wesentliches zu diesen Veränderungen beigetragen. Aber der grosse Revolutionär war *Albert Einstein*.

### **3. Von den revolutionären Veränderungen im physikalischen Weltbild im ersten Viertel des zwanzigsten Jahrhunderts**

Die Physik hat während des letzten Jahrhunderts radikale Umwälzungen durchgemacht, aus denen grossartige neue Möglichkeiten der Technik hervorgingen und, damit verbunden, Segnungen und Bedrohungen unserer Zivilisation. Um gleich ein gängiges Missverständnis zu beseitigen, betone ich, dass jene Umwälzungen die alte, klassische Physik weder unbrauchbar, noch “falsch” gemacht haben. Neue Theorien lehren uns Wichtiges über die Beschränkungen, Gültigkeits- und Genauigkeitsgrenzen von älteren Theorien, machen diese, sind sie durch Experimente solide

untermauert, aber keineswegs überflüssig. Niemand würde die Bewegung der Planeten um die Sonne aus den Bewegungsgesetzen der Quantenmechanik bestimmen wollen, obwohl die Quantenmechanik eine fundamentalere Theorie als die Newtonsche Mechanik ist. Es ist eine Erfahrungstatsache, dass neue Theorien Vorgängertheorien, aus denen sie hervorgegangen sind, i.a. in denjenigen Grenzbereichen, in denen die Vorgängertheorien im Vergleich mit dem Experiment erfolgreich waren, reproduzieren.

>12.

Am Anfang der Umwälzungen in der Physik des zwanzigsten Jahrhunderts, so wie sie aus den Entdeckungen des ausgehenden neunzehnten Jahrhunderts hervorgingen, standen die experimentelle Bestätigung eines alten, aber immer wieder bezweifelten **Paradigmas** und **drei Revolutionen**, die **Quantentheorie**, die **spezielle Relativitätstheorie** und die **allgemeine Relativitätstheorie**.

Das Paradigma betrifft die **atomistische Konstitution** der Materie, nämlich die Existenz elementarer und unzerlegbarer physikalischer Systeme. Wie erwähnt, blieb diese im Rahmen der klassischen Physik ein Fremdkörper und gab Anlass zu unüberwindbaren Schwierigkeiten. Sie wird erst im Lichte der ersten der drei Revolutionen, der **Quantenrevolution**, plausibel und gehört zu ihr

wie ein Zwilling zum anderen. Die Quantenrevolution wurde durch die experimentellen Entdeckungen an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Berlin und ihre theoretische Deutung durch Planck ausgelöst. Diese führten auf einen höchst merkwürdigen Sachverhalt. Obwohl z.B. Newton sich das Licht als aus kleinen Teilchen zusammengesetzt dachte und damit verschiedene Erscheinungen der Optik, etwa die Brechungs- und Reflexionsgesetze zu deuten imstande war, hatte sich zu Beginn des neunzehnten Jahrhunderts eine Kontinuumstheorie des Lichtes, die dieses im Anschluss an die Ideen von Huygens als **Wellenerscheinung** deutete, durchgesetzt. Die Wellentheorie des Lichtes wurde durch Maxwells Entdeckung seiner elektromagnetischen Natur zur Gewissheit.

Ausgehend von Plancks Formel für die Hohlraumstrahlung und mit Hilfe thermodynamischer Betrachtungen fand nun *Einstein*, dass das Licht **atomistisch** konstituiert sei. Er fand nämlich, dass es aus Lichtquanten zusammengesetzt ist, die sich nicht weiter teilen lassen und sich in mancher Beziehung wie Teilchen benehmen. Sie haben eine bestimmte Energie und einen bestimmten Impuls, die durch die Wellenlänge des Lichtes bestimmt sind. Einstein hat seine Entdeckung, für die er 1921 den Nobelpreis erhielt, wie folgt beschrieben:

>13.

