

Christian Thomas Kohl

Albert

Einstein,

Alfred North

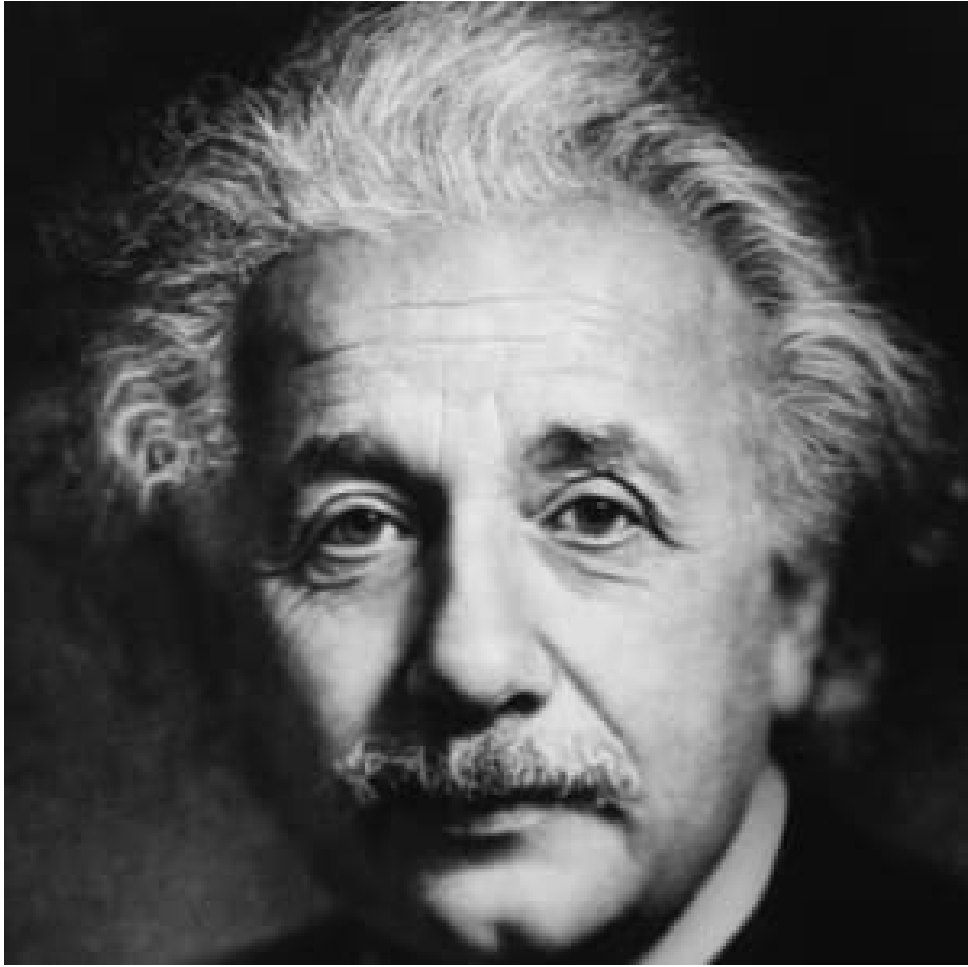
Whitehead.

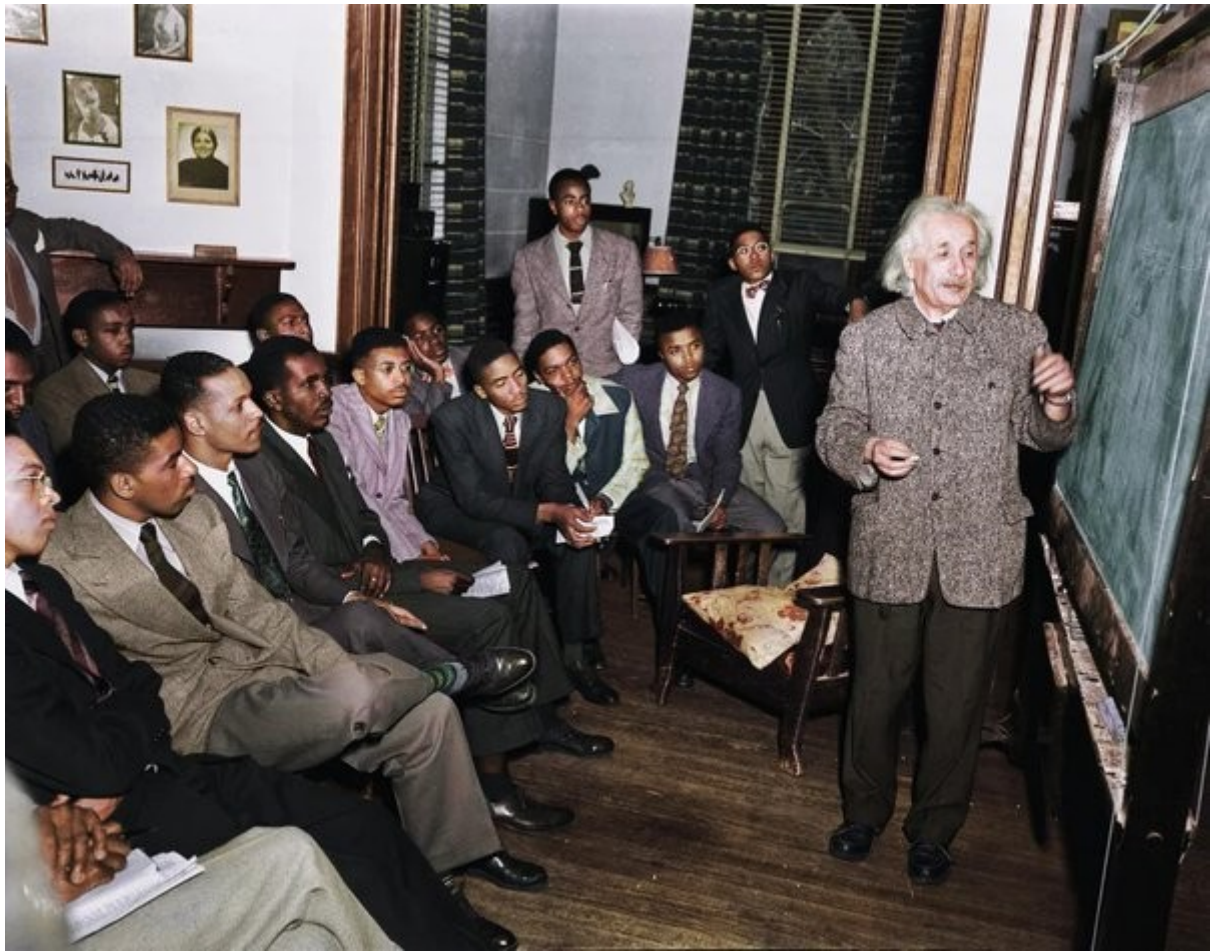
**Eine kurze Geschichte
der Physik.**

Abstract

Die moderne Physik besteht nicht nur aus neuen Entdeckungen und Erfindungen durch die Relativitätstheorien und durch die Quantenphysik. Sie besteht auch aus völlig neuen Sichtweisen und völlig neuen Denkweisen von Zusammenhängen und Verschränkungen zwischen den Dingen. Die moderne Physik hat sich von dem Klischee des Schwarz-Weiß-Denkens verabschiedet, für das es nur getrennte Dinge, ohne fließende Übergänge zwischen den Dingen gibt. Diese schwarz-weißen Denkweisen können wir zurückverfolgen bis zu dem griechischen Philosophen Aristoteles. Während modernen Denkweisen in der Physik mit den Begriffen von fließenden Übergängen, von Zwischenstufen, von Zusammenhängen und von Schwingungen gekennzeichnet werden können. Seit Faraday und Maxwell drehen sich die Denkmodelle der modernen Physik nicht mehr um getrennte, isolierten Körper, die im Nichts schwimmen, sondern um die Zwischenräume zwischen den Körpern und um die flexiblen Beziehungsgeflechte zwischen den Dingen und um die Netzwerke, die die Dinge umgeben. Das sind ganz neue Denkweisen. In diesen Kategorien denken zunächst einmal nur die physikalischen Wissenschaften.

„Jede Philosophie bezieht ihre Farbe von der geheimen Lichtquelle eines Vorstellungshintergrunds, der niemals ausdrücklich in ihren Gedankenketten auftaucht“ (Whitehead) (1)







1. Einleitung.

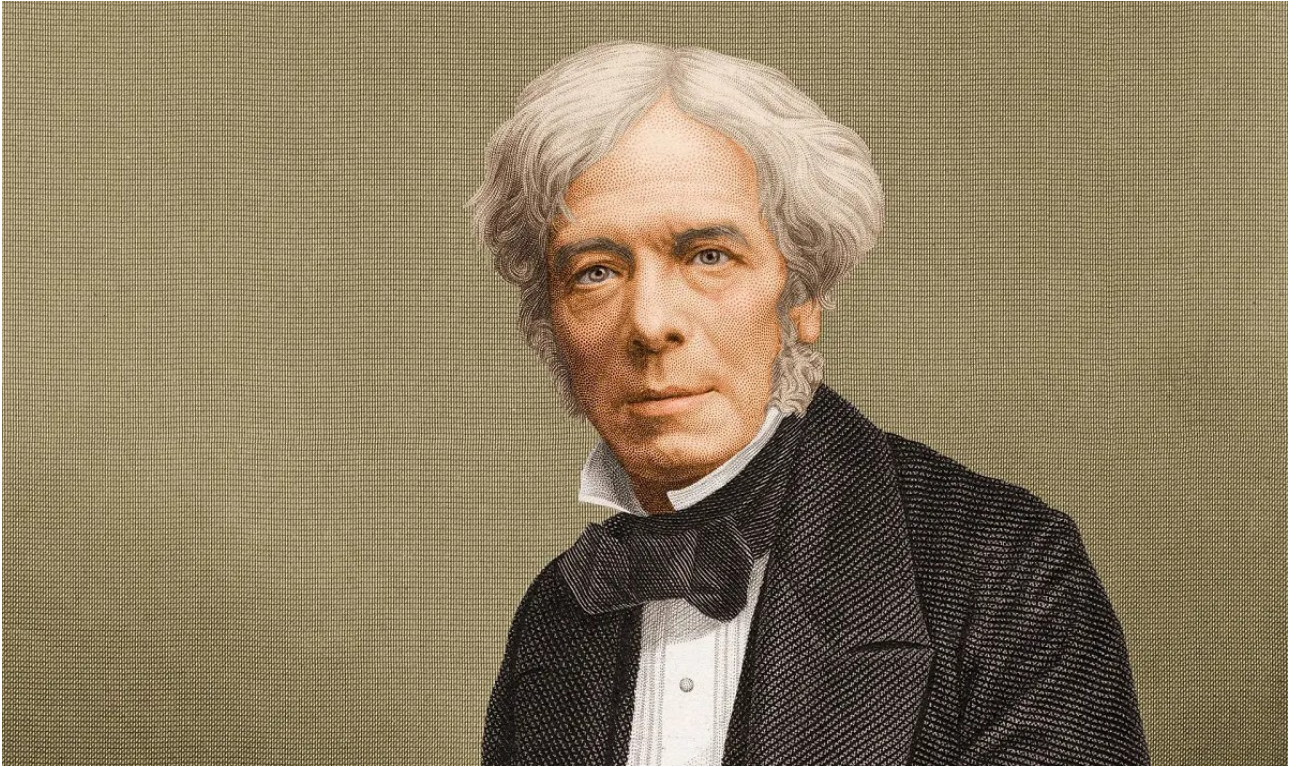
Vorstellungshintergrund.

Ein direkter Vorstellungshintergrund kann auch aus Vorurteilen und oberflächlichen Klischees bestehen oder aus einer Mischung von allem. In der Mathematikgeschichte ist manchmal von Axiomen oder von Grundsätzen die Rede. Als Physikhistoriker wende ich mich vor allem der Geschichte der Physik zu, meinem eigenen Hintergrund.

Innerhalb einer physikalischen Theorie ist eine These ein Satz, der bestätigt werden soll. Ein Axiom dagegen ist ein Grundsatz, der nicht in der Theorie bestätigt werden soll, sondern vorausgesetzt wird, ohne bestätigt und ohne belegt und ohne bewiesen zu sein. Ein Axiom bezieht sich auf das Vorwissen, auf die Prinzipien, die einer physikalischen oder mathematischen Theorie vorausgehen. Diese Prinzipien kann man auch als Metaphysik bezeichnen, allerdings nicht in der Bedeutung von Transzendenz. Die methaphysischen Fundamente einer physikalischen Theorie sind nicht in einem Jenseits angesiedelt. Kein Physiker verwendet für die Physik jenseitige Prinzipien oder Fundamente oder Axiome. In den traditionellen Begriff von ‚Metaphysik‘ sind viele Missverständnisse enthalten. Darauf hat besonders Edwin Arthur Burtt vor 100 Jahren hingewiesen. In der Alltagspraxis einer Naturwissenschaft kann das Thema der Fundamente eines physikalischen Systems ignoriert werden. Allerdings werden die Fundamente nicht immer ignoriert, nämlich in Zeiten einer wissenschaftlichen Krise oder in den Zeiten eines Übergangs von einer grundlegenden physikalischen Theorie zu einer neuen.

Das war in der Geschichte der Physik zweimal der Fall, nämlich im 16. und im 17. Jahrhundert, als der Übergang von der mittelalterlichen Naturwissenschaft zur Klassischen Mechanik stattfand und ungefähr in den Jahrzehnten von 1850-1950, als der Übergang von der Klassischen Mechanik zu modernen Physik stattfand. Wie ich

noch darstellen werde, begann die moderne Physik nicht erst im 20. Jahrhundert, sondern bereits 50 Jahre zuvor, ungefähr 1859, mit **Michael Faraday (1791-1867)**.



Ein weiteres Thema kommt noch hinzu, was die Jahrzehnte des Übergangs noch einmal zusätzlich komplexer und verwirrter macht. Das Bewusstsein der teilnehmenden Physiker hinkt hinterher, es bleibt oft mit den alten Axiomen und Prinzipien verwickelt. Es hinkt ungefähr um ein oder zwei oder drei Generationen hinterher, vielleicht noch länger. Das ist jedoch ein eigenes Thema, das hier nicht vertieft werden kann. Whitehead erwähnt dieses Thema mehrfach, er schreibt:

„Die Voraussetzungen der Physik von gestern bleiben im Denken der Physiker erhalten, selbst wenn ihre ausdrücklichen Lehren diese im Detail widerlegen“ (2).

Etwas lax formuliert möchte ich Whiteheads Hintergrund als eine geistige Gymnastik oder als ein geistiges Training bezeichnen.

Eine fragmentarische Kurzdefinition für den Begriff Training, in diesem (zugegebenermaßen ausgefallenen) Beispiel der neueren Forschung, ist ein Training, das schon vor der Geburt beginnt.

„Sehtraining im Mutterleib. Wenn Mäuse am dreizehnten Tag nach ihrer Geburt die Augen öffnen, haben sie das Sehen schon ein paar Tage lang mit geschlossenen Augen geübt, indem sie ähnliche neuronale Schwingungen produzieren wie bei einer Vorwärtsbewegung. “Die Tiere träumen sozusagen, dass sie vorwärts laufen, ohne es je getan zu haben“, schreibt Michael Crair von der Yale School of Medicine über die Ergebnisse seines Teams in einer Erklärung. Mit dieser Vorbereitung können sich die Mäuse nach dem Augenöffnen sofort im Raum orientieren und vor Gefahren in Sicherheit bringen, weil sie ein vorinstalliertes neuronales Netzwerk haben, das sie nur noch ausbauen und stärken müssen. Ein ähnliches Training gibt es bei ungeborenen Kindern vermutlich für das Atmen und Saugen. Die Kinder üben beides im Mutterleib, ohne mit Atemluft oder Muttermilch in Berührung zu kommen. Crair und seine Kollegen zeigen in der

Fachzeitschrift Science auch, welche Nervenzellen und neuronalen Botenstoffe in der Netzhaut am Vorabtraining beteiligt sind. Dies sind die Nervenzellen, die an der Berechnung von Bewegungsrichtungen beteiligt sind, und der Neurotransmitter GABA (Gamma-Aminobuttersäure), FAZ vom Mittwoch, dem 28. Juli 2021.

Philosophiegeschichte und Physikgeschichte.

Whitehead hat in allen philosophischen Schriften seit 1925 immer wieder auf den wichtigsten Physiker der Klassischen Mechanik hingewiesen, **Isaac Newton (1642-1726/27)**.

Und ganz besonders auf den langsamen Übergang von der Klassischen Mechanik zur modernen Physik.

Warum? Weil Whiteheads Denkstrukturen in seinem philosophischen Spätwerk als **Philosoph** durch die Denkstrukturen als Mathematiker und mathematischer Physiker geprägt waren, die immer wieder durch seine philosophischen Überlegungen durchscheinen und sie durchbrechen, so wie Sonnenlicht die Wolken durchbricht.

Whitehead gab keine systematischen Hinweise. Er hat in seinen philosophischen Schriften keine chronologische Darstellung der Physikgeschichte gegeben. Er hat überhaupt keine chronologischen Darstellungen gegeben. Trotzdem spielt die Geschichte der Physik bei Whitehead eine große Rolle als ein unübersehbarer Hintergrund für seine **philosophischen** Schriften seit dem Jahre 1925.

Die physikalischen Hinweise sind keine Verzierungen, Arabesken oder Ornamente, auf die er hätte verzichten können. Sie waren die Kerngedanken seiner Philosophie, ohne die seine philosophischen Begriffe recht obskur und nebelhaft und schwer verständlich bleiben sollten und vielen verzweifelten Kritikern Whiteheads auch

geblieben sind, wenn ich nur an den Philosophen Karl Popper (1902-1994) denke. Popper hatte Whiteheads mathematischen und physikalischen Hintergrund nicht gesehen, nicht sehen wollen oder was auch immer. Hinzu kommt: Popper hatte einen veralteten Begriff von Metaphysik. Er verstand einfach nicht den modernen Begriff von „Metaphysik“. Unter Metaphysik kann man seit 100 Jahren die Prinzipien und Fundamente verstehen, die den wissenschaftlichen Systemen zugrunde liegen. Der traditionelle Begriff der Klassischen Metaphysik war mit dem ‚Sein‘ und mit der ‚Transzendenz‘ verbunden. Das sind Begriffe, die seit 150 Jahren in der Geschichte der modernen Philosophie keine zentrale Rolle mehr spielen. In der Geschichte der Physik haben solche Begriffe nie eine Rolle gespielt. Mit dem ‚Sein‘ und dem ‚Ewigen‘, mit dem ‚Absoluten‘ und der ‚Essenz‘ oder dem ‚Wesen‘, mit der ganzen Substanzmetaphysik der Dinge haben sich Physiker eigentlich nie beschäftigt.

Ohne den Hintergrund Whiteheads zu beachten können bei Feinden und auch bei Freunden Whiteheads schwerwiegende Missverständnisse auftreten. Man kann es auch als eine hartnäckige Weigerung bezeichnen, in tiefere Schichten oder Zusammenhänge der Philosophie Whiteheads einzudringen oder eben einfach zu übersehen, dass die **philosophischen** Denkweisen Whiteheads Hintergründe haben, die der Geschichte der Mathematik und Physik entnommen sind. Ich möchte auf diesen **physikalischen** Hintergrund Whiteheads mit einigen Hinweisen eingehen.

2. Die metaphysischen Fundamente der Klassischen Mechanik

Wovon ist die Rede? Die Klassische Mechanik soll durch eine sogenannte Kopernikanische Wende entstanden sein, so sagen uns Physikhistoriker. Sowohl die Geschichte der Klassischen Mechanik als auch die Geschichte der modernen Physik seit 1850, - beide zusammen -, werden auch mathematische Physik genannt, im Gegensatz zu dem Begriff der experimentellen Physik. Allerdings ist die experimentelle Physik immer ein direkter oder indirekter Bestandteil der mathematischen Physik gewesen.

[Verwirrend ist allerdings die Bezeichnung einer zweiten Kopernikanischen Revolution oder Wende, die manchmal von Philosophen im Zusammenhang mit Kant verwendet wird. Ich überlasse diese Verwirrung jedoch der Philosophiegeschichte nach Kant. Warum Verwirrung? Weil die erste Kopernikanische Revolution keine ausgemachte Sache ist. Sie besteht nicht nur aus einem einzigen Punkt. Deswegen weiß niemand, auf welchen Punkt sich die zweite oder dritte oder vierte Kopernikanische Wende beziehen sollte.]

