



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Principia Philosophiae,

Philosophiae *Naturalis* Principia *Mathematica*“

(„Die Prinzipien der Philosophie,

Die *mathematischen* Prinzipien der Philosophie *der Natur*“)

Verfasser

Eren Simsek

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 190 299 412

Studienrichtung lt. Studienblatt: Lehramtsstudium UF Psychologie und Philosophie UF Physik

Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. Bernhard Baumgartner

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	6
Die Prinzipien der Philosophie	13
Die Prinzipien der (Natur)wissenschaften.....	19
Das Prinzip der Psychologie: Bewusstsein (über das Selbst und Anderer)	26
1. Das Ich als der Kern des menschlichen Daseins.	29
2. Die Lokalisation des Bewusstseins im Gehirn.	32
3. Descartes: Das höchste Bewusstseinsform ist nur beim Menschen vorhanden(?)	37
Die Prinzipien der (klassischen) Physik.....	53
Die (geometrische) Optik	55
Das Prinzip der kürzesten Zeit bzw. das Fermatsche Prinzip	55
Die Reflexion und Brechung	57
Die Descartessche Optik.....	68
Descartes versus Fermat	71
Das Prinzip der kleinsten Wirkung in der Optik.....	76
Die Prinzipien der Descartesschen Physik.....	79
Das Prinzip Impulserhaltung (bei Stoßgesetzen).....	79
Die zwei Naturgesetze und das dritte (falsche) Gesetz von Descartes	81
Das (Gallileische) Relativitätsprinzip und die Stoßgesetze.....	92
Die Zusammenfassung der Erhaltungssätze nach Huygens bei elastischen Stößen:.....	97
Der Impulserhaltungssatz, Schwerpunkterhaltungssatz, kinetischer Energieerhaltungssatz.....	97
Die Stoßgesetze und das Prinzip der kleinsten Wirkung bzw. „Principe général“	99
Die Prinzipien der Kosmologie von Descartes.....	102
Die Kritik an der Kosmologie von Descartes.....	104
Die Prinzipien der Newtonschen Physik.....	109
Die Prinzipien der Kosmologie von Newton.....	127
Die Kritik an der Gravitationstheorie von Newton.....	140
<i>Principia</i> von Descartes und Newton im Vergleich	151
Die Descartessche Physik als ein Grenzfall der Newtonschen Physik.....	171
Die Optik bei Newton	180
Das Noether – Theorem.....	236
≈ Theorem über die Prinzipien der Physik.....	236
~ Theorem über die klassischen Götter der Physik.....	236
Das (erweiterte) Noether-Theorem und Theory of Mind	242

Das Noether – Theorem.....	247
≈ das Kosmologische Prinzip	247
~ die (göttliche) Theory of Mind.....	247
Die Galilei-Gruppe	254
Die Kritik an der Galilei-Gruppe.....	258
Die Prinzipien der modernen Physik	260
Die Einsteinsche Mechanik (= Spezielle Relativitätstheorie)	261
Die Prinzipien der Einsteinschen Mechanik	262
Die Optik vor der Einsteinschen Mechanik (= SRT)	264
Die Einsteinsche Mechanik und die Optik.....	266
Die (Einsteinschen) Prinzipien und die (Grenzen der) Theory of Mind.....	270
Die Einsteinsche Mechanik und Theory of Mind.....	272
Die Eigenschaften der (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation	280
(Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation und Theory of Mind	284
Das Korrespondenzprinzip: Galileitransformation als Grenzfall der (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation.....	285
Die Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Gruppe	287
Die Kritik an den Newtonschen Gesetzen aus der Sicht der Einsteinschen Mechanik	289
Die Kritik an den Erhaltungssätzen der klassischen Mechanik aus der Sicht der Einsteinschen Mechanik.....	297
Die Kritik an Newtons absolutem Raum und absoluter Zeit	303
Das Maupertuis-Hamiltonsche (Variations)prinzip in der SRT.....	306
Die Einsteinsche Gravitationstheorie bzw. Allgemeine Relativitätstheorie (ART)	307
Die Prinzipien der ART.....	307
Die ART und Theory of Mind	311
Die Theory of Mind der ART und der SRT im Vergleich.....	316
Das Korrespondenzprinzip: ART -> SRT	319
Optik in der ART	323
Das Maupertuis-Hamiltonsche Prinzip in der ART: Hilbertsches Variationsprinzip	326
Einsteins Kosmologie.....	327
Einstein als Schlichter zwischen Descartes und Newton	329
Einsteins Äther als Schlichter zwischen dem Dualismus: Fern- und Nahwirkung.....	330
Einstein über die Rolle Äthers in der klassischen Physik.....	330
Einstein über die Rolle des Äthers in der SRT.....	332
Einstein über die wesentliche Rolle des Äthers in der ART.....	334

Der Gott der Einsteinschen Theorien (SRT und ART)	337
Die Quantenmechanik.....	340
Die Prinzipien der Quantenmechanik	344
Die Quantenmechanik und die Theory of Mind.....	350
Das Doppelspalt-Experiment mit Teilchen (Tennisbällen)	350
Das Doppelspalt-Experiment mit (Wasser)wellen	351
Das Doppelspalt-Experiment mit Elementarteilchen und mikroskopischen Objekten.....	352
Der Gott (bzw. die Metaphysik) der Quantenmechanik	359
Die Schrödingergleichung abgeleitet von den <i>zwei Prinzipien</i> der QM	363
Die Schrödingergleichung „abgeleitet“ von den Prinzipien der modernen Physik.....	370
Das Korrespondenzprinzip: QM → klassische Mechanik	378
Die Quantenmechanik und die Optik	381
Newton und die Optik (bzw. Quantenmechanik).....	384
Fermat-Maupertuis-Hamiltonsches bzw. Feynmansches Variationsprinzip.....	389
(Semiquantenmechanische) Pfadintegralmethode	389
(Quantenmechanische) Pfadintegralmethode.....	392
Kritik an der nicht quantenmechanischen Physik	394
Kritik an den „nicht-quantenmechanischen“ Bewegungsgesetzen	394
Kritik an den „nicht-quantenmechanischen“ Energieerhaltungssätzen	394
Die Interpretation der QM	397
Anhang I.....	408
Anhang II.....	411
Anhang III.....	427
Anhang IV	435
Anhang V	440
Anhang VI	447
Anhang VII	449
Anhang VIII	469
Anhang IX.....	472
Anhang X.....	473
Literatur- und Quellenverzeichnis.....	478
Schulbuchquellen:	489
Internetquellen:.....	490
Danksagung	499
Anhang: Abstract und Lebenslauf	500

Einleitung

„Seh ich die Werke der Meister an,

So seh ich das, was sie getan;

Betracht ich meine Siebensachen,

Seh ich, was ich hätt sollen machen.“¹ von Johann Wolfgang Goethe

Der Titel dieser Arbeit ist weitgehend (zumindest in *zweierleier Sicht*) zugleich auch dessen Inhalt.

Erstens beschäftigen wir uns mit dem beinahe rein naturwissenschaftlichen bzw. - philosophischen Hauptwerk *Principia Philosophiae*² (1644)³ von René Descartes, welches – von den geometrischen Leistungen abgesehen – wohl sein historisch bedeutsamstes Werk darstellt. Karl E. Rothschuh erklärt: „In den >>Principia Philosophiae<< beginnt er mit den metaphysischen Voraussetzungen der Wissenschaft, als den Prinzipien der Erkenntnis. >>Philosophia<< im Titel des Buches bedeutete im damaligen Sprachgebrauch entsprechend viel mehr Wissenschaft, ja Naturwissenschaft (= Philosophia naturalis oder Physica), als Philosophie im heutigen Sinne. Descartes sucht in seinen >>Principia<< das System einer Einheitswissenschaft zu entwerfen, die alle Gebiete der Natur umfaßt.“⁴ Es dürfte wohl Zustimmung finden, wenn wir sagen: Dieses Werk hatte und hat enormen Einfluss auf das europäische Denken. Doch da es unvollendet blieb, haben wir, um

¹ GOETHE (IV) 1960; vgl dazu auch SZABO 1987, S. 403

² Ins Deutsche übersetzt: **Die Prinzipien der Philosophie.**

Der Aufbau der Gliederung der *Principia* ist folgendermaßen gegeben:

Erster	Teil:	<u>Über die Prinzipien der menschlichen Erkenntnis.</u>
Zweiter	Teil:	<u>Über die Prinzipien der materiellen Dinge.</u>
Dritter	Teil:	<u>Über die sichtbare Welt.</u>
Vierter	Teil:	<u>Über die Erde.</u>

Außerdem wären noch geplant gewesen:

Fünfter	Teil:	<u>Über die Lebewesen.</u>
Sechster	Teil:	<u>Über den Menschen.</u>

vgl. dazu DESCARTES 2005, S. XVIII

(Im vierten und somit letztem Teil seiner *Principia* schreibt Descartes, dass eigentlich noch zwei weitere Teile, nämlich Teil fünf und sechs ausstehen. In diesen würde er dann die Lebewesen und die Menschen noch genauer untersuchen. (vgl. DESCARTES 2005, S. 603 (IV/188); und DESCARTES 1969, S. 11-12

³ In dieser Arbeit werden wir allgemein die Titel der Werke (aus ästhetischen Gründen) „**fett** und *kursiv*“ schreiben. In Klammern wird (meist) das Erscheinungsjahr der Erstausgabe wiedergegeben. Und somit (im Normalfall) nicht das Erscheinungsjahr des Buches, aus dem zitiert wird usw. – (diese Information kann der Leser direkt oder indirekt aus dem Literaturverzeichnis entnehmen). Weshalb wir das Erscheinungsjahr zusätzlich angeben hat nur den Zweck, dass der Leser sich sicher leichter tut, in welche Zeit die Werke in etwa einzuordnen sind, da wir in dieser Arbeit nicht selten Schriften aus verschiedenen Jahrhunderten zitieren. (Genau genommen untersuchen wir sogar eine Naturphilosophie, welche sich über Jahrtausende erstreckt.)

⁴ DESCARTES 1969, S. 11

Descartes' Verständnis von der „Einheitswissenschaft“ gerecht zu werden, selbstverständlich auch noch weitere Schriften von ihm in unsere Untersuchungen einbezogen. Anschließend beschäftigen wir uns mit einem anderen, aber nicht weniger bedeutsamen Hauptwerk ***Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*** (1687)⁵ von **Isaac Newton**, welches die **mathematische Physik** neu begründete und eines der wichtigsten Bücher in der Weltgeschichte darstellt. Natürlich werden wir auch andere Werke von Newton studieren, um unsere Analysen besser zu konstruieren. Es wird sich dann im Laufe der Arbeit *interessanterweise* zeigen, dass man um Newtons ***Principia*** inhaltlich zu verstehen, tatsächlich das Werk ***Principia*** von Descartes kennen sollte. Die beiden Werke sind wie ein **zeitverzögerter Dialog**.

Und *zweitens* möchten wir in dieser Arbeit auch einige neue Theorien zu den „Prinzipien“ selbst vorstellen. Auch insofern folgen wir wohl Descartes (und Newton), da Josef Simon betont: „Das deutliche Kennzeichen der gegenwärtigen europäisch geprägten Philosophie ist vielleicht ihr Bemühen, ihre eigenen >>Grundlagen<<, wie immer sie inhaltlich bestimmt sein mögen, als etwas *Besonderes*, historisch Gewordenes und deshalb wohl auch Vergehendes, zumindest als etwas in Frage zu Stellendes zu begreifen. Auch darin geht sie, wie sich zeigen läßt, auf Descartes zurück. Schon Hegel hatte das bemerkt, aber diese Dimension war dennoch nicht in den Vordergrund der Descartes-Rezeption getreten. Nach Hegel ging es Descartes darum, sich von allen *überkommenen* und darüber hinaus von allen *denkbaren* Voraussetzungen inhaltlicher Art zu lösen und mit dem >>Denken frei für sich<< anzufangen. Hegel spricht dann aber doch noch von einem neuen >>Boden<< und von einem >>absoluten Fundament *aller* Philosophie<<, um das es Descartes gegangen sei, und da schon Descartes selbst von einem >>Fundament<< des Denkens als einem zu findenden >>Minimum<< gesprochen hatte, das sicher und unerschütterlich sein müsse (>>minimum quid invenero quod certum sit et inconcussum<<), konnte die Auffassung, mit ihm habe die Philosophie eine neue, den Voraussetzungen der älteren Philosophie gegenüber sicherere *positive* >>Grundlage<< für alle Zeit erhalten, für das Selbstverständnis der neuzeitlichen Philosophie bestimmend werden.“⁶ So können wir sagen, dass wir mit Hilfe des Begriffes „**Aufheben**“, den Hegel in seinem Werk ***Wissenschaft der Logik*** (1812-1816) öfters benützt⁷, versuchen mit den *Prinzipien* einen reinen Tisch zu machen und zwar:

1. Die Prinzipien von Descartes und Newton, welche heutzutage eher in Vergessenheit geraten sind, werden wieder *aufgehoben* bzw. **emporgehoben**.
2. Wir werden versuchen diese in einer zeitgerechten Perspektive zu durchleuchten, und sie damit *aufheben* bzw. **für ungültig erklären**.
3. Und schließlich werden wir in dieser Arbeit neue Prinzipien vorschlagen, welche die historischen Prinzipien von Descartes und Newton in gewissem Sinne erweitern (und somit

⁵ Ins Deutsche übersetzt: **Die mathematischen Prinzipien der Philosophie der Natur**.

Die ***Principia*** von Newton besteht aus drei Büchern.

Das erste Buch: Von der Bewegung der Körper.

Das zweite Buch: Von der Bewegung der Körper.

Das dritte Buch: Über das Weltsystem.

⁶ SIMON 2000, S. 77

⁷ Hegel bemerkt: „*Aufheben* und das *Aufgehobene* (das *Ideelle*) ist einer der wichtigsten Begriffe der Philosophie, eine Grundbestimmung, die schlechthin allenthalben wiederkehrt, [...]“ HEGEL 1979

beinhalten), in der Hoffnung sie werden dadurch *aufgehoben* bzw. auch für die Zukunft *aufbewahrt*.

In diesen drei Etappen soll also versucht werden, die *historischen Prinzipien* zu besprechen, aus ihnen zu lernen und *neue Prinzipien* zu präsentieren. Dabei werden wir auf unserem Weg auf viele Fragen stoßen, um hier nur um ein paar zu erwähnen:

- Was ist bzw. sind die *Prinzipien der (Natur)philosophie* und somit die *Letztbegründung*?
- Wie ist *Metaphysik* (bzw. *Gott*) in der Naturphilosophie zu verstehen?
- Welche sind die *Prinzipien der Quantentheorie*, und kann man sie verständlich interpretieren?

Auf einige dieser Fragen werden wir auch versuchen eine Antwort zu geben – ob sie zufriedenstellend sind oder nicht, wird letztlich jeder der Leser für sich selbst entscheiden. Ganz *bedeutende Hypothesen* – worauf wir den kritischen Leser gerne hinweisen möchten – die in dieser Arbeit vorgestellt werden, sind:

1. Die Descartessche Mechanik ist als ein *Grenzfall* der Newtonschen Mechanik darstellbar.
2. Newton war der Erste, der das (klassische) Verständnis von *Quantenobjekten* in die Physik brachte.
3. Der Quantenmechanik liegen *zwei Prinzipien* zugrunde.

Aus diesen Hypothesen können wir (teilweise indirekt) auf folgende *interessante Aussagen* schließen:

1. Ohne Descartes' *Principia* wäre die *Principia* von Newton als solche wohl nie entstanden. (Da Newtons *Principia* sehr stark darauf ausgelegt ist, die *Principia* von Descartes zu widerlegen.) Es gibt sogar gute Gründe zu behaupten: Ohne die Descartesschen Gesetze hätte es womöglich die Newtonschen Gesetze in dieser Form nicht gegeben, da sie deutlich stärker zusammenhängen, als dies historisch bis jetzt beachtet wurde. (Natürlich stützt sich Descartes auch auf Vorläufer.)
2. Der berühmte *Welle-Teilchen-Dualismus*, auf welchem bekanntlich (aus der Perspektive der klassischen Physik) die quantentheoretischen Phänomene beruhen, geht bereits auf Newton zurück!!
3. Und last but not least: Die Wellen- bzw. Schrödingergleichung beschreibt (nicht nur die Entwicklung der Quantenobjekte, sondern zugleich) die Entstehung der Raum-Zeit-Struktur.

Der erste Punkt ist insoweit interessant, da Newton in seiner *Principia* (1687) den Namen Descartes nur in der vorletzten Anmerkung (und im 1. Zusatz) des ersten Buches erwähnt, nämlich dort, wo es um das Snellius-(Descartessche)-Gesetz geht. Erst in der zweiten Auflage der *Principia* (1713) weist der berühmte Mathematiker Roger Cotes (im Vorwort) darauf hin, dass die Newtonsche Physik die Physik von Descartes abgelöst hat.

Außerdem werden wir in dieser Arbeit versuchen zu zeigen, dass sich die klassische Mechanik prinzipiell aus *drei Grundideen* entwickelt hat (und dass diese womöglich mit *den drei Bewusstseinsstufen* zusammenhängen):

1. Kräfte (Newton)
2. Erhaltungssätze (Descartes, Huygens, Leibniz)
3. Extremalprinzip (bzw. Prinzip der stationären Wirkung) (Fermat, Leibniz, Euler, Maupertuis)

Überraschenderweise wird sich zeigen, dass eigentlich auf alle diese drei Grundideen Descartes einen ganz starken Einfluss hatte:

- ✓ Die Newtonschen Gesetze sind sehr analog aufgebaut zu den Descartesschen Naturgesetze.
- ✓ Descartes ist einer der Ersten, der einen Erhaltungssatz zu einem Prinzip erklärte.
- ✓ Die Arbeiten Descartes in der Optik sind es, welche Fermat dazu bewegten, Extremale mathematisch zu beschreiben.

Schließlich versucht diese Arbeit auch darzulegen, woran Descartes' (wissenschaftliche) Arbeiten gescheitert sind, nämlich ironischerweise an der **Theory of Mind**.

Auch werden uns in unserer Reise durch die Geschichte der Physik andere *historische Missverständnisse* über den Weg laufen – dabei finden bedeutende Anmerkungen zu folgenden Punkten statt:

- 1) Descartes, Leibniz und Newtons Gedanken waren großteils bei Kepler schon zu finden. Man kann also den Streit zwischen diesen historischen Personen als einen *zeitverzögerten Dialog* ansehen, zu welchen Kepler die Themen geliefert hat.⁸

Durch diese Feststellung können wir ein neues Feld der Interpretationen eröffnen, welche Newtons Handlungen und die Entstehung des Inhalts seiner **Principia** in ein neues Licht rücken.

- 2) Die inkorrekte Interpretation des *Falsifikationsbegriffs* von Karl Popper kann womöglich durch die Einbeziehung der Theorie der *Bewusstseinstufen* von Damasio gelöst werden.
- 3) Durch das Korrespondenzprinzip kann man zeigen, dass das *Prinzip von Heron* bzw. *de La Chambre* im Grenzfall $n \rightarrow 1$ des *Fermatschen Prinzips* enthalten ist.

⁸ Natürlich greift auch Kepler auf die Gedanken andere Personen zurück. Volker Bialas schreibt: „Wohl kein noch so großer Gelehrter hat jemals seine Ideen nur aus seinem eigenen Fundus geschöpft, ohne sich nicht auch auf die geistigen Strömungen seiner Zeit eingelassen zu haben. Diese historische Erfahrung trifft auch auf Kepler zu, [...]“ BIALAS 2004, S. 64

So beeinflussten ihn unter anderem sicher Platon (vgl. BIALAS 2004, S. 65), Nicolaus Cusanus und Giordano Bruno (vgl. BIALAS 2004, S. 68), Kopernikus (vgl. BIALAS 2004, S. 71), Julius Caesar Scaliger (vgl. BIALAS 2004, S. 77), William Gilbert (vgl. BIALAS 2004, S. 78).

Doch da er wahrscheinlich der erster Wissenschaftler war, der die Hypothesenbildung verstand und gekonnt einsetzte, ist es womöglich tatsächlich angebracht, bei ihm zu beginnen. (vgl. dazu BIALAS 2004, S. 60)

- 4) Es ist beinahe *in Vergessenheit geraten* oder erst gar nicht untersucht worden, *dass Einstein zwischen Descartes und Newton zu schlichten versuchte*. Dabei stellt die Allgemeine Relativitätstheorie eine Theorie dar, welche beide Perspektiven – sowohl die von Descartes, als auch die von Newton – miteinschließt.
- 5) Dass es in der Geschichte der Optik genau genommen jeweils zwei unterschiedliche Snelliussche Gesetze gegeben hat, wird nicht oft genug erwähnt. Aus diesem Grund unterscheidet diese Arbeit zwischen dem Snellius-Descartesschen-Gesetz und dem Snellius-Fermatschen-Gesetz. Das Snellius-Descartessche-Gesetz wurde sogar von Newton benutzt, wobei sich aber das Snellius-Fermatsche-Gesetz später bei Experimenten bewährte.
- 6) Die dimensional Überlegungen von Newton zu Strömungswiderständen stimmen nicht ganz.
- 7) Istvan Szabos Überzeugung, dass Kraft mal Beschleunigung in der *Principia* von Newton nicht zu finden ist, sollte man wahrscheinlich nicht zustimmen.
- 8) Die Wirbeltheorie, die man immer wieder Descartes zuschreibt, gab es schon vorher.
- 9) Dass Einstein derart viele Gedankenexperimente unternahm, könnte damit zusammenhängen, dass er Linkshänder war.
- 10) Karl Poppers (aber auch Descartes') Behauptungen, dass
 - nur die Menschen ein Bewusstsein besäßen,
 - dass die linke Gehirnhälfte für das Bewusstsein unwichtig ist,
 - und dass die Sprache für das Selbsterkennen sehr relevant ist, sind wissenschaftlich nicht mehr haltbar bzw. wie Karl Popper es selbst sagen würde: *falsifiziert*.

✓ Insgesamt sind wir somit sogar in der Lage zu sagen, dass nicht nur der Mensch, sondern auch die Menschenaffen das Grundprinzip der Philosophie innehaben!
- 11) Aufgrund der Inquisition war die Meinungsfreiheit keine selbstverständliche Sache. Insofern sollten Aussagen aus dieser Zeit, so auch von Descartes, unter diesem Aspekt studiert werden. Dadurch wird womöglich erkannt, dass manche Widersprüche in den Texten, von den Autoren gewollt zu Papier gebracht wurden, um zu zeigen, dass sie ihre Meinung nicht frei äußern können.
- 12) Newtons Vorwurf andere würden mit Hypothesen fungieren und er selbst nicht, kann man – aus der heutigen Perspektive – nicht ernst nehmen. Es handelt sich daher schon von der Definition her um eine falsche Aussage.
- 13) Das *Machsche Prinzip* könnte man als eine Lösung für das Gravitationsparadoxon Newtons betrachten.
- 14) Feuerbach übersetzte die Schrift von Descartes teilweise ungenau.
- 15) In den früheren Arbeiten von Einstein kommt die Formel $E = h \cdot f$ nicht vor. (Auch wenn das in den Schulbüchern gerne so dargestellt wird.)

- 16) Die Schrödingergleichung, wie sie in der heutigen Literatur vorkommt, ist in den Originalarbeiten von Schrödinger nicht zu finden.

In dieser Arbeit sind darüber hinaus mehrere *didaktische Überlegungen* zu finden:

- 1) *Theory of Mind* bzw. *Perspektivenwechsel* ist für das Verständnis *der objektiven Wissenschaften* fundamental!⁹

Obwohl das *Ichbewusstsein* bzw. die *Theory of Mind* geradezu die Grundlage unseres Denkens ausmachen, wird sowohl in der Pädagogik als auch in der Didaktik selten bis gar nicht daraufhin hingewiesen. Diese Arbeit soll zeigen, dass die *Theory of Mind* nicht nur wichtig ist, um Vorurteile oder veraltete Vorstellungen aus dem Weg zu räumen, sondern grundsätzlich für das Verständnis der Naturwissenschaft eine Rolle spielt. So wird in dieser Arbeit versucht darzulegen, dass erst durch *Theory of Mind* die Grenze zwischen der klassischen Physik und der modernen Physik verstanden werden kann.

- 2) Der Zusammenhang von *Erhaltungssätzen* und *Symmetrien* wird versucht auf möglichst einfachste Art und Weise zu zeigen.
- 3) Eine **neue Interpretation der Quantentheorie** wird vorgestellt.
- 4) Feynmans Äußerungen zur Quantenmechanik, werden nicht selten *falsch* (bzw. aus dem Kontext heraus gerissen) zitiert. Gerade seine didaktischen Errungenschaften, wie die Pfadintegralmethode, finden keine Erwähnung.
- 5) Ein etwas modernerer Satz von Descartes „Cogito“ wird angeboten, wodurch das Verständnis der Naturwissenschaft besser unterstützt wird!
- 6) In dieser Arbeit wird wissenschaftlich diskutiert, ob man den *Äther* tatsächlich zur Gänze aus der Physik bzw. Didaktik streichen sollte! Sogar Einstein war nicht abgeneigt hier Descartes in gewisser Weise recht zu geben. Es ist jedenfalls nicht gerechtfertigt, einerseits in der Schule den Schülern beizubringen, dass in der ART die Raum-Zeit eine Krümmung erleidet, oder dass die Quantentheorie besagt, dass es im Vakuum von virtuellen Teilchen brodelt; aber andererseits so etwas wie einen Äther nicht geben kann. Warum man Äther nicht einfach mit der Raum-Zeit identifiziert, wo sich die „Materiewellen“ ausbreiten leuchtet nicht wirklich ein! Warum man bei all den abstrakten Begriffen, gerade dem Äther der Prozess gemacht wird, *ist nicht objektiv gegeben* bzw. zu verantworten.
- 7) Das *Korrespondenzprinzip* wird in der Schule nirgends – außer bei der SRT – erwähnt. Wir versuchen in dieser Arbeit mit gutem Beispiel voranzugehen.
- 8) Das „Ockhamsche Rasiermesser“ kann im doppelten Sinne interpretiert werden.
- 9) Der Oersted-Versuch ist relativistisch ohne große Schwierigkeiten erklärbar.

⁹ Wir verweisen den Leser an dieser Stelle gerne auf den **Anhang I**, wo wir diesen Zusammenhang konkreter analysieren und darlegen.

10) Die „relativistische Masse“ sollte in der Schule genauer behandelt werden.

11) Die *moderne Physik* arbeitet sehr gerne mit einem abstrakten Instrument, welche man als eine *Gruppe* bezeichnet. In dieser Arbeit werden wir uns beispielsweise mit der Galilei-Gruppe oder der Lorentz-Gruppe auseinandersetzen. (Im Bereich der Quanten(feld)theorie gibt es noch viele weitere Gruppen, welche für das Verständnis der Physik von *prinzipieller* Bedeutung sind, auf die wir aber aus Platzgründen gar nicht zu sprechen kommen können.) Umso überraschender ist es, dass die *Gruppe*, in der Schule (meist) gar nicht behandelt wird. Wir werden daher in dieser Arbeit *vier Begriffe*¹⁰ vorschlagen, welche womöglich auch in der Didaktik den Weg ebnen könnten, mit diesem Thema besser umzugehen. Unter anderem vertreten wir in dieser Arbeit die Hypothese, dass uns erst mit Hilfe dieser vier Begriffe eine Perspektivenbildung ermöglicht wird.

Schlussendlich repräsentiert diese Arbeit natürlich eine universitäre Ausbildung. Der Autor hat in dieser Arbeit den Versuch unternommen sich mit *Philosophie, Psychologie, Physik* und *Pädagogik* auseinanderzusetzen. Dabei wurde ihm klar, dass, um einer anderen Person etwas lehren zu können, es stets des *Perspektivenwechsels* bzw. der *Theory of Mind* bedarf. So sollte der Lehrende sich in den Schüler hineinversetzen können, um beispielsweise an seinem Vorwissen anzuknüpfen, seine Schüler(wohl)vorstellungen zu verstehen und zuletzt auch, um zu bemerken, ob der Schüler ihn wirklich verstanden hat. Doch auch der Schüler benötigt *Theory of Mind*, um die pädagogische Funktion des Lehrers zu erkennen – zum Beispiel richtet der Lehrer (meist) eine *prüfende* Frage an den Schüler, aber nicht weil er selbst dem Unterrichtsgegenstand unwissend gegenübersteht. Aus diesem Grund hat der Autor versucht die Stellung der *Theory of Mind* **deutlich** hervorzuheben.

Bevor wir nun zum Inhalt dieser Arbeit schreiten, soll das *Offensichtliche*, aber nicht *Sichtbare* noch einmal zur Sprache gebracht werden. Natürlich war es dem Autor nicht möglich mit allen Werken, die als Thema Newton oder Descartes hatten, (in allen Sprachen) auseinanderzusetzen. Dazu wäre wohl die Zeit zu knapp und die Mittel nie ausreichend genug gewesen, um selbst über dieses Thema schreiben zu können. Man möge dem Autor deshalb mit Nachsicht begegnen, wenn hier Gedanken, ohne seinem Wissen, zu finden wären, die schon zuvor andere Personen geäußert haben. Auch können historische Fehler in der Arbeit durchaus vorkommen. Diese Arbeit nimmt in keinsten Weise Anspruch auf Vollkommenheit. Des Weiteren möge der Leser verzeihen, wenn manche Themen (zu) oft wiederholt werden, oder das literarische Niveau den Erwartungen des Lesers nicht genügen sollte; so schreibt bereits Einstein und verweist selbst weiter (auf einen großen Physiker) mit den Worten: „Im Interesse der Deutlichkeit erschien es mir unvermeidlich, mich oft zu wiederholen, ohne auf die Eleganz der Darstellung die geringste Rücksicht zu nehmen; ich hielt mich gewissenhaft an die Vorschrift des genialen Theoretikers L. BOLTZMANN, man solle die Eleganz Sache der Schneider und Schuster sein lassen.“¹¹

¹⁰ Diese sind: *die Vereinzelnung, das Inverse, die Verknüpfung und die Gleichheit.*

¹¹ EINSTEIN 1969, S. 3-4

Die Prinzipien der Philosophie

„Erkenne dich selbst!“ von Thales von Milet¹²

Der begnadete Logiker, Schriftsteller und Philosoph Bertrand Russell (Bild 1)¹³ schreibt in seinem Buch *Philosophie des Abendlandes* (1945): „Die Philosophie beginnt mit Thales; er ist glücklicherweise zeitlich zu bestimmen, weil er eine Mondfinsternis voraussagte, die nach Angabe der Astronomen in das Jahr 585 v. Chr. fiel. Philosophie und Wissenschaft – ursprünglich nicht voneinander getrennt – entstanden demnach gemeinsam zu Beginn des sechsten Jahrhunderts.“¹⁴ In dieser Arbeit wollen auch wir Thales folgen und deshalb die Philosophie und Wissenschaft als eine Einheit bildend betrachten.