“Monochromatische Strahlung von geringer Dichte ... verhält sich in wärmetheoretischer Beziehung so, wie wenn sie aus voneinander unabhängigen Energiequanten von der Grösse  $h\nu$  bestünde.” (Dabei bezeichnet  $\nu$  die Frequenz des Lichtes.)

Lichtquanten sind elementare Systeme, die man nicht als aus mehreren Teilsystemen zusammengesetzt beschreiben kann. Sie existieren in beliebig vielen **identischen** Exemplaren, die sich durch kein Experiment unterscheiden lassen. Versteht man den Begriff “Atom” wörtlich, so würde man unter einem “Atom” ein Exemplar eines solchen elementaren physikalischen Systems verstehen. Der *Atomismus* des Lichtes ist eine Folge seiner *Quantennatur* und macht in der klassischen Physik keinen Sinn. Was hier im Spezialfall des Lichts zutage tritt, scheint aber ein allgemeiner Sachverhalt zu sein: Der Atomismus und die Quantennatur der Materie gehören untrennbar zusammen. Ähnlich dem Lichte haben aber materielle Teilchen, z.B. Elektronen, auch Welleneigenschaften, wie zuerst *de Broglie* vorausgesagt hat und Davisson und Germer dann experimentell bestätigt haben.

Die Notwendigkeit, die atomare oder korpuskulare Natur von Licht und Materie mit deren Wellennatur zu versöhnen, steht an der Wurzel einiger der seltsamsten Eigenschaften der Quantenmechanik, so ihrer Deutung als einer Theorie der *Wahrscheinlichkeiten von Ereignissketten*.

>14.

Es war *Heisenberg*, der in seiner ersten Arbeit von 1925 erkannt hat, dass die intuitiven Vorstellungen der klassischen Mechanik und insbesondere ihr vom Beobachter unabhängiger **objektiver** Zustandsbegriff in der Mechanik des Atombaus versagen. Das Konzept des “objektiven (vom Beobachtungsakt unabhängigen) Zustandes” eines “physikalischen Systems” – oder, wenn Sie so wollen, des “Dings an sich” – wird in der Quantenmechanik zur Chimäre. Man kann nur davon sprechen, in welchen möglichen Zuständen sich ein System manifestieren wird, wenn es gewissen experimentellen Eingriffen unterzogen wird, aus denen *Ereignisse* resultieren. Die Theorie gestattet lediglich, Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen von Ereignissen zu berechnen, und sagt offenbar **nichts** darüber aus, warum gerade ein *bestimmtes* Ereignis eintritt. Dieser Sachverhalt ist sehr merkwürdig und verwirrend. Grosse Physiker wie Einstein und *Schrödinger*, der Entdecker der Wellenmechanik, hielten ihn zeit ihres Lebens für ein Indiz dafür, dass die gegenwärtige Formulierung der Quantenmechanik nur vorläufig sei.<sup>13</sup>

In jüngerer Zeit hat man herausgefunden, dass sich die überaus seltsamen quantenmechanischen Eigenschaften der Materie dazu benützen lassen, um beispielsweise ein Teilchen zu teleportieren,

---

<sup>13</sup> Viel Wichtiges zu diesem Thema kann man im Büchlein “speakable and unspeakable in quantum mechanics”, von *J. S. Bell*, erschienen bei Cambridge University Press, 1993, finden

oder um klassische Botschaften quantenmechanisch sicher zu übermitteln, ohne dass ein Gegner sie dekodieren kann, oder um für klassische Computer unlösbar schwierige Probleme auf sog. Quantencomputern in erträglich kurzer Zeit zu lösen. Ich füge allerdings sogleich an, dass die technologischen Probleme, die sich der Konstruktion eines funktionstüchtigen Quantencomputers entgegenstellen, bis anhin nicht gelöst sind. Ich halte einige dieser Ideen für reichlich postmodern.

>15.