Wikipedia. Hier in Kurzform die oberflächliche und sehr verkürzte Meinung von Wikipedia zu dem Thema Klassische Physik. Das Thema ist wesentlich umfassender und eignet sich eigentlich nicht, in solch einer drastisch verkürzten Form wiedergegeben zu werden.

„Die ab dem 17. Jahrhundert entwickelte Klassische Mechanik wurde zur ersten Naturwissenschaft im heutigen Sinn. Die von Galileo Galilei begründete Methode der Naturerkenntnis, in der experimentelle Beobachtungen angestellt und die Ergebnisse mit mathematischen Methoden analysiert werden, führte hier zum ersten Mal zu einem wissenschaftlichen Durchbruch. Als Beginn der Klassischen Mechanik wird Isaac Newtons Buch Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie von 1687 angesehen. Darin werden Bewegungen von Körpern, insbesondere die beschleunigten Bewegungen, mithilfe eines eigens hierfür geschaffenen neuen Kraftbegriffs umfassend analysiert. Newton wies nach, dass alle Beobachtungen und Messungen an Bewegungen von Körpern sich durch ein Gerüst weniger Grundannahmen erklären lassen. Er zeigte das, mittels der ebenfalls neuen mathematischen Technik der Infinitesimalrechnung, in mathematischer Strenge für die Beobachtungsergebnisse von Galilei zum freien Fall und die von Johannes Kepler zu den Planetenbewegungen, wie auch für zahlreiche eigene Beobachtungen und Messungen an bewegten Körpern.“

Beachtung verdienen die drei Wörter eines Körpers. Denn der Begriff „Körper“ ist tatsächlich ein Schlüsselbegriff der Klassischen Mechanik, die mit Kopernikus (1473-1543) begann. Bei der Klassischen Mechanik geht es tatsächlich um isolierte Körper, die im Nichts schwimmen, um Whiteheads Formulierung zu übernehmen.

Leider ist hier nur der Platz für eine fragmentarische Kurzfassung von einem Kapitel der Physikgeschichte, über das ganze Bibliotheken geschrieben wurden. Ich möchte an dieser Stelle nur die Namen von einigen Physikhistorikern im 20. Jahrhundert nennen, denen wir ausführliche Beiträge über die Geschichte der Klassischen Mechanik verdanken. Selbstverständlich besteht die Physikgeschichte nicht nur aus

den Werken von 11 Physikhistorikern, eher aus 11 000 Fachartikeln, aber hier sollen nur die bahnbrechenden Physikhistoriker im 20. Jahrhundert genannt werden.

1. **Edwin Artur Burtt (1892-1996),**
2. **Alexandre Koyre (1892-1964),**
3. **Alistair C. Crombie (1915-1996),**
4. **I. Bernhard Cohen (1914-2003),**
5. **Thomas S. Kuhn (1922-1996),**
6. **Leon Bunschvicg (1869-1944).**
7. **Karoly Simonyi (1916 - 2001)**
8. **Albert Einstein (1879-1955)**
9. **Max Planck (1858-1927)**
10. **Paolo Zellini (geboren 1946)**
11. **Julian Schwinger (1918-1994)**

Ohne eine Auseinandersetzung mit den Prinzipien oder mit den metaphysischen Wurzeln, die der Klassischen Mechanik zugrunde liegen, muss das Verständnis der modernen Physik aus recht oberflächlichen Klischees bestehen. **Was ist das grundlegende Neuland der modernen Physik? Hat die modernen Physik neue grundlegende Fundamente? Worin bestehen die neuen, grundlegenden Denkweisen der modernen Physik seit Faraday?** Ohne eine Kenntnis einiger metaphysischer Grundlagen der modernen Physik seit der Mitte des 19. Jahrhunderts, kann man die philosophischen Denkweisen von Alfred North Whitehead nur recht oberflächlich verstehen. Ohne einen Blick auf die Physikgeschichte lassen sich die angedeuteten Hauptgedanken und Hintergründe von Alfred North Whitehead nur schwer erkennen. Das ist die These, auf den ich hinaus will und die ich hier kurz erläutern möchte.

3. Ein Hauptgedanke Whiteheads

In einem Schnellkurs kann man nicht über die Hauptgedanken und physikalischen Hintergründe Whiteheads sprechen. Schnell ist im 21. Jahrhundert gleichbedeutend mit oberflächlich geworden. Besonders in den Wissenschaften. Mit einigen einleuchtenden Faustregeln und griffigen Zitaten bleiben wir an der Oberfläche kleben. Geschwindigkeit presst Whitehead in eine Ecke. Amerikanische Schüler Whiteheads haben ihn in die Ecke der Prozesstheologen gezerrt und damit ein Bild von Whitehead geschaffen, das für Generationen verzerrt ist. Ich weigere mich, Whitehead als Theologen festzunageln. Ich weigere mich, Whitehead auf einen einzigen Begriff festzunageln, auch nicht auf den Begriff „Prozess“

.

Die Whiteheadforschung hat erst angefangen. Sie muss die Hauptgedanken noch suchen, sie sind nicht systematisch dargestellt, sie werden von Whitehead nicht angekündigt, sie werden ohne eine Festlegung der Wortwahl genannt. Doch Whitehead kommt auf seine Hauptgedanken immer wieder zurück.

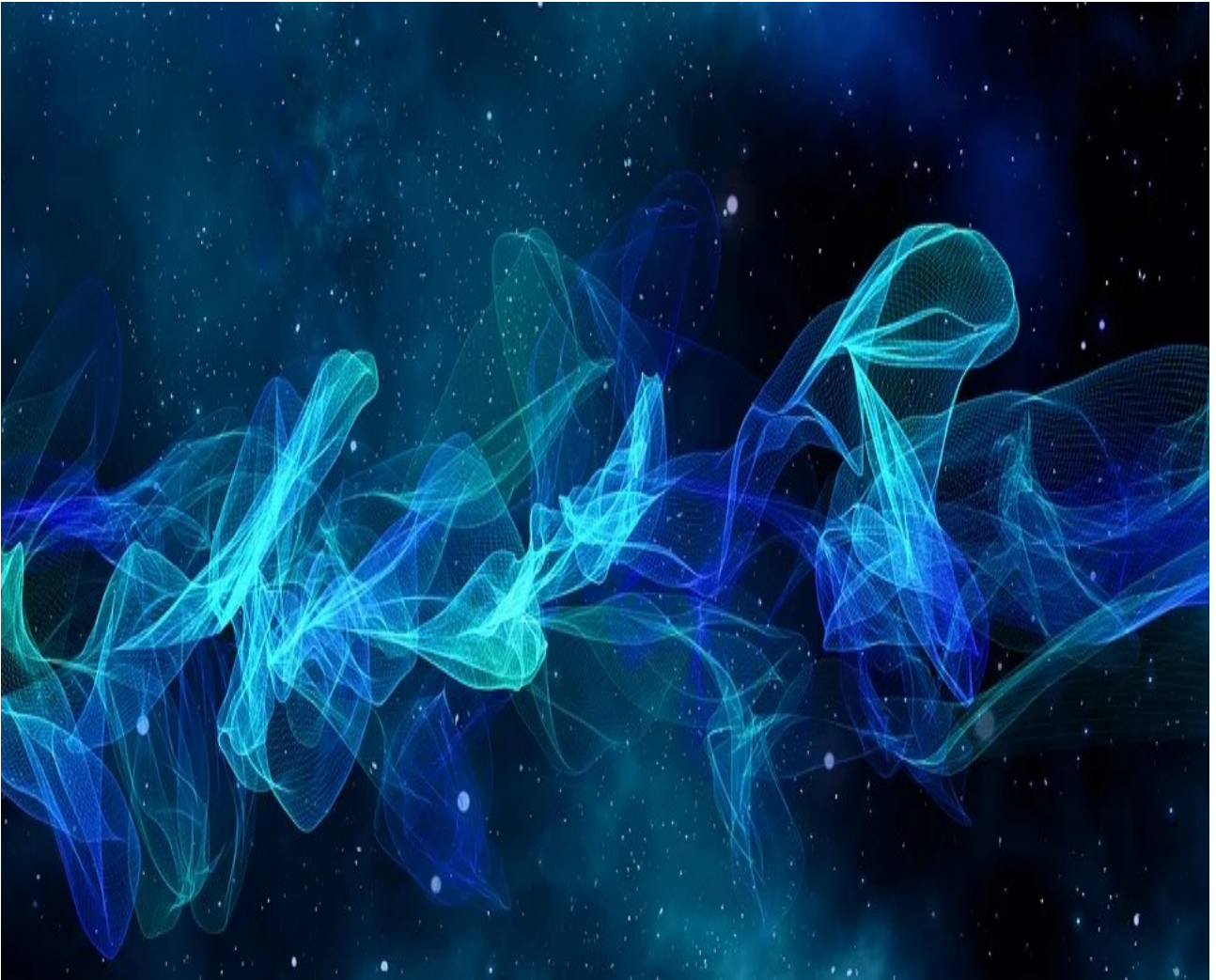
Hinzu kommt eine weitere Schwierigkeit: Die Hauptgedanken von Whitehead sind keine Begriffe und keine Wörter. Eigentlich werden sie sprachlich gar nicht ausgedrückt sondern nur angedeutet oder von der Ebene der Ideen in die Ebene der Sprache übersetzt. Seine Hauptgedanken sind Ideen oder geistige Absichten oder geistige Vorstellungen oder Erkenntnisse, die sich - wie alle philosophischen Ideen - nur in einer fragmentarischen oder verstümmelten oder partiellen oder vagen und unpräzisen Art und Weise in eine Sprache übertragen lassen.

Ein philosophischer Gedanke lässt sich nicht auf ein einziges Wort oder auf einen einzigen Satz oder auf einen einzigen Begriff oder auf zwei drei Zitate festnageln.

Eine philosophische Idee läßt sich überhaupt nicht festnageln. Eine Idee ist umfassender und mehrdeutiger und vielschichtiger und lebendiger und fließender als ein einziger Begriff. Aus diesem Grund hat Whitehead eine seiner Hauptideen in immer wieder wechselnden Worten oder Begriffen zum Ausdruck gebracht, ohne eine Festlegung der Wortwahl. In diesem Zusammenhang erscheint durchaus die Ansicht des 100-jährigen Philosophen Hans-Georg Gadamer vertretbar, wonach man Philosophen nur verstehen könne, wenn man nicht auf ihre Begriffe oder Metaphorik als solche blickt.

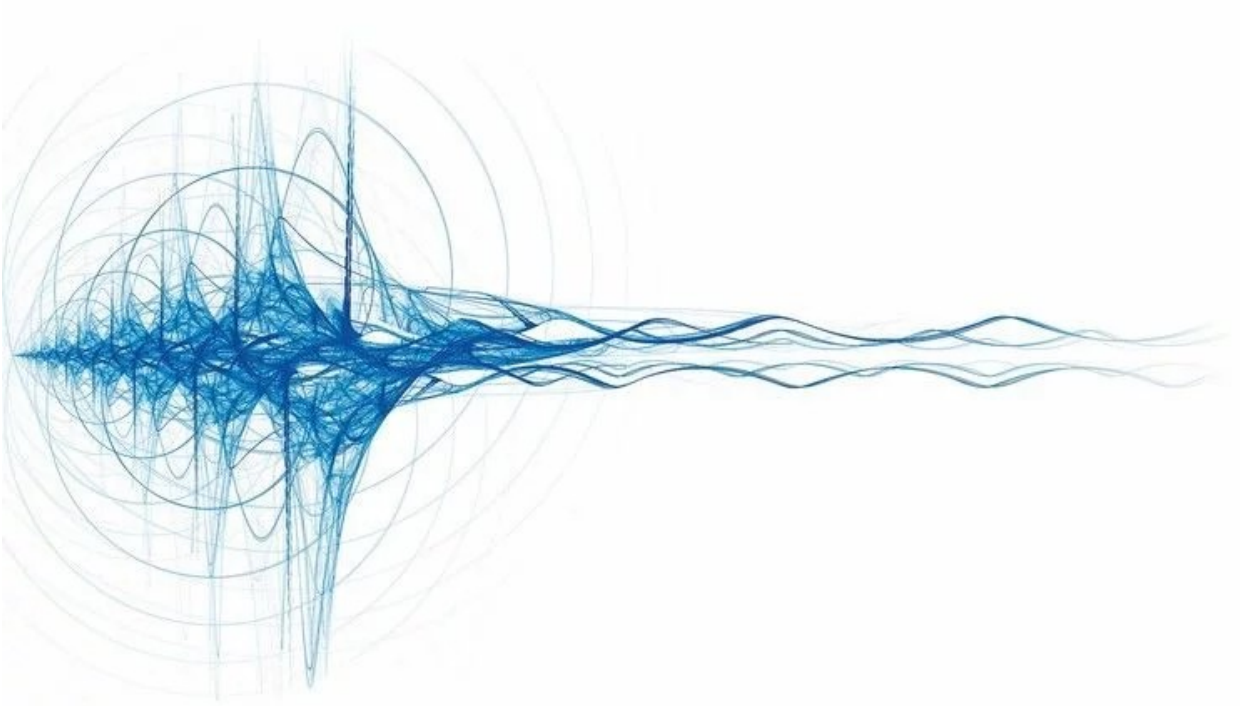
„Was hier verlangt wird“, so fügt Gadamer hinzu, „ist, man muss sich auf das Denken einlassen“ (3).

Ich habe die zahlreichen Worte oder Begriffe, die sich auf Whiteheads Hauptideen beziehen, nicht gezählt. Ich beschreibe an dieser Stelle nur eine Hauptidee mit meinen eigenen Worten. Meine Worte kann man gut und gerne als nicht elegant bezeichnen. Sie leuchten nicht, sie sind unscheinbar und sie sind überhaupt nicht glänzend formuliert. Auch sind sie nicht auf einen einzigen Begriff fixiert. **Worin besteht eine der Hauptideen, auf die Whitehead immer wieder zurückkommt? Es ist die Idee, dass zwischen den Dingen etwas passiert, es ist die Idee, dass ein Ding nicht von seiner Umgebung getrennt werden kann, dass die Übergänge zwischen den Dingen fließen. Es ist die Idee eines Beziehungsgeflechts, das die Verbindung und den Zusammenhang herstellt.**



Schwingung

Diese Idee wird von Whitehead mit ganz verschiedenen Begriffen zum Ausdruck gebracht. Wenn man sich diese Begriffe bildlich vorstellt, sind sie untereinander nicht unbedingt ähnlich. Doch diese verschiedenen Begriffe beziehen sich immer wieder auf den gleichen physikalischen Hintergrund, der von **Michael Faraday** in Europa zum ersten Mal zum Ausdruck gebracht wurde.



Schwingung

https://elsenbruch.info/ph12_schwingungen.htm

https://elsenbruch.info/ph12_schwingungen.htm

4. Vorwegnahme.

Hier nur einige wenige Beispiele als eine Vorwegnahme des ganzen Themas: Manchmal wird eine der Hauptideen Whiteheads mit dem Begriff „**Schwingung**“ bezeichnet oder mit den Worten „**Feld einer unaufhörlichen Aktivität**“ oder mit der Bezeichnung „**reine Aktivität**“ oder auch mit der Bezeichnung „**Schwingungsunterschied**“ oder mit der Metapher „**Theater für Wechselbeziehungen**“. Manchmal ist auch von der Umwelt die Rede, wenn Whitehead metaphorisch schreibt: „die Umwelt dringt in die Natur jedes einzelnen Dings ein“ oder dann, wenn Whitehead von einem „**Beziehungsgeflecht**“ spricht oder auch von „**Verbindungen**“ und oder von der mathematischen Idee der „**Übergänge**“ oder von einer „**Passage**“.

Das sind nur wenige Beispiele an dieser Stelle. Sie reichen hier aus, um zu zeigen, dass verschiedene Begriffe, wenn man sie sich als Bilder oder als Metaphern oder als Allegorien vorstellt, sehr unterschiedliche Begriffe sind, die ganz unterschiedliche Gegebenheiten bezeichnen, die sich doch - trotz aller Unterschiede - auf nur eine Hauptidee Whiteheads beziehen.

Es ist die Idee, dass zwischen den Dingen etwas passiert. Diese Idee war in der Klassischen Mechanik ganz unbekannt und unerforscht.

Ein Beispiel aus der Physik Newtons.

Ein bekanntes Beispiel aus der Physik Newtons ist die Gravitation. Zeitgenossen Newtons, viele seiner begeisterten Anhänger, dachten, Newton hätte die Gravitation erklärt. Dagegen hat sich Newton heftig gewehrt, weil er nicht wusste, was zwischen den Dingen passiert. Er kannte nicht die Kräfte zwischen Erde und Mond. Er wusste nicht, warum der Mond von der Erde angezogen wird. Er konnte sich nicht vorstellen, welche Kraft der Erde eine Fernwirkung auf den Mond ausüben sollte und umgekehrt. Aber natürlich kannte er die **Wirkung** von Ebbe und Flut.

Doch er konnte sich nur mechanische Kräfte vorstellen, die durch unmittelbaren Kontakt wirken, wie Zahnräder, die in einem Uhrwerk ineinander greifen. Und er sagte über sich selbst, er wüsste überhaupt nicht, was Gravitation sei, er würde die **Ursache** der Gravitation nicht kennen, er hätte die Gravitation lediglich mathematisch berechnet.

Hinzu kommt Folgendes: Isaac Newton war Mathematiker und er hatte die neue Auffassung der Klassischen Mechanik von der Mathematik mitbegründet, nach der die Mathematik keine Erklärung, sondern lediglich eine Beschreibung liefert.

Wikipedia. Eine ganz andere, recht kurios wirkende Interpretationen

lesen wir bei Wikipedia. 300 Jahre nach Isaak Newton erklärt uns Wikipedia:

„Das Newtonsche Gravitationsgesetz ist eines der grundlegenden Gesetze der klassischen Physik. Es wurde von Isaac Newton in seinem 1687 erschienenen Werk Philosophiae Naturalis Principia Mathematica aufgestellt. Damit gelang Newton im Rahmen der von ihm zugleich begründeten klassischen Mechanik die erste gemeinsame Erklärung (**Erklärung ?**) für die Schwerkraft auf der Erde, für den Mondumlauf um die Erde und für die Planetenbewegung um die Sonne. Die Newtonsche Gravitationstheorie erklärt (**erklärt ?**) diese und weitere mit der Gravitation zusammenhängenden Phänomene wie die Gezeiten auf der Erde und Bahnstörungen des Mondes und der Planeten mit großer Genauigkeit.“

Was ist eine Erklärung? Newton selber hatte sich bereits

vor mehr als 300 Jahren, heftig und nachdrücklich, gegen solche Erklärungen gewehrt. Wikipedia nimmt Newtons eigene Unterscheidung von ‚Erklärung‘ und ‚mathematischer Beschreibung‘ einfach nicht zur Kenntnis. Das ist ein wirkliches Kunststück. Das muss man Wikipedia erst einmal nachmachen. Denn vor 300 Jahren konnte Newton die Gravitationskraft nicht erklären. **Er kannte nicht die Ursachen für die Gravitation.** Newton lehnte die Möglichkeit oder Hypothese einer unvermittelten Fernwirkung durch den leeren Raum ab, das ist in der Physikgeschichte seit 100 Jahren gut erforscht und gut beschrieben.

Erklärung. Beschreibung. Wir verstehen in der Physik

unter einer Erklärung die Darstellung von Ursache und Wirkung. Doch seit der Klassischen Mechanik wurde eine mathematisch-physikalische Theorie zu einer bloßen Beschreibung, sie ist keine Erklärung, sie erklärt gar nichts, sie verzichtet auf eine

Erklärung von Ursache und Wirkung. Jedenfalls hatte Newton keine physikalische Vorstellung von den Kräften zwischen Mond und Erde, er hatte sie nur mathematisch berechnet, wie er selbst sagte.