Bild 1: Bertrand Russell
(1872-1970)

Was Thales zu einem Wissenschaftler macht, ist eigentlich einfach zu begreifen. Er stellt Hypothesen¹⁵ auf, und diese werden dann eben *falsifiziert*, oder behalten ihre *Gültigkeit*. Wenn nun die Wissenschaft und die Philosophie eine Einheit bilden, dann dürfte auch genau diese Methode wohl auch die Prinzipien der Philosophie bilden? Da wir die Philosophie und die Wissenschaft nicht als identisch betrachten, können wir auch nicht automatisch annehmen, dass die Prinzipien der (Natur)wissenschaft mit denen der Philosophie überstimmen. Wir könnten natürlich bei Thales nachsehen, was die Prinzipien der Philosophie ausmachen, doch von Thales sind eigentlich gar keine Werke überliefert¹⁶ und den Begriff „*Philosophie*“ gibt es erst bei Platon. So gesehen, dürfte es kein allzu schlechter Weg sein, wenn wir uns anschauen, wie Platon Thales darstellt. In seinem Werk *Theaitetos* legt Platon folgende Worte in den Mund von Sokrates (, welcher einen Dialog mit Theodoros führt):

„*Sokrates*: Wie auch den Thales, o Theodoros, als er, um die Sterne zu beschauen, den Blick nach oben gerichtet in den Brunnen fiel, eine artige und witzige thrakische Magd soll verspottet haben, daß er, was am Himmel wäre, wohl strebte zu erfahren, was aber vor ihm läge und zu seinen Füßen, ihm unbekannt bliebe, - mit diesen nämlichen Spotte nun reicht man noch immer aus gegen alle, welche in der Philosophie leben. Denn in der Tat, ein solcher weiß nichts von seinem Nächsten und

¹² Ob dieser Spruch, welcher auch als eine Inschrift im Apollotempel in Delphi zu finden war, wirklich von Thales stammt, ist wohl strittig. Er wird jedoch als Kandidat (bei Platon) erwähnt. vgl. WÖHRLE 2009, S. 41-43

¹³ BILD: BERTRAND RUSSELL

¹⁴ RUSSELL 1988, S. 25

¹⁵ „Thales, Anaximanders und Anaximenes Spekulationen sind als wissenschaftliche Hypothesen anzusehen; [...]“ RUSSELL 1988; S. 50

Wir wollen hier einige wissenschaftliche Aussagen zu verschiedensten Bereichen festhalten:

- Astronomie: die Voraussage eines Sonnenfinsternis
- Trigonometrie: Methoden zur Berechnung der Entfernung von Schiffen und die Höhen von Pyramiden
- Kosmologie: Wasser als Urstoff der Welt

vgl. dazu RUSSELL 1988, S. 47

Außerdem betont Russell: „Die Behauptung, alles sei aus Wasser entstanden, muß als wissenschaftliche Hypothese durchaus ernst genommen werden. Vor zwanzig Jahren galt die Ansicht, alles habe sich aus Wasserstoff entwickelt, der zwei Drittel des Wassers ausmacht. Die Griechen stellten ihre Hypothesen etwas voreilig auf, die milesische Schule aber war zumindest darauf bedacht, sie empirisch zu überprüfen.“ RUSSELL 1988, S. 47-48

¹⁶ WÖHRLE 2009, S. 1

Nachbarn, nicht nur nicht, was er betreibt, sondern kaum, ob er ein Mensch ist oder etwa irgend ein anderes Geschöpf. Was aber der Mensch an sich sein mag, und was einer solchen Natur ziemt, anders als alle anderen zu tun und zu leiden, das untersucht er und läßt es sich Mühe kosten, es zu erforschen. Du verstehst mich doch, Theodoros, oder nicht?“¹⁷

In diesen Sätzen:

„Was aber der Mensch an sich sein mag, und was einer solchen Natur ziemt, anders als alle anderen zu tun und zu leiden, das untersucht er und läßt es sich Mühe kosten, es zu erforschen. Du verstehst mich doch, Theodoros, oder nicht?“

von Sokrates (nach Platon), scheinen wohl die Essenz bzw. die *Prinzipien der Philosophie* zu sitzen. Wir wollen daher darüber nachdenken, wie man diesen Satz (am besten) interpretieren könnte.

Da Sokrates ein Mensch ist, kann er wohl am besten nachvollziehen, was einen Menschen ausmacht, wenn er beispielsweise über sich selbst reflektiert bzw. nachdenkt.¹⁸ Damit dies jedoch erst überhaupt gelingen kann, benötigt er ein Bewusstsein von seinem eigenen „Ich“ bzw. *Ichbewusstsein*. Doch sehr interessant ist auch der letzte Satz von Sokrates, nämlich „Du verstehst mich doch, Theodoros, oder nicht?“ Hier fragt Sokrates, ob Theodoros sich in seine Gedanken hineinversetzen kann; seine eigene Perspektive übernehmen kann. Ohne das Können eines Perspektivenwechsels wäre die Geschichte über Thales erst gar nicht nachvollziehbar. Wir sind durch die Erzählung von Sokrates nahezu gezwungen die Perspektive der witzigen, thrakischen Magd zu übernehmen, um sie dann mit der Perspektive des Philosophen Thales zu vergleichen. Die Bedeutung des *Perspektivenwechsels* – die Begabung dazu werden wir als *Theory of Mind* bezeichnen – für die Philosophie scheint für Platon ganz klar zu sein, da er seine Werke prinzipiell in *Dialogen*¹⁹ schrieb.

Die Prinzipien der Philosophie sind somit *Ichbewusstsein* und *Perspektivenwechsel*
(bzw. *Theory of Mind*).

Diese Prinzipien scheint Heraklit auf den Punkt zu bringen, wenn er schreibt: „Den Menschen allen ist zuteil, sich selbst zu erkennen und verständig zu denken.“²⁰

Walter Hollitscher schreibt in seinem Buch ***Die Natur im Weltbild der Naturwissenschaft***: „Bewußtsein ist bewußtgewordenes Sein. Der Inhalt des Bewußtseins liegt daher nicht im Bewußtsein selbst. Er ist in der widergespiegelten Außenwelt zu finden.“²¹ Würde das dann nicht bedeuten, dass wir um uns bzw. dem Ich bewusst zu werden, erst eine Perspektive bräuchten, um uns selbst erst als ein Objekt betrachten zu können. (Beispielsweise werden wir später sehen, dass „sich selbst im Spiegel erkennen“ überhaupt die erste wissenschaftliche Methode war, um zu unterscheiden, ob ein Lebewesen ein Ichbewusstsein (schon) besitzt oder nicht.) Benötigt dieser

¹⁷ PLATON 2004, S. 608

¹⁸ Damit würde sich Sokrates mit dem Teil „Was aber der Mensch an sich sein mag [...]“ genauer auseinandersetzen.

¹⁹ Um zu zeigen, von welcher fundamentaler Bedeutung die Perspektive für die Philosophie besitzt, geben wir hier ein Beispiel an: „Unterschiedlich wird auch die berühmte, zuerst bei Platon (**Th 19**) berichtete Anekdote vom Brunnenfall des Thales interpretiert. Zielt sie zunächst auf die ‚Weltfremdheit‘ des Weisen, so können christliche Autoren darin wiederum einen Beleg für die Nutzlosigkeit heidnischen Wissens sehen.“ WÖHRLÉ 2009, S. 4

²⁰ Heraklit, DK 22 B 87

²¹ HOLITSCHER 1965, S. 432

objektive Blick nicht prinzipiell einen Perspektivenwechsel bzw. ein Theory of Mind? Oder wenn wir über uns selbst reflektieren, nehmen wir dann nicht schon verschiedene Perspektiven ein?

So gesehen ist womöglich nur **die Perspektivenbildung** (und damit allgemein der *Perspektivenwechsel*) das Prinzip der Philosophie und das Ichbewusstsein ist dessen erste (und fundamentalste) Projektion.

(In der Philosophiegeschichte hat es eine große und lange Tradition nach einer Letztbegründung zu suchen. Wenn wir nun annehmen würden, dass die Perspektivenbildung wirklich das Prinzip der Philosophie sei, dann könnten wir dies auch als einen Teil der Letztbegründung betrachten! Den Interessierten Leser verweisen wir gerne auf **Anhang II**, wo wir versuchen das Problem der Letztbegründung und dessen mögliche Lösung kurz zu skizzieren.)

Diese Erkenntnisse über die Prinzipien sind jedoch nicht so sehr überraschend bzw. neu. Descartes, der „zu Recht“ „als der Begründer der modernen Philosophie“ „gilt“²², denkt bereits in seinem Werk **Meditationen (über die Grundlagen der Philosophie mit sämtlichen Einwänden und Er widerungen)** über die Prinzipien der Philosophie nach. Seine Methode ist das Zweifeln. Descartes versucht möglichst vieles anzuzweifeln, um sich von seinen Vorurteilen weitgehend zu befreien. (Natürlich kann man prinzipiell nicht alles auf einmal in Zweifel ziehen. Auch Wittgenstein schreibt in seinem (letzten) Werk **Über Gewißheit**: „Wer an allem zweifeln wollte, der würde auch nicht bis zum Zweifel kommen.“²³) So schreibt er auch gleich zu Beginn (im ersten Teil²⁴) seines Hauptwerkes **Die Prinzipien der Philosophie** (1644): „Um die Wahrheit zu finden, muß einmal im Leben an allem, soweit es möglich ist, gezweifelt werden.“²⁵ So folgt er (sozusagen auf Thales, Sokrates und Platons) Spuren: „Was also habe ich vordem zu sein geglaubt? Doch wohl ein Mensch! Aber was ist das „ein Mensch“? Soll ich sagen: ein vernünftiges lebendes Wesen? Keineswegs, denn dann müßte man ja hernach fragen, was „ein lebendes Wesen“ und was „vernünftig“ ist und so geriete ich aus einer Frage in mehrere und noch schwierigere. [...] Lieber will ich hier mein Augenmerk darauf richten, was vordem ganz von selbst und naturgemäß sich meinem Bewußtsein (cogitatio) darbot, so oft ich erwog, was ich sei.“²⁶ Und die Antwort gibt er bereits auf der nächsten Seite: „Ich bin aber ein wahres und wahrhaft existierendes Ding, aber was für ein Ding? Nun, ich sagte es bereits – ein denkendes.“²⁷ Die Begründung ist ganz simpel: „Denn offenbar ist es widersprüchlich, anzunehmen, daß dasjenige, das denkt, in eben derselben Zeit, in der es denkt, nicht existieren sollte. Und deshalb ist die Erkenntnis, ich denke, daher bin ich, die überhaupt erste und sicherste, auf die jeder regelgeleitet Philosophierende stößt.“²⁸

²² RUSSELL 1988, S. 568

²³ Ludwig Wittgenstein zitiert nach APEL 2011, S. 198

Auch Hans Albert betont die „Unmöglichkeit eines theoretischen Vakuums“ (ALBERT 1991, S. 62) und versucht dadurch zu zeigen, dass „die Annahme der Existenz kontextunabhängiger Beobachtung und vorurteilsfreier Intuitionen“ (ALBERT 1991, S. 47-48) nicht zu bewerkstelligen ist.

²⁴ Dieser trägt den Untertitel **Über die Prinzipien der menschlichen Erkenntnis**.

²⁵ DESCARTES 2005, S. 11

²⁶ DESCARTES 1965, S. 18-19

²⁷ DESCARTES 1965, S. 20

Und ein paar Zeilen oben: „Hier finde ich nun: Das Denken ist's, es allein kann von mir nicht getrennt werden: Ich bin, ich existiere, das ist gewiß.“ DESCARTES 1965, S. 20

²⁸ DESCARTES 2005, S. 15

Das ist natürlich auch insofern interessant, da Descartes Gedanken eigentlich erst durch den Perspektivenwechsel bzw. Theory of Mind eine universelle Bedeutung bzw. eine allgemeine Gültigkeit beanspruchen dürfen. Unausgesprochen – jedoch insgeheim mitgedacht – bezieht das Descartessche Cogito nämlich folgendes mit ein, wenn er versucht den Leser anzusprechen bzw. zu argumentieren:

Ich denke, also existiere Ich. So existieren auch andere Ichs, wenn sie (darüber) nachdenken.

Ganz deutlich spricht Karl-Otto Apel (Bild 2)²⁹ diesen Punkt in seinem Werk **Paradigmen der Ersten Philosophie** (2011) an: „Wenn Descartes und noch Husserl in ihren Büchern den Satz niederschrieben >>Je pense, donc j'existe<< oder >>dubito, ergo sum<< oder >>Ich denke, also bin ich<<, dann haben sie nicht einmal im Prinzip auf den Umstand reflektiert, daß sie durch das Niederschreiben des Satzes auch bereits die *paradigmatische Gewißheit des Gebrauchs einer partikularen Sprache und insofern der Zugehörigkeit zu einer Kommunikationsgemeinschaft* voraussetzen. Im Gegenteil: Als >>transzendente Solipsisten<< (im Sinne des Husserlschen Terminus!) sahen sie sich in der *primordialen Situation des Alleinseins mit ihrem Selbstbewußtsein*. Und daher sahen sie sich als >>redliche<<, kritische Denker (so Husserl) vor der Aufgabe, die Existenz einer Außenwelt, einer Sprache sowie anderer Denksubjekte oder Bewußtseine allererst zu beweisen bzw. aufgrund des prinzipiell einsamen transzendentalen Bewußtseins zu >>konstituieren<<.

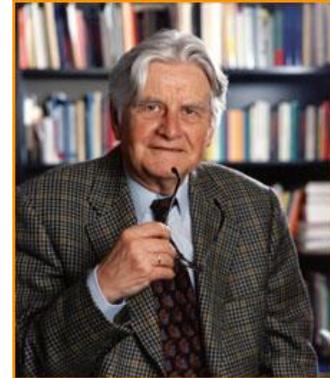


Bild 2: Karl-Otto Apel (1922)

All dies ändert sich sozusagen, mit einem Schlag, wenn man – von vornherein – den Standpunkt einer *transzendentalen Sprachpragmatik* einnimmt und das *cogito, ergo sum* im – m. E. nicht hintergehbaren – Kontext des *transzendentalen Sprachspiels der Argumentation* interpretiert.“³⁰

²⁹ BILD: KARL-OTTO APEL

³⁰ APEL 2011, S. 212-213

In diesem Kontext bekommt selbstverständliche die Kommunikation bzw. die Sprache eine allgemeine und wichtige Bedeutung. Doch schreibt Evelyn C. Ferstl: „Kommunikation ohne ToM – das scheint unmöglich.“ (FERSTL 2012, S. 122) oder einige Seiten weiter: „ToM ist damit eine Voraussetzung für sprachlich-kommunikatives Verhalten.“ (FERSTL 2012, S. 131) Wir erkennen somit, dass also auch die Sprachbildung und die Kommunikation einer Theory of Mind bedarf. (Es gibt aber auch Theorien, die darauf hindeuten, dass der komplexeren ToM – der zweiten und dritten Stufe – sprachlichen Fähigkeiten vorausgehen (vgl. FERSTL 2012, S. 130).) Dass die Sprache Theory of Mind benötigt, wird uns meist spätestens bei Komplementsätzen klar, z.B.: „Wir wissen, dass du denkst, dass sie vermutet, dass dieser Satz falsch ist.“ (vgl. FERSTL 2012, S. 125) So ist es auch nicht übersehbar, dass unsere Kommunikationsfähigkeiten mit unserem sozialen Umfeld stark von unserem ToM- Fähigkeiten abhängen. Wenn wir beispielsweise mit anderen kommunizieren so achten wir auf unseren Tonfall, auf das Vorwissen des Gegenübers usw. Wir sprechen nicht nur miteinander, sondern versuchen uns auch gegenseitig zu verstehen. Dabei versuchen wir nicht selten zwischen den Zeilen zu lesen und achten zugleich eben auch auf Ungesagtes. (Hier verweisen wir gerne auf das Kommunikationsquadrat von Friedmann Schulz-von Thun; vgl. FERSTL 2012, S. 122-123) (Sonst wäre es beispielsweise auch unmöglich Sarkasmus zu verstehen. vgl. FERSTL 2012, S. 127)

So gesehen macht Descartes *cogito, ergo sum* bzw. „*ich denke, also bin ich*“ eben am meisten Sinn, wenn wir das Ich als ein Argumentationssubjekt mit Geltungsansprüchen verstehen, welches sich der Kommunikationsgesellschaft als ein Diskursteilnehmer vorstellt.³¹

So schreibt Apel weiter: „Hier kommen m. E. die Umriss einer neuen, *transzendental-pragmatischen* Begründung der Ersten Philosophie in Sicht: einer *prima philosophia*, die *postmetaphysisch* und nicht mehr – wie im cartesischen Paradigma der *transzendentalen Bewußtseinsphilosophie* – ausschließlich an der *Subjekt-Objekt-Relation* der wissenschaftlichen Erkenntnis orientiert ist, sondern – komplementär dazu – zugleich an der *Subjekt/Ko-Subjekt-Relation* der kommunikativen Verständigung. Damit zugleich wird m. E. allererst die Letztbegründung der *Hermeneutik* und der *Ethik* möglich.“³²

Überraschend ist, dass einige der Überlegungen Apels – welche „Descartes im Diskurs der Neuzeit“³³ darstellen – teilweise in etwas simpler Form bereits beim berühmten Ethikphilosophen Spinoza (intuitiv) vorhanden sind. So kann er als einer der ersten Philosophen betrachtet werden, die diese Schwachstelle in Descartes Philosophie erkannten und zur Sprache brachten. Denn nach Descartes Tod (1650) erscheint sein didaktisches Werk (mit dem langen Titel) ***Descartes' Prinzipien der Philosophie auf geometrische Weise begründet mit dem „Anhang, enthaltend metaphysische Gedanken“*** (1663). (Diese Schrift wird zugleich auch die einzige sein, die er unter seinem eigenen Namen veröffentlicht.)³⁴ Dort untersucht er im *Anhang*, inwiefern die Begriffe „*das Wahre* und *das Falsche*“ in der Sprache gebraucht werden. So schreibt er: „Die erste Bedeutung von *wahr* und *falsch* scheint bei Gelegenheit der Erzählungen entstanden zu sein; diejenige Erzählung wurde *wahr* genannt, welche eine Tatsache betraf, die sich wirklich ereignet hatte, und diejenige war *falsch*, die eine Tatsache betraf, die sich nirgends zugetragen hatte. Allein die Philosophen benutzten diese Bedeutung nachher zur Bezeichnung der Übereinstimmung der Idee mit ihrem Gegenstande und umgekehrt; deshalb heißt diejenige Idee *wahr*, welche uns die Sache so zeigt, wie sie an sich ist, und *falsch* die, welche uns die Sache anders darstellt, als sie wirklich ist; denn die Ideen sind eben nur geistige Erzählungen oder Geschichten der Natur. Von hier sind dann die Worte bildlich auf die stummen Gegenstände übertragen worden; so nennt man das Gold *wahr* (echt) oder *falsch*, gleich als ob das von uns vorgestellte Gold etwas von sich selbst erzählte, was an sich ist oder was nicht ist.“³⁵ Es ist deutlich zu erkennen, dass in der ethischen Philosophie Spinozas der Kommunikation und somit dem *Anderen* mehr Bedeutung gegeben wird.

(Bei Feuerbach sind beispielsweise Textstellen zu finden, wonach in den ***Meditationen*** von Descartes folgendes steht: „[...] daraus, daß ich zweifle, folgt, daß ich und mir ähnliche Wesen existieren“³⁶. Das scheint aber eher ein Übersetzungsfehler zu sein. Dort heißt es eigentlich, wenn wir den ganzen Satz betrachten: „Alles nämlich, was die natürliche Einsicht bezeugt – wie daß daraus, daß ich zweifle, folgt, daß ich bin und dergleichen – das kann in keiner Weise zweifelhaft sein.“³⁷)

³¹ vgl. dazu APEL 2011, S. 213-214

³² APEL 2011, S. 214

³³ In dem Buch ***Descartes im Diskurs der Neuzeit*** (2000) befinden sich verschiedene Texte von unterschiedlichen Philosophen der Neuzeit. Auch die Stellen von Apel, die wir in dieser Arbeit benützt haben sind dort zu finden. vgl. APEL 2000, S. 207

³⁴ vgl. SPINOZA 1987, S. XVII

³⁵ SPINOZA 1987, S. 123

³⁶ FEUERBACH 1969, S. 251

³⁷ DESCARTES 1965, S. 31

Besser wäre es deswegen vielleicht, wenn wir den Spruch von Thales erweitern in „**Erkenne dich selbst und andere!**“ Denn es mag zwar weise sein, wenn wir uns selbst erkennen, doch wahre Erleuchtung erlangen wir wohl erst, wenn wir die Perspektiven wechseln können.

Zusammenfassend können wir sagen: **Descartes erkennt die Bedeutung des Zweifels, des Ich-Bewusstseins, aber ihm entgeht die Bedeutung des Perspektivenwechsels bzw. der Theory of Mind.**³⁸ So kritisiert später bereits Voltaire in seinem Roman *Candid* (1759) Cicero mit folgenden Worten: „[...] doch als ich erkannte, daß er an allem zweifelt, zog ich den Schluß, ich wisse genausoviel wie er, und um nichts zu wissen, brauche ich niemanden.“³⁹

Trotzdessen versucht natürlich auch Descartes wie Thales die Wissenschaft und die Philosophie als eine Einheit zu betrachten. Keenan meint Descartes - „wohl“ einer „der einflussreichsten Denker über das menschliche Bewusstsein“ - „war nicht nur ein großer Philosoph, sondern kann auch als der erste Neurowissenschaftler gelten. Seine Theorien zur Verknüpfung von Ichbewusstsein und Bewusstsein sind bis heute von Bedeutung. Der Satz „Cogito ergo sum“, „Ich denke also bin ich“, besagt, dass das Ich existiert und um seine Existenz weiß, weil es denken und über seine Existenz reflektieren kann.“⁴⁰

Wir wollen uns sodann noch anschauen, inwiefern Descartes ein *Neurowissenschaftler* war und zugleich studieren, wie man das *Ichbewusstsein* und die *Theory of Mind wissenschaftlich* beschreiben und erforschen kann. Doch bevor wir von der *philosophischen Bühne* kurz auf die *psychologische Bühne* wechseln, damit wir unsere Erkenntnis um den wissenschaftlichen Teil ergänzen können, möchten wir zuvor noch knapp die *Prinzipien der Naturwissenschaften* besprechen.

³⁸ Wir möchten an dieser Stelle deutlich darauf hinweisen, dass wir unter „Theory of Mind“ den Fachausdruck aus der Psychologie verstehen. Damit bezeichnet man die Fähigkeit, sich in andere Personen hineinversetzen zu können. Beispielsweise scheint Desmond Clarke in seinem Buch *Descartes's Theory of Mind* (2003) deswegen darauf nicht einzugehen, weil dort mit „Theory of Mind“ eher „Theorie des Verstandes“ gemeint ist. (So versucht er in seinem Buch (unter anderem) eine Anleitung zu geben, wie man den Dualismus zwischen dem Geist und dem Körper von Descartes interpretieren kann. Vor allem möchte Clarke in seiner Arbeit zeigen, dass Descartes' Philosophie wahrscheinlich größtenteils missinterpretiert wurde. vgl. CLARKE (2003), Kapitel: **Introduction.**)

³⁹ VOLTAIRE 2006, S. 87

⁴⁰ KEENAN 2005, S. 19

Die Prinzipien der (Natur)wissenschaften

„Worin liegt der entscheidende Unterschied zwischen der Amöbe und Einstein, kann also wie folgt beantwortet werden:

Die Amöbe flieht vor der Falsifikation: Ihre Erwartung ist ein Teil von ihr, und vorwissenschaftlicher Träger von Erwartungen oder Hypothesen werden oft durch Widerlegung der Hypothese vernichtet. Einstein dagegen hat seine Hypothese objektiviert. Die Hypothese ist etwas außerhalb von ihm; und der Wissenschaftler kann seine Hypothese durch seine Kritik vernichten, ohne selbst mit ihr zugrunde zu gehen. In der Wissenschaft lassen wir unsere Hypothesen für uns sterben.“⁴¹ von Karl Popper (Bild 3)⁴²

Dass die **Perspektivenbildung** das *Prinzip der Philosophie* darstellen könnte, haben wir bereits besprochen. Dies ist jedoch nur eine Hypothese, welche in dieser Arbeit aufgestellt wird. Doch das wissenschaftliche Vorgehen, kann damit noch nicht ganz erfasst werden.⁴³ Um eine wissenschaftliche (Natur)philosophie zu betreiben, sollten wir unsere Hypothesen auch überprüfen (bzw. kritisieren)⁴⁴! So werden wir die folgende Theorie aufstellen:

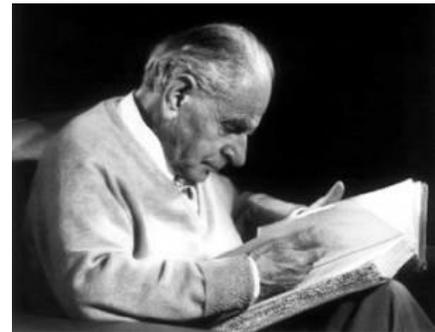


Bild 3: Karl Popper
(1902-1994)

Die zwei Prinzipien der (Naturphilosophie bzw. der Natur)wissenschaft sind

1. die **Bildung einer Perspektive**⁴⁵ bzw. **Hypothese** und
2. die **Überprüfung jener Hypothese**.

(Im **Anhang II** werden sie auch als die **Letztbegründungsprinzipien** vorgeschlagen und erläutert!)

⁴¹ POPPER 2012, S. 25-26

Ähnliche Ansichten findet man zum Teil auch in Ernst Machs Buch *Erkenntnis und Irrtum* (1905): „Die Wissenschaft ist anscheinend als der überflüssige Seitenzweig aus der biologischen und kulturellen Entwicklung hervorgewachsen. Wir können aber heute nicht mehr zweifeln, daß dieselbe sich zum biologisch und kulturell förderlichsten Faktor entwickelt hat. Sie hat die Aufgabe übernommen, an die Stelle der tastenden, unbewußten Anpassung die raschere, klar *bewußte, methodische* zu setzen.“ MACH 1917, S. 461 (Im Kapitel *Sinn und Wert der Naturgesetze*.)