Die Implikationen der Quantenmechanik und des damit verknüpften Atomismus der Materie waren und sind **spektakulär**. Die Quantenmechanik hat z.B. Erklärungen für das periodische System der Elemente, für die **Stabilität der Materie** und für viele emergente Eigenschaften der kondensierten Materie, z.B. ihrer magnetischen Eigenschaften oder ihrer elektrischen Leitfähigkeit zutage gefördert<sup>14</sup>. Zusammen mit der speziellen Relativitätstheorie hat sie zur Voraussage der **Antimaterie** geführt, die dann experimentell glänzend bestätigt wurde, und lässt uns verstehen, wieso Sterne nur dann stabil sind, wenn sie nicht viel grösser als die Sonne sind. Unter den technologischen Anwendungen der neuen Physik sind nicht nur die Kernenergie

---

<sup>14</sup> Sie alle beruhen wesentlich auf der Tatsache, dass die Elektronen das Ausschlussprinzip von *Pauli* erfüllen, d.h. dass sie *Fermionen* sind, und, damit verbunden, dass sie einen halbzahligen inneren Drehimpuls ( $1/2$ , in Einheiten der Planckschen Konstante) haben

und die Kernwaffen zu nennen, sondern auch die Halbleitertechnologie, die in jedem "Handy", jedem Flachbildschirm, jedem Computer und jeder Solarzelle Verwendung findet, die Laser, die heute in jedem CD Player und von vielen Zahnärzten benützt werden, die Kernspinresonanz, die man z.B. für die medizinische Bildgebung verwendet.

Doch kommen wir noch kurz auf die zwei weiteren Revolutionen in der Physik des zwanzigsten Jahrhunderts zu sprechen, nämlich auf die **spezielle** und die **allgemeine Relativitätstheorie Einsteins**.  
>16.

Die spezielle Relativitätstheorie revolutionierte unsere Vorstellungen von **Raum** und **Zeit**. Ausserdem zwingt sie uns dazu, die Gesetze der Mechanik so zu modifizieren, dass sie dieselben **Symmetrien** haben wie die Gesetze der Elektrodynamik. Daraus hat Einstein die vielleicht berühmteste Formel der Physik

$$E = m c^2$$

hergeleitet. Er hat erkannt, dass die Lichtgeschwindigkeit stets denselben Wert,

$$c = 300'000 \text{ km/sec}$$

hat, unabhängig vom Bewegungszustand des Beobachters und unabhängig davon, ob die Lichtquelle ruht oder bewegt ist. Sieht ein kräftefreier Beobachter einen sphärisch symmetrischen

Himmelskörper, etwa einen grossen Stern am Nachthimmel als Kreisscheibe, so wird ihn jeder andere kräftefreie Beobachter auch als Kreisscheibe sehen, unabhängig von seiner Geschwindigkeit, was eigentlich sehr überraschend ist, wenn man darüber nachzudenken beginnt. Die Implikationen der speziellen Relativitätstheorie mögen uns auch heute noch verwirrend erscheinen. Sie führen auf scheinbare Paradoxien. Beobachtet man z.B. instabile Teilchen in einem Labor, so stellt man fest, dass ihre Lebenszeit von ihrer Geschwindigkeit abhängt.

Stellen wir uns zwei eineiige Zwillinge vor, die man gar nicht unterscheiden kann – so ähnlich sind sie einander. Der eine, Schwarz genannt, trete nun eine lange Reise durch den Weltraum an, die er mit grosser Geschwindigkeit durchläuft; der andere, er heisse Weiss, aber bleibe auf der Erde zurück. Nach geraumer Zeit kehrt Schwarz von seiner Reise auf die Erde zurück. Nach seiner Zeitrechnung war er z.B. vier Jahre unterwegs. Nun teilt ihm aber Weiss mit, er sei acht Jahre unterwegs gewesen, und tatsächlich hat Weiss schon ziemlich weisse Haare, wogegen Schwarz noch immer schwarzhaarig ist, obschon ja beide die gleichen Erbanlagen haben. Es ist immer so, dass derjenige, der eine Reise tut, etwas langsamer altert als derjenige, der auf der faulen Haut liegen bleibt. Dies sollte einem vielleicht zu denken geben.