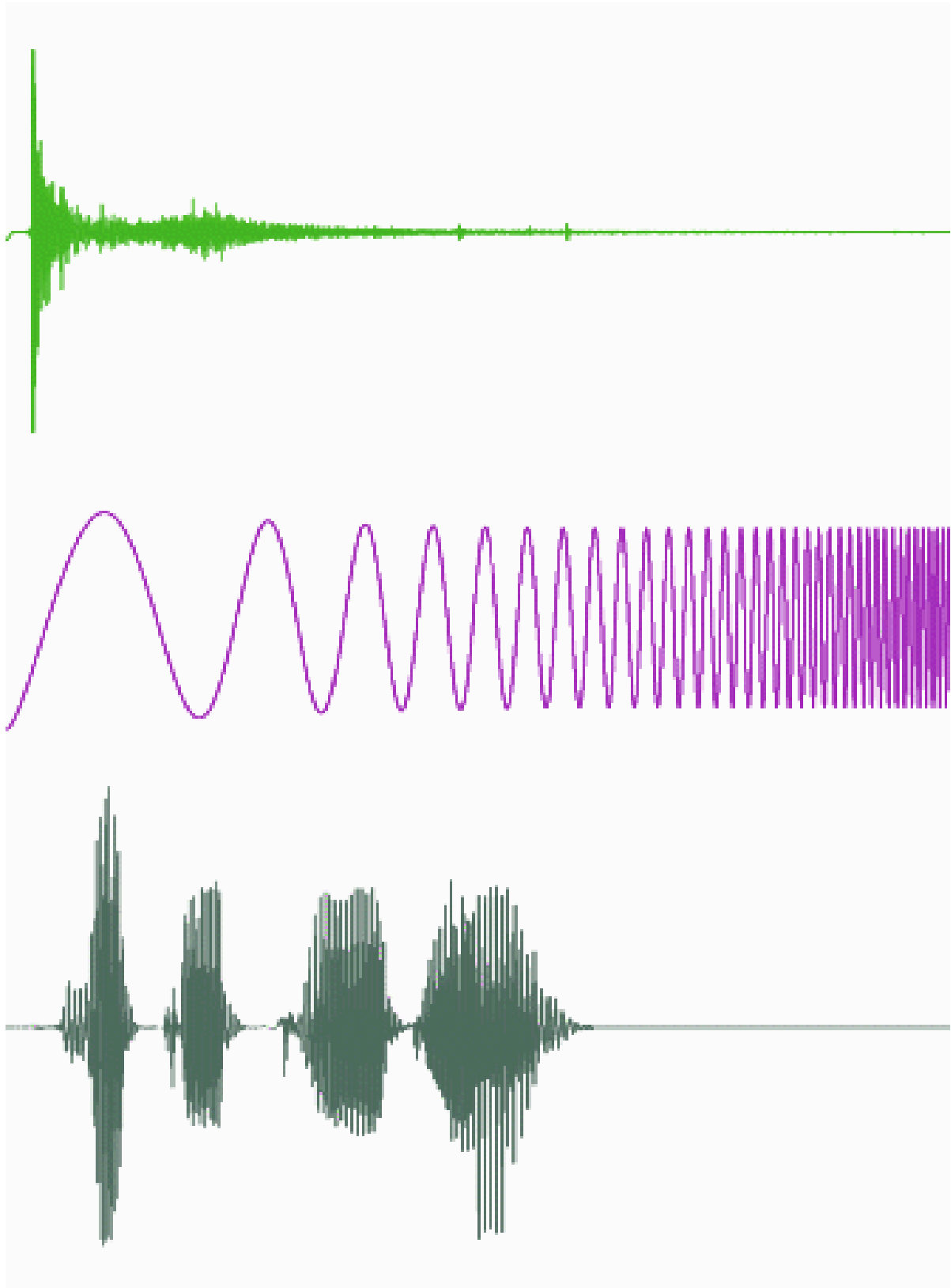
Aber nun wieder zurück zu Whitehead.

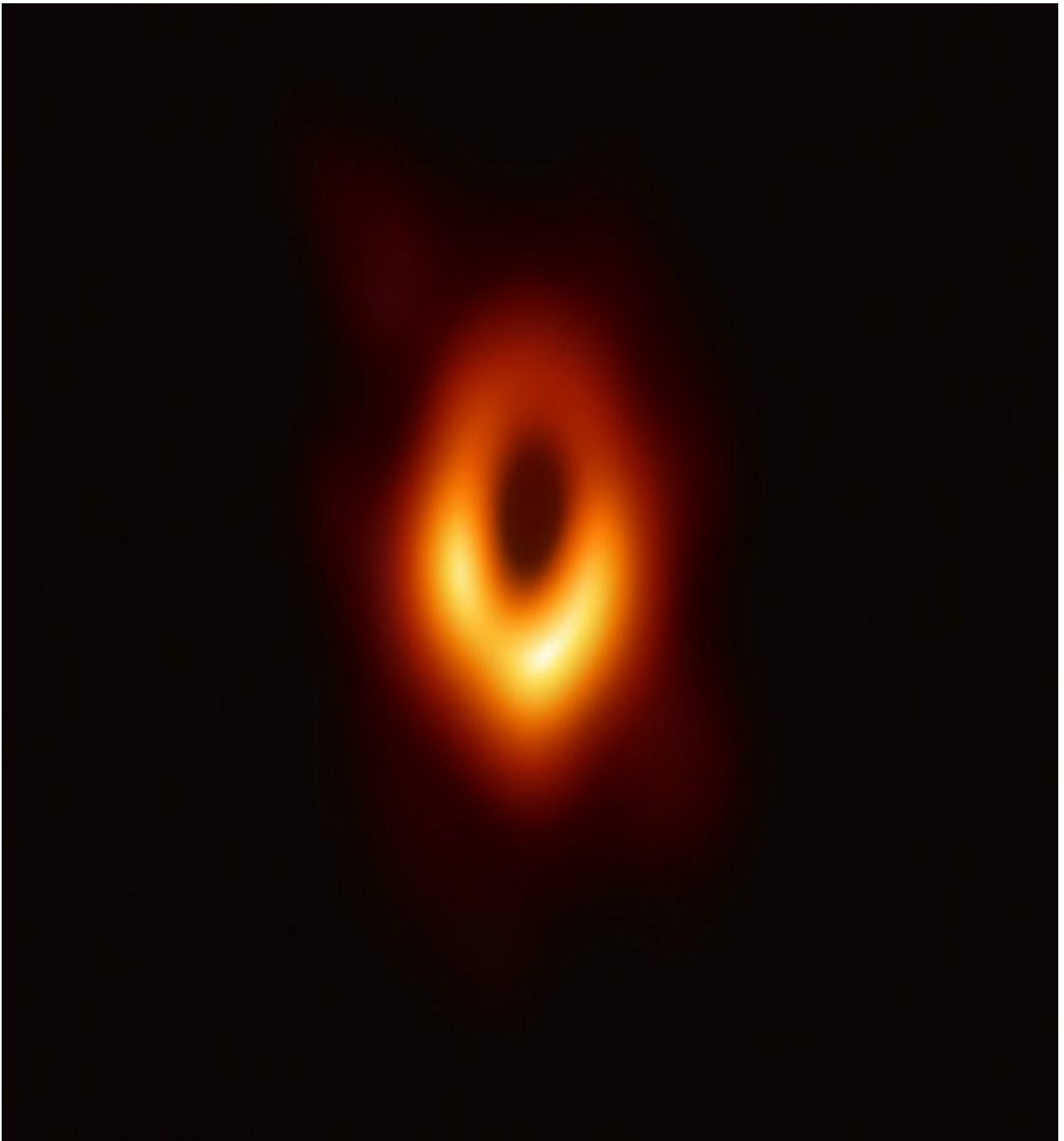
Je nach dem geistigen Training wird jeder Leser mit seinen eigenen Vorprägungen diesen einen Hauptgedanken der Philosophie Whiteheads suchen und finden oder auch nicht. **Ich meine den Gedanken, dass zwischen den Dingen etwas passiert.** Wenn die Gedanken eines Lesers durch ein Training der Klassischen Mechanik geprägt sind, durch Denkstrukturen und Vorprägungen eben, die die Dinge zusammenhanglos oder einfach künstlich zusammengefügt sehen, wie bei einem Uhrwerk oder eben mechanisch wie bei einer Maschine, dann kann er möglicherweise mit Whiteheads Schlüsselwörtern wie ‚**Beziehungsgeflecht**‘ oder ‚**Schwingung**‘ oder ‚**Feld**‘ oder „**Übergang**“ gar nichts anfangen.

Ich zeige an dieser Stelle einige Bilder von Schwingungen aus dem 20. Jahrhundert. Danach zeige ich ein modernes Beziehungsgeflecht.

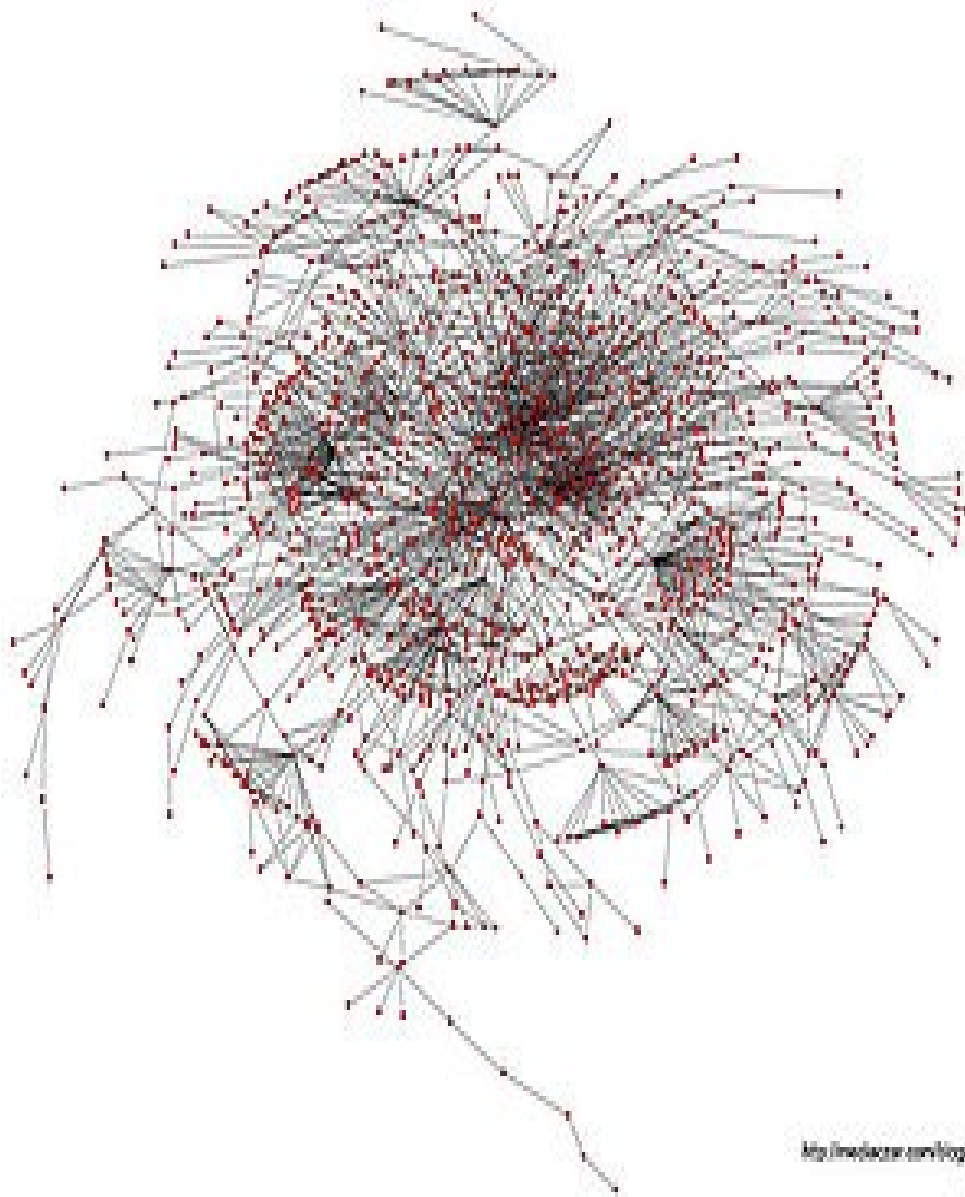
Nächste Seite:

Zeitliche Verläufe des Schalldrucks von unterschiedlichen Geräuschen

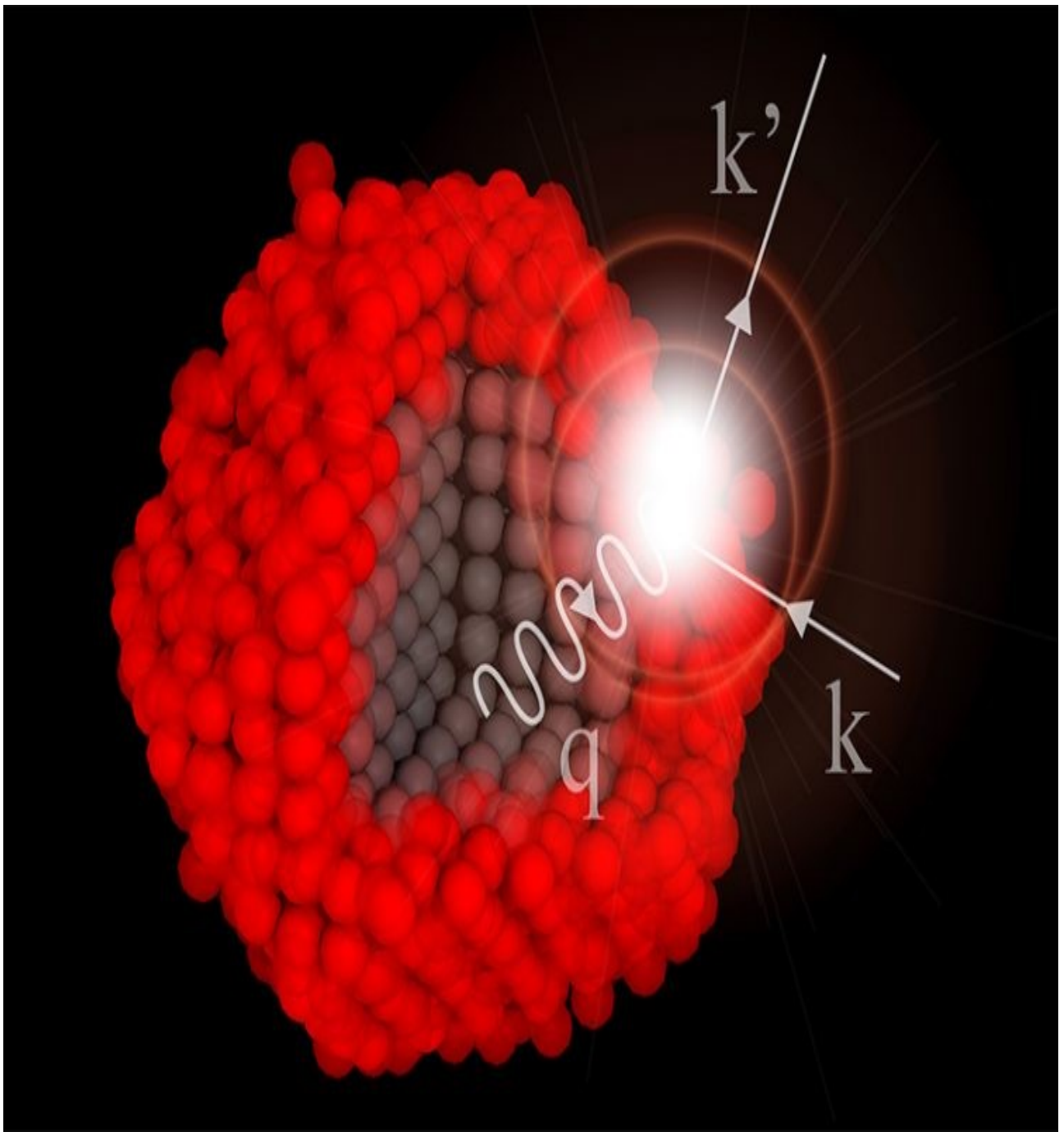




Schwarzes Loch, eine Schwingung



Beziehungsgeflecht



„Materialien bestehen aus Atomen, die bei Raumtemperatur vibrieren. Diese kollektiven Gitterschwingungen, auch **Phononen** genannt, sind für Eigenschaften wie Wärme- und Ladungstransport verantwortlich. Gitterschwingungen in Metallen, Halbleitern und Isolatoren sind heute gut erforscht“.

„Gezähmte Phononen. Die mechanischen Schwingungen eines Kristallgitters, die sogenannten Phononen, lassen sich fast ähnlich elegant manipulieren und kontrollieren wie Mikrowellen und Lichtwellen. Wissenschaftler vom Kavli-Institut für Nanowissenschaften in Delft ist es gelungen, Phononen mit einer Art Wellenleiter über eine Strecke von fast 100 Mikrometer Länge ohne Verluste auf einem Siliziumchip zu transportieren. Wie Simon Gröblacher und seine Kollegen in „Nature Physics“ schreiben, könnten sich daraus neue Möglichkeiten in der Quanteninformationsverarbeitung ergeben“ (Frankfurter Allgemeine Zeitung, 25. Mai 2022).

5. Physikgeschichte

Whitehead schreibt 1929 in seiner kleinen Schrift *„Die Funktion der Vernunft“* über die Physikgeschichte:

„Die Geschichte der mathematischen Physik ist inzwischen schon unendlich oft erzählt worden; aber die Moral der Geschichte ist von so überwältigender Wichtigkeit, dass man sie sich ständig gegenwärtig halten sollte“ (4).

Mein Kurzkommentar zu dieser bemerkenswerten Stelle:

1. Unendlich oft ist die *Geschichte der mathematischen Physik* nun wirklich nicht geschrieben worden. Das ist eine Übertreibung. Eine durchaus verständliche Übertreibung eines Wissenschaftlers, der sich bis zu seinem 68. Lebensjahr, viele Jahrzehnte, mit der *Geschichte der Mathematik* und mit der *mathematischen Physik* beschäftigt hat. Die Beiträge der 11 *Physikhistoriker* wurden fast alle nach dem Jahre 1929 geschrieben. Whitehead hat sie wahrscheinlich nicht gekannt, denn die oben genannten *Physikhistoriker* waren fast alle jünger als Whitehead, die *moderne Physikgeschichte* hat erst nach 1929 richtig begonnen.

2. „Die *Geschichte der mathematischen Physik* ist von überwältigender Wichtigkeit“. Für wen ist die *Geschichte der mathematischen Physik* von überwältigender Wichtigkeit? Spricht Whitehead hier für sich selbst? Spricht Whitehead für Philosophen? Die *Geschichte der mathematischen Physik* ist zunächst

einmal für Whitehead von überwältigender Wichtigkeit, weil sie als physikalische Gedanken den Hintergrund der Philosophie Whiteheads darstellen. Dieser Hintergrund hatte ein Gewicht im Denken von Whitehead. Er hatte ein Gewicht, das philosophische Gedanken nur sehr schwer erreichen können. Muss ich das erläutern? Muss ich das begründen? Muss ich an dieser Stelle beweisen oder belegen, dass physikalische Ideen mehr Gewicht haben als philosophische Ideen? Versteht sich das nicht von selbst?

3. „Wir sollten uns die Physikgeschichte ständig gegenwärtig halten“. Warum denn? Weil der Hintergrund der Physikgeschichte in die Philosophie Whiteheads eingedrungen ist und nicht beiseite geschoben werden kann, ja, geradezu überhand nimmt an Bedeutung und Gewicht. Wie wir noch sehen werden, sind damit ganz besonders die Grundideen **Faradays** gemeint.

6. Die Wurzeln der Klassischen Mechanik.

Aber jetzt sollen zunächst einmal einige Wurzeln der Klassischen Mechanik genannt werden. Obwohl es sehr problematisch ist, eine kurze Zusammenfassung von einem umfangreichen Kapitel der Physikgeschichte zu geben, möchte ich an dieser Stelle in fragmentarischer Form 4 Punkte nennen, die die metaphysischen Fundamente der Klassischen Mechanik ausmachen.

Von keinem Physiker wird verlangt, dass er sich mit den fundamentalen Prinzipien der Physik auseinandersetzt. Physiker sind keine Physikhistoriker und keine Metaphysiker, sie übernehmen einfach die Grundideen oder die metaphysischen Fundamente von ihren Vorgängern, solange, bis sie nicht mehr weiterkommen und bei einem physikalischen Wechsel neue Axiome oder metaphysische Fundamente geschaffen werden.

Darauf haben die Physikhistoriker Burtt, Koyre, Kuhn, aber auch Planck, Einstein und Whitehead hingewiesen, ausführlich und nachdrücklich. Das ist auch aus der Geschichte der modernen Mathematik bekannt. Der Mathematiker Paolo Zellini hat erst vor kurzem darauf hingewiesen.