⁴² BILD: KARL POPPER

⁴³ Insofern können wir Karl Popper zustimmen, wenn er betont: „*Es gibt keine Methode, die für die Philosophie charakteristisch oder wesentlich ist.*“ POPPER 2005, S. XX

⁴⁴ vgl. dazu POPPER, S. 21, Fußnote 36

⁴⁵ Dieses Prinzip könnte man unterschiedlich auffassen. Eine *Möglichkeit* (ihre Ursprünge zu erkennen) liegt womöglich in der Betrachtung von Damasio: „Die unauffälligen sensorischen Portale spielen eine entscheidende Rolle für die Definition der *Perspektive* des Geistes im Verhältnis zur übrigen Welt. Ich spreche hier nicht von dem biologisch einzigartigen Phänomen des Protoselbst, sondern ich meine einen Effekt, den wir alle im Geist erleben: Wir haben eine *Position* zu allem, was sich außerhalb des Geistes abspielt. Dabei handelt es sich nicht nur um eine >>An-Sicht<<, auch wenn das Sehen für die sehfähige Mehrheit der Menschen in den meisten Fällen die Tätigkeit des Geistes beherrscht. Wir haben auch eine Position zu den Geräuschen der Umwelt, eine Position zu den Gegenständen, die wir berühren, und sogar eine Position zu den Objekten, die wir in unserem eigenen Körper spüren – dem Ellenbogen und seinen Schmerzen oder unseren Füßen, mit denen wir über den Sand gehen.“ DAMASIO 2013, S. 210-211

Dabei stellt das zweite Prinzip (= „Überprüfen der Hypothese“), uns in eine (höhere) Perspektive, wo wir das erste Prinzip (= „Bildung einer Hypothese“) wieder unter den Blick nehmen können. Damit diese Höhere Perspektive (bzw. Perspektive zweiter Ordnung) nicht verloren geht, muss die Überprüfung der Hypothese wiederholbar (bzw. reproduzierbar) sein. Karl Popper – der mit unseren Prinzipien wohl zum Teil einverstanden wäre⁴⁶, zum Teil aber nicht⁴⁷ – erklärt in seinem Hauptwerk (bzw. Programmschrift) **Logik der Forschung** (1935): „Die *Objektivität* der wissenschaftlichen Sätze liegt darin, daß sie *intersubjektiv nachprüfbar* sein müssen.“⁴⁸ Unter *Prüfen* verstehen wir genauer: *Nach den Gültigkeitsgrenzen der jeweiligen Perspektive bzw. des Theoretischen Systems zu forschen*. So können wir uns (oder auch andere sich) wieder in uns hineinversetzen und die Hypothese immer wieder überprüfen. Nach diesen Erläuterungen wird uns klar:

Die objektive Wissenschaft bedarf einem Ichbewusstsein bzw. einer Theory of Mind.⁴⁹

In diesem Sinne unterscheidet sich aber der Rationalismus von Karl Popper gegenüber dem von Descartes. So erklärt Popper in seinem Buch **Alles Leben ist Problemlösen** (1996): „Wenn ich vom Rationalismus spreche, so habe ich *nicht* eine philosophische Theorie im Auge, wie zum Beispiel die von Descartes, und schon gar nicht den höchst unvernünftigen Glauben, daß der Mensch ein reines Vernunftwesen sei. Was ich meine, wenn ich von der Vernunft spreche oder vom Rationalismus, ist weiter nichts als die Überzeugung, daß wir durch die Kritik unserer Fehler und Irrtümer *lernen* können und insbesondere durch die Kritik anderer und schließlich auch durch Selbstkritik. Ein Rationalist ist einfach ein Mensch, dem mehr daran liegt zu lernen, als recht zu behalten; der bereit ist, von anderen zu lernen, nicht etwa dadurch, daß er die fremde Meinung einfach annimmt, sondern dadurch, daß er gerne seine Ideen von anderen kritisieren läßt und gerne die Ideen anderer kritisiert. Der Nachdruck liegt hier auf der Idee der Kritik oder genauer der *kritischen Diskussion*.“⁵⁰

Wir sehen, dass Karl Popper hier einen **kritisch rationalen Standpunkt** vertritt. Die (historische) Bedeutung dieser Perspektive kann man folgendermaßen kurz erläutern. Zu Zeiten Karl Poppers dachten die (meisten) Naturphilosophen bzw. -wissenschaftler, dass man eine wissenschaftliche Theorie entweder verifizieren (= bestätigen) oder falsifizieren (= widerlegen) kann.⁵¹ Descartes, der

⁴⁶ Karl Popper würde diese Überlegungen bzw. Prinzipien womöglich unterstützen, denn er schreibt in seinem Werk **Logik der Forschung** (1935): „Ich bin aber bereit zuzugeben, daß es etwas gibt, das man als *die* Methode der Philosophie bezeichnen könnte. Sie ist aber keineswegs für die Philosophie allein charakteristisch; vielmehr ist sie die Methode aller *rationalen Diskussion* und daher ebenso die Methode der Naturwissenschaft wie die der Philosophie. Ich meine die Methode, die darin besteht, daß man sein Problem klar formuliert und die verschiedenen vorgeschlagenen Lösungsversuche *kritisch* untersucht.“

Ich habe hier die Worte >rationaler Diskussion< und >kritisch< hervorgehoben, um zu betonen, daß ich die rationale Einstellung und die kritische Einstellung gleichsetze.“ POPPER 2005, S. XX (Wir wollen den Leser darauf hinweisen, dass diese Stelle im *Vorwort zur ersten englischen Ausgabe 1959* zu finden ist.)

⁴⁷ Popper ist bekanntlich gegen *absolut letzte Sätze*. (vgl. POPPER 2005, S. 24)

Unsere Prinzipien – denen wir auch die Rolle von *Letzbegründungsprinzipien* unterstellen (siehe **Anhang II**) – würden aber gerade solche Sätze darstellen (, die aber *prinzipiell* eine „Falsifikation“ erlauben würden.)

⁴⁸ POPPER 2005, S. 21 (und vgl. auch S. 33, 74-76)

Nur am Rand merken wir hier noch an, dass eine Theorie nicht nur prinzipiell intersubjektiv, sondern auch intersensual überprüfbar sein sollte „d.h., Nachprüfungen der Theorie, die durch Beobachtungen eines bestimmten Sinnesgebietes erfolgen können, können grundsätzlich durch solche in anderen Sinnesgebieten ersetzt werden.“ POPPER 2005, S. 80

⁴⁹ Siehe dazu **Anhang I**.

⁵⁰ POPPER 2012 S. 159-160

⁵¹ vgl. POPPER 2005, S. 16

Schon bei Galilei heißt es: „Ihr wisst aber *ad destruendum sufficit unum*.“ (GALILEI 1891, S. 207)

beispielsweise einen **rationalen Standpunkt** vertrat, versucht durch seine *Methode des Zweifelns* das Wahre vom Falschen zu trennen. Dabei beginnt er „an allem zu zweifeln“⁵² und betrachtet es für „nützlich“ das zweifelbare vorerst „für falsch zu halten“⁵³. Dem Falschen können wir nur dann zur Gänze entkommen, wenn wir nur dem zustimmen, „das wir klar und deutlich erfassen“⁵⁴. Denn nur dieses stellt die Wahrheit dar, glaubt Descartes, das sich im gewissen Sinne so offenbart⁵⁵. Der *universelle Zweifel*, den Descartes als Wahrheitssuchender sehr hochschätzt, gilt auch für Karl Poppers Perspektive. Doch die *Methode* von Descartes sich zuerst **im Voraus** von allen Vorurteilen zu befreien ist (nach Karl Poppers Sichtweise) nicht sinnvoll, da uns eine sichere Erkenntnis als solche gar nicht zugänglich ist.⁵⁶ Wir können nur alle unsere Hypothesen **nacheinander** überprüfen.⁵⁷ Wenn es uns gelingt die Hypothese zu falsifizieren, (spätestens) dann suchen wir nach anderen Theorien. Doch Hypothesen bzw. Theorien zu verifizieren ist gänzlich unmöglich oder wie Popper schreibt: „Sicheres Wissen ist uns versagt. *Unser Wissen ist ein kritisches Raten; ein Netz von Hypothesen; ein Gewebe von Vermutungen.*“⁵⁸ So wird schließlich aus einem **Rationalismus Descartes** der **kritische Rationalismus** von Karl Popper.⁵⁹

Wenn wir nun versuchen festzumachen, was die jeweiligen Perspektiven voneinander trennt, können wir folgendes vorschlagen:

Etwas frei übersetzt können wir schreiben: „Ihr wisst aber, dass zur Widerlegung einer Behauptung bzw. Hypothese genügt nur ein ihr (widersprechender) Umstand genügt.“ (vgl. GALILEI 1891, S. 529, Fußnote 70)

⁵² DESCARTES 2005, S. 11 (I/1)

⁵³ DESCARTES 2005, S. 11 (I/2)

⁵⁴ DESCARTES 2005, S. 49 (I/43)

„Klar nenne ich jene, die dem aufmerksamen Geist gegenwärtig und zugänglich ist: Ebenso wie wir das von uns klar gesehen nennen, das, während es dem betrachtenden Auge gegenwärtig ist, es hinreichend kräftig und offenkundig erregt. Deutlich hingegen nenne ich jene, die, weil sie klar ist, von allen anderen so unterschieden und umrissen ist, daß sie schlichtweg nichts anderes als das, was klar ist, in sich enthält.“ DESCARTES 2005, S. 51 (I/45)

⁵⁵ Wir verweisen den interessierten Leser gerne auf „*Das Offenbarungsmodell in der Erkenntnislehre*“ von Hans Albert, wo die Vorstellung, dass die *Wahrheit* einen *Offenbahrungscharakter* innehat, kritisiert wird. (vgl. ALBERT 1991, S. 18f.)

Diese erkenntnistheoretische Einstellung von Descartes (1596-1650) war bei seinen Zeitgenossen damals nicht ungewöhnlich. Beispielsweise wurde sie auch von Francis Bacon (1561-1626) vertreten. Hans Albert berichtet: „Man hat mit Recht auf fundamentale Ähnlichkeiten zwischen der Descartesschen und der Baconschen Methode hingewiesen, Ähnlichkeiten, die vor allem darin bestehen, daß in beiden Fällen der Geist von Vorurteilen gereinigt werden soll, damit man dann zur offenbaren Wahrheit gelangen kann, zu einer sicheren Grundlage für die Erkenntnis, nämlich zu Vernunft Einsichten beziehungsweise zu Sinneswahrnehmungen, von denen alles andere durch deduktive oder induktive Verfahrensweisen ableitbar sind.“ ALBERT 1991, S. 27 vgl. dazu ALBERT 1991, S. 27, Fußnote 28 und POPPER 2005, S. 267, Fußnote 44

⁵⁶ „Theorien sind nicht verifizierbar; aber sie können sich bewähren.“ POPPER 2005, S. 237; (vgl. auch POPPER 2005 S. 261 f.)

⁵⁷ vgl. dazu APEL 2011, S. 204

⁵⁸ POPPER 2005, S. XXXIV; (vgl. auch S. 266-267)

⁵⁹ Wir merken hier nur kurz an, das Karl Popper bei der Entwicklung seiner Perspektive wohl weniger von Descartes Interpretation seinen Ausgang fand – was wohl der direktere Weg gewesen wäre -, sondern mehr weil er das *Humesche Problem* und das *Kantsche Problem* vor Augen hatte. (vgl. POPPER 2005, S. 10) Besonders in seinen Auseinandersetzungen mit dem *Wiener Kreis* (= ein philosophischer Diskussionskreis), ist wohl der Beginn des kritischen Rationalismus zu suchen. (vgl. POPPER 2005, S. XXX)

Das was die **rationale Erkenntnistheorie** (von Descartes) von der **kritisch rationalen Erkenntnistheorie** (von Karl Popper) unterscheidet, ist das Fehlen der Bedeutung von **Perspektivenwechsel bzw. Theory of Mind**, welches für das Verständnis der **objektiven Wissenschaft fundamental** ist.

Descartes vertritt die Ansicht, dass er sich durch das *Meditieren über die Prinzipien der Philosophie* von der Umwelt *loslösen* bzw. *isolieren* kann, und somit auch von seinen Vorurteilen. Als ein solches *freigesetztes Subjekt* steht er nach seiner Perspektive der Welt gegenüber und kann sie betrachten. „Eine solche Transformation der Subjekt-Objekt-Beziehung ist Bedingung dafür, daß sich das Subjekt mit technisch-praktischen und theoretisch-rationalen Mitteln der Welt bemächtigen, sie konstruieren, ihr Gesetze vorschreiben kann.“⁶⁰ Dieser *methodische Solipsismus*⁶¹ enthält jedoch offensichtlich keine Subjekt-Ko-Subjekt-Beziehung, wie Apel darauf hinweist,⁶² was aber für die Anteilnahme an einer objektiven Naturphilosophie bzw. Naturwissenschaft *grundlegend* ist.

Ebenso von prinzipieller Bedeutung ist auch das *Überprüfen* einer Theorie. Wir haben dieses Kapitel mit einem Zitat von Karl Popper begonnen, wo er eine Amöbe und Einstein miteinander vergleicht. Dort benützt er den Begriff der „Falsifikation“. Dieser Fachausdruck ist ein fester Bestandteil seiner theoretischen Erklärungsweise und kann oft zu Missverständnissen führen.⁶³ Karl Popper, der unter anderem ein gelernter Didaktiker ist⁶⁴, schreibt dazu: „Alles Sprachliche kann immer mißverstanden werden. Daß wir uns so oft verstehen, beruht größtenteils auf dem guten Willen: auf dem Wunsch zu verstehen; auf einer selbstkritischen Einstellung zum allgegenwärtigen Problem, ob man richtig verstanden hat; und auf dem Resultat dieser Einstellung, das dann >Einführung< genannt wird.“⁶⁵ So weist er nachdrücklich darauf hin, dass wir unmöglich über eine Theorie „im Prinzip *mit Sicherheit entscheiden* können, ob sie tatsächlich empirisch widerlegt wurde oder nicht. Und es wird dann mit vollem Recht behauptet, daß Theorien (in diesem Sinne!) nicht falsifizierbar sind.“⁶⁶

Wenn Popper also von einer „Falsifikation“ oder einer „Elimination“⁶⁷ einer Theorie spricht, dann dürfen wir das nicht so sozialdarwinistisch verstehen, wie es zunächst den Anschein hat. Dieses Problem und andere Missverständnisse ergeben sich womöglich erst daraus, dass Popper damals

⁶⁰ HORN 2000, S. 14

⁶¹ Kommt vom lat. solus = allein, und ipse = selbst.

⁶² APEL 2011, S. 196

⁶³ In dieser Arbeit werden wir die *Falsifikation* folgendermaßen deuten:

Ist eine *Beobachtung_x* **kein** Element der Menge V_A der Voraussagen einer Theorie A , dann ist die Theorie A *falsifiziert* (bzw. *ihre Gültigkeit eingegrenzt*).

Den Leser, der sich eine tiefer gehende Diskussion wünscht, verweisen wir auf POPPER 2005, Kapitel IV.

⁶⁴ „[...] 1929 erwarb er [...] die Zulassung als Hauptschullehrer für Mathematik und Physik; 1930 fand er eine Stelle als Lehrer für diese Fächer, die er bis zu seiner Emigration im Januar 1937 innehaben sollte.“ (POPPER 2005, S. 547)

⁶⁵ POPPER 2005, S. XXXV und vgl. für ein besseres Verständnis auch S. XXXVI.

⁶⁶ POPPER 2005, S. 507

Karl Popper betont, dass seine Theorie der Falsifizierbarkeit „eine logische Angelegenheit“ ist. (POPPER 2005, S. 507) Was das genau zu bedeuten hat, werden wir aus Platzgründen in dieser Arbeit nicht zu erläutern versuchen. Wir verweisen den interessierten Leser auf das Kapitel IV des Buches *Logik der Forschung*.

⁶⁷ vgl. POPPER 2012, S. 24f.

So schreibt er: „Meine Hauptthese ist also, daß das Neue, das die Wissenschaft und die wissenschaftliche Methode von der Vorwissenschaft und der vorwissenschaftlichen Einstellung unterscheidet, die bewußt kritische Einstellung zu den Lösungsversuchen ist; es ist also die aktive Teilnahme an der Elimination, die aktiven Eliminationsversuche, die Versuche, zu kritisieren, das heißt, zu falsifizieren.“ POPPER 2012, S. 27

noch nicht auf die verschiedenen Bewusstseinsstufen⁶⁸ eingehen konnte, da sie erst fünf Jahre nach seinem Sterben (1994), von Damasio (1999) eingeführt wurde. Wenn wir dies berücksichtigen, erkennen wir eine klare Struktur in der Hypothesenzuordnung:

Stufen des Bewusstseins	Erklärung der damit zusammenhängenden Hypothesen	Der Zusammenhang jener Stufen mit dem Falsifikationismus
1. Proto-Selbst ⁶⁹	Hypothesen sind verkörperte Lösungsversuche!	Die Falsifikation ist passiv. So kann man eine Falsifikation mit einer Elimination weitgehend gleichsetzen.
2. Bewusstes Kern-Selbst ⁷⁰	Hypothesen sind bewusste Lösungsversuche!	Die Falsifikation ist wieder passiv. Je nach Stärke der Falsifikation, kann sie zur Änderung des Verhaltens bis zur Elimination führen.
3. Autobiographisches Selbst ⁷¹	Hypothesen sind objektivierte (bzw. instrumentalisierte) Lösungsversuche!	Die Falsifikation kann passiv aber auch aktiv stattfinden. Sie dient nur der Verbesserung der Umstände und besitzt keine eliminierenden Eigenschaften.

Obwohl also alle Stufen zu jederzeit Gegenwärtig sind, betrifft die Theoriebildung in der objektiven Wissenschaft **nur** die letztere.

Aus der dritten Stufe können wir entnehmen, dass wenn wir die Richtigkeit einer **Theorie nicht bestätigen** können, dann sie **genau genommen auch nicht widerlegbar** (und schon gar nicht eliminierbar) ist.

Wie können wir aber unter einer *Falsifikation* (in der dritten Bewusstseinsstufe) dann überhaupt verstehen? Wir werden versuchen eine Lösung durch Gleichnisse (bzw. Analogien) zu schaffen, um zu einem besseren Verständnis zu gelangen. Das Problem löst sich auf, wenn wir uns bewusst werden, dass die *Naturwissenschaft* eine **Perspektive** darstellt, wo die *Natur* als **Diskursleiter** bzw. **-regler**

⁶⁸ „Die einfachste Stufe erwächst aus jenem Gehirnteil, der den Organismus vertritt (dem *Protoselbst*). Sie besteht aus einer Ansammlung von Bildern, die relativ stabile Aspekte des Körpers beschreiben und spontane Gefühle des lebenden Körpers (ursprüngliche Gefühle) erzeugen. Die zweite Stufe ergibt sich aus dem Aufbau einer Beziehung zwischen dem *Organismus* (wie er im Protoselbst repräsentiert ist) und jedem Teil des Gehirns, der ein *zu kennendes Objekt* repräsentiert. Das Ergebnis ist das Kern-Selbst. Die dritte Stufe lässt mehrere Objekte, die zuvor als erlebte Erfahrung oder vorhergesehene Zukunft aufgezeichnet wurden, mit dem Protoselbst in Wechselbeziehung treten und eine Fülle von Kern-Selbst-Pulsen erzeugen. Hieraus entsteht das *autobiographische Selbst*. Alle drei Stufen werden in getrennten, aber koordinierten Arbeitsbereichen des Gehirns konstruiert.“ DAMASIO 2013, S. 193-194

⁶⁹ „Das Hauptprodukt des Protoselbst sind spontane Gefühle für den lebenden Körper (*ursprüngliche Gefühle*).“ DAMASIO 2013, S. 194

⁷⁰ „Ein Puls des Kern-Selbst wird erzeugt, wenn das Protoselbst durch eine Interaktion zwischen dem Organismus und einem Objekt verändert wird und wenn sich dadurch auch die Bilder des Objekts verändern.“ DAMASIO 2013, S. 194

⁷¹ „Das autobiografische Selbst tritt in Erscheinung, wenn Objekte aus der eigenen Biografie Pulse des Kern-Selbst entstehen lassen, die anschließend vorübergehend zu einem großen, zusammenhängenden Muster verbunden werden.“ DAMASIO 2013, S. 194

dargestellt wird. Dabei haben wir die Vorstellung, dass die Natur eine Position durch ihre Gesetze innehat, wodurch sie auf unsere – damit sind die Diskursteilnehmer angesprochen – (naturphilosophische) *Grenzen der Perspektive* hinweisen könne. Karl Popper betont: „Nicht umsonst heißen die Naturgesetze >Gesetze<: Sie sagen um so mehr, je mehr sie verbieten.“⁷² Da die Natur keinen *Diskursteilnehmer* „verkörpert“, kann sie auch nicht verbal kommunikativ sein, so wird es zur Aufgabe der Diskursteilnehmer Sätze zu konstruieren, welche wir als Theorien bzw. Hypothesen bezeichnen, die aber eigentlich die *Gesetze der Natur* ausfindig bzw. nachmachen sollen. So gesehen ist die Natur vergleichbar mit einem schweigenden Richter, der zwar die Gesetze nicht ausspricht, jedoch durch Kopfschütteln – durch ein Veto bzw. einen Widerstand – immer wieder zeigt, was nicht geht bzw. verboten ist.⁷³ So schreibt Popper: „[...] *wir* sind es, die die Frage an die Natur formulieren, *wir* versuchen immer wieder, die Frage mit aller Schärfe auf >Ja< und >Nein< zu stellen – die Natur antwortet nicht, wenn sie nicht gefragt wird – und schließlich sind es ja doch nur *wir*, die die Frage beantworten; *wir* setzen die Antwort fest, nach der wir die Natur fragten, wenn wir die Antwort streng geprüft, uns lang und ernstlich gemüht haben, die Natur zu einem eindeutigen >Nein< zu bewegen.“⁷⁴

Das Ganze macht natürlich nur Sinn, wenn der Diskusleiter bzw. die Natur mit ihren Gesetzen sehr verlässlich ist und seine Gesetze nicht die ganze Zeit auf nicht nachvollziehbar sprunghafte Weise wechselt. Oder mit anderen Worten können wir sagen: „Die wissenschaftliche Methode setzt eine *Konstanz der Naturvorgänge* voraus.“⁷⁵ Wenn wir nun Experimente durchführen, und erkennen, dass unsere Theorie sich *bewährt* hat, dann meinen wir eigentlich, dass wir nun überzeugt sind, dass unsere Perspektiven sich innerhalb der Gesetze der Natur befindet. Je besser wir dabei unsere Hypothesen überprüfen können, desto mehr nehmen wir an, dass sie den Gesetzen der Natur näher kommen. In diesem Sinne können wir auch Poppers Äußerung verstehen: „*Eine Annäherung an die Wahrheit ist möglich*.“⁷⁶ Und zwar nähern wir uns ihr an, je mehr unsere Theorien verbieten.⁷⁷

Wenn wir aber stets nur eine Annäherung an die Wahrheit erhoffen und noch dazu davon ausgehen, dass die Naturgesetze weitgehend (bzw. überblickbar) konstant bleiben, dann behalten objektiv wissenschaftliche Theorien und Hypothesen, die sich irgendwann *bewährt* haben, (meistens) in gewissen Grenzen ihre Gültigkeit. Da somit alte Theorien in gewissem Rahmen ihre Gültigkeit beibehalten dürfen, können sie mit den neueren Theorien in eine Beziehung gebracht werden. Karl Popper schreibt dazu: „So bleibt die alte Theorie, auch wenn sie überholt ist, doch immer⁷⁸ als Grenzfall der neuen Theorie, wenigstens mit großer Annäherung, für jene Fälle gültig, in denen sie früher etwas leisten konnte.“⁷⁹

Da hier eine Perspektive benötigt wird, die zwischen der alten und der neuen Theorie (bzw. Perspektive) zu übermitteln versucht, bezeichnet man das Ganze als das

⁷² POPPER 2005, S. 18 (und vgl. dazu auch S. 45-46)

Oder bei Ernst Mach heißt es: „*Ihrem Ursprunge nach sind die >>Naturgesetze<< Einschränkungen, die wir unter Leitung der Erfahrung unserer Erwartung vorschreiben*.“ MACH 1917, S. 449

⁷³ vgl. dazu auch POPPER 2005, S. 46

⁷⁴ POPPER 2005, S. 268

⁷⁵ POPPER 2005, S. 238

⁷⁶ POPPER 2005, S. XXXIII und vgl. dazu Kapitel XV.

⁷⁷ vgl. dazu POPPER 2005, S. 58

⁷⁸ Statt dem Wort „immer“ benützt er in der englischen Ausgabe *The Logik of Scientific Discovery* (1992) auch das Wort „oft“. vgl dazu POPPER 2005, S. 238 und S. 544-545

⁷⁹ POPPER 2005, S. 238

Korrespondenzprinzip:

Die veralteten Theorien, welche sich zwar in der Vergangenheit in der objektive (Natur)wissenschaft bewährt haben, und später aber von neuen Theorien ersetzt wurden, behalten in einem gewissen, und mit (guter) Sicherheit in einem engeren Rahmen ihre Gültigkeit. (Sonst hätten sie nie den Status einer Naturbeschreibung gehabt.) Sie sollten daher als Grenzfall der neueren Theorie ihren Gültigkeitsbereich bewahren können.

Oder etwas formaler:

Ist eine *Beobachtung*_x kein Element der Menge V_A , der Voraussagen einer (früheren) Theorie A , dafür aber ein Element der Menge V_B , der Voraussagen einer (neueren) Theorie B , so gilt in etwa

1. $V_B > V_A$
2. $\lim_{x \rightarrow 0} V_B \approx V_A$

Dieses Prinzip ist zwar nicht unbedingt notwendig um eine Wissenschaft zu betreiben, doch ethisch sinnvoll und somit vernünftig.⁸⁰ So schreibt einer der bedeutendsten (und noch lebenden) kritischen Rationalisten Hans Albert (Bild 4)⁸¹: Die Philosophie „hat vielmehr in erster Linie *Überbrückungsprobleme* zu lösen, indem sie diese Leistungen in ihren Geltungsansprüchen kritisch würdigt, sie dabei in einen sinnvollen Zusammenhang bringt, der eine solche Würdigung ermöglicht, und sie dadurch füreinander fruchtbar macht.“⁸² Obwohl diese Zeilen von Albert nicht dem Korrespondenzprinzip gelten, treffen sie doch den Nagel auf den Kopf.



Bild 4: Hans Albert (1921)

Dieses Kapitel haben wir mit einem Zitat von Karl Popper eingeleitet. Dort steht: „In der Wissenschaft lassen wir unsere Hypothesen für uns sterben.“ Genau genommen gibt es für diese Aussage keinen triftigen Grund, denn die Theorien bzw. Hypothesen der objektiven Naturwissenschaft, welche sich einmal *gut bewährt* haben, können in Vergessenheit geraten, wenn sie wenig oder keinen Nutzen mehr erbringen, doch „sterben“ können sie *prinzipiell* nicht.

⁸⁰ Popper schreibt beispielsweise: „Jede Theorie, die wert ist, experimentell überprüft zu werden, muß sowohl konservativ, wie auch revolutionär sein.“ POPPER 2005, S. 512

⁸¹ BILD: HANS ALBERT

⁸² ALBERT 1991, S. 220

Das Prinzip der Psychologie: Bewusstsein (über das Selbst und Anderer)

„Die erste Idee ist natürlich die Vorstellung *von mir selbst*,

als einem absolut freien Wesen. Mit dem freyen,

selbstbewußten Wesen tritt zugleich eine ganze Welt

– aus dem Nichts hervor –

die einzig wahre und gedenkbare *Schöpfung aus Nichts [...]*“ von Friedrich Hölderlin⁸³

Zugegeben, dass wir dieses Kapitel mit einem wunderschönen Zitat von Friedrich Hölderlin beginnen, ist keineswegs ein Zufall. Es ist bekannt, dass Hölderlin höchstwahrscheinlich im Laufe seines Lebens an Schizophrenie erkrankte. Eine wesentliche Eigenschaft dieser psychischen Erkrankung besteht darin, dass der Perspektivenwechsel – oder wie es in der Psychologie bezeichnet wird: *Theory of Mind* –, dass man sich also in andere hineinversetzen kann, nicht mehr gelingt.⁸⁴ Dies vorwegnehmend und stets im Hintergrund behaltend, wollen wir nun weiterschreiten.

William James betont in seinem Werk **Die Prinzipien der Psychologie** (1890): „Viele Philosophen halten das reflektierende Bewusstsein des Selbst als eine Notwendigkeit für die kognitive Funktion des Denkens. Sie meinen, dass ein Gedanke, um eine Sache überhaupt wissen zu können zwischen dem Ding und dem Selbst zu unterscheiden habe. Dies ist eine vollkommen willkürliche Annahme, und es gibt keinen Grund, um diese Annahme für wahr zu halten.“⁸⁵ Und erklärt weiter: „Ein Verstand, der seiner eigenen kognitiven Funktion bewusst ist, spielt das, was wir als ‚der Psychologe‘ auf sich selbst, bezeichnet haben. Es kennt nicht nur die Dinge, die vor ihm erscheinen; (sondern) er weiß, dass er sie kennt. Diese Phase des reflektierenden Zustandes, die schon mehr oder weniger ausführlich (verläuft), ist aber schon das Stadium unserer gewohnten, erwachsenen Denkweise. Daher kann es nicht als primitiv angesehen werden. Das Bewusstsein der Objekte müssen daher zuerst kommen.“⁸⁶

Interessanter Weise hat James hier wohl Recht und Unrecht zugleich. Heute können wir nämlich verschiedene Bewusstseinsstufen definieren. So können wir zum Beispiel von einem Proto-Selbst ausgehen, welches bereits einfachste Organismen haben, nämlich die Regulierungsinstanz. Wenn man so möchte ist hier das bewusste Selbst noch unbewusst. Darauf kann sich dann mit der Entwicklung ein Bewusstsein aufbauen, dass sich als ein Objekt (in Raum und Zeit) wahrnimmt.

⁸³ zitiert nach KAULBACH 1990, S. 117, 212, (vgl. HÖLDERLIN)

⁸⁴ vgl. PLOOG 2012, S. 430; (vgl. außerdem NEWEN/VOGELEY 2012, S. 168) und KEENAN 2005, S. 121

⁸⁵ „Many philosophers, however, hold that the reflective consciousness of the self is essential of the cognitive function of thought. They hold that a thought, in order to know a thing at all, must expressly distinguish between the thing and its own self. This is a perfectly wanton assumption, and not the faintest shadow of reason exists for supposing it true.“ JAMES 1890, S. 274

⁸⁶ Frei übersetzt von Eren Simsek.

Im Original: „A mind which has become conscious of its own cognitive function, plays what we have called ‘the psychologist’ upon itself. It not only knows the things that appear before it; it knows that it knows them. This stage of reflective condition is, more or less explicitly, our habitual adult state of mind.