Alle Hypothesen, auf denen die spezielle Relativitätstheorie ruht, und alle ihre Implikationen scheinen der Existenz des Aethers als eines die elektromagnetischen Wellen tragenden, elastischen Mediums zu widersprechen oder diesen zumindest zu einer überflüssigen Fiktion zu machen. Einstein hat deswegen die Aetherhypothese endgültig aus der Physik verbannt und damit dem Trend, dass die Physik die Erscheinungen nicht auf Eigenschaften unbeobachtbarer “Substanzen” zuzückzuführen versucht, zum Durchbruch verholfen.

Die dritte Revolution in der Physik des zwanzigsten Jahrhunderts war die **allgemeine Relativitätstheorie**. Sie hat unsere Vorstellungen von Raum und Zeit als einer gekrümmten Mannigfaltigkeit noch einmal radikal verändert. Die Krümmung der Raum-Zeit – zu vergleichen mit der Krümmung der Oberfläche eines Fußballs, oder eines Autoreifens, oder einer Brezel<sup>15</sup> – hängt in der allgemeinen Relativitätstheorie von der raum-zeitlichen Verteilung der Materie ab. In sehr sehr kleinen Gebieten der Raum-Zeit geht die Geometrie der allgemeinen Relativitätstheorie in diejenige der speziellen Relativitätstheorie über – wie ja auch die Geometrie einer gekrümmten Fläche in kleinen Bereichen mehr und mehr derjenigen der Euklidischen Ebene gleicht. Die

---

<sup>15</sup> Gekrümmte Flächen wurden mathematisch zuerst von *Gauss*, dem “Fürsten der Mathematiker”, untersucht

Gravitationskraft, die auf einen Körper einwirkt, stellt sich als eine Folge der Raum-Zeit Krümmung heraus. Die allgemeine Relativitätstheorie kann als krönender Abschluss der klassischen “*vorquantenmechanischen*” Physik gesehen werden.

Wie sie mit der Quantenmechanik zu vereinigen ist, wissen wir trotz heldenhafter Anstrengungen vieler Theoretiker noch immer nicht. Das gibt uns die Hoffnung, dass auch in Zukunft in der Physik noch fundamentale Entdeckungen zu machen sind, die unser Weltbild möglicherweise radikal verändern werden.

Es ist eine höchst spannende Entwicklung der neueren Vergangenheit, dass es dank raffiniertester astronomischer Experimente möglich geworden ist, Objekte wie Schwarze Löcher dank der von ihnen ausgehenden Gravitationskraft im Weltall aufzufinden und auszumessen und die Raum-Zeit Geometrie des für uns sichtbaren Teils des Universums wenigstens in grossen Bereichen zu bestimmen.<sup>16</sup> Die plausibelste Interpretation der experimentellen Befunde zur grossräumigen Geometrie des Universums führt auf eine bemerkenswerte Folgerung: Aus der uns **maximal** zugänglichen Kenntnis der Vergangenheit unseres Universums ist es auch im Rahmen einer klassischen Theorie **prinzipiell unmöglich**, seine Zukunft mit Sicherheit vorauszusagen. Allgemein zu reden macht es die allgemeine

---

<sup>16</sup> Siehe z.B. Norbert Straumann, “Materie-Antimaterie und Dunkle Energie”, Preprint 2006

Relativitätstheorie einem räumlich endlich ausgedehnten Beobachter endlichen Alters prinzipiell (und nicht nur praktisch) unmöglich, eine hinreichend vollständige Kenntnis der Vergangenheit zu erlangen, um daraus durch Lösen deterministischer Gleichungen die Zukunft vorherzusagen.

>17.