Noch einmal: Hier geht es nicht um eine Darstellung der Geschichte der Klassischen Mechanik. Hier geht es nur um die Fundamente und Wurzeln der Klassischen Mechanik, die Thomas S. Kuhn Paradigmata genannt hat. An dieser Stelle muss ein sehr kurzer Hinweis von Whitehead ausreichen:

„Die Umformung der mittelalterlichen Ideen zu den Grundideen der modernen Naturwissenschaften ist einer der triumphalen Schritte der menschlichen Geistesgeschichte gewesen“ (6).

Hier nun die metaphysischen Grundrisse oder die Prinzipien, die der Klassischen Mechanik zugrunde liegen, in 4 Punkten. Diese 4 Punkte sind eine extrem kurze Zusammenfassung der historischen Werke der 9 Physikhistoriker, die oben genannt wurden. **Noch einmal: Hier ist von den Wurzeln der Klassischen Mechanik die Rede.**

Der erste Punkt. Er ist sehr bekannt und er ist auch der oberflächlichste. Die Erde wurde von einer kleinen Gruppe von mathematischen Physikern im 16. Jahrhundert nicht mehr als der Mittelpunkt des Planetensystems angesehen. Es waren wahrscheinlich nur 8 Mathematiker, die das Manuskript von Kopernikus im 16. Jahrhundert gelesen hatten und die auch die Fähigkeit hatten, seine mathematische Sprache und seine mathematischen Hypothesen zu verstehen.

Sich von der Erde als Mittelpunkt der Welt oder als Mittelpunkt des Planetensystems zu verabschieden war jedoch keineswegs der einzige, der die Kopernikanische Revolution ausmachte. In Schulbüchern wird das zwar gelehrt, so, als ob es der zentrale Punkt der Kopernikanischen Wende gewesen ist, doch es ist ein Klischee. Dass 8 Physiker im 16. Jahrhundert Kopernikus gelesen haben, kann nun wirklich nicht als eine Revolution bezeichnet werden. Ich möchte es eher eine neue Sichtweise der physikalischen Wirklichkeit in den Köpfen einiger Wissenschaftler bezeichnen. 8 Mathematiker können höchstens als eine ‚Avantgarde‘ einer ‚Revolution‘ bezeichnet werden. Es muss noch weitere Punkte gegeben haben, die das Weltbild des wissenschaftlichen Europas geprägt haben, aber welche? (6a)

Der zweite Punkt.

Im 2. Punkt spielte die Mathematik eine große Rolle. Es fand eine Mathematisierung der physikalischen Wissenschaften statt. Für Galileo Galilei (1564-1642) und Descartes (1596-1650) und für ihre Nachfolger war das Buch der Natur in der Sprache der Mathematik geschrieben. **Das war neu.** Sie hatten nur sehr wenige Vorläufer für diese mathematische Weltansicht. Leonardo da Vinci (1452-1519) gehörte zu den wenigen Vorläufern. Allerdings hat die Mathematisierung der Naturwissenschaften nicht erst mit Galilei begonnen. Bereits im 13. Jahrhundert ist die Mathematik von Robert Grosseteste (um 1168 - 1253), von Leonardo Fibonacci von Pisa (um 1170 - 1240), von Jordanus Nemorarius (frühes 13. Jahrhundert) und anderen als unentbehrlich für das Verständnis der Natur bewertet worden. Deswegen ist Alistair C. Crombie durchaus zuzustimmen, wenn er in seinem detailgesättigten Überblick schreibt:

„Man kann in der Tat die Geschichte der Naturwissenschaft vom 12. bis 17. Jahrhundert unter dem Gesichtspunkt des schrittweisen Vordringens der Mathematik (im Verein mit der experimentellen Methode) in Gebiete, die bis dahin als ausschließliches Reservat der „Physik“ gegolten hatten, betrachten“ (6b).

Auch konnten Galilei und seine Nachfolger ihre aristotelischen Gegner nicht überzeugen. Sie konnten nur abwarten, bis diese in zwei oder drei Generationen ausgestorben waren. Edwin Arthur Burtt, aber auch Max Planck haben uns darauf hingewiesen, dass in einer wissenschaftlichen Krise der Grundlagen die eine Seite keineswegs dadurch gewinnt, dass sie die andere Seite überzeugt.

Die Mathematisierung der Naturwissenschaften wurde zur Grundlage der physikalischen Wissenschaften seit Kopernikus. Schrittweise, stufenweise, über

mehrere Generationen hinweg. In einem Zeitraum von 100 oder 200 Jahren. Das war wiederum keine kurzfristige Revolution, kein Sprung, sondern eine langfristige Evolution.

Der Begriff einer ‚Revolution‘ in den Naturwissenschaften hat an Farbe verloren. Er ist unbrauchbar geworden, weil es vor jeder sogenannten Revolution im alten System Wegbereiter für das neue System gegeben hat und weil einige führende Vertreter des neuen Systems dem alten System viel zu verdanken hatten.

Exkurs: Der Platonismus in der Mathematik

Der Physiker David Layzer hat im Vorwort seines Buches über Das Universum noch einmal einige grundlegenden Ideen der Klassischen Mechanik und der Physikgeschichte Revue passieren lassen. Layzer schreibt in dem Vorwort:

"Wissenschaftshistoriker sehen Theorien gewöhnlich in etwas anderem Licht als Wissenschaftler, die selbst naturwissenschaftliche Theorien aufstellen.

Beispielsweise betrachten Historiker, die über die Revolution in der Astronomie des 16. und 17. Jahrhunderts schreiben, selten die mathematische Struktur der Theorien von Kepler, Galilei und Newton. Statt dessen konzentrieren sie sich auf die "Grundbegriffe" von Theorien, wobei der Mathematik nur die Rolle einer präzisen Sprache zugewiesen wird. Dagegen setzen die Naturwissenschaftler selbst die Mathematik an die erste Stelle. Begriffliche Umschreibungen gelten zwar als hilfreich, aber nicht als das Wesentliche" (Vorwort).

Anschließend zitiert David Layzer auf der ersten Seite seines Buches Galileo Galilei mit berühmten Sätzen, die man als das Weltbild der Klassischen Mechanik bezeichnen könnte:

"Die Philosophie steht in diesem großen unfehlbaren Buch geschrieben, das beständig offen vor unseren Augen liegt, ich meine das Universum. Doch dieses Buch bleibt unverstanden, wenn man nicht zuerst lernt, die Sprache zu verstehen und die Buchstaben zu lesen, aus denen es besteht. Es ist in mathematischer Sprache geschrieben, und seine Schriftzeichen sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne die es menschlich unmöglich wäre, ein einziges Wort davon zu verstehen. Ohne sie irrt man in einem dunklen Labyrinth herum.

Galileo Galilei, Il Saggiatore (Die Goldwaage)".

David Layzer setzt seine Gedanken fort und schreibt:

"Unter Harmonie verstehen Wissenschaftler bei physikalischen Theorien heute eine mathematische Harmonie. Die pythagoreische Vision einer unveränderlichen mathematischen Ordnung hinter der sich ständig wandelnden Erfahrung ist ein wichtiges Element der platonischen Ideenlehre" (...) Kopernikus, Kepler, Galilei, Huygens und Newton sahen sich selbst als geistige Erben dieser Philosophen. Mathematik war für sie nicht nur eine Abstraktion der sichtbaren Dinge, wie Aristoteles meinte, sondern der eigentliche Kern der Realität" (Seite 10).

Hier ist von der unveränderlichen mathematischen Ordnung die Rede und von der platonischen Ideenlehre die Rede. Kopernikus, Kepler, Galilei, Huygens und Newton können wir nicht uneingeschränkt als Philosophen bezeichnen, dazu fehlten ihnen systematische Studien und Auseinandersetzungen mit der Philosophie Platons und mit

den Schriften der Pythagoreer. Aber zweifellos hatten sie sich gedanklich in diese Richtung bewegt, in die Übernahme einiger zentraler Ideen Platons und der Pythagoreer.

Der Platonismus in der Mathematik bleibt nicht bei der Annahme stehen, dass das Buch der Natur in der Sprache der Mathematik geschrieben ist. Er geht noch einen Schritt weiter und versucht der Mathematik einen philosophischen Mantel umzuhängen. Deswegen spreche ich ganz vorsichtig von einem Platonismus in der Mathematik. Damit soll niemand festgenagelt werden. Hier geht es um fließende Übergänge. Einige der bedeutendsten Physiker im 20. Jahrhundert waren der Meinung alle Geheimnisse dieser Welt durch mathematische Modelle lösen zu können. Diese Platoniker, wie ich sie vorsichtig nennen möchte, weil mir kein besserer Begriff einfällt, waren sehr von ihrem mathematischen Wissen überzeugt, alles andere Wissen hielten sie für oberflächlich, nicht viel mehr wert als Briefmarkensammeln (so der Atomphysiker Ernest Rutherford über die Biologie seiner Zeit), da es ungenau und unsicher sei. Unser Wissen aber, so meinten sie, geht in die Tiefe. Es geht so tief, bis wir auf den eigentlichen Kern der Realität kommen, auf etwas absolut beständiges, Unvergängliches, Konstantes (Max Planck), auf eine hinter den Erscheinungen liegende Wirklichkeit (Max Born), auf die Ideen der Materie (Werner Heisenberg). Carl Friedrich von Weizsäcker formulierte seine mathematische Metaphysik oder seine metaphysische Mathematik einmal so: "Wenn man daher fragt, warum gelten mathematische Gesetze in der Natur, dann ist die Antwort, weil diese ihr Wesen sind, weil die Mathematik das Wesen der Natur zum Ausdruck bringt" (6c). **Mein Kommentar:** Das ist in einer philosophischen Sprache geschrieben. Carl Friedrich von Weizsäcker war ein Kenner der Philosophie Platons. Wenn Heisenberg und von Weizsäcker von den Ideen der Materie sprechen, dann verwenden sie einen der zentralen Begriffe der Philosophie Platons. Das Wesen oder die Idee der Dinge

kann für die traditionelle Metaphysik von Platon bis Kant als etwas bestimmt werden, das dauerhaft und unveränderlich, sich selbst ewig gleich, von nichts anderem abhängig, durch sich selbst existierend ist. Das Wesen oder die Idee der Dinge sind der Daseinsgrund für alles andere, die Grundlage der Dinge. Für Platon existierten sie als selbständige Wesen ungeworden, unvergänglich, immer mit sich selbst identisch, unsichtbar und auch sonst nicht wahrnehmbar (Timaios). Für den mathematischen Platonismus sind mathematische Strukturen die immateriellen Grundbausteine der Natur. Aber in dieser kurzen Geschichte der Physik kann ich nicht näher auf diese philosophische Diskussion der Physikgeschichte eingehen. Ich verweise auf meine eigene Veröffentlichung über *Buddhismus und Quantenphysik*, wo dieses Thema ausführlicher diskutiert wird. **Wichtig ist hierbei die Annahme Platonischer Mathematiker und Platonischer Physiker, dass der mathematische Kern der Dinge konkreter sein soll als die flüchtigen Dinge der Welt, in der wir leben.**

Der dritte Punkt.

Ein 3. Punkt der Klassischen Mechanik bestand in der Mechanisierung der Naturwissenschaften. Das ist wahrscheinlich das wichtigste grundlegende Kennzeichen und die wichtigste Wurzel der Klassischen Mechanik. Es ist der wichtigste Punkt, von der sich die moderne Physik verabschiedet hat. Die Mechanisierung der Naturwissenschaften hat die Bedeutung: die Dinge dieser Welt fließen nicht, sie werden als zusammenhanglos gesehen, ohne Beziehung, diskontinuierlich. Die Dinge hielt man für künstlich und mechanisch zusammengesetzt, so wie die Zahnräder eines Uhrwerks.

Exkurs: Gedankenmodelle.

Die Physik wurde von nun an in Modellen, vor allem in Gedankenmodellen dargestellt. Das Modell der Welt oder auch das Weltbild des mechanischen Zeitalters bestand aus der Vorstellung von der Welt als einer Maschine, die wie ein Uhrwerk funktioniert. Descartes und seine Anhänger vertraten die Ansicht, dass die gesamte Physik durch Oberflächen von harten Körpern zu erklären sei, die aufeinander einwirken, d. h. durch Kontakt. Das war eine ‚mechanische‘ Erklärung. Die Klassische Mechanik kannte keine Fernwirkungen.

Was sind Modelle? Modelle oder Gedankenmodelle sind vollkommen abstrakte Objekte, und von allem Materiellem getrennt. Sie haben keinen materiellen Inhalt, sie sind Objekte unserer geistigen Tätigkeit. In einem Modell haben die Dinge keine Vergangenheit und keine Zukunft. Sie haben überhaupt keine Geschichte. Modelle kann man durchaus mit **Landkarten** aus Papier vergleichen. In einer Landkarte gibt es

keine Wälder und keine Ozeane, keine Seen, keine Flüsse oder Straßen, rein gar nichts von alledem. Direkt und unmittelbar beziehen sich Gedankenmodelle auf kein Objekt. Sie haben nur eine strukturelle Ähnlichkeit mit ihrem Objekt. Bereits **Isaac Newton** hatte eine klare Vorstellung über den Gegenstand seiner Forschungen. Seine mathematische Physik versuchte nicht die Natur naturgetreu darzustellen. Deswegen ist dem Historiker I. Bernhard Cohen zuzustimmen, wenn er schreibt.

„Da Newton nicht annahm, dass die mathematische Konstruktion eine genaue Wiedergabe des physikalischen Universums darstellt, konnte er die Eigenschaften und Effekte einer Anziehungskraft mathematisch erforschen, ohne physikalischen Einschränkungen Rechnung tragen zu müssen“. (7)

Dem Philosophen und Physikhistoriker Leon Brunschvicg soll mit einem kurzen Zitat über die Diskussionen im 18. Jahrhundert das Wort gegeben werden:

„Die Geometrie ist vollständig geistig, unabhängig von der tatsächlichen Beschreibung und der Existenz der Figuren, deren Eigenschaft sie feststellt. Alles das, was sie als notwendig begreift, ist real, gemäß der Realität, die sie in ihrem Gegenstand vermutet. Das Unendliche, das sie beweist, ist folglich ebenso real wie das Endliche, und die Vorstellung, die sie sich von ihm macht, beruht wie jede andere auf der Annahme, dass diese nur nützlich sei und gleich nach Gebrauch wieder verschwinden müsse“ (8a).

Im 20. Jahrhundert ist der holländische Mathematiker L.E.J. Brouwer auf den geistigen Aspekt der Mathematik zurückgekommen und in der modernen Geschichte

der Mathematik viel Staub aufgewirbelt. Paolo Zellini berichtet über Brouwer: „In einem ersten Akt macht der mathematische Intuitionismus die Mathematik vollständig unabhängig von der Sprache, in der sie ausgedrückt wird, und erhebt sie zu einer autonomen Tätigkeit des Geistes:

„Im Aufbau des mathematischen Denkens [...] erfüllt die Sprache keine andere Aufgabe als die einer wirksamen, aber niemals unfehlbaren oder exakten Technik, mit der man sich mathematische Konstruktionen merken und sie anderen mitteilen kann“ (8b). Mit anderen Worten: In einem als „absolut“ zu definierenden Sinn sind die entlegensten Mechanismen der mathematischen Erfindung sprachlich nicht darstellbar“ (8c).

Diese beiden abstrakten Punkte, Mechanik und Gedankenmodell, mussten erst einmal zur Kenntnis genommen werden, sie werden schnell vergessen. Besonders dieser 2. Punkt ist gewöhnungsbedürftig im Umgang mit der Natur und im Umgang mit den Naturwissenschaften und jede Generation muss sich diese physikalische Grundlage immer wieder neu bewusst machen. Ich meine den Punkt, dass die Naturwissenschaften durch ihre abstrakten, mathematischen Modelle nichts mehr mit der Natur zu tun haben. Allein die Formulierung eines solchen Satzes fällt mir schwer, er klingt noch immer etwas ketzerisch oder provokativ oder wissenschaftsfeindlich. Es ist vielleicht überzeugender, von einer Landkarte zu sprechen, in der es kein Land gibt, nur eine strukturelle Ähnlichkeit mit Landschaften. So auch die Natur. Sie kommt in den Naturwissenschaften nicht vor, Gegenstände der Naturwissenschaften waren von nun an abstrakte Systeme, Denkmodelle, wissenschaftliche Konstruktionen, theoretische Gegenstände, nicht natürliche, sondern theoretische Körper, die von mathematischen Berechnungen abgeleitet werden, worauf Max Planck in der Zeit des 2. Weltkriegs noch einmal

hinwies. Max Planck sagte in einem noch heute bemerkenswertem Vortrag im November 1941:

„Die unmittelbar erlebten Sinneseindrücke, von denen doch die wissenschaftliche Arbeit ihren Anfang nahm, sind vollständig aus dem Weltbild verschwunden, vom Sehen, Hören, Tasten ist darin nicht die Rede. Statt dessen gewahren wir, wenn wir einen Blick in die Arbeitsstätten der Forschung werfen, eine Anhäufung von äußerst komplizierten und unübersichtlichen, schwer zu handhabenden Messgeräten, erdacht und konstruiert zur Bearbeitung von Problemen, die nur mit Hilfe von abstrakten Begriffen, von mathematischen und geometrischen Symbolen, formuliert werden können, und die dem Laien oft überhaupt nicht verständlich sind“ (8c).

Mit der Natur hat die Klassische Mechanik direkt nichts zu tun. Kein einziger Baum ist in Gedankenmodellen von Bäumen enthalten. Ein Gedankenmodell ist eben zunächst einmal eine Idee und kein Objekt. Beachtenswert ist bei den Worten von Max Planck, dass er ein wichtiger theoretischer Physiker war, kein Romantiker, kein Physikkritiker. Man kann ihn nicht als ein Außenseiter der Physikgeschichte abstempeln. Max Planck reiht sich ein in die Reihe der oben genannten Physikhistoriker.

Die Natur als eine leblose mathematische Maschine zu bezeichnen, die von Gott in Gang gesetzt wurde, ist eine extrem **neue** Sichtweise der Klassischen Mechanik, die im 16., 17. und 18. Jahrhundert immer wieder neu diskutiert wurde. Auch **Sir Isaac Newton (1642-1726/27)** hat sich intensiv an dieser Diskussion beteiligt, doch es war eine physikalische grundlegende Sichtweise der Welt, keine religiöse.

Dass nun der Natur eine mathematische Mechanik oder eine mathematische Maschine zugrunde liegen soll, ist nicht mehr als eine bloße Behauptung, eine metaphysische Annahme, ein Fundament oder ein Prinzip, das den physikalischen Wissenschaften zugrunde lag. Dieses mechanische Weltbild war nicht belegt und nicht bewiesen, es wurde von nun an vorausgesetzt und einige Generationen lang weitergegeben. Dieser Punkt, der darin bestand, die Welt als eine Maschine zu betrachten, wurde durch Faradays bahnbrechende Entdeckungen in der Mitte des 19. Jahrhunderts fallen gelassen. Die moderne Physik hatte sich davon schrittweise verabschiedet.

Überraschend war nur, dass diese Art der ‚Herrschaft der Mechanisierung‘ einige Jahrhunderte lang einen großen Erklärungswert für einen Teil der Natur hatte, für den Teil der Natur, der sich tatsächlich wie eine mathematische Maschine verhält. Seit der Klassischen Mechanik dachten einige mathematischen Naturwissenschaftler wohl, sie könnten eines Tages die ganze Natur mathematisch und mechanisch erklären. Seit der Klassischen Mechanik haben sich die Naturwissenschaften mit der von ihnen sogenannten toten und mechanischen Materie auseinandergesetzt und der Philosophie den Rest überlassen: die Beschäftigung mit dem Geist oder der Seele oder dem Bewusstsein oder dem Leben oder den Sinnesdingen, wie Formen, Farben, Gerüche und dergleichen, die ganze Welt, in der wir leben.

Rückblickend kann man durchaus Edwin Arthur Burtt zustimmen: Physikalisch waren die klassischen Mechaniker großartig, einmalig und erstklassig.

Philosophisch waren sie zweitklassig. Darauf hat Edwin Arthur Burtt vor 100 Jahren ausführlich und mit vielen Beispielen hingewiesen.