It cannot, however, be regarded as primitive. The consciousness of objects must come first.“ JAMES 1890, S. 272-274, vgl. dazu auch JAMES 1890, S. 271

(Spätestens hier dürfte es wohl das „erkennende“-Stadium sein, auf welches William James versucht aufmerksam zu machen.)⁸⁷ In späterer Folge ergibt sich dann eine komplexe Bewusstseinsform, wodurch man ein autobiographisches Selbst erreicht. Der Mensch kann sich nicht nur an die Vergangenheit erinnern, sondern kann auch einen Bezug zur Gegenwart aufbauen und ist auch in der Lage über möglich zukünftige Tätigkeiten nachzudenken.⁸⁸ Doch auch dieses Stadium ist James sicher nicht entgangen, so schreibt Keenan: „William James hat vorgeschlagen, das Ich als Ganzheit über die Zeit hinweg zu definieren. Demnach wären Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft Schlüsselkomponenten in unserem Selbstverständnis. Unsere hoch entwickelten kognitiven Fähigkeiten zu Ichbewusstsein und Theory of Mind sind die Instrumente, mit denen wir dieses Ich schaffen. Ichbezogene Emotionen regeln unsere Einstellungen zu unserer Umgebung und zu unseren Beziehungen mit anderen. Unser ausgeprägtes Täuschungsvermögen ist vielleicht sogar entscheidend für unser Überleben als Spezies. Nach meiner Ansicht ist es vor allen anderen kognitiven Fähigkeiten gerade unser Ichbewusstsein, das uns als Menschen auszeichnet.“⁸⁹

Auch Descartes (Bild 5)⁹⁰ dachte nicht nur über das Bewusstsein nach, sondern stellte sogar Hypothesen über dessen Sitz im Gehirn auf. Dabei schien ihm die Zirbeldrüse am vielversprechendsten⁹¹, da sie keine Lateralität aufwies. Das bedeutet, dass sie nicht in eine linke und in eine rechte Hälfte aufgeteilt ist.⁹² Obwohl sich seine Vermutungen später als falsch erwiesen, schreibt Keenan:

„Waren die Ideen der antiken Philosophen zum Bewusstsein und zum Ich schon wichtig, so erwiesen sich Descartes' Theorien als bahnbrechend“, nämlich aus dreierlei Sicht

1. „Zum einen definierte er die Existenz des Ich als Kern menschlichen Daseins. Das menschliche Bewusstsein ist das Ich, das Ich ist Bewusstsein.“
2. „Zum anderen hielt Descartes es für möglich, das Bewusstsein im Gehirn zu lokalisieren. (In aller Bescheidenheit glaubte er sogar, es erfolgreich lokalisiert zu haben.)“



Bild 5: René Descartes (1596-1650)

⁸⁷ Damasio schreibt: „Zunächst einmal ist der einfache, bewusste Geist auf der untersten Ebene nicht unähnlich dem von William James beschriebenen fließenden Strom mit Objekten darin. Die Objekte in dem Strom sind aber nicht gleichermaßen auffällig. Manche wirken wir vergrößert, andere nicht. Außerdem sind die Objekte relativ zu mir nicht alle auf die gleiche Weise angeordnet. Manche befinden sich in einer bestimmten Perspektive relativ zu einem materiellen Ich, das ich während der meisten Zeit nicht nur in meinem Körper, sondern sogar genauer in einem kleinen Raum hinter meinen Augen und zwischen meinen Ohren ausmachen kann.“ Damasio 2013, S. 197

⁸⁸ Vgl. dazu die (drei) Bewusstseinsstufen nach Damasio in NEWEN/VOGELEY 2012, S. 177. Selbst der Theory of Mind kann man Entwicklungsstufen zuschreiben. Vgl. dazu die Modularitätstheorie von Leslie in SODIAN/PERST/MEINHARDT 2012, S. 71.

⁸⁹ KEENAN 2005, S. 193

⁹⁰ BILD: RENÉ DESCARTES

⁹¹ Auch hier stellt sich Descartes gegen Aristoteles, welcher das Herz als das Zentrum der Sinneswahrnehmung ansah. vgl. DESCARTES 1969, S. 109, Fußnote 2

⁹² vgl. KEENAN 2005, S. 19; RUSSELL 1988, S. 571. Theorien zur Zirbeldrüse wurden bereits von Galen und Fernel diskutiert. vgl. DESCARTES 1969, S. 54, Fußnote 3

3. „Und schließlich erklärte Descartes, die höchsten Bewusstseinsformen seien nur beim Menschen vorhanden.“⁹³

Wir wollen uns nun nach der Reihe mit diesen Punkten auseinandersetzen. Dabei hoffen wir auch eine genauere Antwort auf die folgende Frage finden zu können: *Wann und weshalb entstand das Ichbewusstsein (und somit die Grundlage des Philosophierens)?*

⁹³ KEENAN 2005, S. 20

1. Das Ich als der Kern des menschlichen Daseins.⁹⁴

Durch das Ichbewusstsein bekommen wir eine Vorstellung von unseren eigenen Gedanken und Gefühlen. Wir nehmen dabei eine Perspektive ein, die es uns erlaubt, uns selbst als Objekte wahrzunehmen und können uns auch durch die Reflexion in uns selbst hinein versetzen. So schreibt Astrid Schütz: „Die Fähigkeit zur Selbstreflexion wird oft als zentrales Merkmal des Menschseins beschrieben: Menschen können sich selbst zum Objekt ihrer Betrachtung machen und verfügen über ein „Selbst“.“⁹⁵

Doch sie verbirgt auch weitere Vorteile. Denn, wenn wir über unsere eigenen Gedanken nachdenken können, so können wir natürlich in ihrer Erweiterung auch über die (möglichen) Gedanken anderer nachdenken. Wir können somit anderen Objekten bzw. Personen geistige Zustände zuschreiben und in gewissem Sinne dadurch ihre Gedanken „lesen“. Dieses Talent, sich in andere hineinversetzen zu können, bezeichnet man auch als **Theory of Mind** bzw. **Perspektivenübernahme**.⁹⁶ Und bereits Goethe scheint dessen Bedeutung erkannt zu haben, wenn er schreibt:

„Der Mensch erkennt sich nur im Menschen, nur
Das Leben lehret, jedem was er sei.“⁹⁷

So denkt beispielsweise Descartes nicht nur nach, sondern er schreibt seine Gedanken auf. Wenn er „ich denke, also bin ich“ als die Grundlage der Philosophie betrachtet, dann auch deshalb, weil er (unausgesprochen) glaubt, dass andere Leser die gleichen Folgerungen schließen werden. Diese Grundlage der Philosophie schließt also andere insofern ein, da der Begriff des Ichs von anderen Lesern übernehmbar ist. Deswegen ist die Universalität dieser Aussage zumindest für Wesen mit (Ich-) Bewusstsein garantiert.

Was für Descartes und für viele Erwachsene hier womöglich selbstverständlich erscheint, ist eigentlich eine unserer fortgeschrittensten Leistungen und erfordert deshalb von uns höchst komplexe, kognitive Fertigkeiten. Deshalb besitzen auch viele Spezies diese Fähigkeiten nicht. Selbst wir Menschen scheinen sie nicht von Anfang an zu verfügen. So müssen Kinder zuerst das Ichgefühl erlernen bzw. entwickeln. Und wenn ein grundlegendes Ichgefühl entwickelt wurde, dient sie dann zugleich als ein Fundament für die Theory of Mind.⁹⁸ Tests zeigen, dass (die meisten) Kinder erst mit

⁹⁴ Keenan schreibt sehr trefflich: „Aus philosophischer Sicht gibt es meiner Ansicht nach nichts Spannenderes als die Suche nach der Quelle des Ichbewusstseins. Wie wir sehen werden, ermöglicht uns diese Fähigkeit zur Selbstreflexion, uns wahrhaft zu begreifen.“ KEENAN 2005, S. 21

⁹⁵ SCHÜTZ 2000, S. 189

⁹⁶ vgl. KEENAN 2005, S. 72

⁹⁷ Goethe: Tasso, Akt 2, Szene 3

Interessant ist, dass dieses Zitat von Goethe in Charles Horton Cooley's Buch **Human Nature and the Social Order** (1902) zu finden ist. (COOLEY 1902, S. 150)

(Von Cooley selbst ist das berühmte Zitat:

„Ein jeder ist dem anderen ein Spiegelbild,

denn bei einer Begegnung wird der eine am anderen reflektiert.“) (Übersetzt von Eren Simsek)

(Im Original heißt es:

„Each to each a looking-glass

Reflects the other that doth pass.“ COOLEY 1902, S. 152)

⁹⁸ vgl. KEENAN 2005, S. 73, 83

vier Jahren eine korrekte Vorstellung von ihren eigenen Gedanken haben und dadurch bereits fähig sind, auch die Gedanken anderer sich vorzustellen.⁹⁹

Doch was sagen diese Daten zu Descartes Grundlage der Philosophie aus? Zuerst können wir erkennen, dass das Ichbewusstsein (und somit auch die Theory of Mind) – sowie sie auch Descartes bewusst war¹⁰⁰ – sicher auch eine wichtige Stufe für das soziale Bewusstsein, für unsere Vorstellung von Moral¹⁰¹ usw. darstellt. Denn das „eigene Denken zu verstehen hängt mit dem Verständnis für das Denken anderer zusammen.“¹⁰² Somit steht einiges dafür, es als das Fundament des Philosophierens bzw. der Philosophie anzusehen. Außerdem können wir aber hier schon erkennen,

Es gibt natürlich verschiedene Tests, wie man feststellen kann, ab wann Kinder über die Theory of Mind verfügen können. Aus Platzgründen möchten wir nicht darauf eingehen. Doch verweisen wir den Leser gerne auf den interessanten Smarties-Test: KEENAN 2005, S. 84-85

⁹⁹ vgl. KEENAN 2005 S. 84, 86

Selbstverständlich gibt es sehr viele Stadien bis dahin, welche auf eine unterentwickelte Form von Theory of Mind hindeuten würden. Beispielsweise können Kleinkinder - Altersabschnitt: 10. bis 15. Monat - zwischen sich selbst und den Sozialpartnern unterscheiden. Wahrscheinlich verstehen sie auch, dass zwischen ihnen Selbst und den Sozialpartnern nicht immer dieselben Interessen bestehen können usw. Stern bezeichnet diese Fähigkeit der Kleinkinder als „theory of interfaceable separate minds“. (FUHRER/MARX/HOLLÄNDER/MÖBES 2000, S. 43)

Beispielsweise vertreten Bertenthal und Fischer auch die Hypothese, dass das Selbsterkennen und somit das Ichbewusstsein nicht plötzlich, sondern erst in kognitiven Entwicklungsschritten erfolgt. (Dabei verlegen sie ihren Untersuchungsschwerpunkt auf die sensomotorische Entwicklung des Kleinkindes.) (vgl. FUHRER/MARX/HOLLÄNDER/MÖBES 2000, S. 44)

Aus Platzgründen werden wir auf all diese Stadien nicht weiter eingehen. Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf FUHRER/MARX/HOLLÄNDER/MÖBES 2000, S. 43-45

Vgl. dazu auch die Theorien, welche der ausdrückbaren (bzw. expliziten) Theory of Mind als Vorläufer auch eine indirekte (bzw. implizite) Kompetenz zuschreiben. Man kann das mit einer Blickzeitmethode messen, da „Babys unerwartete Ereignisse in der Regel länger betrachten als erwartete Ereignisse“, usw.

(SODIAN/PERST/MEINHARDT 2012, S. 64)

¹⁰⁰ vgl. DESCARTES 1969, S. 139

¹⁰¹ Dass man für eine Moralvorstellung allgemein die Fähigkeit zur Theory of Mind vorhanden sein sollte, ist wohl jedem verständlich. Dennoch geben wir hier gerne noch ein paar historische Texte, die das verdeutlichen. So schreibt beispielsweise Voltaire: „Das Naturgesetz, ist nichts anderes als dieses im ganzen Universum bekannte Gesetz: *Was Du willst, das man Dir tu, das füg auch den anderen zu.* [...] Dieses Gesetz, seinen Nächsten wie sich selbst zu behandeln, ergibt sich natürlicherweise aus den allgemeinsten Begriffen und wird früher oder später im Herzen aller Menschen hörbar. Denn da alle den gleichen Verstand haben, müssen sich früher oder später die Früchte dieses Baumes gleichen, und sie gleichen sich in der Tat, indem in der ganzen Gesellschaft mit der Bezeichnung „Tugend“ das bekannt wird, was für die Gesellschaft für nützlich gehalten wird.“ VOLTAIRE 1997, S. 108

Selbst Kant bietet keine bessere Lösung, sondern kann sie nur noch etwas abstrahieren. Dieses *kategorische Imperativ*, welches Kant als das leitende Prinzip der reinen praktischen Vernunft ansieht, lautet bekanntlich: „Handle so, daß die Maxime deines Willens jederzeit zugleich als Prinzip einer allgemeinen Gesetzgebung gelten könne.“ (KANT 2003, S. 41) Oder etwas praktischer (von Kant) formuliert, lautet es auch: „Handle so, dass du die Menschheit sowohl in deiner Person als auch in der Person eines jeden andern jederzeit zugleich als Zweck, niemals bloß als Mittel brauchst.“ (PFEIFER 2009, S. 33) Der sich selbst Gesetzgebende hat somit die Richtlinie nur so zu handeln, dass die ausgeführte Tätigkeit auch von allen vernünftigen Wesen akzeptiert wird. Dass dem Ganzen Theory of Mind als Fundament dient, ist selbstverständlich.

Zugegebenermaßen klingt das Gesetz von Kant sehr monologisch, weshalb Jürgen Habermas auch betont: „Der Kategorische Imperativ bedarf einer Umformulierung in dem vorgeschlagenen Sinne: Statt allen anderen eine Maxime, von der ich will, dass sie ein allgemeines Gesetz sei, als gültig vorzuschreiben, muss ich meine Maxime zum Zweck der diskursiven Prüfung ihren Universalitätsanspruchs allen anderen vorlegen. Das Gewicht verschiebt sich von dem, was jeder (einzelne) ohne Widerspruch als allgemeines Gesetz wollen kann, auf das, was alle in Übereinstimmung als universale Norm anerkennen wollen.“ zitiert nach PFEIFER 2009, S. 80

¹⁰² KEENAN 2005, S. 85

dass wir Descartes Grundlage der Philosophie auch bei Menschen ab einem gewissen Alter erst als eine Grundlage ansehen dürfen. (*Sie kann somit wohl nicht die Letztbegründung sein.*)¹⁰³

Dennoch ist sie von größter Bedeutung. So schreibt Keenan: „Das Ich ist für Philosophen, Psychologen und Theologen so reizvoll¹⁰⁴, weil es die menschliche Existenz zu definieren scheint. Descartes` Satz: „Ich denke, also bin ich“ hat sich ohne Zweifel so lange gehalten, weil er den menschlichen Zustand treffend erfasst.“¹⁰⁵

¹⁰³ Der Leser wird hier auf **Anhang II** hingewiesen.

¹⁰⁴ Vgl. dazu KEENAN 2005, S. 20, wo zu jenen Bereichen auch Beispiele genannt werden. (vgl. dazu auch FÖRSTL 2012, S. 6-10)

¹⁰⁵ KEENAN 2005, S. 21

2. Die Lokalisation des Bewusstseins im Gehirn.

Descartes sieht „Uhren, kunstvolle Wasserspiele, Mühlen und andere ähnliche Maschinen“¹⁰⁶, und ist so von der damaligen Technik beeinflusst (und begeistert), dass er in **Beschreibung des menschlichen Körpers** (1648) erklärt: „Und damit man zu Anfang eine allgemeine Vorstellung von der ganzen Maschine bekomme, die ich zu beschreiben habe, möchte ich hier vorausschicken, daß es die Hitze ist, die sie im Herzen besitzt, die die große Triebkraft und das Prinzip aller in ihr stattfindenden Bewegungen ist. Die Venen sind die Röhren, die das Blut von allen Teilen des Körpers zu diesem Herzen hinführen, wo es zur Nahrung für die dortige Wärme dient. [...]“¹⁰⁷ usw.

Diese thermodynamisch aufgebaute Maschine, dessen Motor bzw. Wärmekraftmaschine das Herz darstellt,¹⁰⁸ mag uns etwas befremdlich erscheinen und eher an eine Dampflokomotive¹⁰⁹ erinnern, doch zeigt sie im weiteren die Wertschätzung Descartes für die Medizin.¹¹⁰ Wobei Descartes jedoch nicht ganz zu Unrecht denkt, dass die „Medizin“, „Mechanik“ und „alle übrigen Künste“ „mit Hilfe der Physik vollendet werden können“¹¹¹. So beginnt er schließlich sein Werk **Beschreibung des menschlichen Körpers** (1648)¹¹² mit folgenden Worten: „Es gibt wohl nichts, womit man sich mit größerem Gewinn beschäftigen könnte als mit dem Versuch, sich selbst kennenzulernen. Und der Nutzen, den man sich aus dieser Kenntnis erhoffen kann, bezieht sich nicht nur auf die Moral, wie es zunächst manchem erscheint, sondern auch ganz besonders auf die Medizin.“¹¹³

Tatsächlich entsprechen seine Hypothesen weitgehend den allgemeinen Lehrmeinungen der damaligen Zeit.¹¹⁴ Hier und da entwickelt¹¹⁵ er auch diese weiter und bereicherte sie durch eigene Hypothesen um sie in ein Einheitlicheres Bild zu bringen.¹¹⁶

Auch wird er experimentell tätig, indem er beim Schlachten und Zerlegen von Tieren nicht nur zusieht, sondern auch selber Organe und Glieder von Tieren präpariert.¹¹⁷ Besonders interessant ist,

¹⁰⁶ DESCARTES 1969, S. 44

vgl. dazu auch DESCARTES 1969, S. 56, Fußnote 1

¹⁰⁷ DESCARTES 1969, S. 141

¹⁰⁸ vgl. DESCARTES 1969, S. 142 und Fußnote 1

Hier folgt Descartes größtenteils den Überlegungen von Hippokrates bzw. Aristoteles. vgl. DESCARTES 1969, S. 47, Fußnote 3

¹⁰⁹ Dampfmaschinen konnten zur Zeit Descartes noch nicht erfolgreich konstruiert werden. Descartes selbst vergleicht den Aufbau einer Mensch-Maschine eher mit den Orgeln einer Kirche, was womöglich auf eine diplomatische Haltung Descartes (gegenüber der katholischen Kirche) hinweisen könnte.

vgl. dazu DESCARTES 1969, S. 96

¹¹⁰ vgl. DESCARTES 1969, S. 142

¹¹¹ DESCARTES 2005, S. 629 (bzw. IV/204)

¹¹² Über die Wichtigkeit seiner Werke **Über den Menschen** (1632) und **Beschreibung des menschlichen Körpers** (1648) heißt es: „Dabei handelt es sich um philosophie- und wissenschaftlich überaus bedeutsame Schriften. Mit ihnen das konsequent kausalanalytische Denken in der Biologie und Physiologie, sie bedeuten den Anfang jener Betrachtungsweise, die in ihrer modernen Entfaltungsstufe jetzt bei der molekularen Genetik, bei der Herztransplantation und der physiologischen Kybernetik angelangt ist.“ DESCARTES 1969, S. 9

¹¹³ DESCARTES 1969, S. 139

¹¹⁴ vgl. DESCARTES 1969, S. 30-31; S. 43, Fußnote 2; S. 143, Fußnote 1; S. 160 und die Fußnote 2; S. 164, Fußnote 1

¹¹⁵ vgl. DESCARTES 1969, S. 143, Fußnote 2; S. 158 und Fußnote 1; S. 167, Fußnote 2; S. 95, S. 97, Fußnote 3

¹¹⁶ vgl. DESCARTES 1969, S. 23

¹¹⁷ vgl. DESCARTES 1969, S. 12

dass Descartes die damalige Neuentdeckung (1628) von William Harvey¹¹⁸ zwar in höchsten Tönen lobt¹¹⁹ aber dennoch meint, dass sie nicht ganz richtig sei.¹²⁰ Schließlich konnte der Verlauf der Geschichte zeigen, dass Harvey in seinen Annahmen Recht behalten sollte und Descartes eben nicht.

Descartes betrachtete außerdem die Zirbeldrüse als das Zentrum des (Ich)bewusstseins. Seine Hypothesen gründen unter anderem auf den Lehren anderer, aber auch auf einigen eigenen anatomische Untersuchungen – diese wurden jedoch bereits im 17. Jhdt. von einigen kritisiert.¹²¹

¹¹⁸ Harvey gelang 1628 die Entdeckung des Blutkreislaufs.

¹¹⁹ vgl. DESCARTES 1969, S. 151-152

¹²⁰ vgl. DESCARTES 1969, S. 153

Wir möchten hier die Hauptpunkte der Meinungsverschiedenheit beider Forscher ganz knapp wiedergeben (wobei wir auf den Bau des Herzens aus Platzgründen so wenig wie möglich eingehen):

- Harvey ist der Ansicht, dass beim Erschlaffen (Diastole) des Herzens (bzw. Herzmuskels) das Blut von den Venen ins Herz angesaugt und beim Zusammenziehen (Systole) des Herzens das Blut vom Herzen in die Arterien herausgepresst bzw. gepumpt wird. (Diese Sichtweise hat sich bis heute bewährt.)
- Descartes vertritt dagegen die gegenteilige Meinung: Durch die Erwärmung dehnt sich das Blut und damit auch das Herz aus (Diastole) und gelangt zu den Arterien. Danach schwillt das Herz wieder ab (Systole) (und außerdem wird das Blut wieder gekühlt usw.).

Wir können das in etwa so zusammenfassen: Während bei Harvey das Herz *aktiv* ist, hat es bei Descartes eher eine *passive* Rolle. (vgl. dazu DESCARTES 1969, S. 145, Fußnote 2 und S. 146, Fußnote 1)

Interessant ist, wie detailreich und ausgeklügelt Descartes Theorie ist. (Beispielsweise kann er in seine Theorie den Lungenkreislauf recht sinnvoll einbeziehen. (vgl. DESCARTES 1969, S. 149)) Seine Hypothesen erlauben ihm sogar nicht nur den Blutkreislauf der Landtiere, sondern auch den der Wassertiere zu erklären usw. (vgl. DESCARTES 1969, S. 150)

¹²¹ DESCARTES 1969, S. 54-55, Fußnote 3; S. 112, Fußnote 2

Erst im 20. Jhdt. setzte man Spiegel¹²² erfolgreich als ein wissenschaftliches Instrument ein.¹²³ Diese revolutionäre Anwendung von Gordon Gallup Jr. erlaubte es vor allem, dass man prinzipiell unabhängig von der Sprache¹²⁴, jede Spezies auf das Ichbewusstsein zu testen.¹²⁵

Selbstverständlich benötigt man nicht immer einen Spiegel während man die Gehirnaktivitäten misst. Wir können den Testpersonen ja auch nur ihr eigenes Foto zeigen. Dies wird auch als Neuroimaging-Verfahren bezeichnet.¹²⁶ Die Ergebnisse der Gehirnaktivitäten geben dabei keine direkte Information, wo sich das Ichbewusstsein befindet, da vieles im Gehirn (auf Grund der Milliarden Neuronen) miteinander sehr komplex verbunden ist.¹²⁷ Man kann jedoch bestimmte Hirnregionen feststellen, welche für das Ichbewusstsein (und die Theory of Mind) eine sehr bedeutende Rolle spielen¹²⁸:

¹²² Der Spiegeltest kann unter Umständen natürlich einige Nachteile haben. Wir verweisen den interessierten Leser auf KEENAN 2005, S. 54. Aber auch diese Probleme können auf verschiedene Weisen gelöst werden. (vgl. beispielsweise KEENAN 2005, S. 45)

¹²³ Erste Überlegungen Spiegel für das Selbsterkennen zu benützen, waren bereits im 19. Jhdt. von einigen Wissenschaftlern in Betracht gezogen worden. (Auch haben sie zum Teil damit experimentiert.) Hier seien nur ein paar erwähnt: J. Grant (1828), Charles Darwin (~1840), W. Preyer (1882) usw. (vgl. KEENAN 2005, S. 26-27)

Der Spiegeltest folgt in etwa den folgenden drei Etappen:

1. Die Versuchspersonen (z.B. Kinder, Tiere usw.) werden vor ein Spiegel gestellt.
2. Danach wird den Versuchspersonen, ohne dass sie es selbst bemerken, eine rote Markierung auf die Stirn (oder Nase, Wange usw.) gemalt.
3. Wenn die Versuchsperson versucht diese Markierung wegzuwischen, während sie in das Spiegel sieht, dann hat sie den Test bestanden und verfügt somit über ein Ichbewusstsein.

vgl. KEENAN 2005, S. 24, 64-65 und FUHRER/MARX/HOLLÄNDER/MÖBES 2000, S. 44

¹²⁴ Das ist aus mehreren Perspektiven ganz bedeutsam:

- Somit können alle Tierarten in die Untersuchungen einbezogen werden;
- oder auch Kinder, unabhängig von ihren Sprachleistungen und
- vor allem auch erwachsene Menschen, welche auf Grund einer Störung im Gehirn zwar die Fähigkeit zum Selbsterkennen verloren haben, aber an keiner Sprachstörung leiden. (vgl. KEENAN 2005, S. 128-131)

Das soll natürlich nicht heißen, dass die Sprache bei Untersuchungen zum Ichbewusstsein gar keine Bedeutung zugesprochen wird. Ab wann Kinder beispielsweise beginnen Personalpronomen (Ich, Du usw.) zu benützen ist von großem Interesse. (vgl. FUHRER/MARX/HOLLÄNDER/MÖBES 2000, S. 45)

Zum Beispiel benützen Kinder erst mit 32 Monaten den Begriff „ich“ immer öfter. (vgl. KEENAN 2005 S. 70, 84) Auch zeigen Versuche, dass es sogar bei Menschenaffen eine Korrelation gibt, zwischen der Verwendung des Personalpronomens „Ich“ und dem Selbsterkennen im Spiegel. (vgl. KEENAN 2005, S. 71)

¹²⁵ vgl. KEENAN 2005, S. 22-23, 32, 108

¹²⁶ vgl. KEENAN 2005, S. 109

Dabei zieht man von den Gehirnregionen, welche auf das eigene Bild reagieren, jene Regionen ab, die auch auf das Gesicht eines anderen – welches man auch als das Kontrollgesicht bezeichnet – reagieren. (Interessant ist, dass man aus verschiedenen Gründen beispielsweise Albert Einstein als Kontrollgesicht nimmt.) (KEENAN 2005, S. 110-111)

¹²⁷ vgl. KEENAN 2005 S. 88, 116, 159

So schreibt Keenan: „Alles, was wir wissen und sind, erwächst aus dieser knapp drei Pfund schweren Masse, deren Beschaffenheit sich unserem Begriffsvermögen, geschweige denn unseren Beschreibungen entzieht. Es vermittelt einen gewissen Glauben an das Werk Gottes, die Evolution oder ein bisschen von beidem. Nach dem gegenwärtigen Stand der Neurowissenschaft können wir die Beziehung zwischen Gehirn und Verhalten nicht einmal für einfache Verhaltensweisen erschöpfend beschreiben.“ KEENAN 2005, S. 88

¹²⁸ vgl. KEENAN 2005, S. 115

Man glaubt, dass folgende Gehirnregionen einen wichtigen Einfluss haben:

- die rechte temporoparietale Überagangsregion (RTPJ) und
- der mediale Präfrontalkortex (mPFC).

- der **vordere Hirnbereich**¹²⁹ und
- vor allem die **rechte Hemisphäre des Gehirns**.¹³⁰

Bezogen auf moderne Untersuchungsmethoden können wir auf die Fragen Descartes heutzutage bessere Antworten geben, nämlich:

1. Das Bewusstsein hat seinen Sitz definitiv nicht in der Zirbeldrüse.
2. Gerade die Lateralität, welche Descartes aus seinen Überlegungen ausschloss, scheint beim Ichbewusstsein eine große Rolle zu spielen. (Man könnte sogar sagen, dass der Lateralitätsunterschied direkt mit dem Ichbewusstsein zusammenhängt.¹³¹)

Einige Untersuchungen belegen, dass der zweite Punkt beim Ichbewusstsein von Bedeutung ist. Bitten man beispielsweise Versuchspersonen, entweder mit der linken oder mit der rechten Hand ein Zeichen zu geben, wenn sie ihr eigenes Gesicht erkennen, dann stellt sich heraus, dass Personen (unter gewissen Bedingungen) die ihre linke Hand/rechte Hemisphäre benützen, schneller auf das eigene Gesicht reagieren können.¹³² Diese und andere Versuche konnten zeigen, dass mit dem Wachsen des Lateralitätsunterschieds auch das Ichbewusstsein wächst. Da wir aber wissen, dass das Ichbewusstsein und die Theory of Mind eng miteinander zusammenhängen, so überrascht es uns natürlich nicht, dass es Untersuchungen gibt, die zeigen, dass auch die Theory of Mind mit der rechten Hemisphäre korreliert.¹³³

Diese Lateralität hat sogar noch andere überraschende Auswirkungen auf unsere Händigkeit, die wir hier nicht versäumen möchten und daher kurz anführen. Um beispielsweise Täuschungen zu erkennen, benötigt man eine Theory of Mind und somit natürlich auch ein ausgeprägtes Ichbewusstsein. Deshalb zeigen Forschungsergebnisse, dass Linkshänder – bei denen meistens die rechte Hemisphäre dominanter ist – eine bessere Chance haben als Rechtshänder eine Täuschung zu entlarven und daher besser gegenüber Lügner gewappnet sind.¹³⁴

Wir wollen mit diesem Wissen im Hintergrund – ohne dabei den Bogen zu überspannen – noch auf zwei Sachen hinweisen:

Einige Wissenschaftler sehen diese Gebiete sogar als den Sitz der Theory of Mind. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch immer mehr, dass man sehr vorsichtig sein sollte, einer komplexen kognitiven Leistung, wie der Theory of Mind, ein gewisses bzw. bestimmtes Areal zu zuschreiben. (Denn je nach Art der Aufgabenstellung an die Theory of Mind, spielen unterschiedliche Regionen, eine verschieden starke Rolle.)

Wir verweisen den interessierten Leser aber gerne auf KEENAN 2005, S. 177-180 und SOMMER/DÖHNEL/SCHUHWERK/HAJAK 2012, S. 89-102.

¹²⁹ vgl. KEENAN 2005, S. 160

¹³⁰ vgl. KEENAN 2005, S. 112, 116, 130-131, 155-157, 193 und SOMMER/DÖHNEL/SCHUHWERK/HAJAK 2012, S. 92; NEWEN/VOGELEY 2012, S. 174

¹³¹ vgl. KEENAN 2005, S. 121

¹³² vgl. KEENAN 2005, S. 120

Es gibt noch andere Untersuchungen, welche wir hier aus Platz gründen auslassen werden. Wir verweisen den Leser gerne auf KEENAN 2005, S. 121; vgl. dazu auch KEENAN 2005, S. 160.