Wenn man die Geschichte der Physik gerne als eine Abfolge von Revolutionen verstehen will, so würde man behaupten, dass es auch nach der Entdeckung des Atomismus, der Quantenmechanik und der Relativitätstheorien noch Revolutionen in der Physik gab, die grössten wohl im Bereich neuer experimenteller Methoden und von technologischen Anwendungen der neuen Physik, grössere und kleinere aber **auch** im Bereich der Theorie. Man denke etwa an das “**Standard Modell**” der Teilchenphysik, das uns eine erstaunlich präzise Beschreibung der elektromagnetischen, schwachen und starken Wechselwirkungen der Materie gebracht hat, die Entdeckung oder theoretische Erklärung unzähliger, höchst erstaunlicher *emergenter Phänomene* in der Physik der kondensierten Materie – wie der Supraleitung oder des Magnetismus – die Theorie der Phasenübergänge, wie das Gefrieren von Wasser oder die Magnetisierung eines Eisenstabes, etc.

>18.

Das **zentrale Problem** aber, nämlich eine Theorie zu schaffen, die den Atomismus, die Quantenmechanik und die allgemeine Relativitätstheorie so in sich vereinigt, dass alle vier von Planck als fundamental erkannten Naturkonstanten,  $k$ ,  $h$ ,  $c$ , und  $G_{Newton}$ , ihre natürlichen endlichen Werte haben, ist nach wie vor **offen**, auch wenn es viele interessante Lösungsansätze gibt.<sup>17</sup> Dass die Lösung dieses Problems äusserst schwierig sein muss, kann man auf Grund des schon Gesagten leicht verstehen: Die ganze bekannte Physik beruht darauf, natürliche Erscheinungen als in Raum und Zeit angeordnete Sequenzen von Ereignissen zu beschreiben. Raum und Zeit kommen dabei eine *objektive* Bedeutung zu.

In der Quantenmechanik ist das Konzept eines Ereignisses aber problematisch; jedenfalls kann die Theorie offenbar nur Bedingungen angeben, unter denen bestimmte Ereignisse auftreten **können**, und für ihr tatsächliches Auftreten lediglich Wahrscheinlichkeiten voraussagen. Der **Zustand** eines quantenmechanischen Systems hat demzufolge keine objektive Bedeutung. Es liegt in der Natur einer Wahrscheinlichkeitstheorie, dass sie sich nur dadurch testen lässt, dass die nämlichen für das Eintreten einer bestimmten Folge von Ereignissen notwendigen Bedingungen

---

<sup>17</sup> In "Dreams of a Final Theory", erschienen bei Vintage, 1993, sagt *Steven Weinberg* nach einer Hymne auf die gewaltigen Fortschritte der Physik im zwanzigsten Jahrhundert: "But now we are stuck. The years since the mid-1970s have been the most frustrating in the history of elementary particle physics. We are paying the price of our own success..."

wiederholt geschaffen werden und in einer Reihe praktisch identischer Experimente festgestellt wird, wie häufig jene Folge eintritt. Nun sagt aber die allgemeine Relativitätstheorie, die Geometrie der Raum-Zeit hänge wesentlich von der Anordnung materieller Ereignisse ab, die man beobachtet, und umgekehrt. Da jedoch *quantenmechanisch* für eine bestimmte Anordnung von Ereignissen lediglich eine gewisse Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann, so müsste man schliessen, dass auch über die Geometrie der Raum-Zeit, der wir gerne eine objektive Bedeutung zuschreiben würden, nur Wahrscheinlichkeitsaussagen gemacht werden können. Das ist aber höchst verwirrend; denn wie sollen sich Wahrscheinlichkeitsaussagen über Raum und Zeit überhaupt testen lassen, wenn sich die Geschichte des Universums nicht beliebig oft wiederholen lässt.

Man muss davon ausgehen, dass Raum und Zeit, im klassischen Sinn, **keine** fundamentalen Kategorien unserer geistigen Repräsentation der Natur sind – wie *Immanuel Kant* es sich dachte – sondern dass sie in makroskopischen Bereichen, in Gegenwart sehr vieler Ereignisse und von Beziehungen unter diesen aus einer fundamentaleren mikroskopischen Beschreibung als unserem Erleben der Natur angemessene Struktur emergieren, wie es schon *Leibniz* vorausgeahnt hatte.