Das ist ganz und gar keine altmodische Kritik an der mathematischen Physik, das hat mit einer romantischen Abwertung der mathematischen Physik überhaupt nichts zu tun (Die Wissenschaftshistorikerin Lorraine Daston hatte das gegenüber E.A. Burtt behauptet). Denn der erste bedeutende Kritiker Newtons, der Newtons mathematische Beschreibung der Gravitation kritisierte, war selber ein moderner, herausragender mathematischer Physiker. Er war ein Zeitgenosse von Isaac Newton. Es war der mathematische Physiker und Mathematiker Leibniz (1646-1716). Leibniz prangerte die Fernwirkung der Gravitation wiederholt als "obskure Qualität" an. Es war eben nur eine mathematische Beschreibung und keine philosophische Erklärung und Begründung, in der Bedeutung von Ursache und Wirkung. Aber darauf kann ich mich an dieser Stelle nicht weiter einlassen, hier folge ich den umfangreichen Analysen des bahnbrechenden Physikhistorikers **Edwin Arthur Burtt** aus dem Jahre 1925 und den zahlreichen Analysen seiner Nachfolger.

Der vierte Punkt.

Die Trennung von Physik und Philosophie. Dieser letzte Punkt, der im 16. Jahrhundert begann, muss hier etwas vertieft werden, denn er ist in der Geschichte der Physik nur nebenbei beachtet worden, weil die Trennung von Philosophie und Physik auch heute noch, im 21. Jahrhundert, als eine ausgemachte Sache behandelt wird, so als ob sie einen selbstverständlichen Ewigkeitswert hätte und dem gesunden Menschenverstand entsprechen würde.

Die Klassische Mechanik und nach ihr auch die moderne Physik seit **Faraday** haben die Trennung zwischen Physik und Philosophie zu einer ausgemachten Sache gemacht, die man eigentlich nicht infrage stellen kann. Diese Trennung stellt einen Vorstellungshintergrund der ganzen modernen Wissenschaften dar, fast unbemerkt und kaum hinterfragt, wie eine Selbstverständlichkeit mit einem ewigen Wert und einer absoluten Bedeutung. Seit Immanuel Kant (1724-1804) ist es nach der Auffassung von Whitehead auf beiden Seiten zu einer beklagenswerten Beschränktheit des Denkens gekommen.

„Die Philosophie hat den ihr zustehenden Anspruch auf uneingeschränkte Allgemeinheit aufgegeben; und die Naturwissenschaft hat sich in den eng begrenzten Kreis ihrer Methodik zurückgezogen“ (9)

Die Unfähigkeit zu Verallgemeinern, das Versagen der spezialisierten Naturwissenschaften, die Trennung zwischen Naturwissenschaften und Philosophie zu überwinden, diese Themen können in diesem kurzen Beitrag nur angedeutet werden. Whitehead kommt mit zahllosen Hinweisen und Kurzanalysen immer wieder darauf

zurück. Diese Hinweise durchziehen sein philosophisches Gesamtwerk wie ein roter Faden, den er immer wieder neu aufgreift, in jeder philosophischen Schrift seit dem Jahre 1925.

Mit anderen Worten, wie es auch Edwin Arthur Burtt immer wieder dargestellt hatte: Dieser Punkt besteht in der Anerkennung der physikalischen und mathematischen Methoden als spezialisierte Einzelwissenschaften, mit einem überwältigenden Erfolg, bei gleichzeitigem Versagen, diese Erkenntnisse in einen größeren Zusammenhang einzuordnen.

Vor 100 Jahren hat uns Edwin Arthur Burtt den ausführlichen und begründeten Hinweis gegeben: Als naturwissenschaftliche Spezialisten waren die mathematischen Physiker seit Kopernikus erstklassig, als Philosophen zweitklassig. Keinem Physiker der Klassischen Mechanik ist eine philosophische Verallgemeinerung seiner großartigen physikalischen Erkenntnisse und Entdeckungen gelungen.

Noch einmal gebe ich den Hinweis: Diese Erkenntnis ist keineswegs eine polemische Behauptung. Sie ist nicht nur von Whitehead, sondern auch von Edwin Arthur Burtt und von Alexander Koyre ausführlich seit 100 Jahren beschrieben, analysiert und belegt worden. An dieser Stelle muss ein einziges Zitat von zahlreichen Hinweisen im Gesamtwerk von Whitehead ausreichen. Ich zitiere aus seiner kleinen Schrift *„Die Funktion der Vernunft“*, die 1929 in englischer Sprache veröffentlicht wurde. Der Text hat im 21. Jahrhundert nichts an Aktualität verloren. Er könnte heute geschrieben sein. Seit 100 Jahren hat die recht erfolgreiche Jagd nach isolierten Details und die Unfähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen, eher zugenommen als abgenommen.

Alfred North Whitehead schreibt im Jahre 1929 über unsere Unfähigkeit, physikalische Erkenntnisse zu verallgemeinern: „Wer über eine für die Verfolgung seiner dominierenden Interessen gute Methode verfügt, zeigt häufig bei den umfassenden Urteilen, bei denen es um die Einordnung seiner Methode in ein vollständiges Ganzes der Erfahrung geht, nahezu pathologische Defekte. Das ist ein Punkt, in dem sich Priester und Wissenschaftler, Staatsmänner und Geschäftsleute, Philosophen und Mathematiker auffallend ähnlich sind“ (10).

Es gibt im philosophischen Gesamtwerk von Whitehead hunderte von Hinweisen auf die Physikgeschichte, ganz besonders in seiner Schrift *Abenteuer der Ideen*, wo sich ganze Kapitel mit dem Zusammenhang von Physik und Philosophie beschäftigen. Sie belegen deutlich meine These, dass die Geschichte der mathematischen Physik bei Whitehead nicht von der Philosophiegeschichte getrennt werden kann.

Es geht dabei eigentlich nicht nur um die Wurzeln der Philosophie Whiteheads. Die Geschichte der mathematischen Physik bildet eigentlich nicht nur die persönlichen, gedanklichen Vorprägungen Whiteheads, aus der Zeit, als Whitehead mit Bertrand Russell zusammengearbeitet hat, um eine mathematische Enzyklopädie zu verfassen. Dieser Zeitabschnitt am Anfang des 20. Jahrhunderts stellte einen Höhepunkt des mathematischen Denkens in ganz Europa dar. In dieser Zeit glaubten viele Naturwissenschaftler, mit Hilfe der Mathematik alles erklären zu können.

„Die geistige Haltung“, so schreibt der italienische Mathematiker Paolo Zellini in seinem Buch *„Eine kurze Geschichte der Unendlichkeit“*, „die Russell insbesondere in seinen allgemeinverständlichen Erläuterungen zum Inhalt der *Principia* oder in seinen philosophiegeschichtlichen Exkursen zum Ausdruck bringt, spiegelt dabei

eine starke Tendenz wieder, welche die damalige Zeit beherrschte: Die Mathematik galt demnach als eine Art absolutes Erkenntnisinstrument mit der Fähigkeit, auch die am schwersten zu fassenden Begriffe, so den Begriff des Unendlichen, an die Ketten deduktiver Schlüsse zu legen und sie dabei auf einige unmittelbar einleuchtende Grundbegriffe zurückzuführen". (11)

Die Zeit, um die es hier geht, war der Beginn des 20. Jahrhunderts, ein kurzer Zeitabschnitt, in der die Überzeugung einen Gipfel an Selbstbewusstsein erreichte und weit verbreitet war, dass sich die Mathematik besonders dazu eigene, bestimmte Dinge zu erforschen und dadurch zu absoluten, exakten, wirklichkeitsgetreuen und fehlerfreien Ergebnissen zu gelangen. Es war eine Zeit, in der viele Mathematiker und mathematische Physiker überzeugt waren, der Wahrheit und der Wirklichkeit auf der Spur zu sein und sie eigentlich schon fast erreicht zu haben. Es war eine recht kurze Zeit, in der die mathematischen Wissenschaften über jeden Zweifel erhaben waren. Das war nicht immer so, weder vorher noch nachher. Paolo Zellini's zahlreiche historische Hinweise auf die Geschichte der Mathematik sind wertvoll und bahnbrechend für dieses ganze Thema.

Um diesen vierten Punkt abzuschließen, nenne ich nur eine einzige Bemerkung von vielen, in der Whitehead selber auf seine mathematischen und physikalischen Vorprägungen hinweist. Whitehead schreibt vor fast 100 Jahren in seiner Schrift „*Wissenschaft und moderne Welt*“ über seine eigenen gedanklichen Wurzeln und seinen eigenen Hintergrund:

„Zu dieser organischen Konzeption der Welt kann man auch gelangen, wenn man von den Grundvorstellungen der modernen Physik ausgeht, anstatt, wie oben, von

der Psychologie und der Physiologie. Ich selbst bin aufgrund meines Studiums der Mathematik und der mathematischen Physik zu meinen Überzeugungen gelangt. Die mathematische Physik vermutet vor allem ein elektromagnetisches Aktivitätsfeld, das Raum und Zeit durchzieht" (12).

Mein Kurzkommentar: Whitehead spricht hier nicht über die mathematische Physik als solche, er spricht auch nicht über die Mathematik als solche. Whitehead behauptet nicht, dass die Mathematik als solche oder die moderne mathematische Physik als solche zu einem neuen Verständnis der Wirklichkeit führt. Whitehead spricht über die Grundvorstellungen, über die Grundlagen oder Wurzeln der modernen Physik, die elektromagnetischen Felder, die der modernen Physik seit Faraday zugrunde liegen. Im nächsten Kapitel komme ich darauf zurück. Eine Kurzdefinition von Organismus gibt Whitehead einige Seiten vorher in *„Wissenschaft und moderne Welt“* auf den Seiten 174-175, wo er schreibt:

„Die Relation von Ganzem und Teil hat die spezielle Wechselseitigkeit, die mit dem Begriff des Organismus verbunden ist, worin der Teil für das Ganze entsteht; aber diese Relation herrscht überall in der Natur und fängt nicht erst bei den höheren Organismen an". (13)

Mit diesen Begriffen sind wir am Übergang von der klassischen Mechanik zur modernen Physik angekommen. Er begann 50 Jahre vor der Relativitätstheorie und vor der Quantenphysik. 50 Jahre vor dem 20. Jahrhundert wurden die Grundlagen geschaffen. Das ist der Punkt auf den ich hinaus will.

7. Der Übergang von der Klassischen Mechanik zur modernen Physik.

In diesem Kapitel geht es nicht um wichtige neue theoretische physikalische Entdeckungen oder Erfindungen. Es geht auch nicht um neue oder neuartige physikalische Theorien, wie etwa die Relativitätstheorien oder die Quantenphysik. Es geht in diesem Abschnitt um die Wurzeln der Physik oder um die Prinzipien der Physik, die man auch metaphysische Grundlagen nennen kann. Es wird hier also nicht die Relativitätstheorie oder die Quantenphysik aus dem 20. Jahrhundert mit der Klassischen Mechanik im 18. Jahrhundert verglichen. **Hier werden nur die Fundamente der Relativitätstheorie und die Fundamente der Quantenphysik beschrieben, die sich schon vor dem 20. Jahrhundert entwickelt haben.**

Noch einmal: Worum geht es in diesem Kapitel? Hat die moderne Physik vollständig neue Wurzeln oder hat sie einige Grundlagen beibehalten? Sind die oben genannten 4 Punkte von der Klassischen Mechanik übernommen worden?

Punkt 1 bezog sich auf die Erde als Mittelpunkt. Das wurde in der modernen Physik übernommen. **Punkt 2** bezog sich auf die Mathematisierung der Physik. Dieser Punkt wurde von der modernen Physik übernommen und noch gesteigert, indem auf Anschaulichkeit weitgehend verzichtet wurde. Bereits das elektromagnetische Feld wurde nicht mehr vorgestellt oder dargestellt. Es wurde zu einer Realität durch Messungen. (Das Wichtigste ist, zu verstehen, was ein Feld in der Physik ist. Ein Feld ist ein geometrisches Objekt, das für jeden Punkt in Raum und Zeit einen Wert annimmt. Zum Beispiel ist die Temperatur ein Feld, da die Temperatur von Ort zu Ort variiert und sich von Zeit zu Zeit ändert.) **Punkt 3** bezog sich auf die Mechanisierung

der Welt und auf das Denken in Modellen. Die Mechanisierung ist in der modernen Physik **nicht** mehr aufrecht erhalten worden und das Denken in Modellen wurde zunehmend durch das Denken in mathematischen Operationen ersetzt. **Punkt 4** bezog sich auf die Trennung von Physik und Philosophie. Dieser Punkt ist ein herausragender Punkt der modernen Physik geblieben.

Zusammengefasst:

Der Übergang von der klassischen Mechanik zur modernen Physik fand hauptsächlich dadurch statt, dass sich die Physiker langsam, schrittweise von der Mechanisierung der Naturwissenschaften verabschiedeten, ohne es zunächst selber zu bemerken. Der Übergang von der klassischen Mechanik zur modernen Physik begann nicht erst im 20. Jahrhundert, wie oft behauptet worden ist. Der Übergang war eine Zwischenperiode in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. In diesen 50 Jahren war weder die Relativitätstheorie, noch die Quantenphysik vorhanden.

Der Übergang begann mit dem bahnbrechenden experimentellen Physiker Michael Faraday (1791-1867) und dem 40 Jahre jüngeren mathematischen Physiker James Clark Maxwell (1831-1879), der sich ausdrücklich auf Faraday berufen hatte.

Während der Schlüsselbegriff in den Modellen der klassischen Mechanik in dem Begriff eines unabhängigen Körpers bestand, entstand im Kopf von Faraday ein neues Modell. **Maxwell** schreibt darüber in der Einleitung seines Werkes „*Treatise on Electricity and Magnetism*“ von 1873 („Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus“, 1883):

„Faraday sah beispielsweise vor seinem geistigen Auge Kraftlinien, die den gesamten Raum durchdringen, wo Mathematiker Kraftzentren sahen, die sich über eine Entfernung hinweg anziehen; er gewährte ein Medium, wo jene nichts anderes als eine Distanz sahen“(14).

Das war der entscheidende Punkt, an dem der Übergang von der Klassischen Mechanik mit ihren Modellen von festen unabhängigen Körpern, die im Nichts schwimmen, zur modernen Physik mit ihren Modellen von „fließenden“ oder „schwingenden“ Prozessen oder Feldern zwischen den Körpern begann.

Jahrzehnte der intensiven Forschung über die elektromagnetische Kräfte begannen. Hier möchte ich nur einen einzigen Namen erwähnen, es ist der Name von **Heinrich Hertz (1857 - 1894)**, der als Erster experimentell die Existenz elektromagnetischer Wellen nachgewiesen hat und damit die Gültigkeit der mathematischen Theorien Maxwells.

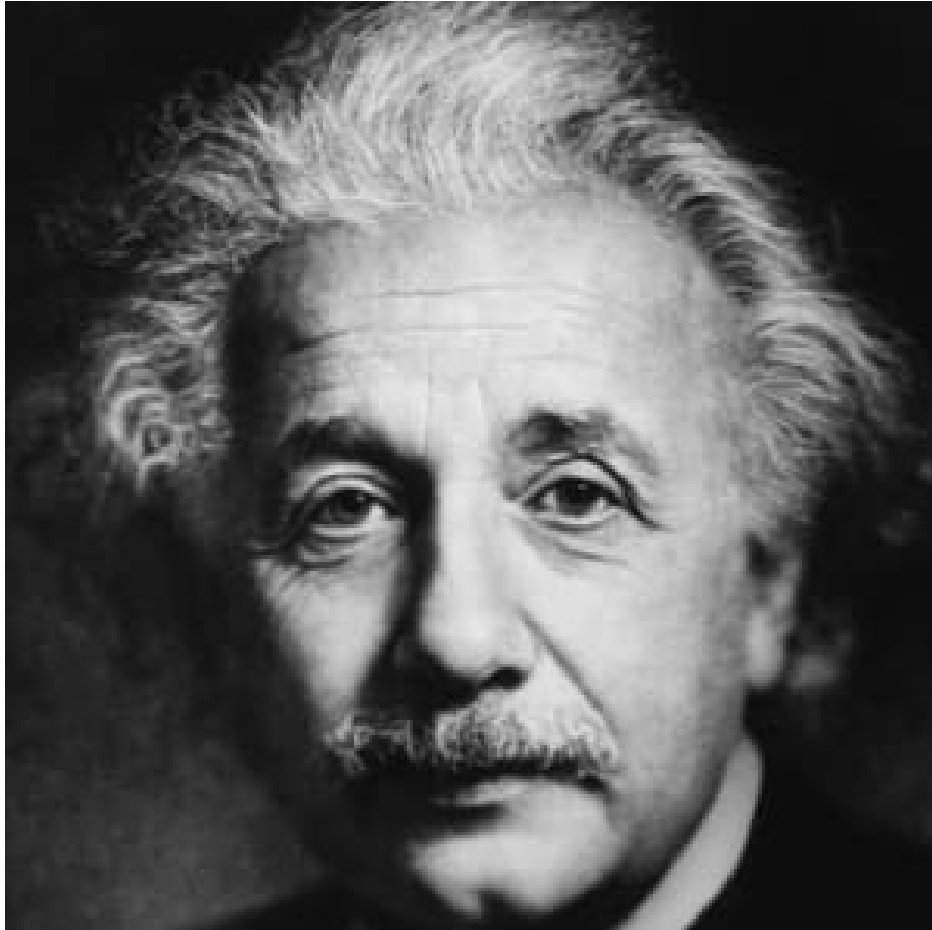
Für diese Übergangsperiode der modernen Physik am Ende des 19. Jahrhunderts wären natürlich Dutzende von Physikern und Dutzende von schrittweisen Weiterentwicklungen auf dem Gebiet des Elektromagnetismus zu erwähnen. Bis Albert Einstein (1879 - 1955) am Anfang des 20. Jahrhunderts mit seinen Relativitätstheorien in Erscheinung trat.

Mit anderen Worten: Die Relativitätstheorien Einsteins stellten nicht den Übergang zur modernen Physik dar. Ganz und gar nicht. Auch die Quantenphysik stellte nicht den Übergang zur modernen Physik dar. Der Übergang der Fundamente fand schrittweise in der Zeit von 1850 bis ungefähr zum Jahre 1950 statt, in einer Periode von ca. 100 Jahren. Er war zunächst einmal eigentlich fast unbemerkt. Fast unbemerkt hatten zwei Generationen von Physikern eine Grundlagenforschung im Zusammenhang mit dem Elektromagnetismus betrieben, die sich von dem zentralen grundlegenden Realitätsbegriff der Klassischen Physik verabschiedet hatte. Für die Klassische Mechanik war es der Begriff eines unabhängigen Körpers. Für die Erkenntnisse auf dem Gebiet des Elektromagnetismus spielte das Modell von einem unabhängigen Körper keine grundlegende Rolle mehr.

Die modernen Physiker waren auf elektrische und magnetische Kräfte gestoßen, die zwischen den Körpern und um die Körper herum wichtig waren und das Verhalten der Körper bestimmten und die man als ein Teil der Körper auffassen konnte.

Das war eine vollständig neue grundlegende Sichtweise von der grundlegenden physischen und physikalischen Realität. Es war keine Fortsetzung der Newtonschen Physik. Es war ein Bruch mit der Klassischen Mechanik, ein Übergang in kleinen Schritten, der den Teilnehmern erst allmählich bewusst wurde.

8. Albert Einstein als Historiker der Physikgeschichte.



Von Faraday und Maxwell zu Einstein.

Einstein war von Maxwell tief beeindruckt und beeinflusst. Aber warum? Eigentlich war er weniger von der Persönlichkeitsstruktur Maxwells als von den bahnbrechenden, wissenschaftlichen Forschungen Maxwells begeistert. Ich glaube kaum, dass Einstein Maxwell für ein Genie hielt. Große Physiker stehen auf den Schultern ihrer Vorgänger und Kollegen, wie Newton, Einstein und viele große Physiker betont haben, wenn sie über sich selber sprachen. Einstein war nicht nur einer der bedeutendsten Physiker im 20. Jahrhundert, er war auch ein Historiker der Entwicklung der Physik und hat sich in seinem Buch, „*Die Evolution der Physik*“ über Faraday und Maxwell wie folgt geäußert, leider kann ich aus Platzmangel nur wenige Zitate nennen. Ich habe von Albert Einstein sehr viele Ideen gelernt, die ich nicht alle nennen kann:

„Es bedurfte eines kühnen Gedankensprunges, um zu erkennen, dass nicht das Verhalten von Körpern, sondern das von etwas zwischen ihnen Liegendem, das heißt, das Verhalten des Feldes, für die Ordnung und das Verständnis der Vorgänge maßgebend sein könnte“ (Seite 194).

„es kann nicht mehr die Rede davon sein, die ganze Physik auf dem Materiebegriff allein aufzubauen, wie es die Physiker des beginnenden neunzehnten Jahrhunderts noch getan haben“ (S.161).