¹³³ vgl. KEENAN 2005, S. 177-180

¹³⁴ vgl. KEENAN 2005, S. 176, 192

1. Einige historisch bedeutsame Personen waren Linkshänder. Wir werden dann beispielsweise bei Einstein sehen – *zufällig* ein Linkshänder und womöglich der wichtigste theoretische Physiker des 20. Jhdts.¹³⁵ –, dass seine Gedankenexperimente von Theory of Mind bzw. Perspektivenübernahmen geprägt waren.
2. Da das Ichbewusstsein und die Theory of Mind hohe kognitive Leistungen darstellen, glaubte man sehr lange, dass sie ihren Sitz in der linken Hirnhemisphäre haben, welche eigentlich besonders für unsere Sprachleistungen zuständig ist.¹³⁶ Diese Vorstellung ist deshalb nicht länger haltbar!¹³⁷

Wir wollen nun mit dem Fortschritt, welchen wir bis jetzt erzielt haben, einen Textausschnitt von Karl Popper lesen: „In einer Reihe von Vorlesungen, die ich im Mai 1969 an der Emory University gehalten habe (wie schon einige Jahre vorher in Vorlesungen an der London School of Economics), vertrat ich die Auffassung, daß das höhere menschliche Bewußtsein, beziehungsweise das Bewußtsein eines Selbst, bei den Tieren fehlt. Ich habe weiterhin die Auffassung vertreten, daß Descartes' Vermutung, nach der die menschliche Seele in der Zirbeldrüse lokalisiert ist, nicht so absurd zu sein braucht, wie sie häufig dargestellt wird, und daß angesichts der Resultate, die Sperry mit geteilten Gehirnhemisphären gewonnen hat, die Lokalisierung im Sprachzentrum gesucht werden könnte, in der linken Hemisphäre des Gehirns. Wie mir Eccles kürzlich mitgeteilt hat, wird diese Vermutung durch Sperrys spätere Experiment (die mir zu jener Zeit nicht bekannt waren) in gewissem Maße gestützt: Danach kann das rechte Gehirn als das eines sehr klugen Tieres beschrieben werden, während nur das linke Gehirn spezifisch menschlich zu sein scheint und seiner selbst bewußt.“¹³⁸

So können wir nicht nur die Ansicht von Descartes, sondern auch die von Karl Popper weitgehend falsifizieren. Doch was ist nun mit den anderen Überlegung von Descartes, dass nämlich zwischen den Menschen und den Tieren ein prinzipieller Unterschied bestünde, nach denen Tiere kein Bewusstsein hätten. Könnte (zumindest) diese Hypothese stimmen?

¹³⁵ Times wählte ihn sogar zur Person des 20. Jahrhunderts. vgl. TIMES

¹³⁶ Keenan bringt es wohl auf den Punkt, wenn er schreibt: „Sprache oder eine Form von Spracherzeugung ist nicht erforderlich, um den Test abzulegen oder zu „bestehen“. Sprache bildet somit keine notwendige Komponente für die Bildung der Idee, dass wir existieren. Vielleicht müssen wir gar nicht imstande sein, den Satz „Ich denke, also bin ich“ zu lesen, um denken zu können. Sprache ist zwar keine notwendige Komponente des Ichbewusstseins, kann uns aber helfen, die Beziehung zwischen Selbsterkennen und Ichbewusstsein zu klären.“ KEENAN 2005, S. 58

¹³⁷ vgl. KEENAN 2005, S. 17

¹³⁸ POPPER 2012, S. 74

3. Descartes: Das höchste Bewusstseinsform ist nur beim Menschen vorhanden(?)

Interessant ist es, dass der Spiegeltest, welcher sich als ein sehr guter Indikator für die Existenz des Selbstbewusstseins darstellt, zu Beginn bei Tieren wissenschaftlich angewandt wurde.

Es gab schon früh Untersuchungen, ob Tiere sich im Spiegel selbst erkennen können. Eine sehr schöne Anekdote ist beispielsweise von Preyer, der folgendes berichtet: „Ein Paar türkischer Enten hielt sich unter anderen Enten immer abgesondert. Als nun die weibliche Ente gestorben war, begab sich der Enterich zu meiner Verwunderung mit Vorliebe an ein innen verdecktes spiegelndes Kellerfenster und blieb täglich mit dem Kopfe stundenlang davor stehen. Er sah ein Bild darin und meinte vielleicht, es sei die verlorene Gefährtin.“¹³⁹ Er zieht hier also die Schlussfolgerung daraus, dass Enten sich im Spiegel wohl eher nicht selbst erkennen können.

Obwohl diese Geschichte sehr lehrreich ist, hält sie den modernen wissenschaftlichen Forschungsmethoden nicht stand. Einen solchen Test entwickelte erst Gallup (1970), welcher es ermöglichte, verschiedene Tiere auf Bewusstsein zu testen. Es war naheliegend hier zuerst die Schimpansen als Versuchsperson zu wählen, da sie zu unseren *engsten Verwandten* unter den Menschenaffen zählen. (Mit den Orang-Utans haben sich wahrscheinlich bereits seit etwa 13-14 Mill. Jahren und mit den Gorillas ca. vor 7 Mill. Jahren unsere Entwicklungslinie getrennt. Siehe dazu auch die Abbildung 1.)¹⁴⁰

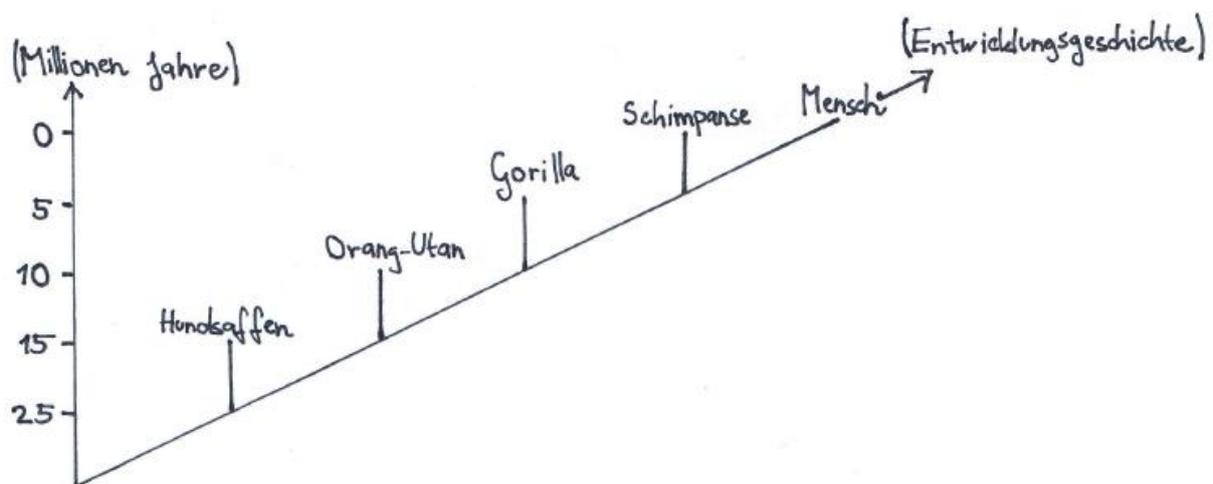


Abbildung 1

Und Tatsächlich konnte Gallup zeigen, dass Schimpansen sich selbst im Spiegel erkennen können und somit wohl über ein Bewusstsein verfügen. (Außerdem konnte er auch zeigen, dass niedere Primaten den Spiegeltest nicht bestanden und somit sich selbst im Spiegel nicht erkennen konnten.)¹⁴¹ Mittlerweile konnten Tests mit Schimpansen und Orang-Utans zeigen, dass sie sogar ein *Theory of Mind* besitzen.¹⁴²

¹³⁹ KEENAN 2005, S. 27

¹⁴⁰ Die Skizze ist beinahe zur Gänze von Keenan übernommen. vgl. KEENAN 2005, S. 38

¹⁴¹ KEENAN 2005, S. 24

¹⁴² vgl. KEENAN 2005, S. 74-75, 77, 80

Doch standen viele Wissenschaftler natürlich sehr skeptisch den neuen Erkenntnissen gegenüber. Denn sie legten nahe, dass Menschen und Schimpansen ein wesentlich ähnlicheres Innenleben besaßen, als man es eigentlich angenommen hatte.¹⁴³ So schreibt Keenan, der mit Gallup später gemeinsam forschte: „Manche Wissenschaftler und viele Tierschützer finden die Vorstellung durchaus akzeptabel, dass ein Schimpanse Ichbewusstsein oder sogar Bewusstsein besitzen mag, aber nicht jeder kann sich damit anfreunden. Selbst in den Naturwissenschaften halten viele Forscher an der Vorstellung fest, dass der Mensch eine Sonderstellung in der Natur einnimmt. Diese anthropozentrische Herangehensweise an unsere Existenz hat den wissenschaftlichen Fortschritt im Laufe der Jahrhunderte häufig selbst dann behindert, wenn Fakten das Gegenteil bewiesen – das gilt für den Widerstand gegen die kopernikanische Theorie (dass die Sonne, nicht die Erde, den Mittelpunkt des Universums bildet) ebenso wie für die Ablehnung der Darwin’schen Evolutionstheorie (nach der der Mensch sich aus anderen Tierarten entwickelt hat).

Das Gleiche gilt für unsere anthropozentrische Herangehensweise an Tiere. [...]“¹⁴⁴

Wir wollen an dieser Stelle jene Hypothesen kurz anführen, welche versuchen, eine klare *Trennlinie* zwischen dem Menschen und den Schimpansen zu ziehen.¹⁴⁵ Auch sollen Keenans Entgegnungen diesbezüglich nicht vorenthalten werden.

Keenan schreibt: „Im Gegensatz zu kleinen Kindern „bestehen“ niedere Affen Tests zur Theory of Mind nicht und zeigen keinerlei Anzeichen von Selbsterkennen im Spiegel, das bei Kindern im Allgemeinen zwischen 18 und 24 Monaten auftritt. Wir können also das Ichbewusstsein niederer Affen „unterhalb“ der Ebene eines 18 Monate alten Kindes einstufen, während es bei Schimpansen auf der Stufe eines drei- bis vierjährigen Kindes liegt, das gerade ein anfängliches Verständnis für eine fortgeschrittene Zuschreibung mentaler Zustände erlangt.“ KEENAN 2005, S. 86

¹⁴³ vgl. dazu KEENAN 2005, S. 25

¹⁴⁴ KEENAN 2005, S. 39

¹⁴⁵ vgl. KEENAN 2005, S. 39

Es gibt natürlich auch noch andere Hypothesen, die den Menschen auszuzeichnen versuchen. Auf diese wollen wir aus Platzgründen zwar nicht näher eingehen, doch wollen wir sie auch nicht unerwähnt lassen.

- Detlev Ploog meint, dass das Wollen den *Homo sapiens* bzw. den Menschen auszeichnet und beendet seinen Beitrag mit folgenden Worten: „Am Ende hat wahrscheinlich Kant Recht, der sagt, dass der freie Wille in der Natur des Menschen liege. Ohne ihn könnten wir uns nicht als moralische Wesen verstehen.“ (PLOOG 2012, S. 440)

Interessant ist, dass diese Sichtweise auch bei Descartes zu finden ist: „Daß der Wille tatsächlich weitestmöglich hinauslangt, stimmt mit seiner Natur überein, und die größte Vollkommenheit im Menschen ist, daß er aus dem Willen heraus handelt, d.h. frei, und so auf eine ihm eigene Weise der Urheber seiner Handlungen ist, für die er deshalb verantwortlich gemacht werden kann. Die Automaten nämlich werden nicht dafür verantwortlich gemacht, daß sie alle Bewegungen, zu denen sie eingerichtet sind, sorgfältig ausführen, weil sie sie mit Notwendigkeit so ausführen; verantwortlich wird dagegen ihr Erbauer dafür gemacht, daß er sie so sorgfältig verfertigt hat, weil er sie nicht aus der Notwendigkeit, sondern aus freien Stücken hergestellt hat. Aus demselben Grund ist es uns sicherlich im größerem Maße zuzuschreiben, daß, wenn wir das Wahre ergreifen, wir es willentlich tun, als wenn wir gar nicht anders könnten.“ DESCARTES 2005, S. 43 (I/37)

Es ist jedoch nicht so ganz klar, wie ernst Descartes diese Meinung wirklich vertritt. Einige Stellen (I/39) sprechen eher dafür. Andere der darauf folgenden Paragraphen (I/38, 40, 41) kann man auch mit einer gewissen *Ironie* lesen. So erklärt er zum Beispiel: „Hingegen können wir uns leicht in großen Schwierigkeiten verlieren, wenn wir diese vorausbestimmte Ordnung Gottes mit der Freiheit unserer Willkür vereinigen und beide zur selben Zeit zu begreifen versuchen.“ (I/40)

- Georg Herbert Mead ist es der Begriff *Geist*, den er aber als eine Evolution in der Natur versteht. Damit ist gemeint, dass der Mensch mehr als alle anderen Tiere in der Lage ist, sich (bewusst) zu

	<u>Argumente:</u> (für einen prinzipiellen Unterschied zwischen den Menschen und Schimpansen)	<u>Gegenargumente:</u>
1.	Menschen beherrschen den Umgang mit Werkzeugen und ein zielgerichtetes Verhalten; Schimpansen hingegen nicht. ¹⁴⁶	Schimpansen benützen Steine beispielsweise um Nüsse zu knacken. Diese Werkzeuge werden sogar auf Bäume mitgenommen, was auf ein zielgerichtetes Handeln hindeutet. ¹⁴⁷
2.	Menschen benützen nicht nur Werkzeuge, sondern sie stellen sie auch her. Schimpansen tun das nicht.	Schimpansen können passende Stöcke suchen. Diese befreien sie anschließend von Blättern und stecken sie dann in die Öffnung eines Termitenbaus. Anschließend ziehen sie diesen heraus und lecken alle Termiten ab. ¹⁴⁸
3.	Menschen benutzen eine Sprache, Schimpansen hingegen nicht.	Wenn mit Sprache Informationsaustausch gemeint ist, dann dürften bereits die Bienen eine solche Begabung aufweisen, da sie andere Bienen durch ihren Tanz über Nahrungsquellen informieren können. ¹⁴⁹ Doch manche Linguisten meinen, dass die Grammatik in der Sprachbenützung den Menschen von den Tieren trennt. ¹⁵⁰ Untersuchungen zeigen jedoch, dass zumindest auch einige Affen Verständnis für Grammatik zeigen können, indem sie dem Substantiv und dem Verb eine gewisse Stellung im Satzaufbau gaben. ¹⁵¹
4.	Menschen können über sich selbst reflektieren, Schimpansen (oder andere Primaten) hingegen nicht. ¹⁵²	Die Schimpansen benützen – so wie die Menschen – den Spiegel als ein Werkzeug, um damit beispielsweise ihr eigenes Gesicht zu untersuchen, usw. ¹⁵³ (In der Abbildung 2 kann man diesen Vorgang deutlich erkennen.) Sie können

kontrollieren (und somit in Distanz zu Reizen zu begeben) bzw. Handlungen zu hemmen usw. (vgl. NASSEHI 2012, S. 43)

¹⁴⁶ vgl. KEENAN 2005, S. 39

¹⁴⁷ vgl. KEENAN 2005, S. 39

¹⁴⁸ vgl. KEENAN 2005, S. 40

¹⁴⁹ KEENAN 2005, S. 40

¹⁵⁰ vgl. KEENAN 2005, S. 41

¹⁵¹ vgl. KEENAN 2005, S. 41-42

¹⁵² Nicht nur Descartes, sogar Darwin vertrat wahrscheinlich diese These, nachdem er Orang-Utans beobachtete. Er stellte in seinen Untersuchungen fest, dass Orang-Utans sich im Spiegel wohl eher nicht erkennen können. (vgl. KEENAN 2005, S. 48)

Keenan hingegen schreibt: „Zurzeit sind die meisten Forscher überzeugt, dass von den Primaten der Orang-Utan, der Schimpanse und der Mensch sich selbst erkennen können, während beim Gorilla ein abschließendes Urteil noch aussteht.“ (KEENAN 2005, S. 52)

¹⁵³ vgl. KEENAN 2005, S. 44

Eine Studie mit über hundert Schimpansen hat gezeigt, dass etwa ein Drittel den Spiegeltest bestehen und etwa die Hälfte ein Verhalten zeigen, welches auf ein Selbsterkennen im Spiegel hindeutet. Dabei bestanden die meisten Schimpansen unter vier Jahren den Test nicht.

Andere Untersuchungen zeigen, dass das Sozialleben von Schimpansen beim Bestehen des Spiegeltests eine wesentliche Rolle spielt. So konnten Schimpansen, die isoliert und somit ohne eine soziale Gruppe aufgewachsen sind, sich im Spiegel selbst nicht erkennen. (Vgl. KEENAN 2005, S. 46)

Die Hypothese, dass das soziale Umfeld allgemein von großer Bedeutung für die Entwicklung des Selbstbewusstseins ist, kann man beispielsweise schon bei Cooley finden, welcher betont: „Sowohl der Sinn des

sich selbst sogar in konvexen, konkaven und dreiteiligen (vervielfältigenden) Spiegeln¹⁵⁴ oder auf Videos¹⁵⁵ erkennen.

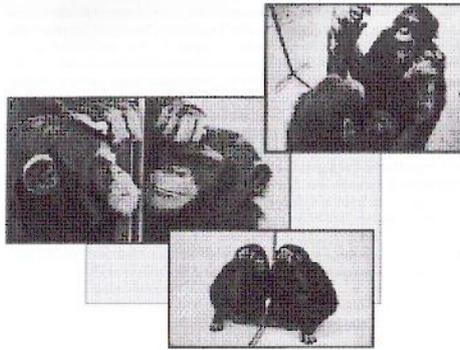


Abbildung 2, Quelle: KEENAN 2005, S. 43

In *Biology and Ideology from Descartes to Dawkins* (2010) steht: „Die bemerkenswerteste, früheste moderne Theorie über Tiere war die Cartesianische Lehre der Tier-Maschine. René Descartes (1596-1650), welcher jetzt am meisten für seine philosophischen Schriften bekannt ist, war zu seinen Lebzeiten eine Figur von großer Bedeutung in der Entwicklung der Naturwissenschaften“.¹⁵⁶

Im weiteren Verlauf des Buches wird dann noch hingewiesen, dass Descartes Tiere für gefühllose Maschinen hielt und ihnen deshalb das geistige Leben, wie es beim Menschen vorhanden ist, nicht zusprach. Doch ist Descartes Einstellung nach mechanistischen Erklärungen zu suchen der damaligen Zeit entsprechend und fand deshalb einige Unterstützer.¹⁵⁷ So gesehen machte Descartes einen prinzipiellen Schnitt in der „Kette des Lebens“, wie es in diesem Buch heißt. Er schaffte somit eine Kluft zwischen dem Menschen und allen anderen Lebewesen.¹⁵⁸ Diese Interpretationen der Descartesschen Texte sind nicht nur weit verbreitet und allgemein anerkannt, sondern auch sehr direkt zu rechtfertigen. Wir werden ihr in dieser Arbeit daher nicht widersprechen.

Doch wollen wir parallel zu dieser Interpretation eine andere Hypothese vertreten, nämlich:

„Ich“ s ginge verloren, als auch die Bedeutungen der Begriffe wie Stolz oder Scham, wenn es nicht einen entsprechenden Sinn von du, oder er oder sie geben würde.“ (Übersetzt von Eren Simsek)
(Im Original heißt es: „There is no sense of “I”, as in pride or shame, without its correlative sense of you, or he, or they.“ COOLEY 1902, S. 151)

¹⁵⁴ KEENAN 2005, S. 45

¹⁵⁵ vgl. KEENAN 2005, S. 46

¹⁵⁶ (Frei übersetzt von Eren Simsek)

Im Original steht: „The most remarkable early modern theory about animals was the Cartesian doctrine of the beast-machine. René Descartes (1596-1650), although now best known for his philosophical writings, was his lifetime a figure of major importance in the developing natural sciences“.

HARRISON 2010, S. 21-22

¹⁵⁷ vgl. HARRISON 2010, S. 22

¹⁵⁸ vgl. HARRISON 2010, S. 23

Die Texte Descartes wörtlich zu nehmen, ist womöglich gerechtfertigt, aber vielleicht etwas naiv; denn es gilt wahrscheinlich auch zwischen den Zeilen zu lesen – sonst hätte er wohl kaum Ovids Zitat „*Bene qui latuit, bene vixit.*“¹⁵⁹ für seinen Grabstein ausgewählt. (Hinweise könnten uns hier jene Stellen geben, welche offensichtlich widersprüchlich erscheinen.)¹⁶⁰

Diese Hypothese wird verständlich, wenn wir uns bewusst werden, dass Descartes zu einer Zeit gelebt hat, wo Galilei von der Kirche (1633) verurteilt wurde. Beispielsweise schreibt er in einem Brief an Mersenne über die Verurteilung: „Diese hat mich in ein so gewaltiges Erstaunen versetzt, daß ich fast entschlossen bin, alle meine Papiere zu verbrennen oder sie wenigstens niemand sehen zu lassen.“¹⁶¹ (So wurde sowohl sein Werk **Über den Menschen** (1632), als auch **Beschreibung des menschlichen Körpers** (1648) nicht zu Lebzeiten veröffentlicht.)¹⁶² Insofern ist es wichtig das ungesagte mithinein zu beziehen, da eine Redefreiheit nicht selbstverständlich war.

So wird beispielsweise auch das Ende¹⁶³ der **Principia** verständlich: „Denn wenn man dies zugibt, zeigt sich, daß zumindest alle Allgemeinheiten, die ich über die Welt und die Erde geschrieben habe, kaum anders als so, wie es von mir erklärt wurde, einsichtig gemacht werden kann.“

207. Allerdings unterwerfe ich alle meine Behauptungen der Autorität der Kirche.

Allein eingedenk meiner Unzulänglichkeit behaupte ich nichtsdestoweniger nichts, sondern unterwerfe dies alles sowohl den Autoritäten der Katholischen Kirche als auch den Urteilen der

¹⁵⁹ Ins deutsche übersetzt: „Wer sich gut verborgen hat, hat gut gelebt.“ DAMASIO 2012, S. 330

¹⁶⁰ Dabei wird womöglich versucht - ähnlich wie beim Verfremdungseffekt (bzw. V-Effekt) von Bertolt Brecht - den Leser durch widersprüchliche Aussagen in eine Position zu bringen, wo er sich mit dem Autor nicht mehr identifizieren kann. Der Leser soll sich dadurch wahrscheinlich in eine Distanz begeben, um von dort aus über den Gegenstand kritisch (und objektiv) zu urteilen.

Auch bei Galilei gibt es Sprechkünste, die zwar mit einer übertriebenen Zustimmung beginnen, aber in einer solchen nicht enden. So schreibt Emil Strauss: „Die Vorliebe Galileis, Argumente des Gegners mit einem noch vermehrten Schein von Richtigkeit zu umgehen, bevor er sie widerlegte, bestätigte er auch bei mündlichen Disputationen. Auf die Zuhörer übte dies, wie sich begreifen läßt, häufig eine belustigende Wirkung.“ GALILEI 1891, S. 528, Fußnote 66

Natürlich könnte man auch die Hypothese vertreten, dass das womöglich eher auf die seelische Zerrissenheit Descartes hindeutet. Beispielsweise stellen Descartes Theorien zeitlebens weitgehend eine Gegnerschaft zu Aristotelischen Vorstellungen dar, obwohl er diese aber nicht selten sehr ernst nimmt. (vgl. DESCARTES 1969, S. 156 und Fußnote 1 oder DESCARTES 2005 S. 621 und 629 (IV/621 und IV/204)

Diese Hypothese hat sicher einen wahren Kern, wobei man aber nicht außer Acht lassen darf, dass Aristoteles auch für die Kirche eine Autorität darstellte. So kämpfte Galilei großteils gegen das aristotelische Weltbild. Umso bedeutender ist es, dass wir in dieser Arbeit noch eine ergänzende Theorie noch anbieten, um die Perspektive der interpretativen Möglichkeiten zu erweitern.

¹⁶¹ zitiert nach SZABO 1987, S. 60

¹⁶² Hier könnte natürlich auch eine Rolle gespielt haben, dass er auch seine Arbeit nicht als abgeschlossen betrachtete. vgl. dazu DESCARTES 1969, S. 12-13, 16

¹⁶³ Die letzten Seiten sind schon deshalb interessant, da Descartes seine Stellung mehrmals wendet. Einerseits ist er von seinen Theorien überzeugt, und betont stets, dass sie die Welt wohl richtig beschreibe, aber dennoch bemerkt er immer wieder zwischen durch, dass „der oberste Werkmeister aller Dinge“, nämlich Gott die Welt vielleicht auch so erschaffen hat, die seine Theorien widerlegen würden.

vgl. DESCARTES 2005, S. 629-633 bzw. IV/204-207

(Aus all diesen Gründen ist es vielleicht eine Überlegung wert, ob Descartes nicht auch eine Codierung in seinen Schriften eingebaut haben könnte. Einen Hinweis darauf könnte womöglich IV/205 geben. Bekannt ist beispielsweise, dass Newton manches Wissen sogar offiziell - womöglich aus Angst vor Plagiat - codierte. vgl. GLEICK 2004, S. 178-179)

Weiseren; und ich möchte, daß nichts von irgend jemandem geglaubt werde außer dem, was ihm die Vernunft als evident und überzeugend dartun wird.

ENDE.¹⁶⁴

Wir wollen sogleich auf eine Textstelle von Descartes hinweisen, welche sehr widersprüchlich klingt: „4. [...] Und folglich dürfen all die Bewegungen, die nach unserer Erfahrung nicht von unserer Seele abhängen, auch nicht der Seele, sondern nur der Verfassung der Organe zugeschrieben werden. Und selbst die Bewegung, die man *willentliche* nennt, gehen im Prinzip von dieser Verfassung der Organe aus, da jene ja nicht ohne diese hervorgerufen werden können, wie sehr wir das auch wollen, obwohl die Seele die Bewegungen bestimmt.

5. Und obwohl all diese Bewegungen im Körper aufhören, wenn er stirbt und die Seele ihn verläßt, so darf man daraus nicht schließen, daß es die Seele ist, die sie (die Bewegung) vollbringt, sondern nur, daß es ein und derselbe Grund ist, der verursacht, daß der Körper dazu nicht mehr in der Lage ist, sie zu vollbringen, und der ebenfalls verursacht, daß die Seele sich von ihm trennt.“¹⁶⁵ Dieser Widerspruch löst sich weitgehend auf, wenn wir weiter lesen:

„5. [...]“

Tatsächlich kann man wohl Schwierigkeit haben zu glauben, daß alleine der Zustand der Organe hinreicht, um in uns all die Bewegungen zu erzeugen, die nicht durch unser Denken bestimmt werden. Deshalb ist es hier mein Vorhaben, dies zu beweisen und die ganze Maschine unseres Körpers so darzulegen, daß wir nicht *mehr* Anlaß zu der Annahme haben, daß es unsere Seele ist, welche in ihr die Bewegungen hervorruft, die nach unserer Erfahrung nicht durch unseren Willen gelenkt werden, als Anlaß anzunehmen, daß es in einer Uhr eine Seele gibt, welche die Stunden anzeigt.“¹⁶⁶

Es gibt einige Textstellen, welche zeigen, dass Descartes den Begriff der Seele eventuell gar nicht für nötig hielt¹⁶⁷:

¹⁶⁴ DESCARTES 2005, S. 633 (IV/207)

Oder eine andere Textstelle, die in diesem Zusammenhang womöglich auch erwähnt werden sollten: „25. Alles, was von Gott offenbart worden ist, muß geglaubt werden, auch wenn es unser Verständnis übersteigt.

Wenn nun Gott etwas von sich selbst oder über andere Dinge offenbaren sollte, das unsere natürlichen Geisteskräfte übersteigt, wie es etwa die Mysterien der Inkarnation und Dreifaltigkeit sind, werden wir uns nicht weigern, es zu glauben, auch wenn wir es nicht klar einsehen. Auch wird es uns in keiner Weise verwundern, daß es sowohl in der unermeßlichen Natur Gottes, als auch in den von ihm geschaffenen Dingen vieles gibt, das unser Verständnis übersteigt.“ DESCARTES 2005, S. 33 (I/25)

¹⁶⁵ DESCARTES 1696, S. 140-141

¹⁶⁶ DESCARTES 1696, S. 141

¹⁶⁷ (Ein indirekter Hinweis befindet sich sogar auf HARRISON 2010, S. 23-24)

Man darf hier jedoch nicht gleich annehmen, dass Descartes, nur weil er die Seele aus seinem Konzept ausschließt kein gläubiger Mensch war. Wenn er von Maschinen spricht, so spricht er womöglich von göttlichen Maschinen. (vgl. DESCARTES 1696, S. 191)

Russell meint über Descartes: „Er ist psychologisch undurchsichtig, aber ich neige doch dazu, ihn für einen aufrichtigen Katholiken zu halten, der die Kirche – in ihrem wie in seinem Interesse – dahin bringen wollte, die moderne Naturwissenschaft nicht so anzufeinden, wie sie es im Falle Galileis getan hatte. Es wird auch behauptet, seine Rechtgläubigkeit sei reine Diplomatie gewesen; aber wenn das schon möglich wäre, so halte ich es doch nicht für besonders wahrscheinlich.“ RUSSELL 1988, S. 569-570

1. Obwohl Descartes zu Beginn (**Über den Menschen**) mit diesen Worten beginnt: „Diese Menschen werden – wie wir – aus einer Seele und einem Körper zusammengesetzt sein. Daher ist es erforderlich, daß ich zuerst den Körper für sich und danach auch die Seele ebenso für sich beschreibe. Und schließlich werde ich darstellen, wie diese beiden Naturen verbunden und vereint sein müssen, um Menschen entstehen zu lassen, die uns ähnlich sind.“¹⁶⁸, wird die Seele dann gar nicht behandelt bzw. ausgelassen. Wie die beiden miteinander verbunden sein könnten, wird nur kurz nebenbei erwähnt. Es zeigt sich, dass Descartes das Thema immer wieder anspricht, sie jedoch versucht hinauszuschieben.¹⁶⁹
2. Descartes versucht den Makro- und Mikrokosmos mit denselben Naturgesetzen zu beschreiben¹⁷⁰, und somit auch die lebende (bzw. organische) als auch die tote (bzw. anorganische) Materie.¹⁷¹ (Selbst die Elemente bzw. Teilchen beider Materie bleiben stets dieselben.)¹⁷²
3. Für die (Anfänge der) Embryonalentwicklung schließt Descartes die Mitwirkung der Seele aus.¹⁷³
4. Er bestreitet, dass die Seele die Lebensprozesse steuert, da beispielsweise die Seele gar nichts davon wissen kann, welche Nahrungsmittel von welchen Körperstellen aufgenommen werden.¹⁷⁴

¹⁶⁸ DESCARTES 1696, S. 43 (Siehe dazu auch die Fußnote 1.)