Meine kurze Exkursion in die Bereiche der modernen Physik will ich hier mit der freudigen Feststellung abschliessen, die Physik sei keineswegs einem endgültigen Abschluss nahe, und ihr Bild von der Welt habe noch viele weisse Flecken. Das soll den jungen Menschen, die gerne Physik studieren möchten, Hoffnung geben, sie hätten die Chance, fundamentale Entdeckungen zu machen. Wir können ihnen aber auch insofern Hoffnung machen, als wir die Gewissheit haben, dass viele der grossen, unsere Zivilisation bedrängenden Probleme nur dank ihrer zähen und klugen Anstrengungen zu lösen sein werden.

>19.

#### **4. Ein paar “philosophische” Anmerkungen**

Die theoretische Physik liefert in einem ähnlichen Sinne nur ein symbolisches Abbild oder einen Plan eines Ausschnitts der Wirklichkeit wie ein **Fahrplan**, der angibt, wo ein Zug wann und für wie lange anhält, nur eine symbolische Repräsentation einer Bahnreise ist. Die Physik “erklärt” unser Erleben des Seins in der Gegenwart, das “Jetzt”, genauso wenig, wie der Fahrplan das Erleben des Eintreffens in einem bestimmten Bahnhof während einer Bahnreise erklärt, die tatsächlich stattfindet. Wir alle verstehen den fundamentalen Unterschied zwischen materieller

Existenz von Dingen in Raum und Zeit und einer nur geistig-symbolischen Repräsentation derselben zumindest intuitiv.

Nehmen wir die gegenwärtig übliche Interpretation der Quantenmechanik ernst, so ist die Physik sogar ein sehr merkwürdiger Fahrplan; nämlich einer der gar nicht sagt, **welche** von mehreren möglichen Strecken vom Ausgangspunkt zum Bestimmungsort ein Zug fährt. Ob er überhaupt eine bestimmte unter allerlei möglichen Strecken fahre hänge nämlich davon ab, ob an dieser Strecke ein Bahnhofsvorstand auf einem Perron eines bestimmten Bahnhofs stehe und mit einer Lampe sichtbar mache, ob der Zug vorbeifahre. Für das Ereignis, dass der Zug auch wirklich vorbeifährt, wenn der Vorstand mit seiner Lampe auf dem Perron steht, gibt der Fahrplan der Quantenmechanik nur eine *Wahrscheinlichkeit* an. Will man diese Angabe überprüfen, so muss man die Reise sehr oft wiederholen, bis sich die “moralische Gewissheit” einstellt, die Voraussage des Fahrplans sei richtig. Ohne von der “moralischen Gewissheit” auszugehen, der Zug fahre bei hinreichend häufiger Wiederholung der Fahrt eine bestimmte Strecke, an der ein Bahnhofsvorstand steht und nachsieht, ob der Zug vorbeifährt, so häufig wie es ihrer im Fahrplan angegebenen Wahrscheinlichkeit entspricht, wäre der Fahrplan **gänzlich unnützlich**. Wäre eine Bahnreise quantenmechanischer Natur, dann könnte aber ein Reisender

prinzipiell nicht sagen, welche von verschiedenen möglichen Strecken der Zug gefahren sei, wenn **keine** Bahnhofvorstände an den Strecken stehen, die nachsehen, ob der Zug vorbeifährt. Es ist als ob die Bahnwagons keine Fenster hätten!

Im Fahrplan der Welt, wie ihn die Physik darstellt, gibt es ausserdem eine durch die Relativitätstheorie beigefügte Fussnote, man wisse *prinzipiell* nicht sicher, ob der Zug im Bestimmungsort ankomme, der im Fahrplan vorgesehen sei, da ja die Strecken dorthin unterbrochen werden könnten, was a priori nie auszuschliessen sei.