„Die Relativitätstheorie hat uns gelehrt, dass die Materie als ungeheure Zusammenballung von Energie aufgefasst werden kann, während die Energie andererseits auch materiellen Charakter hat“ (Seite 162).

„Materie ist dort, wo sehr viel Energie konzentriert ist; ein Feld ist dort, wo wenig Energie ist“ (Seite 162).

„was unseren Sinnen als Materie erscheint, ist in Wirklichkeit nur eine Zusammenballung von Energie auf verhältnismäßig engem Raum. Wir könnten die Materiekörper auch als Regionen im Raum betrachten, in denen das Feld außerordentlich stark ist“ (Seite 162).

„Wir fassen zusammen: Ein neuer Begriff taucht in der Physik auf, der bedeutendste Gedanke seit NEWTON: das Feld. Die Erkenntnis, dass es bei der Beschreibung physikalischer Vorgänge weder auf die Ladungen noch auf die Partikeln, sondern vielmehr auf das in dem Raum zwischen Ladungen und Partikeln liegende Feld ankommt, darf als wissenschaftliche Großtat angesprochen werden. Der Feldbegriff bewährt sich außerordentlich gut und führt zur Formulierung der Maxwell'schen Gleichungen, welche die Struktur des elektromagnetischen Feldes angeben und sowohl die elektrischen als auch die optischen Phänomene umfassen“ (163).

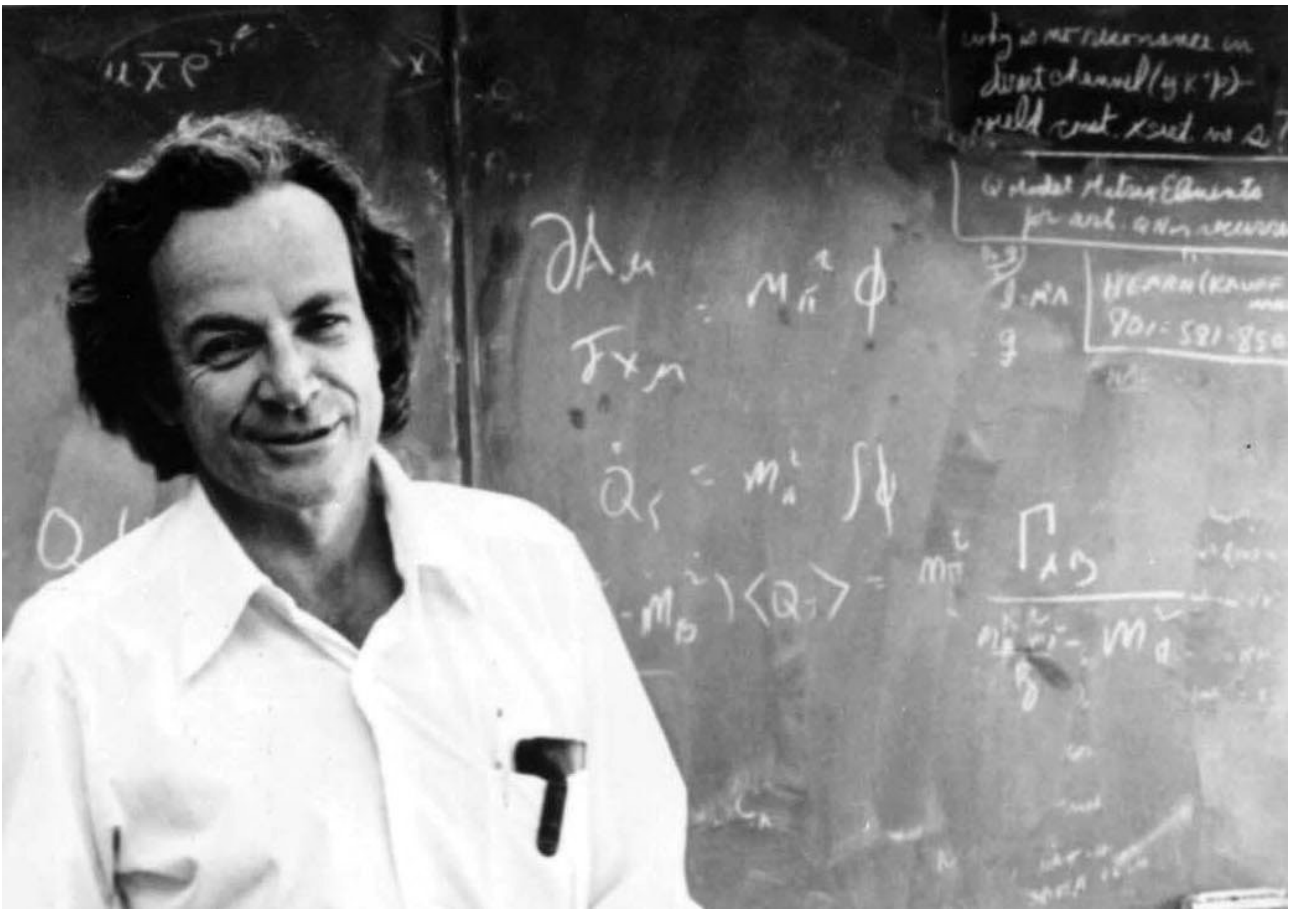
„Eine weitere Folgerung aus der (speziellen) Relativitätstheorie ist der Zusammenhang zwischen Masse und Energie. Masse ist Energie, und Energie besitzt Masse“ (15a).

Das wurde im Jahre 1957 geschrieben, rund 100 Jahre nach Faradays Entdeckungen. Auch in seiner Autobiographie hat Einstein den Übergang von der klassischen Physik zur modernen Physik betont. Er sprach dort von der Physik bis Maxwell und von der Physik seit Maxwell. Einstein schreibt:

„Vor Maxwell dachte man sich das Physikalisch - Reale soweit es die Vorgänge in der Natur darstellen sollte - als materielle Punkte, deren Veränderungen nur in Bewegungen bestehen, die durch gewöhnliche Differentialgleichungen beherrscht sind. Nach Maxwell dachte man sich das Physikalisch - Reale durch nicht mechanisch deutbare, kontinuierliche Felder dargestellt, die durch partielle Differentialgleichungen beherrscht werden. Diese Veränderungen der Auffassungen des Realen ist die tiefgehendste und fruchtbarste, welche die Physik seit Newton erfahren hat“ (16).

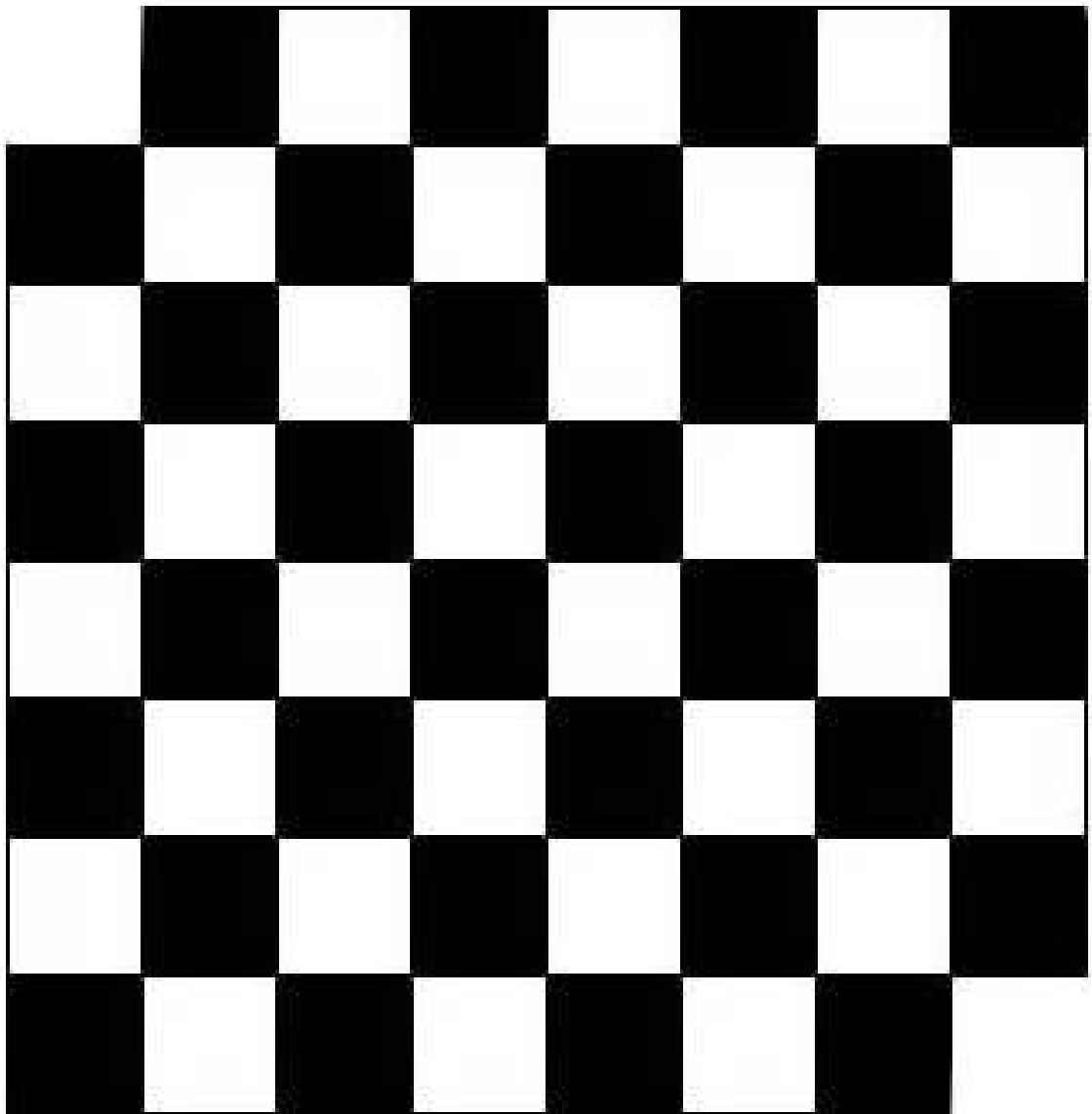
Mit den Worten des Physikers und Nobelpreisträgers Julian Schwinger: „Einstein konfrontierte (darin) die beiden damals akzeptierten Möglichkeiten zur Beschreibung der Energieverteilung im Raum. Nach der Newtonschen Mechanik ist die Energie eines Körpers in seinen verschiedenen Bestandteilen konzentriert, während sich die Energie nach Maxwells Theorie des Elektromagnetismus über das gesamte Gebiet erstreckt, das vom elektromagnetischen Feld eingenommen wird“(16a).





„Aus einer langen Sicht der Menschheitsgeschichte - etwa in zehntausend Jahren - kann es kaum einen Zweifel daran geben, dass das bedeutendste Ereignis des 19. Jahrhunderts die Entdeckung der elektodynamischen Gesetze durch Maxwell sein wird“, Richard Feynman, Lectures on Physics, 1964.

Darum geht es in der modernen Physik. Das sind die neuen Denkweisen der modernen Physik. Das ist das neue Fundament: die Energie nicht mehr in den Körpern sondern zwischen den Körpern zu suchen. Die moderne Physik hat sich vom Klischee und Schema des Schwarz-Weiß-Denkens verabschiedet. Seit Faraday und Maxwell beschäftigt sich die moderne Physik nicht mehr mit dem Modell der isolierten Körper, die im Nichts schwimmen, sondern mit den Zwischenräumen zwischen den Körpern, mit dem flexiblen Beziehungsgeflecht zwischen den Dingen, mit dem Netzwerk, das die Dinge umgibt, was Faraday das „elektromagnetische Feld“ nannte und mit den Zusammenhängen oder mit dem, was die Welt im Innersten zusammenhält. Und das ist eine physikalische Erkenntnis, die durchaus vorsichtig verallgemeinert werden kann. Der Geltungsbereich dieser Denkweisen kann durchaus vorsichtig erweitert werden. Er kann zu einer Verabschiedung des Denkens in anderen Gebieten des Denkens führen, in denen ein Schwarz-Weiß-Denken noch immer vorherrscht.



Schwarz-Weiß - Schema

Exkurs: Aristoteles.

Mit dem Schwarz-Weiß-Schema ist Folgendes gemeint. Bereits Aristoteles formulierte als ein logisches Prinzip: Entweder besteht ein Sachverhalt oder er besteht nicht, tertium non datur, ein drittes gibt es nicht. Das bedeutete: Es gibt keinen Übergang zwischen Schwarz und weiß, es gibt keinen Zwischenbereich zwischen den Dingen, es gibt nur isolierte Sachverhalte, die im Nichts schwimmen, keine Verbindungen, keine Zwischenstufen, keine Zusammenhänge und keine Übergänge. Dieses logische Prinzip durchzieht die klassischen und modernen Wissenschaften wie ein roter Faden. Es stellt einen selbstverständlichen Hintergrund wissenschaftlicher Denkweisen dar. Wie wir noch sehen werden, war Michael Faraday der erste europäische Wissenschaftler, der sich von diesem Schwarz-Weiß-Schema verabschiedete, indem er gerade das zwischen den Dingen Liegende als grundlegendes physikalisches Fundament beachtete. Die Übergänge waren für Faraday keine Verzierungen, die man einfach vernachlässigen könnte. In dem Bereich der mathematischen Wissenschaften folgte ihm am Anfang des 20. Jahrhunderts der holländische Mathematiker Luitzen Egbertus Jan Brouwer (1881 - 1966). Brouwer argumentierte nach gründlichen mathematischen Überlegungen: „Wenn das Unendliche ins Spiel kommt und man den Begriff des Unendlichen als ein nie zu Ende Kommendes ernst nimmt, dann verliert das Prinzip des tertium non datur seine Gültigkeit“ (16b).

Beachtenswert ist im 21. Jahrhundert die Aristotelische Logik noch immer, da ein Computer nach seiner Logik funktioniert. Es geht dabei um den **Binärcode**. Ein Code, in dem Informationen durch Sequenzen von zwei verschiedenen Symbolen dargestellt werden. Computer funktionieren mit diesem Code. Es ist die Programmiersprache eines Computers, dabei ist von einer Maschinensprache oder von einem Maschinencode die Rede. Quantencomputer kennen Übergänge oder Zwischenstufen, zahlreiche Zwischenstufen, die ganz andere Geschwindigkeiten ergeben

9. Kapitel. Alfred North Whitehead

A. N. Whitehead (1861-1947) war in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein außerordentlicher Mathematiker, Philosoph und Wissenschaftsphilosoph, der die philosophische Tradition Europas als eine Reihe von Fußnoten zu Platon charakterisierte und sie gegen den Strich bürstete. Whitehead war ein historischer Philosoph, es ging ihm jedoch nicht um die geschichtlichen Ablauf der Philosophie, ihm ging es darum, die erhellenden Potentiale der betrachteten Philosophen für die gegenwartsbezogene Diskussion bestimmter philosophischer Sachfragen zu erkunden. Seine Rückblicke waren problembezogene Prüfungen dessen, was von der Vergangenheit zu lernen ist. Whitehead integrierte sich selber in diese philosophische Tradition Europas, um die beiden grundlegenden Ideen der europäischen Philosophie, die Idee des Absoluten und des unabhängigen Subjekts, abzuschütteln und hinter sich zu lassen. Damit hat Whitehead den europäischen Denkweisen eine neue Richtung gegeben.



Basar, Aleppo, Durchgang

Welche Richtung? Die Richtung auf das zwischen den Dingen Liegende, wie es Albert Einstein (1879-1955) für die Physik seit Faraday formulierte, auf die Mitte, die Vereinigung, den **Durchgang**, den **Übergang**, auf die Beziehung und das Band zwischen den Dingen, auf den Kontakt, wie es ein recht unbekannter Gelehrter, Vincenzo Gioberti 1864 in Neapel formulierte. Wir verdanken die Hinweise auf Gioberti dem italienischen Mathematiker Paolo Zellini. (17)

Whiteheads Prozessphilosophie ist von Christoph Kann zusammengefasst worden und soll hier nicht noch einmal dargestellt werden. Doch dient Kanns gelungene, meisterhafte Zusammenfassung, als eine bequeme Grundlage für diesen kleinen Überblick. (18).

In seinem Spätwerk *Denkweisen* schreibt Whitehead im Jahre 1938 gleich zu Beginn, wie man mit einer philosophischen Auseinandersetzung anfangen sollte, nämlich durch eine Sammlung der wichtigsten Begriffe und nicht durch eine systematische Darstellung:

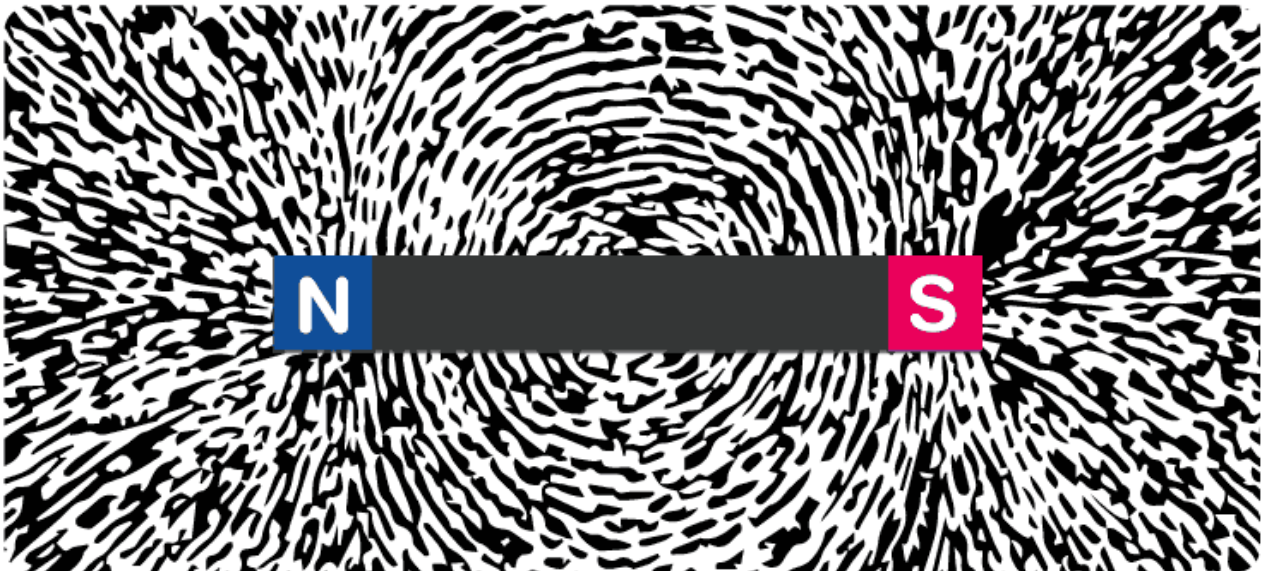
„Philosophie kann nichts ausschließen. Sie sollte folglich niemals mit einer Systematisierung beginnen. Ihr anfänglicher Zustand kann nur „Sammlung“ genannt werden. Das ist natürlich ein nie endender Prozess. Alles was erreicht werden kann ist die Betonung einiger weniger umfangreicher Begriffe, zusammen mit der Erlangung einer Aufmerksamkeit für das Facettenreichtum anderer Ideen, die im Zusammenspiel eben dieser Begriffe hervortreten, die vorgängig ausgewählt worden sind“ (S. 47). Diese Hinweise setzt Whitehead fort und schreibt auf der Seite 50: **„Wir müssen das Thema im Groben erfassen, bevor wir es glätten und formen“.** (19)

Darum geht es mir in der folgenden Sammlung von wichtigen Begriffen, die sich wie ein roter Faden durch die Werke Whiteheads ziehen. Allerdings ohne einen Vollständigkeitsanspruch.