Descartes behandelt dieses Thema erst in *Passions de l'âme* (1649). (Dieses Werk von Descartes stand dem Autor dieser Arbeit leider nicht zur Verfügung.) Dort schreibt Descartes, dass die Seele bzw. der Wille die Zirbeldrüse nach verschiedenen Seiten neigen kann. (Interessant ist schon die Frage, weshalb Descartes die offensichtliche Unbeweglichkeit dieser Drüse entgangen ist. Vgl. dazu Descartes, Mensch S. 112, Fußnote 2 und S. 133, Fußnote 2). Wie ernst er es mit diesen Aussagen meint, können wir leider nicht untersuchen. (Dieselbe Theorie vertrat auch Henericus Regius im Jahre 1641.)

vgl. S. DESCARTES 1696, S. 55-56 Fußnote 3; S. 57 und Fußnote 2

Es gibt deutliche Stellen, wo Descartes die Seele des Menschen eher als eine Psyche betrachtet, die stark von der Mechanik abhängt. vgl. dazu DESCARTES 1696, S. 71, Fußnote 2 und S. 73; S. 97, S. 122

¹⁶⁹ vgl. DESCARTES 1696, S. 109-110, S. 113, Fußnote 1; S. 133; S. 135, Fußnote 135

(Natürlich könnte es auch gewesen sein, dass er mit seiner Theorie nicht ganz zufrieden war.)

¹⁷⁰ vgl. DESCARTES 1696, S. 54 und Fußnote 1

Interessant ist, wie ähnlich die Beschreibungen der kosmologischen Entwicklung und Fötusbildung bei Descartes sind. Bei ihm „findet sich die Embryologie noch einmal als Kosmologie, als Nachhall der grandiosen Idee des Barock von der universellen Entsprechung von Mikrokosmos und Makrokosmos!“ Descartes, Mensch S. 16. Und vgl. DESCARTES 1696, S. 54, Fußnote 2

¹⁷¹ vgl. DESCARTES 1696, S. 15

So beschreibt Descartes sein Vorhaben bereits mit den Worten: „Ich habe [in den Tieren] keine Sache gefunden, von der ich nicht denke, daß ich ihre Bildung nicht aus natürlichen Ursachen erklären kann, so wie ich in meinen Météores die des Salzkorns oder eines Schneesternchens erklärt habe. Und wenn ich wieder erneut meinen Monde beginnen würde, wo ich [im Homme] den Körper eines fertig ausgebildeten Lebewesens angenommen habe, dann würde ich es unternehmen, dort auch die Ursachen dieser Bildung und Entstehung zusammenzustellen.“ DESCARTES 1696, S. 172, Fußnote 1

¹⁷² Diese Elemente und ihre Eigenschaften werden in den *Principia Philosophiae* erläutert.

vgl. DESCARTES 1696, S. 73 und Fußnote 7; S. 158, 159 und Fußnote 2; S. 166-167; S. 170, Fußnote 1

¹⁷³ DESCARTES 1696, S. 165, Fußnote 1

Es heißt sogar: „Descartes war ein Epigenetiker reinsten Wassers, d.h. die Organe entstehen allmählich aus ungeformtem Ausgangsmaterial.“ DESCARTES 1696, S. 171, Fußnote 1

Noch interessanter ist jedoch diese Stelle: „[...] würde man alle Teile der Samenmasse irgendeiner Art von Lebewesen im einzelnen genau kennen, z. B. vom Menschen, dann könnte man allein daraus und auf Grund rein mathematischer und sicherer Gründe die gesamte Gestalt und den Aufbau eines jeden Körperteils ableiten, wie man auch umgekehrt, wenn man einige Einzelheiten dieses Aufbaus kennt, daraus die Art des Samens ableiten kann.“ DESCARTES 1696, S. 183

Dieses Verständnis ist eng verwandt mit dem der heutigen genetischen Codes. (vgl. Descartes, Mensch S. 183, Fußnote 2)

¹⁷⁴ DESCARTES 1696, S. 161 und Fußnote 1 und 2

5. Descartes kritisiert den Blutkreislauf von Harvey aus drei Gründen. Gerade der dritte Grund besteht darin, dass Descartes meint Harvey benötige für seine Theorie das Vermögen der Seele, wobei Descartes aber nur gesetzlich wirkenden Kausalzusammenhang als hinreichende Begründung betrachtet.¹⁷⁵

Wir wollen in dieser Arbeit nicht zu weit Schlüsse ziehen, obwohl es sehr nahe liegt, dass Descartes die Seele vom Körper deshalb getrennt hat, da er den Begriff einer Seele (für sein Konzept) für unnötig hielt. Oder zumindest zeigt er, dass man die beiden Themen voneinander unabhängig untersuchen darf bzw. kann.¹⁷⁶ In etwas entschärfte Version können wir über das Leib-Seele-Problem sagen: „Descartes ließ das Problem letztlich offen.“¹⁷⁷ (Es gibt natürlich auch hochrangige Wissenschaftler, die Descartes' Aussagen etwas anders interpretieren.)¹⁷⁸

Doch auch seine Betrachtungen sich den Menschen und die Tiere maschinell vorzustellen, kann womöglich auf die Vernachlässigung der Theory of Mind zurückgeführt werden: „Im Namen der nachcartesischen Erfahrung läßt sich vieles gegen ihn einwenden; sein Mikrokosmos war ebenso eine Fabel wie sein Makrokosmos. Gewiß führte er mehr Irrtümer in die Details der Anatomie und Physiologie ein als er zerstörte. Gewiß war die Menschenseele bei ihm skeletiert bis auf das denkende Ich. Wo bleibt bei ihm das Du, der Andere, wo die Güte, Liebe, Freundschaft, die Dankbarkeit, kurz die Wärme des Herzens?“¹⁷⁹

Es gibt nur ein paar Stellen, wo man bei Descartes überhaupt Rollenspiele oder den Versuch einer Einfühlung findet. Theory of Mind kommt meistens nur dann zum Einsatz, wenn er versucht sich in Gott hinein zu versetzen, welcher bei ihm jedoch zumeist mehr die Rolle eines künstlerischen Konstrukteurs hat. (*Wir werden später sehen, dass Gott eigentlich das darstellt, was wir unter einer **Absoluten Perspektive** verstehen, welche alle Perspektiven miteinschließt. Psychologisch gesehen hat somit Gott, wenn man so will, stets die **absolute, allozentrische**¹⁸⁰, **zentrale Kohärenz**.¹⁸¹¹⁸²*)

Oder: „Daß die Seele nicht, insofern sie in einzelnen Körperteilen, sondern nur insofern sie im Gehirn ist, das, was dem Körper in den einzelnen Gliedern widerfährt, mit Hilfe der Nerven empfindet, erweist sich erstens von daher als evident, daß verschiedene, allein das Gehirn angreifende Krankheiten jede Empfindung aufheben oder in Unordnung bringen [...]“ DESCARTES 2005, S. 613 (IV/196)

¹⁷⁵ vgl. DESCARTES 1696, S. 155 und S. 154, Fußnote 1

vgl. auch DESCARTES 1696, S. 27; S. 60, Fußnote 1; S. 63, Fußnote 2

¹⁷⁶ vgl. dazu RUSSELL 1988, S. 578

¹⁷⁷ DESCARTES 1696, S. 191

¹⁷⁸ Erwähnen möchten wir beispielsweise das Buch *Descartes' Irrtum* (1994) von Antonio R. Damasio, worin steht: „Darin liegt Descartes' Irrtum: in der abgrundtiefen Trennung von Körper und Geist, von greifbarem, ausgedehntem, mechanisch arbeitendem, unendlich teilbarem Körperstoff auf der einen Seite und dem ungreifbaren, ausdehnungslosen, nicht zu stoßenden und zu ziehenden, unteilbaren Geiststoff auf der anderen; in der Behauptung, daß Denken, moralisches Urteil, das Leiden, das aus körperlichem Schmerz oder seelischer Pein entsteht, unabhängig vom Körper existieren. Vor allem: in der Trennung der höchsten geistigen Tätigkeiten vom Aufbau und der Arbeitsweise des biologischen Organismus.“ DAMASIO 2012, S. 330-331

¹⁷⁹ DESCARTES 1696, S. 194

¹⁸⁰ vgl. dazu den Begriff „Allozentrität“ in NEWEN/VOGELEY 2012, S. 174

¹⁸¹ Was nichts anderes bedeutet als, dass Gott die Fähigkeit besitzt, jederzeit alle Elemente der (menschlichen) Wahrnehmung usw. in einen objektiven Gesamtzusammenhang zu stellen. (vgl. dazu auch den Begriff „zentrale Kohärenz“ in FERSTL 2012, S. 131)

¹⁸² Doch Descartes scheint eben genau diese Sichtweise nicht zu vertreten und er übersieht die Bedeutung der Theory of Mind als ein Fundament für die Philosophie und absolutiert den Begriff Gottes. So schreibt er:

„32. Doch vielleicht bin ich etwas mehr, als ich selbst einsehe und sind alle die Vollkommenheiten, die ich Gott zuschreibe, der Möglichkeit nach irgendwie in mir enthalten, wengleich sie sich noch nicht entfalten und noch nicht zur Aktualität gelangt sind; mache ich doch schon an mir die Erfahrung, daß meine Erkenntnis

So erläutert Descartes: „Ich stelle mir einmal vor, daß der Körper nichts anderes sei als eine Statue oder Maschine aus Erde, die Gott gänzlich in der Absicht formt, sie uns so ähnlich wie möglich zu machen, und zwar derart, daß er ihr nicht nur äußerlich die Farbe und die Gestalt aller unserer Glieder gibt, sondern auch in ihr Inneres alle jene Teile legt, die notwendig sind, um sie laufen, essen, atmen, kurz all unsere Funktionen nachahmen zu lassen, von denen man sich vorstellen könnte, daß sie aus der Materie ihren Ursprung nehmen und lediglich von der Disposition der Organe abhängen.“¹⁸³

Wir wollen nun auf Grund des Weltbildes von Descartes (in aller Vorsicht) eine *Hypothese* vertreten:

Die Perspektive von Descartes trägt „autistische Züge“.

(Denn in seinem Hauptwerk *Principia Philosophiae* ist nicht nur sein philosophisches Prinzip *selbstbezogen*¹⁸⁴, sondern auch sein Verständnis von der „*Psychologie*“ zeigt wenig Einfühlungsvermögen in andere.¹⁸⁵ Sie ist zur Gänze maschinell bzw. mechanisch.¹⁸⁶)

nach und nach wächst. Und ich sehe nicht, was dem im Wege stände, daß sie so mehr und mehr wüchse bis ins Unendliche und warum ich nicht vermöge der so gewachsenen Erkenntnis alle übrigen Vollkommenheiten Gottes sollte erreichen können? Und schließlich, warum, wenn doch einmal die Fähigkeit zu diesen Vollkommenheiten in mir ist, sie nicht auch hinreichen sollte, um ihre Idee hervorzurufen?

33. Indessen kann nichts von dem allen der Fall sein; denn erstlich, mag es nun wahr sein, daß meine Erkenntnis gradweise wächst, und daß in mir vieles zwar der Möglichkeit nach, aber noch nicht aktuell ist, so geht doch nichts hiervon die Idee Gottes an, in der nämlich nichts bloß der Möglichkeit nach enthalten ist; denn eben dieses gradweise Anwachsen ist der sicherste Beweis der Unvollkommenheit.“ DESCARTES 1965 S. 38

Descartes erkennt somit nicht die Bedeutung von Theory of Mind, welches uns immer mehr und mehr von unserer Unvollkommenheit befreit und daher zu einem bzw. zu dem Prinzip der Philosophie schlechthin erklärt werden könnte, sondern findet, dass die Unvollkommenheit des Menschen eben gerade dafür nützlich ist, um zu zeigen, dass es einen Gott geben „muss“, der eben objektive Realität gewährleistet bzw. darstellt. (*Man könnte hier womöglich sagen, dass Descartes hier den umgekehrten Prometheus darstellt, der von den Menschen das Feuer nimmt und sie den Göttern schenkt.*)

¹⁸³ DESCARTES 1969, S. 44

¹⁸⁴ Im 1. Kapitel schreibt er: „Und deshalb ist die Erkenntnis, *ich denke, daher bin ich*, die überhaupt erste und sicherste, auf die jeder regelgeleitete Philosophierende stößt.“ DESCARTES 2005, S. 15 (I/7)

¹⁸⁵ „Nach unserer Definition umfasst das Bewusstsein das Erkennen des eigenen Denkens wie auch des Denkens anderer.“ KEENAN 2005, S. 180

Diese Definition ist der von Descartes („Unter der Bezeichnung >>Denken<< verstehe ich alles, was auf bewußte Weise in uns geschieht, das wir also erkennen, insofern es zu unserem Bewußtsein gehört.“ DESCARTES 2005, S. 17 (I/9)) sehr ähnlich, aber nicht identisch. Was bei Descartes fehlt ist eindeutig die Theory of Mind.

¹⁸⁶ Eine passende Textstelle, die das wohl bezeugen könnte: „Wie diejenigen, die in der Betrachtung der Automaten geübt sind, wenn sie die Funktionsweise irgendeiner Maschine kennen und einige von ihren Teilen genau untersuchen, daraus leicht ableiten, auf welche Weise die anderen Teile, die sie nicht sehen hergestellt sind: Ebenso habe ich versucht, aus den sinnlichen wahrnehmbaren Wirkungen und den Teilen der natürlichen Körper zu ermitteln, was deren Ursachen und unsichtbaren Teile sind.“ DESCARTES 2005, S. 627-629 (IV/203) Die *Seele* hat ihren Sitz im Gehirn, schreibt Descartes und erfährt durch die Hilfe der Nerven, was in den einzelnen Gliedern passiert. (DESCARTES 2005, S. 613 (IV/196))

Besonders interessant ist, dass Descartes dann als ein Beispiel ein Mädchen wählt, welches unter Phantomschmerzen leidet. Seine Gedanken sind gut nachvollziehbar und waren wohl sehr lange auch die

Es ist bekannt, dass dem Begriff *Autismus* das griechische Wort „autos“ innewohnt, welches wir frei als „selbst“ übersetzen können. Leo Kanner (und später Hans Asperger) wählten diesen Begriff, um den Blickwinkel auf die Selbstversunkenheit und die soziale Isolation ihrer Patienten bzw. Klienten zu richten.¹⁸⁷ Man vermutet stark, dass autistische Personen unter einer Funktionsstörung leiden, anderen Personen mentale Zustände zuzuschreiben. (Dies wird auch als *Mindblindness* bezeichnet.) Unter anderem können Personen die unter Autismus leiden Theory of Mind Aufgaben schwerer lösen (und zeigen somit Defizite, was Theory of Mind betrifft).¹⁸⁸

Weshalb Descartes Philosophie und Weltverständnis eine derart selbstbezogene Perspektive einnimmt und beinahe frei von Theory of Mind ist, lassen (mindestens) zwei Möglichkeiten zu:

1. Descartes litt womöglich (, wenn auch nur schwach) an Autismus?¹⁸⁹

Vorstellung der meisten Mediziner. Heute wissen wir, dass die Phänomene dafür etwas komplizierter sein dürften. vgl. RAMACHANDRAON/WILLIAM (1998)

Über die Natur des *Geistes* berichtet er, dass er durch „gewisse Bewegungen im Körper“ „zu allen möglichen Gedanken verleitet werden kann“. DESCARTES 2005, S. 615 (IV/197).

So bleibt aber umso unverständlich, weshalb er noch zu Beginn der *Principia* den Geist vom Körper trennt und meint, dass sie voneinander getrennt begreifbar seien. vgl. DESCARTES 2005, S. 21 (I/12)

Descartes ist der Meinung die (menschliche) Natur sollte nur durch die Begriffe „Größe, Gestalt und Bewegung“ beschrieben werden. (vgl. DESCARTES 2005, S. 621 (IV/621) Der menschliche Geist gehört interessanterweise nach Descartes vom Körper getrennt und kann daher nicht mit diesen Begriffen beschrieben werden. (Vgl. DESCARTES 2005, S. 15 (I/8). Das gibt dem Leser natürlich zu denken. Betrachtet Descartes den Geist eben nun einfach als unwissenschaftlich? Oder einfach nur göttlich, da auch Gott keine körperliche Natur besitzt? vgl. DESCARTES 2005, S. 31 (I/23)

Eine interessante These von Angelica Horn, könnte diesen Zusammenhang verständlich machen. So erläutert sie: „Das denkende Subjekt wurde reduziert zur bloßen Punktualität, die sich selbst bespiegelt. Jeder kann diesen Standpunkt einnehmen, wie auch prinzipiell jeder sich in den richtigen Standpunkt gegenüber einem perspektivischen Bild begeben kann. Der den Ich-Gedanken Vollziehende spiegelt sich gleichsam im Punkt des gedachten Ichs, so wie der Zentralpunkt des Betrachters sich im Hauptpunkt eines zentralperspektivischen Bildes spiegelt.

Das isolierte Ich kann nur noch sagen, >>ich bin<<. Es ist, um Descartes' eigene Metapher zu gebrauchen, ein archimedischer Punkt, also der einzig ruhende Punkt in einem Kraft- bzw. Hebelverhältnis.“ Und der Gott „ist der Hauptpunkt des Bildes, der zugleich der Punkt der Unendlichkeit ist, welcher den Standort des Betrachters bestimmt.“ Descartes, Neuzeit S. 30-31

¹⁸⁷ vgl. KEENAN 2005, S. 163

¹⁸⁸ vgl. KEENAN 2005, S. 164-166 und SODIAN/PERST/MEINHARDT 2012, S. 67; 349, 353

¹⁸⁹ Indizien dafür könnte man beispielsweise in seiner Biografie finden, in dem man untersucht, ob die sozialen Interaktionen von Descartes damals auffallend waren, oder er unter Zwangshandlungen litt. Auch könnte man seine Verwandtschaft genauer unter die Lupe nehmen, da Autismus höchstwahrscheinlich eine genetische Basis hat. Vgl. zu Anzeichen und Zusammenhänge von Autismus in SODIAN/PERST/MEINHARDT 2012, S. 66 und DOSE/WEBER 2012, S. 351.

(Dafür könnte beispielsweise sprechen: eine zurückgezogene Lebensweise¹⁹⁰, eigensinniges Festhalten an bestimmten Zielen¹⁹¹, seine starke geometrische Begabung¹⁹², das Fehlen von Humor in seinen Texten¹⁹³, usw.)

2. Viele Merkmale, die man heute dem Autismus-Spektrum-Störungen (ASS) zuschreiben würde, galten damals als ein Idealbild. Beispielsweise schrieb noch Asperger (1965), dass die „autistische Psychopathie“ eine „Extremvariante des männlichen Charakters, der männlichen Intelligenz“ sei.¹⁹⁴ In der Philosophie Descartes hat, wie schon des Öfteren betont, das Selbstbewusstsein eine große Rolle, wofür aber die (Erste-Person-Perspektive bzw.) eigene Perspektive völlig genügt. Da Descartes jedoch die Mechanik als eine objektive Beschreibung der Welt bzw. der Naturwissenschaften empfindet, glaubt er, dass seine Perspektive – eine damals weitgehend anerkannte und erfolgreiche - andere subjektive Perspektiven (bzw. Dritte-Person-Perspektive) automatisch miteinschließt, und somit eine beobachterunabhängige Perspektive darstellt.¹⁹⁵

Da von Descartes keine auffällige Störung der sozialen Interaktionen bekannt sind¹⁹⁶ und er außerdem ein großes Spektrum – sowohl seine Reisen und Abendteuerlust, als auch seine Forschungen zu Philosophie bis Physik und der Medizin – an Interessen und Aktivitäten darlegt, werden wir in dieser Arbeit die erste Möglichkeit als unwahrscheinlich ansehen.¹⁹⁷ Und uns davor

¹⁹⁰ Dies lässt sich aber ganz leicht verstehen. So schreibt Bertrand Russell: „Ich behaupte, Descartes sei ein schüchtern Mensch gewesen; man könnte es vielleicht liebenswürdiger ausdrücken, indem man sagt, er wünschte in Frieden gelassen zu werden, um ungestört arbeiten zu können.“ RUSSELL 1988, S. 569

¹⁹¹ Dass diese Art von Eigenschaft auf Autismus hinweisen könnte, findet man in DOSE/WEBER 2012, S. 348. Descartes strebt zugegeben großteils eine Mechanisierung der Welt an. Dieses Verhalten muss aber natürlich nicht unbedingt auf ein Autismus hindeuten. Dass die Hartnäckigkeit und Genialität einander bedingen, betonte bereits Thomas Alva Edison mit den Worten: „*Genialität besteht zu einem Prozent aus Inspiration und zu 99 Prozent aus Transpiration.*“ EDISON ZITAT

¹⁹² Beispielsweise schneiden Asperger-Patienten bei Embedded Figures Test (bzw. Eingebettete-Figuren-Test) überdurchschnittlich ab, wo man bestimmte Details in einer komplexen Darstellung finden muss. (vgl. KEENAN 2005, S. 168) Dagegen würde sprechen, dass Descartes eigentlich auch genialität beweist, wenn es um die Suche nach Ganzheiten und somit nach Prinzipien geht.

¹⁹³ Nicht selten benötigt man Theory of Mind um die Pointe eines Witzes zu verstehen, da man sich beispielsweise in eine bestimmte Situation hinein versetzen muss. Allgemein ist in Descartes Texten wenig Humor, Sarkasmus oder Ironie zu finden, im Gegensatz zu den Texten Platons. Doch da Descartes meist wissenschaftliche Arbeiten schrieb, war das womöglich nicht gerade sehr angebracht, weshalb er sich dieser Stilmittel nicht bediente.

¹⁹⁴ zitiert nach DOSE/WEBER 2012, S. 352

(Diese Aussage findet wahrscheinlich noch einmal eine indirekte Bestätigung, wenn man vor Augen führt, dass bei einem Empathisierungsquotienten-Test (2004) 14 Prozent der männlichen Versuchspersonen unter dem klinischen Minimum lagen. vgl. DOSE/WEBER 2012, S. 353)

¹⁹⁴ vgl. DESCARTES 1969, S. 139, Fußnote 1

¹⁹⁵ vgl. dazu die Begriffe „Egozentrität“ und „Allozentrität“ in NEWEN/VOGELEY 2012, S. 174

¹⁹⁶ Beispielsweise schreibt Goethe über ihn: „Außerordentlich zart behandelt er seine Mitlebenden, Freunde und Studiengenossen, ja sogar seine Gegner.“ GOETHE (I) 1948

Der Absatz, von wo wir auch das Zitat von Goethe entnommen haben, wird auch von Istvan Szabo zitiert. Überraschenderweise zitiert Szabo zwar denselben Absatz, doch lässt er unter anderem gerade den Satz, welches wir gerade zitiert haben. (vgl. SZABO 1987, S. 59-60) *Wenn man den Originaltext von Goethe liest und die Textauszüge von Szabo, so kann man die Hypothese vertreten, dass Szabo - der bedeutende Analytiker historisch wissenschaftlicher Texte - Descartes und allgemein beinahe alle Philosophen leider ins schlechte Licht zu rücken versucht.*

¹⁹⁷ Ob Descartes die Kriterien von „Aspie“ erfüllen würde, überlassen wir dem Urteil des Lesers.

Die Kriterien dafür wurden von Gray und Attwood (1999) zusammengestellt. „Nach diesen Kriterien handelt es sich bei den >>Asperger-Syndrom<< Betroffenen um einen eigenwilligen, dabei aber besonders geistreichen und kreativen Menschentyp – ein Störungsbild ist (was auch der erklärten Intentionen der Autoren entspricht) nicht mehr zu erkennen.“ DOSE/WEBER 2012, S. 354

hüten den großen Geist Descartes durch sogenannte „Modediagnosen“¹⁹⁸ vorurteilbelastet zu interpretieren.

Vielversprechend ist dagegen die Möglichkeit, dass Descartes Lebensweise – z.B.: seine Zurückgezogenheit – als auch seine Leidenschaft zur mechanischen Forschung und die Benützung einer Ichbezogenen-Perspektive damals ein Ideal darstellten.¹⁹⁹ Doch sowie die Skulptur *Venus von Willendorf* (aus der Steinzeit) nicht dem heutigen Ideal – weder von der Ästhetik, noch dem Wunschbild, schon auf Grund der gesundheitlichen Nachteile – entspricht, so genügt der Aufbau des cartesischen Weltbildes nicht ganz den wissenschaftlichen Maßstäben von heute. Descartes Perspektive erkrankt, wenn man so will, am Fehlen von *Theory of Mind* (bzw. Perspektivenwechsel), welches wir in dieser Arbeit unter anderem zeigen wollen.

Interessant ist, dass sogar das Ichbewusstsein, welches wohl Descartes als den Kern des menschlichen Denkens und somit der der Philosophie betrachtete, eigentlich nicht (nur) den Kern des Menschen kennzeichnet.

Es ist eher ein Kern höher entwickelter Primaten, dessen höchste Entfaltung bis jetzt beim Menschen sichtbar wurde. (Evolutionstheoretisch können wir daher sogar sagen, dass das Ichbewusstsein wahrscheinlich vor mindestens 13 Millionen Jahren bei Menschenaffen entstanden sein dürfte.)²⁰⁰ In diesem Sinne müssen wir wohl alle drei Thesen Descartes ein wenig verändern. Doch sie geben heute wie damals die Hauptperspektiven, wenn es um die Fragen geht, was den Menschen und sein Denken betreffen.

Außerdem schreibt Descartes in **Über den Menschen** deutlich: „Und da man weiß, daß die Natur immer die Mittel anwendet, die die einfachsten und gewöhnlichsten von allen sind, so wird man vielleicht nicht der Auffassung sein, daß es möglich ist, Mittel zu finden, die denen, deren sie sich bedient, ähnlicher sind als die, die hier vorgeschlagen wurden.“²⁰¹ Wir sehen, dass Descartes das Sparsamkeits- bzw. Ökonomieprinzip in der Biologie – die er versucht mechanisch zu begründen – bewusst einsetzt. Doch betont Theodosius Dobzhansky: „*Nichts in der Biologie ergibt einen Sinn, es sei denn im Lichte der Evolution.*“²⁰² Dabei versteht man unter einer Evolution²⁰³ Veränderungen in

¹⁹⁸ vgl. DOSE/WEBER 2012, S. 356

Oder vgl. allgemein das Werk von Michel Foucault **Wahnsinn und Gesellschaft** (1961).

¹⁹⁹ Passend hierzu können wir auch Angelica Horn zitieren: „Ausgehend von der Zentralperspektive der Renaissance wird ein neuer Blick auf die Philosophie von René Descartes (1596-1650) möglich: Descartes, in Optik und Geometrie als Forscher tätig und um eine universale Wissenschaft bemüht, entwickelt nämlich eine zentralperspektivische Konstruktion, die nun allerdings keine im engeren Sinne mathematische ist, im Gebiet der Philosophie, wenn er in seinen *Meditationes*, ausgehend vom Punkt des Denkenden, eine metaphysische Begriffsstruktur entwirft, die den formalen Rahmen konkreter Erkenntnisse bereitstellt. Das Ego ist Ausgangspunkt einer rationalen Konstruktion metaphysischer Begriffe und einer Weltkonstruktion, in der die Dinge nur als ausgedehnte, und d.h., sich einer geometrischen Konstruktion bequeme, Objekte wahrheitsfähiger Erkenntnis sind. Dem Leser kommt die Rolle des Betrachters zu, der im Experiment der *Meditationes* auf den richtigen Punkt gestellt wird, um die Konstruktion in ihrer Evidenz wahrzunehmen. Descartes realisiert so philosophisch, was in den Künsten erheblich früher entwickelt war.“ HORN 2000, S. 10; vgl. dazu auch HORN 2000, S. 14-15, 28

²⁰⁰ KEENAN 2005, S. 183

Dieses Modell bringen natürlich die Gorillas teilweise zum Wanken. vgl. dazu KEENAN 2005, S. 183

Wir haben hier beispielsweise die Delphine in unsere Untersuchungen nicht eingebunden. Den interessierten Leser verweisen wir auf KEENAN 2005, S. 52-53

²⁰¹ DESCARTES 1969, S. 134 -135

²⁰² zitiert nach KULL 1995, S. 11

²⁰³ Es gibt natürlich, wie bei vielen Theorien verschiedene Perspektiven. Eine Evolutionstheorie gilt dann als darwinistisch, wenn sie Faktoren wie die Mutation, Rekombination und Selektion, Zufallsereignisse einbezieht.