Die moderne Physik spricht nicht über die “*Dinge an sich*”, sondern nur darüber wie sie uns in Experimenten *erscheinen*. Sie gestattet uns nicht, Ereignisse vorauszusagen, sondern befähigt uns lediglich, Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen von Ereignissen in beliebig oft wiederholbaren Versuchsreihen anzugeben. Sie sagt nichts Relevantes über das Ganze der Existenz aus, sondern nur über Teilausschnitte.

*Ludwig Wittgenstein* beklagte, dass “an der Basis der ganzen modernen Sicht der Welt die *Illusion*” liege, “dass die sogenannten Naturgesetze die Erklärungen der natürlichen Erscheinungen” seien. Offenbar hat er die moderne Physik nicht gekannt! Sie erklärt nichts, schon gar nicht unser Erleben der Existenz und des Jetzts, sondern bescheidet sich auf den Versuch einer möglichst

akkuraten, einheitlichen, einfachen und vollständigen, aber stets lückenhaften symbolisch-mathematischen Repräsentation des Geschehens in der Welt, wie es einem Beobachter erscheint. Sie geht davon aus – und wir nehmen an, dies sei *keine* Illusion – dass unser Erleben der Welt objektiv sei und gewissen Gesetzmässigkeiten folge, die eine mathematische Repräsentation der Welt ermöglichen. *Steven Weinberg*, einer der Väter des “Standard Modells” der Teilchenphysik, entgegnet auf die Klage Wittgensteins: “Such warnings leave me cold. To tell a physicist that the laws of Nature are not explanations of natural phenomena is like telling a tiger stalking prey that all flesh is grass... We could use help from professional philosophers in understanding *what it is* that we are doing, but with or without their help *we shall keep at it.*”<sup>18</sup> Nun ja, diese Zitate zeigen, dass die Philosophen i.a. nicht viel von Physik verstehen und die Physiker nicht viel von Philosophie. Und weil ich selbst ja Physiker bin, wird es Zeit, diese Darlegungen mit der “endgültigen” Erklärung von *Richard Feynman* dafür, wieso es Naturwissenschaft gibt, zu beenden: “*Science is a way of trying not to fool yourself.*”

>20.

Offenbar kann die Philosophie unter anderem ein Nachdenken über “*what it is that we are doing*”, d.h. *Metaphysik* sein. Für uns

---

<sup>18</sup> *Steven Weinberg*, loc. cit.

relevanter aber ist sie, wenn sie *Ethik* ist. Denn als solche ist sie **vollständig komplementär** zur Physik. Diese sagt **nichts** zu ethischen Fragen – “zu welchem Zweck sollen wir dies oder jenes tun; ist unser Handeln moralisch vertretbar?” – sondern beantwortet nur Fragen der Art “aus welchem Grund geschieht dieses oder jenes?” Die Beschäftigung mit ethischen Fragen aber ist ein zentrales Bedürfnis der Menschen. Daraus soll Hilfe für Entscheidungen und Handlungen erwachsen, und zu diesem Thema sagt Feynman: “For me the correct question is what one should *do*, not how one should feel.”

*“Soweit er (Dick Feynman) ihn verstand, murmelte der Professor (für Philosophie) etwas ähnliches wie: “Mumm bumm wugga mumm bumm...” Dick hatte keine Ahnung, worum es in dem Aufsatz ging. Der Professor las einen anderen Aufsatz vor: “Mugga wugga mumm bumm wugga wugga...” Dick verstand wieder kein Wort”*<sup>19</sup>

Ich hoffe, es sei Ihnen in meinem Vortrag besser ergangen, und danke *Ihnen* für Ihre Aufmerksamkeit!

---

<sup>19</sup> In: “Richard Feynman”, von John und Mary Gribbin, erschienen 2001 bei Pieper. Da las der Professor tatsächlich einen Aufsatz vor, den der Student Feynman für sein philosophisches Seminar hatte schreiben müssen.