Hier soll an einen wichtigen Punkt der Philosophie Whiteheads erinnert werden. Ich meine vor allem die Begriffe der wechselseitigen Abhängigkeiten der Dinge oder der wechselseitigen Verbundenheit der Dinge und ganz ähnliche Begriffe, die ich darstellen möchte. Mit diesen Ideen werden die Ideen von einem absoluten Sein und von einem absoluten Subjekt zurückgewiesen. Sie lassen sich nicht auf einen Begriff bringen. Wie wir das bereits seit Platon kennen, sind solche Ideen und Schlüsselbegriffe ohne eine Festlegung in der Wortwahl. Whitehead verwendet immer wieder andere Begriffe, er lässt sich nicht auf einen Begriff festnageln,

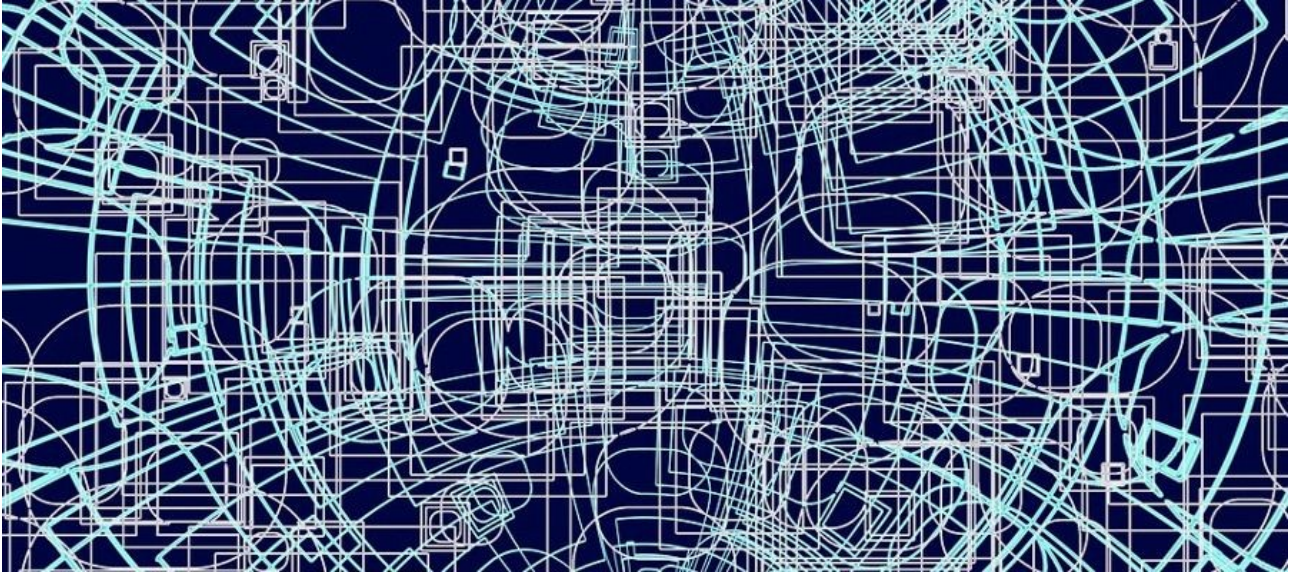
„denn der voreilige Gebrauch irgendeines geläufigen Worts muss unweigerlich dazu führen“ meint Whitehead in *Abenteuer der Ideen*, „dass wir den angestrebten Grad von Allgemeinheit nicht erreichen“. „Wir brauchen die Ausdrücke „zusammen“, „das immanent Schöpferische“, „die Konkreszenz“, „das Erfassen“, „das Fühlen“, „die subjektive Form“, „die Gegebenheiten“, „Wirklichkeit“, „Werden“ und „Prozess“, sagt Whitehead (20).

Relationalität oder die wechselseitige Abhängigkeit der Dinge.



Relationalität oder Abhängigkeit: Dipol

Für diese und ähnliche Begriffe hat sich weder bei Whitehead selber noch in seiner Wirkungsgeschichte ein einzelner Begriff durchgesetzt. Wie beiläufig taucht der Begriff der **Abhängigkeit** auf, wenn eine unabhängige, unbewegliche, starre Existenz der Dinge negiert wird (Seite 66 bei Christoph Kann). Wie ein roter Faden durchzieht er Whiteheads Gesamtwerk. Wirkliche, konkrete Dinge sind **abhängig** von anderen konkreten Dingen, sie befinden sich in einer **Vernetzung** mit ihrer realen Welt (Seite 196).



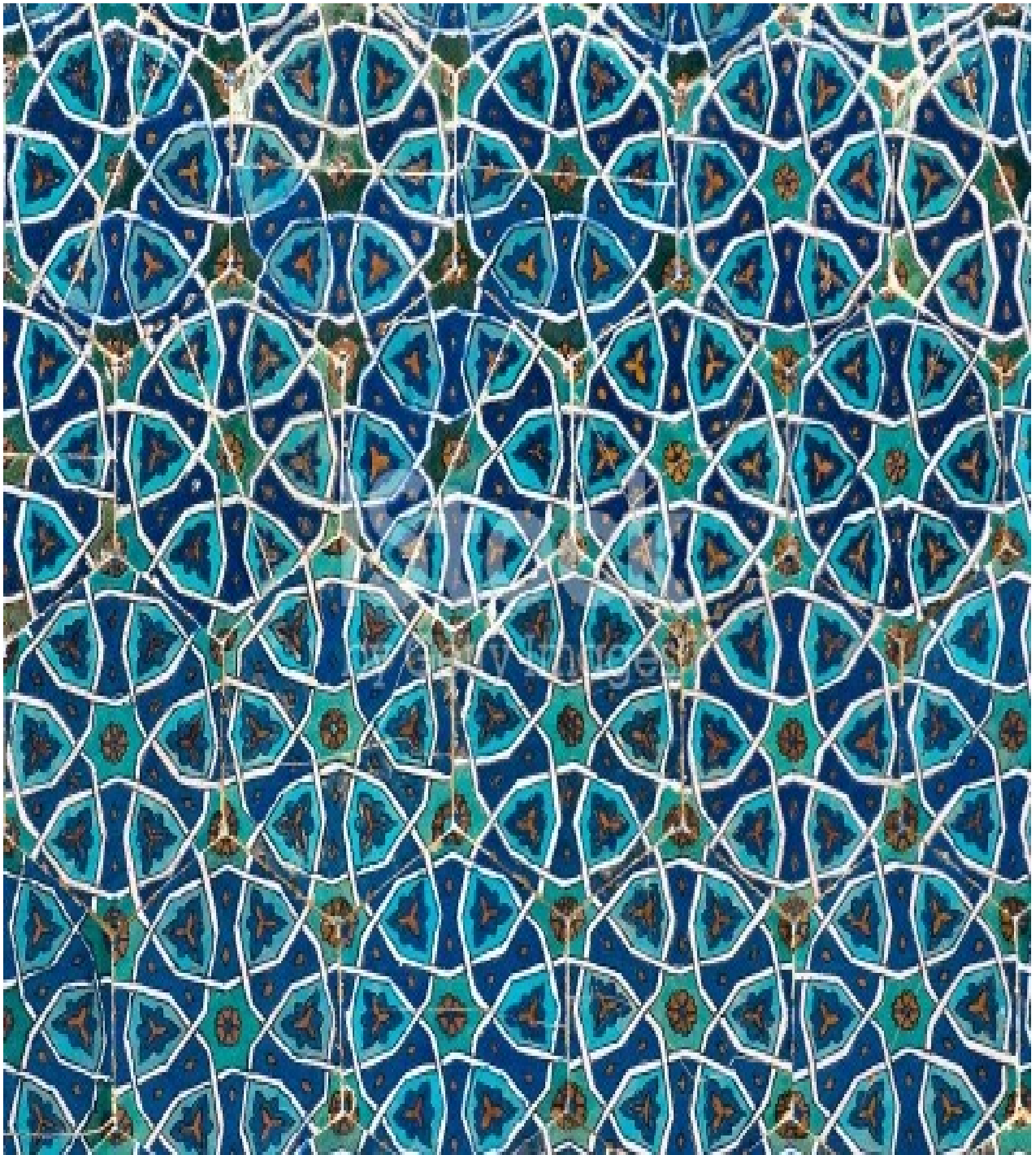
Digitale Vernetzung

Whitehead spricht von einer **offensichtlichen Verbundenheit des Universums** (Seite 201 bei Christoph Kann). An einer anderen Stelle ist von **Relationen** die Rede, sie bezeichnen die **Beziehungen** oder auch die **inneren Relationen**, die alle Realität **aneinander binden** (Seite 208 bei Christoph Kann).

Bei unseren Anschauungen - macht Whitehead gegenüber Immanuel Kant geltend - geht es nicht nur um abstrakte Daten. Den Daten entsprechen **wechselseitige Zusammenhänge der Realisierung** (Seite 229 bei Christoph Kann) in einem mehrstufigen Empfindungsprozess. Christoph Kann fasst Whiteheads Sichtweise zusammen: „Initiiert durch die Aristotelische Substanzmetaphysik hat für Whitehead die Philosophie einen Weg eingeschlagen, der den **Gesichtspunkt einer universellen Bezogenheit** der Erfahrungswirklichkeit sowie den platonisch Grundgedanken vom Sein als Werden preisgegeben hat“ (Seite 239 bei Christoph Kann).

Bei der Substanzmetaphysik bleibe - nach Whitehead - die Frage nach **Zusammenhängen und Beziehungen zwischen den Dingen** außerhalb der Betrachtung, eine Welt, in der es Beziehungen zwischen realen Individuen gibt, wird „schlechthin unverständlich“ (Seite 126 bei Christoph Kann).

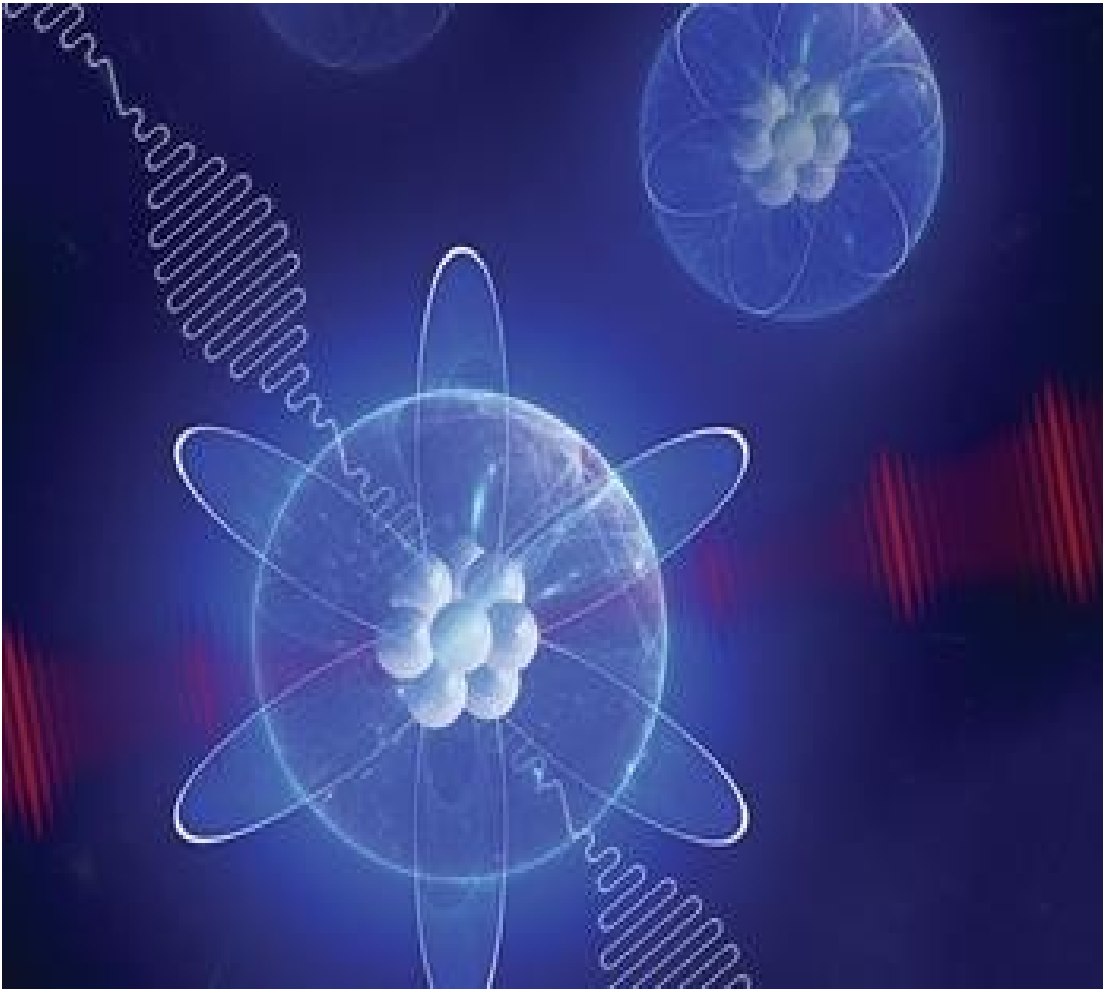
Whitehead meint, auch bei den mathematischen Grundlagen der Physik Isaak Newtons lassen sich keine inneren Gründe des **Zusammenwirkens** angeben (Seite 181 bei Christoph Kann). Es fehlen **reale Beziehungen** zu realen Subjekten und realen Objekten (Seite 171 bei Christoph Kann). Auch fehlt die Kategorie des **Bezogeneins der Dinge**, schreibt Whitehead an einer anderen Stelle mit ganz ähnlichen Worten (Seite 132 bei Christoph Kann). Denn gemäß unserem natürlichen Bewusstsein und unserer Selbsterfahrung erscheint die Natur nicht als ein Nebeneinander isolierter Materieteilchen, sondern als ein **Geflecht organisch verbundener Wesenheiten** (Seite 182 bei Christoph Kann).



Kachel. Marokko. Geflecht.

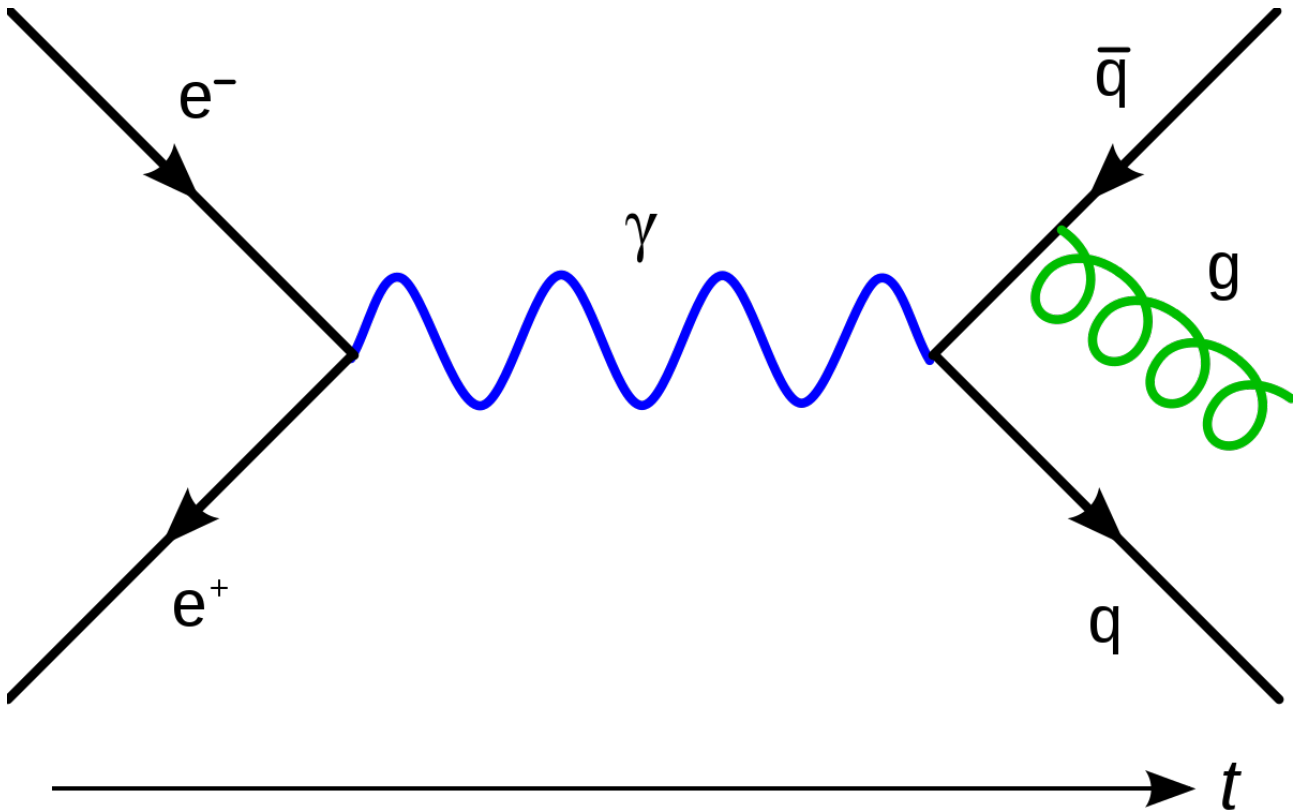
Dieses **Geflecht zwischen den Dingen**, taucht unter verschiedenen Bezeichnungen auf. Whitehead nennt es auch **Beziehungsfeld** (Seite 183 bei Christoph Kann), manchmal ist von einer **notwendigen Kohärenz** oder **Bezogenheit aller Glieder eines Systems** die Rede (Seite 108 bei Christoph Kann) oder von einem **Kraftfeld** (Seite 185 bei Christoph Kann) oder von **elementaren Prozesseinheiten**, die den materiellen Dingen zugrunde liegen, statt der überholten Idee eines leeren Raumes (Seite 185 bei Christoph Kann).

Whitehead weist darauf hin, in der neuen Physik gebe es eine **Wechselwirkung mit der Umgebung** (Seite 186 bei Christoph Kann),



Wechselwirkung von Licht und Materie

Künstlerdarstellung eines Experiments: Die Sequenz von zwei Laserfeldern interagiert mit den Elektronen, die in einem Atom zirkulieren. Das Ergebnis ist der Nachweis der Form einer elektronischen Wellenfunktion mit einer sechsfachen Symmetrie.



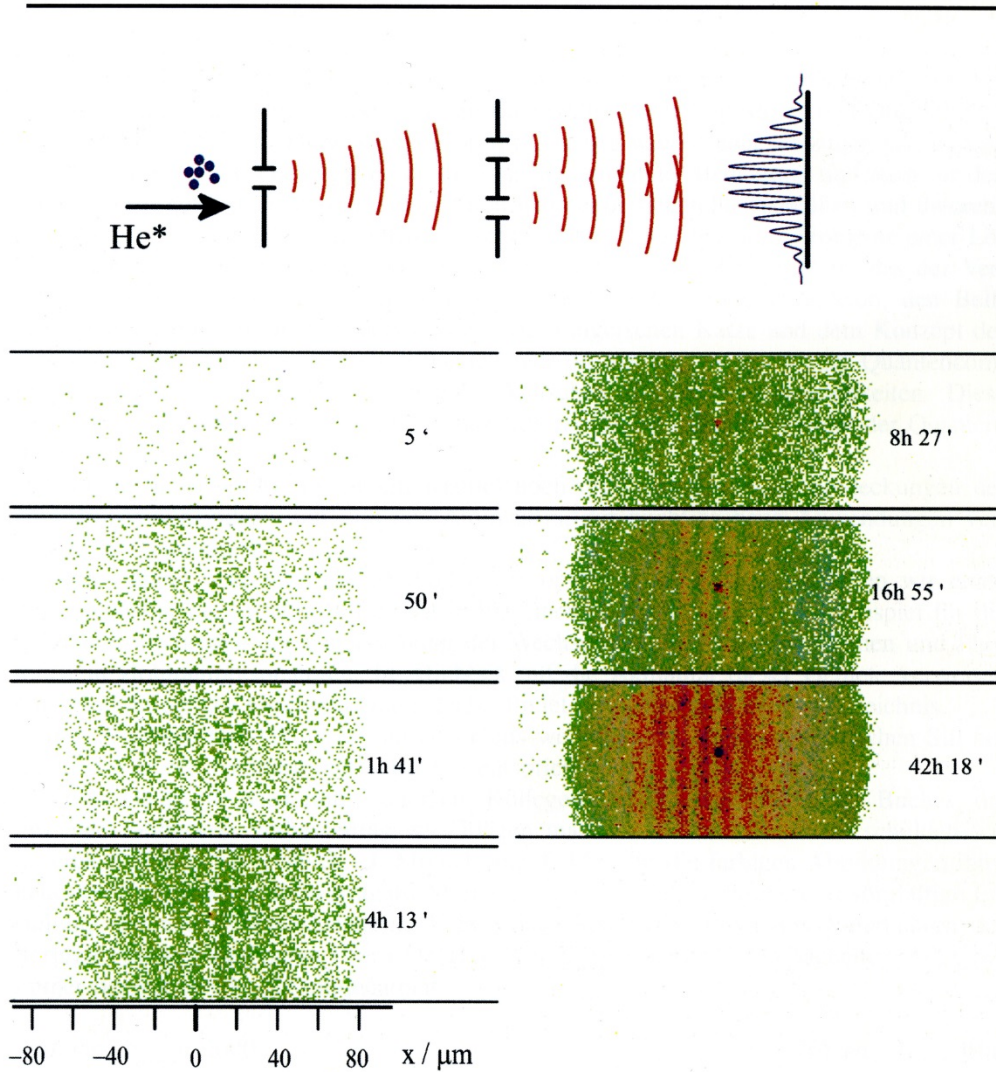
Ein Feynman Diagramm. Elektromagnetische Wechselwirkung.