(langen) Zeiträumen, wo aus (meist) einfacheren Formen bzw. Systemen kompliziertere entstehen.²⁰⁴ Dabei müssen sich die Systeme bzw. Lebewesen (unter anderem) der Umwelt anpassen, damit sie nicht selektiert werden.²⁰⁵ So bewirkt die biologische Selektion, dass Organismen, welche sich den Umweltfaktoren am besten anpassen bzw. sich optimieren, deshalb die beste Chance zum Überleben (und sich zu Rekombinieren) haben. Insofern kann man aus dem Optimierungsprinzip einen heuristischen Nutzen ziehen.²⁰⁶ So erkennen wir einen deutlichen Sinn in der Natur, wenn wir uns die „extreme Sehschärfe bei Greifvögeln“ oder „die Ausbildung der Flossen bei Haien“²⁰⁷ ansehen. Die *Baumtheorie* kann beispielsweise auch sehr gut veranschaulichen, dass (unter anderem) unsere greiffähigen Hände und unsere höchst beweglichen Arme das Leben unserer Vorfahren (den Primaten) widerspiegeln, die auf den Bäumen gut klettern und schaukeln konnten.²⁰⁸

Infolgedessen lassen sich aus dem Verständnis des Optimierungsprinzips auch technische Möglichkeiten ableiten. Interessant ist dabei beispielsweise der Wissenschaftszweig *Bionik*, welcher versucht, biologische Systeme technisch nachzuahmen, um sie effizienter zu gestalten. In diesem Sinne hat die Kybernetik (z.B. die Bionik), aber auch die Prothetik (z.B. die Prothesenentwicklung) sehr viel mit der Descartesschen Perspektive gemein, da sie biologische Systeme technisch bzw. maschinell interpretiert. Von ganz großer Bedeutung ist natürlich auch die Erforschung der künstlichen Intelligenz (KI). Man spricht sogar vom künstlichen Leben (*artificial life*), welches evolutionäre Algorithmen anwendet.²⁰⁹ Auf diese Weise werden bereits Roboter (*embodied robotics*) produziert, welche „im Laufe von Experimenten Erfahrungen sammeln, Verhaltensmuster und kognitive Fähigkeiten ausbilden.“²¹⁰ Außerdem werden sie für Dienstleistungen (z.B.: Homecare-Bereich) – um „die Mensch-Maschine-Interaktion für Menschen komfortabel zu gestalten“²¹¹ – beispielsweise so eingestellt, dass sie davon ausgehen, dass Menschen (bewusst oder unbewusst) effiziente Bewegungen bevorzugen.²¹² Erstaunlicherweise können sie sogar auf Emotionen programmiert werden (*affective computing*).²¹³ Ob es auch irgendwann menschenähnliche bzw. humanoide Roboter mit Theory of Mind Fähigkeiten geben wird, lässt sich zwar heute noch nicht sagen, aber auch nicht ausschließen.²¹⁴

Doch wie ist der Zusammenhang zwischen dem Ökonomieprinzip (von Descartes) mit dem Optimierungsprinzip genau zu verstehen? „Die Optimierung kann auch als Aufwandsminimierung

Wenn sie einer dieser Kriterien nicht einhält – beispielsweise die Selektion – dann handelt es sich nicht um eine darwinistische Evolutionstheorie. vgl. KULL 1995, S. 15, 21

²⁰⁴ KULL 1995, S. 11

²⁰⁵ KULL 1995, S. 23-24

²⁰⁶ Man kann sich beispielsweise so die Evolution (quantitativ) mit verschiedensten Optimierungsalgorithmen verständlich machen.

Diese Methode hat natürlich unter anderem Schwierigkeiten, da man meist nicht alle Randbedingungen angeben kann. (Auch die Randbedingungen selbst ändern sich mit der Zeit). Außerdem ist es nicht selten schwer die möglichen Strategien anzugeben oder die Zielfunktion zu formulieren, wenn man versucht den Evolutionsablauf zu rekonstruieren. vgl. dazu KULL 1995, S. 50-51

²⁰⁷ ULRICH/EKKEHARD/ROLF 1995, S. 7

²⁰⁸ vgl. KEENAN 2005, S. 36-37

²⁰⁹ MAINZER 2012, S. 138-139

²¹⁰ MAINZER 2012, S. 141

²¹¹ MAINZER 2012, S. 141

²¹² vgl. MAINZER 2012, S. 141-142

²¹³ vgl. MAINZER 2012, S. 142

²¹⁴ vgl. MAINZER 2012, S. 145-146

beschrieben werden.²¹⁵ Ob Systeme bzw. Organismen auch wirklich effizient (zum Beispiel im Sinne von Energieaufwand) sind, lässt sich unter dem Kosten-Nutzen-Aspekt darstellen.²¹⁶ Deshalb können natürlich Evolutionsforscher die Frage stellen, welchen großen Vorteil die Theory of Mind bzw. das Ichbewusstsein den Menschen brachte²¹⁷. Das liegt daran, dass die Gehirnaktivitäten enorm viel Energie beanspruchen²¹⁸, weil wir über unsere eigenen Fähigkeiten (in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft) reflektieren, aber auch einiges an Gedanken beim Versuch verschwenden uns in andere Personen hineinzusetzen.²¹⁹

Für die Theory of Mind bzw. das Ichbewusstsein war (nach heutigen Theorien) höchstwahrscheinlich die für Primaten typische soziale Struktur bzw. Umfeld verantwortlich. Das Leben in sozialen Gruppen hat bekanntlich Vor- und Nachteile²²⁰:

- Gruppen bieten einen besseren Schutz gegenüber Gefahren von außen (z.B. Raubtiere usw.) oder beim erbeuten und teilen von Nahrungsressourcen.
- Individuen der Gruppe stellen aber auch zugleich eine direkte Konkurrenz da, wenn es um begehrte Ressourcen und um Sexualpartner geht.

Insofern erfüllt die Theory of Mind genau genommen (zumindest) einen doppelten Nutzen:

1. Sie hilft den Individuen (und somit auch der ganzen Gruppe) zu erkennen, welche Individuen einen potenziellen Kooperationspartner darstellen und welche nicht.²²¹
2. Außerdem hilft sie aber auch andere Individuen besser zu täuschen und damit zu den hoch begehrten Ressourcen und zu den attraktiven Sexualpartnern zu gelangen.²²²

Dieser Umstand, dass die Individuen einerseits einen Nutzen davon ziehen können, wenn sie andere besser täuschen, aber andererseits auch wenn sie erkennen, ob ein anderer sie täuscht, führte wahrscheinlich zu einem Wettstreit von Theory of Mind bzw. Ichbewusstsein.²²³ So gesehen ist Descartes Schrift mit einer gewissen Ironie zu lesen, da er, um zu der Wahrheit zu gelangen, versucht die Frage zu klären, ob es einen Gott gibt, der ihn die ganze Zeit täuscht, oder wenn man so will, mit ihm „kooperiert“. An einer Stelle schreibt er sogar: „Denn wenn auch die Fähigkeit, absichtlich zu täuschen, bei den Menschen vielleicht als eine Art von Argument für Geisteskraft angesehen werden

²¹⁵ KULL 1995, S. 51

²¹⁶ vgl. dazu KULL 1995, S. 52-53

²¹⁷ vgl. KEENAN 2005, S. 183 und BRÜNE/BENDER 2012, S. 54

²¹⁸ Das Gehirn eines erwachsenen Menschen, welches nur 2% des Körpergewichts ausmacht, hat einen Anteil von 20% am Gesamtenergieverbrauch. Außerdem beansprucht es enorm viel Wachstums- und Reifungszeit. BRÜNE/BENDER 2012, S. 54

²¹⁹ vgl. KEENAN 2005, S. 183

²²⁰ BRÜNE/BENDER 2012, S. 54

²²¹ BRÜNE/BENDER 2012, S. 55-58 (und vgl. KEENAN 2005, S. 169)

(vgl. dazu auch auf NASSEHI 2012, S. 45 den Begriff „doppelte Kontingenz“ von Talcott Parsons und Niklas Luhmann.)

²²² vgl. KEENAN 2005, S. 187-191

(Siehe auch den Witz auf KEENAN 2005, S. 181)

Schon in Shakespears *König Lear* heißt es: „Wenn nicht Geburt, schafft List mir Land und Leute; Und was mir nützt, das ist mir gute Beute.“ SHAKESPEAR 2003, S. 19, 1. Aufzug, 2. Auftritt

²²³ vgl. BRÜNE/BENDER 2012, S. 56

Weder das objektive Selbsterkennen (vgl. KEENAN 2005, S. 184), noch das emotionale Ich (vgl. KEENAN 2005, S. 185-187) scheint genug Nutzen für evolutionäre Entwicklung des Theory of Mind zu erbringen.

mag, so entspringt doch der Wille zur Täuschung sicherlich nur aus Bosheit oder Furcht und Schwäche, und deshalb kann ein solcher Wille in Gott gar nicht stattfinden.“²²⁴

Insofern ist Descartes Satz deswegen von prinzipieller Größe. Denn sobald ich über *mich* selbst reflektieren kann, so kann ich mich auch in andere Personen hineinversetzen und davon ausgehen, dass auch sie es können. Wir denken und reflektieren hier aber eben nicht über das *Ich*, sondern über das *Mich*, welches eigentlich erst aus Perspektivübernahmen von anderen zustande kommt. So erläutert George Herbert Mead: „Das ‚Ich‘ tritt nicht ins Rampenlicht. Das ‚Ich‘ reagiert auf die Identität, die sich durch die Übernahme der Haltungen Anderer entwickelt. Indem wir diese Haltungen übernehmen, führen wir das ‚Ich‘ (= ‚Mich‘; Anmerkung des Verfassers) ein und reagieren darauf als ein ‚Ich‘“²²⁵.

Das Ich bleibt daher unhintergebar.²²⁶ Wir können so die Aussage von Hölderlin etwas erweitern bzw. umgestalten: Die erste Idee ist natürlich die Vorstellung *über mich*, der Illusion von einem absolut freien Wesen.²²⁷ Hinter dieser Illusion verbirgt sich eine ganze Lebenswelt²²⁸ – aus der die Figuren (und ihre Motive) entstehen – die einzig wahre und denkbare *Sphäre*, wo das *Ich* zum *Du* und das *Du* zum *Ich* wird bzw. wo man „sich gegenseitig einen subjektiv gemeinten Sinn“²²⁹ unterstellt!

Deshalb ist es nicht überraschend, dass Bourdieu das Individuum „wie das Elektron eine **Ausgeburts des Feldes**“²³⁰ betrachtet bzw. interpretiert.²³¹

So spinnt Descartes „*ich denke, also bin ich*“, wenn man es weiterverfolgt und dekonstruiert ein Netzwerk zum Sozialen.²³² Oder um es als eine Ergänzung zu Descartes zu formulieren: **Über mich denkend, bin ich in Perspektivenwandel – so werde ich (zu was ich nicht bin, indem ich bin, was ich werde).**²³³ Wir nehmen dadurch nicht nur die Perspektiven anderer Menschen an, sondern können auch ein anderes Modell bzw. eine andere Perspektive der Realität präsentieren, die uns selbst oder auch anderen Menschen besser nützen können.

Wir haben bis jetzt jedoch nur die soziale Komponente des Ichbewusstseins bzw. der Theory of Mind betrachtet. Wir könnten das womöglich allgemeiner auch von der ökonomischen Perspektive betrachten, wo wir nicht nur versuchen uns in andere Menschen zu versetzen, sondern in andere

²²⁴ DESCARTES 2005, S. 37 (I/29)

²²⁵ NASSEHI 2012, S. 41

²²⁶ vgl. NASSEHI 2012, S. 41

²²⁷ So betont Bourdieu: „Der Individualistische Finalismus, der das Handeln als etwas begreift, das von einer bewussten Orientierung an explizit formulierten Zwecken bestimmt wird, ist eine ‚wohlbegründete Illusion‘: der Sinn für das Spiel, der eine antizipatorische Anpassung des Habitus an die mit dem Feld gegebenen Notwendigkeiten und Wahrscheinlichkeiten impliziert, erweckt nämlich den Anschein, als sei dabei die Zukunft richtig antizipiert worden.“ zitiert nach NASSEHI 2012, S. 50

²²⁸ Habermas: „Als Ressource, aus der die Interaktionsteilnehmer ihre konsensfähigen Äußerungen alimentieren, bildet die Lebenswelt ein Äquivalent für das, was die Subjektphilosophie als Leistungen der Synthesis dem Bewusstsein überhaupt zugeschrieben hatte.“ zitiert nach NASSEHI 2012, S. 40
Siehe dort auch die Interpretation dieses Textauszuges.

²²⁹ NASSEHI 2012, S. 40

²³⁰ zitiert nach NASSEHI 2012, S. 49

²³¹ vgl. dazu in dieser Arbeit S. 407

²³² Armin Nassehi schreibt: „Letztlich beginnt die Soziologie aber – ob sie will oder nicht, und ob sie es explizit weißt oder nicht – stets mit einer **Dekonstruktion des Subjekts und seiner Individualität**“. NASSEHI 2012, S.41

²³³ vgl. dazu auch NASSEHI 2012, S. 42

Lebewesen oder sogar allgemeiner in lebende aber auch leblose Natursysteme. Erst mit dieser Perspektive können wir schließlich die Welt um uns herum (weitgehend) verbessern.²³⁴

Interessant ist bei all dem, dass das Ökonomie- bzw. Sparsamkeitsprinzip sogar tiefe physikalische Wurzeln hat. So schreibt Ulrich Kull: „Aufwandsminimierung ist ein unter den gemachten Einschränkungen im biologischen Evolutionsvorgang generell beobachtetes Phänomen. Eigentlich ist dieses nur eine spezielle Form des physikalischen Prinzips der kleinsten Wirkung, wonach der Ablauf des Geschehens in einem physikalischen System so sein muß, daß bei kleinem Aufwand die optimale Wirkung erreicht wird. „Alles Geschehen erfolgt mit dem geringsten vertretbaren Energieaufwand“ (Hamiltonsches oder d'Alembertsches Prinzip). Dieses Extremalprinzip gilt auch für komplexe, beispielsweise biologische Systeme – denn alle Gesetze der Physik sind uneingeschränkt auch in der Biologie gültig.“²³⁵ Die (historischen) Wurzeln des Hamiltonschen Prinzips sind beim Fermatschen Prinzip zu suchen. Dieser diskutierte mit Descartes über die Optik. *Ironischerweise* kamen diese beiden Pioniere der geometrischen Optik nicht auf einen gemeinsamen Nenner. (Der größte Grund wird wohl darin gelegen haben, dass das Brechungsgesetz von Descartes andere Voraussagen betätigte, als die Hypothesen von Fermat.) Insofern werden wir die Einführung in die Physik derart gestalten, indem wir versuchen folgende Fragen zu beantworten:

1. Bevor Descartes sein Brechungsgesetz veröffentlichte, wurde es bereits von Snellius entdeckt. Versucht Descartes durch seine Veröffentlichung andere zu täuschen, um somit das Gesetz für sich zu beanspruchen?
2. Weshalb kooperiert Descartes nicht mit Fermat?

²³⁴ vgl. GOLEMAN 2009, S. 50

Vgl. auch NASSEHI 2012, S. 42, wo darauf hingewiesen wird, dass das Bewusstsein funktional ist, um Handlungsanschlüsse zu finden.

Da wir davon ausgehen, dass das Bewusstsein verschiedene Stufen hat, kann man sicher auch ihre Funktionsweise in verschiedenen Ebenen betrachten.

²³⁵ KULL 1995, S. 52

Die Prinzipien der (klassischen) Physik

„1. Regel. An Ursachen zur Erläuterung natürlicher Dinge nicht mehr zuzulassen, als wahr sind und zur Erklärung jener Erscheinungen ausreichen.“²³⁶ von Isaac Newton

In der Geschichte der Physik (und womöglich zugleich in der allgemeinen Beschreibung der Natur) haben sich im Laufe der Jahrhunderte (mindestens) drei Strömungen gebildet, die der Natur folgende Gesetze nahe legten²³⁷:

1. Gesetze der Erhaltung
(Dazu gehören auch Symmetrien bzw. Invarianzen.)
 - Pioniere: Kepler, Galilei, (Descartes, Leibniz), Huygens, Newton, Einstein, Dirac, ...
2. Gesetze der Kräfte
 - Pioniere: Archimedes, Newton, Coulomb, ...
3. Gesetze der (Ökonomie oder genauer) Extremalen
 - Pioniere: Fermat, Leibniz, Maupertuis, Hamilton, Schrödinger, ...

(In **Anhang III** werden wir diese drei Perspektiven anhand eines Beispiels erklären und somit versuchen zu zeigen, dass sie für dasselbe Problem drei gleichwertige Lösungen anbieten.)

Dabei stellt die **erste Perspektive** in ihrer negativen Form (bzw. in Form eines Verbots) wohl unser Verständnis der **ersten Bewusstseinsstufe** dar. Dadurch erst verstehen wir die *Bedeutung von Grenzen*.

Die **zweite Perspektive** ist somit mit der **zweiten Bewusstseinsstufe** verbunden, wo wir ein *Konzept von Ursache und Wirkung* haben. Wir können sodann nicht nur Grenzen erkennen, sondern auch wie auf und innerhalb dieser eingewirkt werden kann.

²³⁶ NEWTON 2004, S. 835

²³⁷ Es könnte gut sein, dass diese *drei Strömungen* mit den *drei Bewusstseinsstufen* (nach Damasio) zusammenhängen.

(1) Protoselbst → Gesetze der Symmetrien:

Obwohl sich unser Körper und somit auch unser Geist ständig verändert, so spüren wir dennoch eine biologische Verankerung. Beispielsweise laufen unsere *emotionalen Reaktionen* wie Angst- oder Glückszustände (aus biochemischer Sicht betrachtet) ziemlich gleich ab, egal wie alt wir sind. (vgl. DAMASIO 2013, S. 204-205) Auf dieser Stufe unseres Bewusstseins dürfte uns die *Erhaltung* bzw. *Unveränderlichkeit* verständlich sein. (Der Selbsterhaltungstrieb könnte in diesem Stadium sicher bereits eine prinzipielle Rolle spielen.)

(2) Kern-Selbst → Gesetze der Kräfte:

Nun wird ein Protagonist benötigt – diesen liefert das Kern-Selbst. Die *Subjektivität* betritt somit die Bühne des Lebens. Die *Handlung* wird geboren! (vgl. DAMASIO 2013, S. 214-215) *Kräfte* werden bewusst eingesetzt.

(3) Autobiographisches Selbst → Gesetze der Ökonomie:

Um ökonomische Ziele überhaupt bewusst setzen zu können, sollten wir unsere Erinnerungen koordinieren können. (vgl. DAMASIO 2013, S. 225-226). Wir sollten die Fähigkeit haben, uns sowohl in die Vergangenheit als auch in die (mögliche) Zukunft hineinzusetzen.

Für die **dritte Perspektive** benötigen wir eine vollentwickelte **dritte Bewusstseinstufe** (bzw. Theory of Mind). Wir können erst hier zum ersten Mal unsere *Perspektive wechseln* und versuchen uns *in die Natur hineinzusetzen*. Wir beginnen ihr Intentionen bzw. Absichten zuzuschreiben. Nun gelingt es uns auch die erste Perspektive nicht mehr in ihrer negativen Form, sondern voll und ganz in ihrer positiven Form zu erkennen und sie aktiv einzusetzen, statt ihr nur passiv zu erliegen.

Auf diese *drei* verschiedenen Perspektiven, welche sich – wie sich in der Entwicklungsgeschichte der Physik gezeigt hat – sehr gut eignen, um nach Naturgesetzen zu erforschen, sollte (wenn nicht aus *ethischen*, dann doch aus) *didaktischen* Gründen bewusst hingewiesen und gleichberechtigt eingesetzt werden. (Ein gutes Beispiel gibt uns die Didaktik der Mathematik, die oft darauf hinweist, die Probleme graphisch, numerisch und analytisch gleichermaßen zu lösen.)²³⁸

²³⁸ Heiko Knechtel erklärt: „[...] Im Wesentlichen lassen sich folgende didaktische Prinzipien angeben:

The-Rule-Of-The-Tree

Jedes mathematische Problem kann graphisch, numerisch und analytisch betrachtet und gelöst werden. Die drei Betrachtungsweisen stehen gleichberechtigt nebeneinander. Das Primat der analytischen Lösung ist nur in einigen Ausnahmefällen wirksam, da sich nur wenige Probleme durch mathematische Funktion vollständig modellieren lassen. Ziel ist es, eine Synthese der drei Betrachtungsebenen im Sinne der Heuristik und Problemlösung zu erreichen.“ HEIKO, S. 11

Die (geometrische) Optik

Sowohl die oben angeführte Regel (und die übrigen beiden zweien) welche Newton in seinem Hauptwerk *Philosophiae naturalis principia mathematica*²³⁹ (1687) als *Regeln zur Forschung der Natur* angibt, als auch seine berühmte Aussage „und Hypothesen erdenke ich nicht“ auf der letzten Seite seiner *Principia* sind wohl direkt an Descartes bzw. an Cartesianer adressiert.²⁴⁰ Weshalb das so ist, werden wir im weiteren Verlauf dieser Arbeit versuchen in Erfahrung zu bringen.

In den Geschichtsbüchern kommt es gar nicht (oder selten) zum Ausdruck, dass sowohl Descartes (Gesetze der Erhaltung) als auch Newton (Gesetze der Kräfte) ihre ersten naturwissenschaftlichen Arbeiten dem Gebiet der Optik widmen. Auch Fermat (Gesetze der Extremalen) wendet sein *Prinzip des kleinsten Widerstandes* auf diesem Gebiet an (, ebenso wie Maupertuis sein *Prinzip der kleinsten Wirkung* das erste Mal in der Optik einbringt²⁴¹.) Deshalb wird es wohl am besten sein, wir beginnen gleich mit der Optik.

Das Prinzip der kürzesten Zeit bzw. das Fermatsche Prinzip

István Szabó schreibt in seinem Buch *Geschichte der mechanischen Prinzipien und ihrer wichtigsten Anwendungen* (1977):

„So ermöglichten es KEPLERS Beobachtungen, wie KOENIG so wundervoll zum Ausdruck bringt, NEWTON zum allgemeinen Massenanziehungsgesetz zu gelangen. Auch bei dem nicht minder berühmten, wenn nicht gar berühmten Prioritätsstreit zwischen LEIBNIZ und NEWTON um die <<Entdeckung der Differentialgleichung>> darf man nicht vergessen, daß schon die *Abhandlungen über Maxima und Minima* (1629) von PIERRE DE FERMAT den Kern des Differentialkalküls in sich trugen. Es ist nun höchst interessant, daß eben dieser FERMAT auch derjenige gewesen ist, der – wohl zum ersten Male – einer Bewegung ein allgemeineres Prinzip als zum Beispiel das Galileische des freien Falles zugrunde legte: In der *Synthese der Brechungerscheinungen* schreibt er:

<<Unser Beweis²⁴² stützt sich auf die einzige Forderung, daß die Natur stets auf dem Wege des geringsten Widerstandes vorgeht. Dies ist nach unserem Dafürhalten die richtige Formulierung, nicht aber, wie die meisten annehmen, daß die Natur stets den kürzesten Weg wähle.

Ebenso wie GALILEI bei seinen Untersuchungen über die natürliche Bewegung unter dem Einfluß der Schwerkraft als Maßstab für die Bewegung nicht etwa den Weg, sondern die Zeit wählt, so ist auch für uns in

²³⁹ Es gibt ein paar verschiedene Möglichkeiten, diesen Titel ins Deutsche zu übersetzen. Zum Beispiel: **Mathematische Prinzipien der Naturlehre**. (vgl. NEWTON 2004, S. 637)

Wir werden in dieser Arbeit eine andere Übersetzung bevorzugen, nämlich **Mathematische Prinzipien der Philosophie der Natur**. (Übersetzt von Eren Simsek)

²⁴⁰ Nachdem Ernst Mach genau jene betreffenden Stellen von Newton aus der *Principia* zitiert hat, verweist er ein paar Absätze weiter unten auf Textstellen, die zeigen, dass Newton auch in der Optik betont dieselbe Position vertreten hat. Und zugleich fügt Mach eine Fußnote, wo er dem Leser erklärt: „Wer die Opposition *Newtons* gegen die Hypothesen übertrieben findet, wird dieselbe leichter verstehen, wenn er den Mißbrauch beachtet, welcher in der *Descartesschen* Zeit mit diesem Forschungsmittel getrieben wurde.“ MACH 1917, Fußnote 299

²⁴¹ „Die entscheidenden Schritte zu "seinem" Prinzip der kleinsten Wirkung unternimmt Maupertuis in der 1744 erschienen Schrift zur Optik [...]“BORZESZKOWSKI 1998, S. 19

²⁴² Szabo notiert hier in einer Fußnote: „Des Brechungsgesetzes der Lichtbewegung.“ (SZABO 1987, S. 101, Fußnote 81)

gleicher Weise nicht der Gesichtspunkt maßgebend, daß möglichst kurze Strecken zurückgelegt werden, sondern daß diese vielmehr bei geringerem Widerstande und in kürzester Zeit durchlaufen werden.>>

Hier schimmert also schon ganz deutlich in einer Extremalforderung die <<Kombination>> von Weg und Zeit durch. Natürlich waren damals (um 1636) weder das Kraft und Massenbeschleunigung verbindende Gesetz von NEWTON noch der notwendige Differentialkalkül vorhanden, um solchen Gedanken auch eine quantitative Formulierung zu geben. In dieser Richtung setzte sich die Entwicklung in den Schriften von LEIBNIZ [...] fort, [...]“²⁴³

Ob dieser *geniale* Gedanke von Fermat (Bild 6)²⁴⁴ stimmt, können wir ganz einfach nach Plausibilität überprüfen:

1. Freier Fall

Bei einem freien Fall eines Körpers – siehe Abbildung 3 (links) –, ist es sehr deutlich, dass er eine gleichmäßig beschleunigte *geradlinige* Bewegung einnimmt. Dies als den „Weg des geringsten Widerstandes“ anzusehen, ist sicher zutreffend (, denn durch die Wahl des kürzesten Weges, welchen er einnimmt, geht er somit zugleich anderen Gegenständen so viel und so schnell wie möglich aus dem Weg).



Bild 6: Pierre de Fermat (1607-1665)

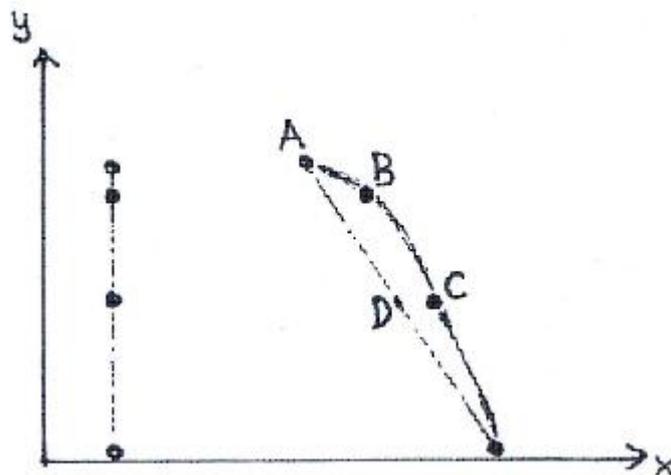


Abbildung 3

2. Freier Fall eines geworfenen Körpers

Doch wie ist die Situation bei einem geworfenen Körper? Sehen wir uns dazu die Bahn eines geworfenen Körpers an, wie sie in der Abbildung 3 (rechts) dargestellt wird. Dabei liegt die Fallstrecke, welche eine Parabel beschreibt, auf den Punkten *A, B und C*. Nun könnten wir uns fragen, ob die Wirkung ($m \cdot v \cdot ds$) in Summe nicht kleiner wäre, wenn der Körper direkten Weg – also durch die Punkte *A, D und C* – nehmen würde?²⁴⁵ Dabei ist es wichtig, dass wir wissen, dass die

²⁴³ SZABO 1987, S. 101

²⁴⁴ BILD: PIERRE DE FERMAT

²⁴⁵ In der mathematischen Physik kann man die Summe aller Wirkung mit folgendem Integral $\int m \cdot v \cdot ds = m \cdot \int v \cdot ds$ berechnen.

(Dabei können wir die Masse m vor das Integral ziehen, da sie nach der klassischen Physik eine Konstante darstellt.)

Geschwindigkeit eigentlich nur von der Höhe abhängt.²⁴⁶ So ist sie (=die potentielle Energie) in beiden Möglichkeiten dieselbe. Wenn das so ist, kommt der Körper natürlich von *A* nach *D* schneller an, als wie von *A* nach *B*, da diese Strecke viel kürzer ist. Interessant wird es jedoch gerade, was ab da passiert. Denn die Strecke von *B* nach *C* ist nun kürzer als von *D* nach *C*. Da der Körper immer gleichmäßig beschleunigt wird, kann er nun die verpasste Zeit auf- und sogar überholen. So zeichnet diese Parabel *A, B, C* in der Tat den optimalen Weg eines geworfenen Körpers. Die Wirkung ($m \cdot \int v \cdot ds$) (und somit auch der Widerstand) ist hier geringer als auf jeder anderen möglichen Nachbarkurve, die von *A* nach *B* führen würde.²⁴⁷

Wir sehen, von welcher einleuchtenden Schönheit Fermats Gedanken für die Mechanik ist. Er wendet den Perspektivenwechsel (bzw. Theory of Mind), die womöglich höchste kognitive Stufe des menschlichen Denkens so an, dass er versucht sich in die Natur hineinzusetzen. Ob sein *Prinzip des kleinsten Widerstandes* genauso für die Optik gilt, werden wir nun unter Zuhilfenahme eines Spiegels – welches bekanntlich für das Testen des Ichbewusstseins eingesetzt wird – untersuchen.

Die Reflexion und Brechung

Reflexion

Zu untersuchen was passiert, wenn ein Lichtstrahl (oder mehrere) auf verschiedene Materialien bzw. Objekte trifft, bezeichnet man als *die geometrische Optik*²⁴⁸, wobei die Beugungs- bzw. Interferenzerscheinungen – beide Begriffe sind genau genommen eigentlich gleichbedeutend (bzw. Synonyme)²⁴⁹ – ausgelassen werden.

Die Reflexion auf einem Spiegel ist wohl das einfachste Beispiel. Dabei trifft der geradlinige ausbreitende Lichtstrahl zuerst auf den Spiegel und wird dann reflektiert bzw. an der Spiegeloberfläche abgelenkt. Wenn man das Experiment durchführt und den Winkel des einfallenden Strahls stets ändert, bemerkt man schnell, dass der Winkel des einfallenden Lichtes gleich dem Ausfallswinkel ist. (Siehe dazu die Abbildung 4.)