„Drei Grundkräfte bestimmen die Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen, und all diese Wechselwirkungen lassen sich als Austausch eines „virtuellen“ Teilchens beschreiben, das gleichsam als Träger der Kraft fungiert. Geladene Teilchen tauschen bei der elektromagnetischen Wechselwirkung ein Photon (γ) aus“ (Howard Georgi). Elektron (e^-), Proton (p). Bemerkenswert ist vor allem die enge Verflechtung von Teilchen und Wellen und der schnelle Übergang und die schnelle Transformation von Teilchen zu Wellen.

Atomare Einheiten werden von einem **Feld** umfasst, das zugleich das Feld anderer Organismen ist (Seite 187 bei Christoph Kann). Hier wird deutlich, wie Whitehead Einheiten der Physik zum Modell für seinen Begriff einer organistischen Wirklichkeit nimmt, wie Christoph Kann zutreffende betont (S. 188). Es geht Whitehead immer wieder um die **wesentliche Verbundenheit der Dinge** (S. 127 bei Christoph Kann) und um den **Strukturzusammenhang der Geschehnisse** (S. 187 bei Christoph Kann), was manchmal auch **nexus** oder **Funktionszusammenhang** genannt wird (Seite 188 bei Christoph Kann). Auch der bedeutende Begriff des Organismus, der für Whiteheads Philosophie ein zentrales Kennzeichen ist, wird von Kann zu einem **Strukturzusammenhang**, wenn er schreibt: Whitehead versteht unter einem Organismus eine individuelle, atomare Einheit, die ein kontinuierliches Feld umfasst, das zugleich das Feld anderer Organismen ist" (S. 187). Christoph Kann hat in seinen abschließenden Bemerkungen über Whitehead mehrfach den Grundbegriff der **Bezogenheit** hervorgehoben. Kann schreibt: „Initiiert durch die aristotelische Substanzmetaphysik hat für Whitehead die Philosophie einen Weg eingeschlagen, der den Gesichtspunkt der **universellen Bezogenheit** der Erfahrungswirklichkeit sowie den platonischen Grundgedanken vom Sein als Werden preisgegeben hat" (Christoph Kann, Seite 239). Und diese notwendige **Bezogenheit** aller Glieder eines Systems wird von Whitehead auch durch den Grundbegriff der **Kohärenz** zum Ausdruck gebracht, womit grundlegende Elemente gemeint sind, die ein System zusammenhalten, die aber isoliert betrachtet sinnlos wären (vgl. Kann, S. 104 und 108).

Damit schließe ich diese kurzgefasste Übersicht ab, ohne diese Begriffe noch einmal zusammen zu fassen. Sie lassen sich einfach nicht auf einen Begriff festnageln. Selbst die allgemeine und etwas schwerfällig formulierte Bezeichnung Einsteins von dem 'zwischen den Dingen Liegendem' stellt nur einen unvollständigen, fragmentarischen Sammelbegriff dar.

Ein grundlegendes Experiment zur Quantenphysik: *Welle-Teilchen Dualismus der Materie*



Schickt man Helium-Atome gleicher Richtung und Geschwindigkeit durch einen Doppelspalt, so erzeugt jedes Atom auf einem Schirm dahinter einen streng lokalisierten Auftreffpunkt; das Helium-Atom erscheint hierbei seinem Wesen nach als ein Teilchen. Werden die Auftreffpunkte bei einem länger laufenden Experiment häufiger, so tritt ein Interferenzmuster in Analogie zum Youngschen Doppelspalt-Experiment auf. Die sieben Teilbilder wurden im Abstand von 5' bis 42h 18' nach Beginn des Experiments aufgenommen. Die Helium-Atome verhalten sich hier als Welle. Dieses Experiment stellt den Welle-Teilchen Dualismus der Materie in eindrucksvoller Weise dar. Wie es der Quantentheorie gelingt, den Widerspruch: punktförmiges Teilchen einerseits, ausgedehnte Welle andererseits zu überbrücken, wird in diesem Buch dargestellt. Diese Experimente mit Helium-Atomen wurden durchgeführt von Carnal, O., Mlynek, J.: Phys. Rev. Lett. 66, 2689 (1991) und Kurtsiefer, Ch., Pfau, T., Mlynek, J.: Nature 386, 150 (1997). Mehr dazu in Abschn. 6.6.

Übergänge. Im Laufe der Zeit von einigen Stunden werden Punkte zu Wellen. Mit anderen Worten: Teilchen werden zu einem Beziehungsmuster (pattern of relationships nennt sie Whitehead). Das Beziehungsmuster stellt eine Interferenz dar. Interferenz ist ein typisches Muster von zwei Wellen, die sich überlagern. Massive Materieteilchen könnten nicht auf diese Weise interferieren".

Zusammengefasst: Die völlig neuen Sichtweisen und die völlig neuen Denkweisen und die völlig neuen Begriffe des Philosophen Alfred North Whitehead haben einen Hintergrund, der in der Physikgeschichte zu finden ist. In der modernen Physik spielen nicht nur neue Entdeckungen und Erfindungen eine Rolle, sondern auch neue Denkweisen, bei denen es um Netzwerke und Verbindungen und Verschränkungen und um den Zusammenhalt der Materiellen Teile geht.. Diese Denkweisen in versuchen sich von der fieberhafte Jagd nach einzelnen Dingen zu verabschieden. Die grundlegende Wirklichkeit wird nicht mehr in irgendwelchen fundamentalen Bausteinen der Dinge gesehen, sondern in den Zusammenhängen und Verbindungen, die den Dingen eine Struktur geben. Die moderne Physik hat sich von der Vorstellung eines Kerns oder eines Wesens der materiellen Dinge verabschiedet dem zugewandt, was Albert Einstein das zwischen den Dingen Liegende genannt hat.

10. Anhang (1)

Keywords: Selbstevidenz, Entzücken, Beziehungsmuster, persönliche Freunde.

„Nehmen wir beispielsweise Ramanujan, den großen indischen Mathematiker, dessen früher Tod ein ähnlicher Verlust für die Wissenschaft war wie der von Galois. Man sagte über ihn, jede einzelne der ersten hundert Integralzahlen sei sein ganz persönlicher Freund gewesen. Mit anderen Worten: Sein Einblick in Selbstevidenz und sein Entzücken über solch einen Einblick hatte für ihn denselben Charakter, wie es den meisten von uns mit den ganzen Zahlen bis 5 geht. Ich persönlich kann keine besonders tiefe Freundschaft für Zahlen jenseits dieser Zahlengruppe empfinden. In meinem Fall hindert mich auch die Begrenzung der Gruppe etwas daran, dieses Gefühl des Entzückens steigern zu können, an dem sich Ramanujan erfreute.

Ich gestehe, dass ich mehr an Beziehungsmustern gefallen finde, in denen sich numerische und quantitative Beziehungen vollständig unterordnen. Ich erwähne diese persönlichen Details, um die große Vielfalt von Formen zu betonen, welche die Selbstevidenz annehmen kann: Sowohl was das Ausmaß als auch was die Charakteristika der Kompositionen angeht, die selbstevident sind. Der Sinn für Vollständigkeit, der schon erwähnt wurde, ergibt sich aus der Selbstevidenz innerhalb unseres Verstehens. Denn in der Tat ist Selbstevidenz Verstehen“ (21)

11. Anhang (2)

„Das elektrische Feld

ist eine Modellvorstellung zur Veranschaulichung der Kraftwirkungen zwischen elektrischen Ladungen. Man denkt sich hierbei den Raum zwischen den elektrischen Ladungen mit einem Medium gefüllt. Sind keine Ladungen vorhanden, so befindet sich das Medium in einer Art Normalzustand, in dem es sich nicht bemerkbar macht. Bringt man aber an irgend einer Stelle eine elektrische Ladung, so versetzt diese das Medium in einen anderen Zustand, der sich durch Kraftwirkungen auf eine andere elektrische Ladung bemerkbar macht. Das elektrische Feld ist der Zustand dieses Mediums. Die Frage, was ein elektrisches Feld wirklich ist, kann man nicht beantworten, da der Feldbegriff auf dieser Modellvorstellung beruht. Dieser Sachverhalt ist aber keineswegs schlimm, denn entscheidend ist nicht, was ein elektrisches Feld eigentlich ist, sondern die Tatsache, dass man mit Hilfe des Feldkonzepts alle Probleme lösen kann..."(22).

"Das elektrische Feld ist für den modernen Physiker Realität, weil man es messen kann" (Pascual Jordan, *Albert Einstein*, Frauenfeld 1969, Seite 124/125)

12. Anhang (3)

Eine Diskussion über das elektrische Feld.

Viktor T. Toth

IT-Profi, Teilzeit-Physiker Mai 23

Gibt es nur ein Elektronenfeld, das das gesamte Universum durchdringt, und nur ein Magnetfeld und ein Gravitationsfeld, die mit der gesamten Materie wechselwirken? Oder gibt es für jeden Materieklumpen unzählige individuelle Felder, die miteinander wechselwirken?

Denken Sie an das elektromagnetische Feld von Maxwell. Die Maxwell'schen Gleichungen beschreiben nur ein elektromagnetisches Feld. Seine Intensität (insbesondere die Intensität seiner elektrischen und magnetischen Anteile) variiert von Ort zu Ort, aber es ist immer noch das eine elektromagnetische Feld. Ein Lichtstrahl, das Kraftfeld um einen Magneten, das elektrostatische Feld um ein geladenes Teilchen? All dies sind nur lokalisierte Variationen des einen und einzigen elektromagnetischen Feldes.

Die Quellen dieses elektromagnetischen Feldes sind Ladungen. In der Maxwellschen Theorie werden Ladungen durch eine Ladungsdichte beschrieben. In vielen Fällen ist diese Ladungsdichte gleich Null, z. B. im leeren Raum. Das bedeutet jedoch nicht, dass das elektromagnetische Feld gleich Null ist: Selbst im leeren Raum kann das elektromagnetische Feld sich ausbreitende Veränderungen aufweisen, d. h. Lichtstrahlen oder andere Formen elektromagnetischer Strahlung.

Wo jedoch eine Ladungsdichte ungleich Null vorhanden ist, wird das elektromagnetische Feld durch diese Präsenz verändert, da die Ladungsdichte und das elektromagnetische Feld in Wechselwirkung stehen. Beachten Sie jedoch, dass ich das Wort "Ladungsdichte" im Singular verwende. Es gibt keine verschiedenen Ladungsdichten. Es ist der Wert der Ladungsdichte, der sich von Ort zu Ort ändert; an manchen Orten ist er gleich Null, an anderen Orten ist er eine positive oder negative Zahl.

Selbst in der Maxwellschen Theorie gibt es also zwei interagierende Felder: das elektromagnetische Feld und die Ladungsdichte.

Dies gilt auch für die Quantenversion der Theorie, die Quantenelektrodynamik. Der Unterschied besteht darin, dass jetzt

beide Felder "quantisiert" sind. Das bedeutet, dass beide Felder als unendliche Summen von reinen Schwingungen (Sinuswellen) beschrieben werden können, und in der Quantentheorie hat jede dieser reinen Schwingungen diskrete Energieniveaus. Die Einheiten werden durch die Wellenlänge der Oszillation bestimmt, und die Menge beginnt mit $1/2$ und erhöht sich um ganzzahlige Einheiten: $1+1/2$, $2+1/2$, usw. Wenn wir also z. B. von einem Photon einer bestimmten Wellenlänge sprechen, beschreiben wir in Wirklichkeit ein Quantum elektromagnetischer Strahlung bei dieser Wellenlänge: eine Anregung des elektromagnetischen Feldes. Dasselbe gilt für das Feld der Ladungsdichte: Seine Quanten sind die Elektronen.

Also ja, es gibt ein Elektronenfeld, dessen Quanten die Elektronen sind. Es gibt ein elektromagnetisches Feld, dessen Quanten die Photonen sind. Und es gibt ein Gravitationsfeld, dessen (vermutete) Quanten die Gravitonen sind. Im Standardmodell der Teilchenphysik gibt es noch mehrere andere interagierende Felder, eines für jeden fundamentalen Teilchentyp: das wären drei Felder für geladene Leptonen (einschließlich des Elektrons), drei für die entsprechenden Neutrinos, sechs für die sechs Quarks, vier elektroschwache Felder (einschließlich des elektromagnetischen Feldes), das Feld für Gluonen, das Higgs-Feld und natürlich das Gravitationsfeld (das nicht Teil des Modells ist, jedenfalls noch nicht).

Jeder Klumpen Materie, jedes physikalische Phänomen, das wir beobachten, hat mit diesen Feldern zu tun, die miteinander wechselwirken, indem sie Anregungen erzeugen oder annihilieren.

(Quelle: <https://www.quora.com/May> 23)

13. Fußnoten

(1) Alfred North Whitehead, *Wissenschaft und moderne Welt*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1988, Seite 18

(2) Alfred North Whitehead, *Denkweisen*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 2001, Seite 164

(3) Hans-Georg Gadamer, *Wege zu Plato*, Philip Reclam jun., Stuttgart 2001, Seite 137

(4) Alfred North Whitehead, *Denkweisen*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 2001, Seite 60

(5) Alfred North Whitehead, *Die Funktion der Vernunft*, Reclam, Stuttgart 1974, Seite 41).

(6) Alfred North Whitehead, *Die Funktion der Vernunft*, Reclam, Stuttgart 1974

(6a) Wir verdankem dem Physikhistoriker Owen Gingerich eine Studie über die seine detaillierten Recherchen zur Rezeptionsgeschichte von Kopernikus' Hauptwerk *De revolutionibus*. In dieser Studie setzt sich Gingerich detailliert mit folgender Frage auseinander: Wurde Kopernikus' Hauptwerk von einer wirklich nennenswerten Zahl von Lesern vollständig zur Kenntnis genommen? „Alles in allem schaffte ich es“, so schreibt Gingerich, „bis zum Erscheinen dieses Artikels, 101 Exemplare von *De revolutionibus* durchzusehen. Anhand der eingetragenen Kommentare bestätigte sich die Vermutung, dass wohl nur ziemlich wenige Leser das Werk sorgfältig durchgearbeitet und verstanden haben. Andererseits scheint es einen ziemlich großen Kreis von Lesern gegeben zu haben, die dieses Werk bei Gelegenheit in die Hand nahmen - erheblich mehr, als wir ursprünglich angenommen hatten“ (Owen Gingerich, *Nikolaus Kopernikus und Tycho Brahe*, in: **Newtons Universum**, Heidelberg, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1990, Seite 55/56.

(6b) Alistair C. Crombie, Seiten 71/72

(6c) David Layzer, *Das Universum: Aufbau, Entdeckungen, Theorien*. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin 1998. Max Born, *Physik im Wandel meiner Zeit*, Braunschweig 1983, Seite 254. Werner Heisenberg, *Der Teil und das Ganze*, Pieperverlag, München 1969, Seite 286. Carl Friedrich von Weizsäcker, *Ein Blick auf Platon*, Stuttgart 1988, S. 134. Max Planck, *Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Herausgegeben von Hans Roos und Armin Herrmann, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2001,

(7) I. Bernhard Cohen, *Newtons Gravitationsgesetz - aus Formeln wird eine Idee*, in: *Newtons Universum*, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, 1990, Seite 134

(8) Leon Brunschvicg, *Les etapes de la philosophie mathematique*, Seite 243 f.

(8a) L.E.J.Brouwer, *Historical Background*, in: *South African Journal of Science* 49 (1952), Seiten 139-143

(8b) Paolo Zellini, *Eine kurze Geschichte der Unendlichkeit*, Verlag C.H. Beck, München 2010, Seite 103/104

(8c) Max Planck, *Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Herausgegeben von Hans Roos und Armin Herrmann, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2001, Seite 186

(9) 13. Alfred North Whitehead, *Die Funktion der Vernunft*, Reclam, Stuttgart 1974, Seite 52).

(10) 13. Alfred North Whitehead, *Die Funktion der Vernunft*, Reclam, Stuttgart 1974, S. 12

(11) Paolo Zellini, *Eine kurze Geschichte der Unendlichkeit*, Verlag C.H. Beck, München 2010 Seite 172,

- (12) Alfred North Whitehead, *Wissenschaft und moderne Welt*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1988, Seite 178-179
- (13) Alfred North Whitehead, *Wissenschaft und moderne Welt*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1988, Seiten 174-175
- (14) James Clark Maxwell, „Treatise on Electricity and Magnetism“, 1873, in: Maxwell. *Der Begründer der Elektrodynamik*, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 2000, Seite 48
- (15) Albert Einstein, Leopold Infeld, *Die Evolution der Physik, Von Newton bis zur Quantenphysik*, Rowohlt, Hamburg 1957, Seite 194
- (15a) Albert Einstein, Leopold Infeld, *Die Evolution der Physik*, Rowohlt, Hamburg 1957, Seiten 162-164
- (16) Albert Einstein, *Mein Weltbild* (Hrsg. C. Seelig), Ullstein Bücher, Frankfurt/M. 1959, Seite 161
- (16a) Julian Schwinger, *Einsteins Erbe. Die Einheit von Raum und Zeit*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin 2000, Seite 35
- (16b) Rudolf Taschner, *Das Unendliche*, Springer, Heidelberg, Berlin, 2006, Seite 105
- (17) (Paolo Zellini, *Eine kurze Geschichte der Unendlichkeit*, C.H. Beck, München 2010)
- (18) Christoph Kann, *Fußnoten zu Platon. Philosophiegeschichte bei A. N. Whitehead*. Felix Meiner Verlag Hamburg 2001.
- (19) Alfred North Whitehead, *Denkweisen*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 2001, Seite 47, Seite 50.
- (20) Alfred North Whitehead, *Abenteuer der Ideen*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1971, Seiten 417 -419

(21) Alfred North Whitehead, *Denkweisen*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 2001, Seite 87/88.

(22) Horst Lautenschlager, *Elektrisches und magnetisches Feld*, Stark Verlagsgesellschaft, Freising 2001, Seite 87

14. Literaturangaben

1. Edwin Artur Burttt, *The Metaphysical Foundations of Modern Science*, Dover Publications, Mineola, New York 2003. The work was first published in 1924 under the title *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*.
2. Alexandre Koyre, *Galilei. Die Anfänge der neuzeitlichen Wissenschaft*, Verlag Klaus Wagenbach 1988
3. L. Brunschvicg, *Les Etapes de la philosophie mathématique*, Paris 1922
4. Alistair C. Crombie, *Von Augustinus bis Galilei. Die Emanzipation der Naturwissenschaft*, DTV, 1977
5. K. Simonyi, *Kulturgeschichte der Physik*, Urania Verlag Leipzig, 1990
6. Albert Einstein & Leopold Infeld, *Die Evolution der Physik, Von Newton bis zur Quantentheorie*, Rowohlt Hamburg 1957
7. Thomas S. Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, Suhrkamp Verlag 1996
8. I. Bernhard Cohen, *Newtons Gravitationsgesetz - aus Formeln wird eine Idee, in: Newtons Universum*, Spektrum der Wissenschaft Verlag, Heidelberg 1990
9. Max Planck, (8a) Max Planck, *Vorträge, Reden, Erinnerungen*. Herausgegeben von Hans Roos und Armin Herrmann, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2001,
10. Paolo Zellini, *Eine kurze Geschichte der Unendlichkeit*, Verlag C.H. Beck, München 2010
11. Julian Schwinger, *Einsteins Erbe. Die Einheit von Raum und Zeit*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin 2000
12. Alfred North Whitehead, *Denkweisen*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 2001, Seite 164

13. Alfred North Whitehead, *Wissenschaft und moderne Welt*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1988
14. Alfred North Whitehead, *Abenteuer der Ideen*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt/M. 1971
15. Alfred North Whitehead, *Die Funktion der Vernunft*, Reclam, Stuttgart 1974
16. Hans-Georg Gadamer, *Wege zu Plato*, Philip Reclam jun., Stuttgart 2001, Seite 137
17. Christian Thomas Kohl, *Buddhismus und Quantenphysik, Schlussfolgerungen über die Wirklichkeit*, Windpferd Verlagsgesellschaft, Oberstdorf 2013