So lautet das Reflexionsgesetz ganz einfach²⁵⁰:

²⁴⁶ Das kann man sich sehr gut vor Augen führen, wenn man bereits Grundkenntnisse in Sachen Energieerhaltung besitzt. So wird in diesem Beispiel die potentielle Energie (bzw. die „Höhenenergie“) in kinetische Energie (bzw. in „Bewegungsenergie“) umgewandelt.

²⁴⁷ Dieses Beispiel ist bei MACH 1933 auf S. 364 zu finden. Dort wird auch eine sehr gute mathematische Erklärung angeboten, auf welche wir aus Platzgründen verzichten.

²⁴⁸ Der Begriff Optik kommt aus dem griechischen Wort *optiké* und bedeutet in etwa „die das Sehen betreffende Lehre“.

Natürlich gehört es auch zum Gebiet der Optik die Forschung, wie Licht entsteht, sich genau ausbreitet, und wohl auch wie es wahrgenommen wird usw.

²⁴⁹ Feynman erläutert: „Dieses Kapitel ist eine direkte Fortsetzung des vorhergehenden, obwohl der Name von *Interferenzen in Beugung* geändert wurde. Niemand hat jemals vermocht, den Unterschied zwischen Interferenz und Beugung befriedigend zu definieren. Es ist einfach eine Frage der Gewohnheit, und es gibt keinen spezifischen, wichtigen physikalischen Unterschied zwischen ihnen. Am besten können wir es ganz grob wohl so ausdrücken: Wenn sich nur wenige Quellen, sagen wir zwei, überlagern, dann wird das Ergebnis gewöhnlich Interferenz genannt, wenn es aber eine große Anzahl von ihnen gibt, wird anscheinend das Wort Beugung häufiger gebraucht.“ FEYNMAN (I) 2007, S. 403

²⁵⁰ vgl. FEYNMAN (I) 2007, S. 354-355

$$\alpha_{\text{einfallend}} = \alpha_{\text{reflektiert}}$$

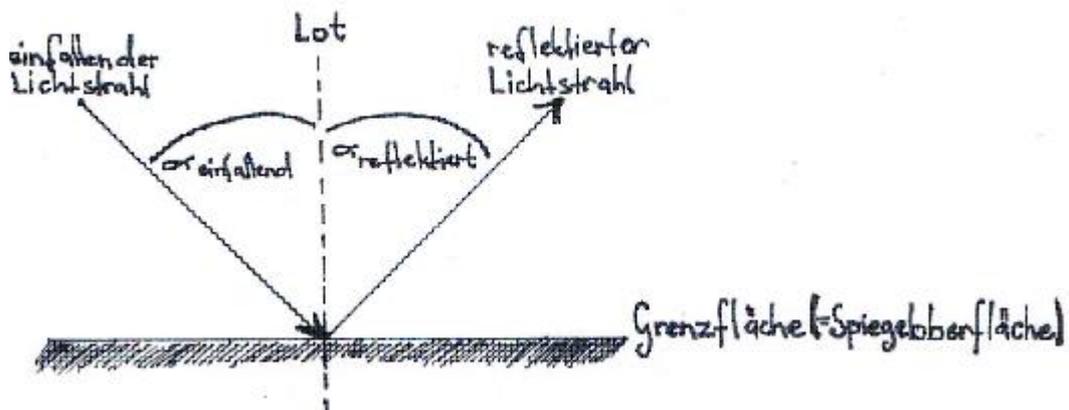


Abbildung 4

Brechung

Mit unserem Verständnis zur Reflexion können wir bereits zufrieden sein. Doch wir wünschen uns eine allumfassende Erklärung für die (geometrische) Optik zu entwickeln und fragen uns, was passiert wenn das Licht von einem Medium in ein anderes Medium übertritt, zum Beispiel aus der Luft ins Wasser?

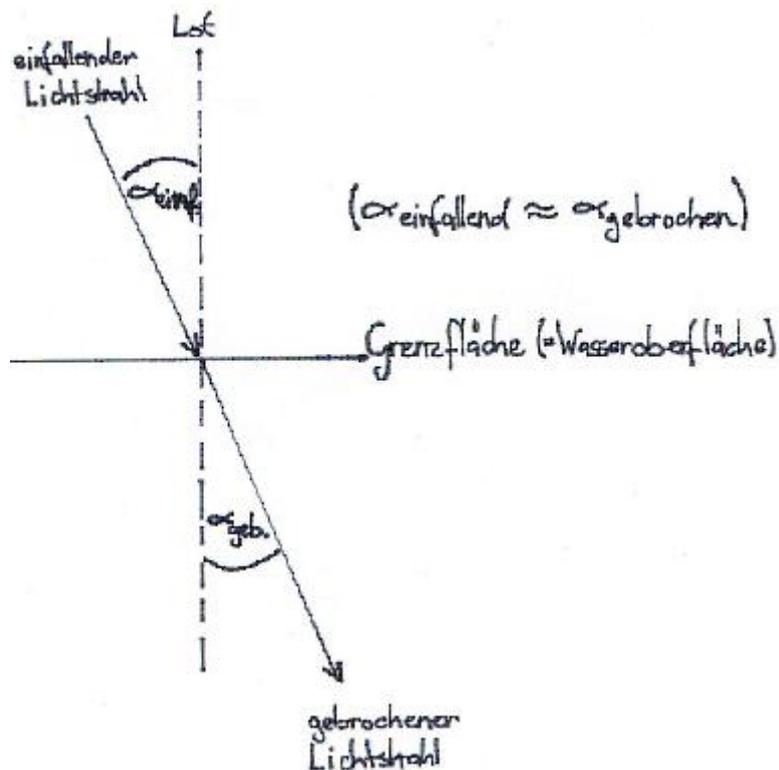


Abbildung 5

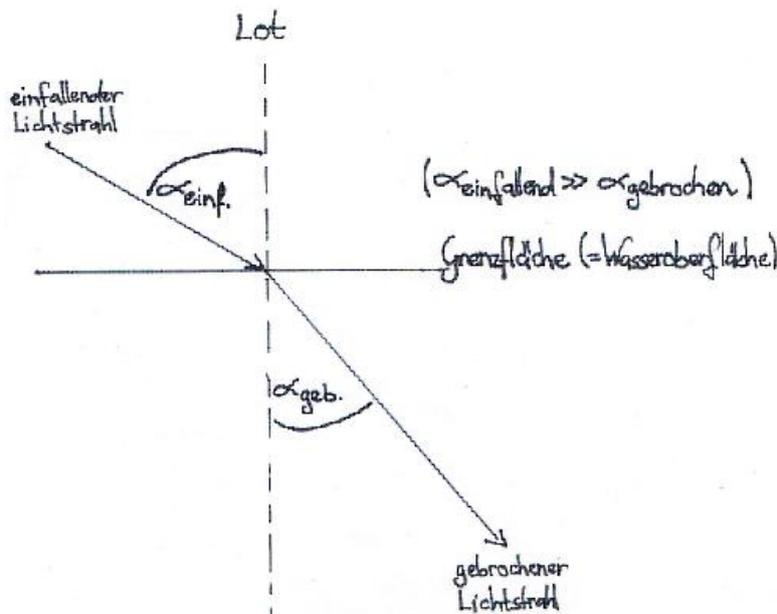


Abbildung 6

Wir sehen auch hier, dass das Licht seine geradlinige Ausbreitungsrichtung nicht beibehält, sondern beim Übergang von der Luft ins Wasser einen „Knick“ macht. Man sagt daher auch, dass das Licht an der Grenzfläche (=Wasseroberfläche) *bricht*, wie auch in der Abbildung 5 zu sehen ist. Und zwar stellt man fest, dass je kleiner der Einfallswinkel $\alpha_{\text{einfallend}}$ ist, desto kleiner wird der „Bruch“ sein. Der Unterschied zwischen dem einfallenden Winkel $\alpha_{\text{einfallend}}$ und dem ausfallenden Winkel $\alpha_{\text{gebrochen}}$ wird also umso kleiner werden, je kleiner wir den einfallenden Winkel $\alpha_{\text{einfallend}}$ wählen. (Siehe dazu die Abbildung 5.) Wir können uns deshalb notieren

Wenn $\alpha_{\text{einfallend}} \approx \text{sehr klein}$, dann $\alpha_{\text{einfallend}} \approx \alpha_{\text{gebrochen}}$.

Wenn wir den einfallenden Winkel $\alpha_{\text{einfallend}}$ aber groß wählen, dann merken wir, dass auch der Bruch größer sein wird. Das bedeutet, dass bei großem Einfallswinkel $\alpha_{\text{einfallend}}$ auch der Unterschied zwischen dem Einfallswinkel $\alpha_{\text{einfallend}}$ und dem ausfallenden Winkel $\alpha_{\text{gebrochen}}$ groß wird. (Dies wird in der Abbildung 6 dargestellt.)

Wenn $\alpha_{\text{einfallend}} \approx \text{groß}$, dann $\alpha_{\text{einfallend}} \gg \alpha_{\text{gebrochen}}$

Nun wird es Zeit danach zu fragen, was genau hinter diesen Erscheinungen stecken könnte. *Gibt es ein Gesetz, welches all die verschiedenen Beziehungen von dem einfallenden Winkel und dem reflektierten bzw. gebrochenen Winkel beschreibt?*

Einer der bedeutendsten theoretischen Physiker (und der legendärsten Didaktiker) Richard Feynman schreibt: Diese Frage „gab auch den Vorfahren lange Zeit eine Rätsel auf, und hier fanden sie nie die Antwort! Es ist jedoch eine der wenigen Stellen in der gesamten altgriechischen Physik, wo man irgendwelche experimentellen Ergebnisse verzeichnet finden kann. Claudius Ptolemäus machte eine Liste der Winkel in Wasser für eine Anzahl verschiedener Winkel in Luft.“²⁵¹ Und ergänzt: „Gewöhnlich wird gesagt, dass die griechischen Wissenschaftler niemals irgendwelche Experimente ausführten. Aber es wäre unmöglich, die Wertetabelle zu erhalten, ohne das richtige Gesetz zu

²⁵¹ FEYNMAN (I) 2007, S. 355

kennen, es sei denn durch Experimente. Es sollte jedoch erwähnt werden, dass diese Werte nicht unabhängig sorgfältige Messungen für jeden Winkel sind, sondern nur einige von wenigen Messungen interpolierte Zahlen darstellen, denn sie passen alle exakt auf eine Parabel.“²⁵²

Erst im Jahre **1621** gelang es dem holländischen Mathematiker Willebrord Snellius (1580 – 1626) die experimentellen Ergebnisse in einem Gesetz zusammenzufassen, welches wir heute als das *Gesetz von Snellius* bezeichnen.²⁵³ (In zwei getrennten Tabellen dargestellt, vergleicht Feynman, die Ergebnisse von Ptolemäus, welche bereits **140 nach Chr.** aufgestellt wurden, mit denen der numerischen Ergebnisse, die aus dem Gesetz von Snellius abgeleitet werden können. Beide Tabellen zeigen überraschenderweise *beinahe* identische Ergebnisse.)²⁵⁴

Dieses berühmte Gesetz lautet:

$$\sin(\alpha_{\text{einfallend}}) = n \cdot \sin(\alpha_{\text{gebrochen}})$$

Dabei stellt der Buchstabe n in der Formel eine **Konstante** da, welche man auch als *die Brechzahl* bezeichnet. „Für Wasser beträgt die Zahl n ungefähr 1,33.“²⁵⁵

Zusammengefasst können wir sagen:

- ✓ Schon beinahe vor zwei Tausend Jahren – ca. 140 nach Chr. – hat man mit Reflexion und Brechung experimentiert und dafür auch Ergebnisse bekommen.
- ✓ 1621 konnte Snellius diese Ergebnisse in seinem berühmten Gesetz zusammenfassen.

Nun stellt sich aber doch die Frage: Was für eine Bedeutung hat **die Konstante** n ? Ist das alles was wir über die geometrische Optik an Einsicht gewinnen können? Oder sind wir durch theoretische Hypothesen doch in der Lage, noch mehr Erkenntnisse aus ihr zu schöpfen?

Feynman gibt die Antwort: „Aber der wirkliche *Triumph* der Wissenschaft besteht darin, dass wir *einen solchen Gedankenweg finden können*, dass das Gesetz *einleuchtend* erscheint.“

Der erste Gedankenweg, der das Gesetz über das Verhalten des Lichts einleuchtend darstellte, wurde von Fermat etwa um 1650 gefunden, und er wird als *Prinzip der kürzesten Zeit* oder als *Fermatsches Prinzip* bezeichnet. Seine Idee ist diese: Von allen möglichen Wegen, die das Licht nehmen könnte, um von einem Punkt zu einem anderen zu gelangen, nimmt es den Weg, der die *kürzeste Zeit* erfordert.“²⁵⁶

Nehmen wir an, wie in der Abbildung 7 deutlich zu sehen ist, das ein Lichtstrahl von Punkt *A* ausgeht und die ebene Oberfläche eines Spiegels trifft. Dort wird er reflektiert und gelangt zum Punkt *B*. Wenn wir nun dem Fermatschen Prinzip vertrauen, lässt sich ganz simpel verstehen, an welchem

²⁵² FEYNMAN (I) 2007, S. 355

²⁵³ vgl. FEYNMAN (I) 2007, S. 356

²⁵⁴ vgl. FEYNMAN (I) 2007, S. 356

²⁵⁵ FEYNMAN (I) 2007, S. 356

Um die (absolute) Brechzahl des Wassers richtig angeben zu können, sollte eigentlich der Lichtstrahl (beispielsweise das gelbe eines Natriumlichtes) aus dem Vakuum ins Wasser brechen. (Doch der Unterschied zwischen dem Brechzahl des Vakuums (= 1) und der Luft ($\approx 1,00027$) ist derart gering, dass er für unsere Untersuchung nebensächlich ist.)

²⁵⁶ FEYNMAN (I) 2007, S. 356

Punkt P der Lichtstrahl den Spiegel dabei treffen wird. Da nämlich das Medium stets gleich bleibt, ergibt sich eine minimale Laufzeit nur dann, wenn der Lichtstrahl zugleich die minimalste Strecke durchläuft.²⁵⁷

Wir können „durch einen geometrischen Trick“²⁵⁸ auch sehr einfach und schnell zeigen, dass das Licht auch wirklich die kürzeste Strecke und somit auch zugleich die schnellste Zeit gewählt hat.

Dafür spiegeln wir den Punkt B an der Spiegeloberfläche und erhalten den *künstlichen Punkt* $B_{\text{gespiegelt}}$. Bei Spiegelungen bleiben verständlicherweise, sowohl Längen als auch Winkel erhalten. Wir wissen, dass die kürzeste Linie zwischen zwei Punkten, wenn sie sich im gleichen Medium befinden, stets eine Gerade ist. So ziehen wir eine gerade Linie vom Punkt A zu Punkt $B_{\text{gespiegelt}}$. Dort wo diese gerade Linie die Spiegeloberfläche schneidet, wird der Punkt P_{minimal} bzw. P zu finden sein. Da die Linie $AB_{\text{gespiegelt}}$ eine Gerade ist, ist der gegenüberliegende Winkel von $\alpha_{\text{gespiegelt}}$, nämlich $\alpha_{\text{Einfallswinkel}}$, natürlich genauso groß wie $\alpha_{\text{Ausfallswinkel}}$, da $\alpha_{\text{Ausfallswinkel}}$ auch gleich groß ist wie $\alpha_{\text{gespiegelt}}$. „So ist die Aussage, dass der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel ist, gleichbedeutend mit der Aussage, dass das Licht sich in der Weise zum Spiegel bewegt, dass es in der *kürzesten Zeit* zum Punkt B zurückkommt.“²⁵⁹ (Siehe dazu die Abbildung 7.)

Das Ergebnis ist also überwältigend, nämlich genau das, was wir aus dem Snellius-Gesetz erhalten würden. Da sowohl der einfallende Strahl als auch der reflektierte Strahl im gleichen Medium stattfindet, benötigen wir die Brechzahl nicht – genau genommen besitzt sie die Größe 1^{260} – und wir erhalten:

$$\sin(\alpha_{\text{einfallend}}) = 1 \cdot \sin(\alpha_{\text{reflektiert}})$$

$$\alpha_{\text{einfallend}} = \alpha_{\text{reflektiert}}$$

Nun können wir auch verstehen, wie ein Spiegel das objektive Selbst des davor stehenden Beobachters – wenn auch spiegelverkehrt – (zurück)reflektieren kann. Feynman erklärt „So ist die Illusion, dass es ein Objekt hinter dem Spiegel gibt, nur auf die Tatsache zurückzuführen, dass das ins Auge eindringende Licht physikalisch gesehen in genau der gleichen Weise eindringt, wie wenn dort hinten ein Objekt gewesen wäre“²⁶¹.

²⁵⁷ vgl. TIPLER/MOSCA, S. 1216

²⁵⁸ FEYNMAN (I) 2007, S. 357

²⁵⁹ FEYNMAN (I) 2007, S. 357

²⁶⁰ $n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_{\text{Luft}}}{v_{\text{Luft}}} = 1$

²⁶¹ FEYNMAN (I) 2007, S. 357

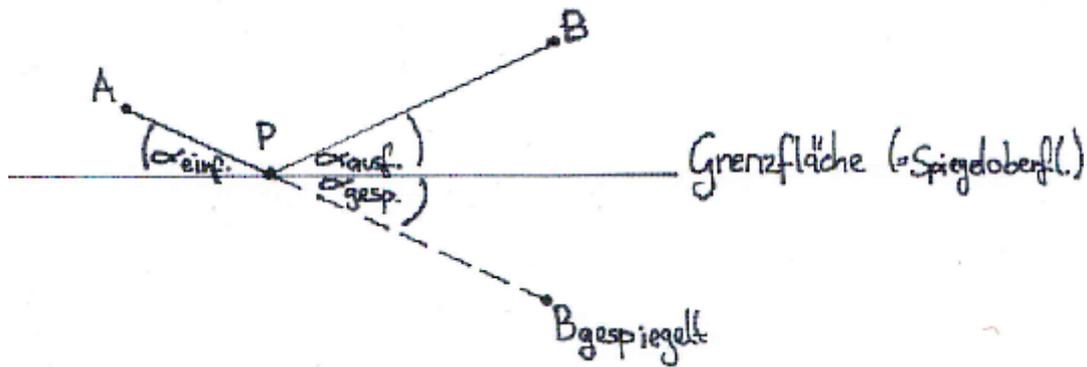


Abbildung 7

Doch die Optik, mit ökonomischen Prinzipien zu erklären ist nicht neu. Feynman erwähnt, dass bereits Heron von Alexandria (etwa im 1. Jahrhundert nach Chr.) die Hypothese aufstellte, das Licht nehme stets den *kürzesten Weg*.²⁶² Doch dass man aus dieser Annahme des *kürzesten Weges* das Reflexionsgesetz ab- bzw. herleiten kann, gelang erst de la Chambre in seiner Arbeit *La Lumiere* (1657).²⁶³

Wir möchten hier zunächst zwei Erkenntnisse festhalten:

1. Die Hypothese „Die Lichtstrahlen nehmen stets den *kürzesten Weg*.“ stimmt mit dem Reflexionsgesetz überein.
2. Auch widerspricht sie nicht dem *Fermatschen Prinzip* bzw. dem *Prinzip der kürzesten Zeit*, wenn das Licht sich stets im selben Medium fortpflanzt. (So enthält das *Fermatsche Prinzip* im Grenzfall das *Prinzip von Heron* bzw. *de la Chambre*.)

So können wir mit Hilfe des **Korrespondenzprinzips** sagen:

Das **Prinzip von Heron** bzw. **de La Chambre** bleibt im Grenzfall $n \rightarrow 1$ des **Fermatschen Prinzips** erhalten. (Beziehungweise, wenn das Gesetz von Snellius genau diese Form

$$\sin(\alpha_{\text{einfallend}}) = \sin(\alpha_{\text{reflektiert}}) \text{ besitzt.}$$

Doch entdeckte de La Chambre zugleich zwei große Probleme, welches das *Prinzip des kürzesten Weges* nicht lösen konnte:

1. Der Weg des Lichtes ist bei Reflexionen an Hohlspiegeln (bzw. konkaven Flächen) nicht der kürzeste.

²⁶² FEYNMAN (I) 2007, S. 357

²⁶³ vgl. WEINRICH 1998, S. 129

Doch sogar im IV Hauptsatz von Kepler wird das Prinzip des kürzesten Weges angenommen. Auch für Kepler gilt es als *Naturprinzip*, dass die Natur den kürzesten Weg nimmt, welches sogleich die geradlinige Ausbreitung des Lichtes erklärt. (vgl. dazu BIALAS 2004, S. 110)

2. Das *Prinzip des kürzesten Weges* ist nicht geeignet um das Phänomen *Brechung* von Lichtstrahlen zu erklären.²⁶⁴

Fermat – der mit de La Chambre in einem Briefwechsel steht – kann diese Probleme lösen, da er weiß, dass man die Minimalitätsanforderung auch an andere Größen (z. B. Zeit, Widerstand usw.) stellen kann.²⁶⁵

Um das passendere **Ökonomieprinzip**²⁶⁶ zu finden, arbeitet Fermat auf dem höchsten Niveau des Bewusstseins, nämlich auf der Ebene der **Theory of Mind**. Er versucht die *Optik aus der Perspektive des Lichtteilchens* zu be- bzw. ergründen.

Und schnell bemerkt Fermat, nicht „ein Minimalprinzip für die Länge des Lichtweges sei der geeignete Ansatz“²⁶⁷, „sondern die Forderung, daß der vom Licht beim Durchgang durch die Medien zu überwindende Widerstand insgesamt minimal sein müsse. Er geht also von einem Minimalprinzip im Sinne des „Weges des geringsten Widerstandes“ aus, was natürlich voraussetzt, daß jedes Medium der Ausbreitung des Lichts einen gewissen Widerstand entgegensetzt.“²⁶⁸ „Das Minimalprinzip fordert nun, daß dieser Gesamtwiderstand für den Strahlengang des Lichts minimal wird.“²⁶⁹

Diese Ideen waren es also, die Fermat inspirierten das *Prinzip der kürzesten Zeit* aufzustellen. Nun bleibt uns noch zu demonstrieren, dass genau dieses *Prinzip* mit dem *Brechungsgesetz von Snellius* übereinstimmt. Dazu werden wir aber eine Annahme machen, dass nämlich das Licht im Wasser einen größeren *Widerstand* erfährt und dadurch „die Lichtgeschwindigkeit im Wasser um einen bestimmten Faktor n niedriger“ „ist“ „als die Lichtgeschwindigkeit in Luft“.²⁷⁰

Um uns das Ganze vorstellen zu können, weshalb es nicht der beste Weg ist sich einfach geradlinig auszubreiten, tauschen wir das Lichtteilchen durch ein Mädchen aus, welches am Strand spazieren geht, wie in der Abbildung 8 dargestellt. Dieses sieht das Unglück wie ein junger Bub von einem kleinen Schiff ins Wasser (bei Punkt *B*) stürzt und um Hilfe schreit. (Stellen wir uns dabei vor, dass die *x*-Achse die Uferlinie markiert.) Das Mädchen steht also (bei Punkt *A*) am Strand und wird wohl instinktiv den geradesten Weg nehmen, um zum Buben zu gelangen. Da wir uns aber nicht in so einer Krisensituation befinden, können wir überlegen, ob das auch der günstigste Weg wäre. Schlau wäre es natürlich mehr am Strand zu laufen als im Wasser zu schwimmen, da man sich im Wasser viel langsamer fortbewegt.²⁷¹

²⁶⁴ vgl. WEINRICH 1998, S. 129

²⁶⁵ vgl. WEINRICH 1998, S. 130

²⁶⁶ vgl. WEINRICH 1998, S. 130

²⁶⁷ WEINRICH 1998, S. 131

²⁶⁸ WEINRICH 1998, S. 131

²⁶⁹ WEINRICH 1998, S. 144; vgl. auch S. 144, Fußnote 109

²⁷⁰ FEYNMAN (I) 2007, S. 358

²⁷¹ Das Beispiel wurde weitgehend von Feynman übernommen. vgl. dazu FEYNMAN (I) 2007, S. 358

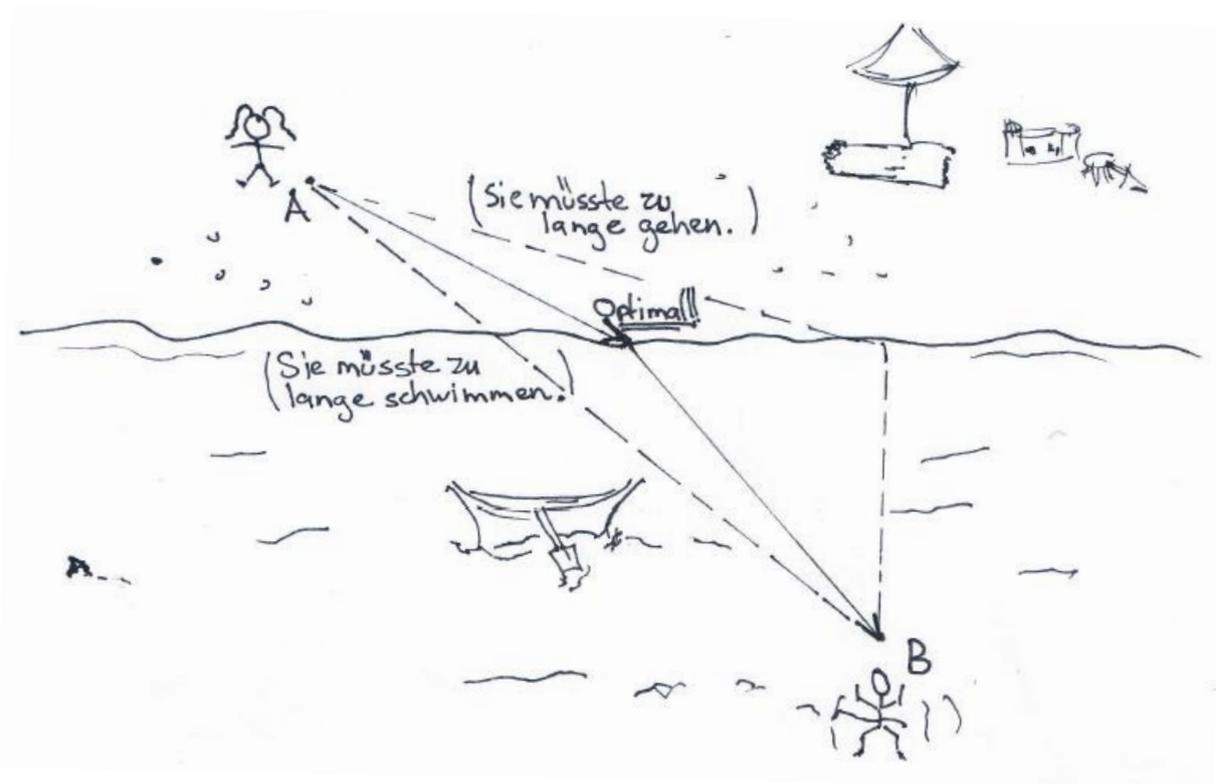


Abbildung 8

Wir sehen somit, dass wir in diesem Fall unser (moralisch nutzvolles) Handeln verbessern können, indem wir sorgfältige, physikalische Berechnungen anstellen.²⁷² Doch kehren wir wieder zurück zur Optik und kalkulieren, wie sich die Lichtstrahlen nach dem Fermatschen Prinzip beim Übergang von einem Medium in ein anderes Medium brechen. Dabei wollen wir versuchen zu zeigen, dass der Weg $AP_{\text{minimal}}B$ die Lösung darstellt, da er von allen möglichen Wegen die kürzeste Zeit benötigt. (Oder anders gesagt: Jeder anderer Weg würde eine längere Zeit in Anspruch nehmen!)²⁷³

²⁷² vgl. FEYNMAN (I) 2007, S. 358

²⁷³ vgl. dazu FEYNMAN (I) 2007, S. 358

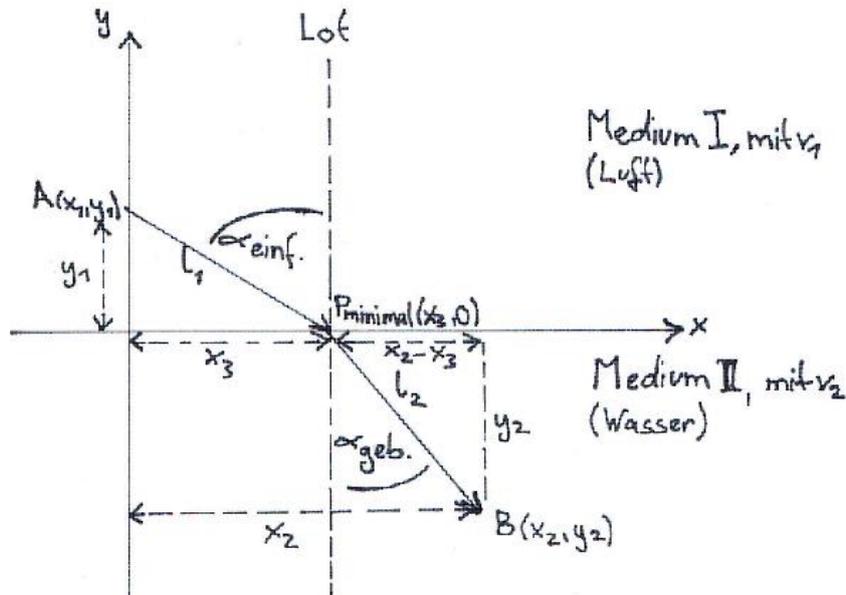


Abbildung 9

Berechnung der Brechung des Lichtstrahls nach dem Fermatschen Prinzip	
Gegeben sind:	<ul style="list-style-type: none"> ○ l_1 ist die zurückgelegte Strecke in Medium I ○ l_2 ist die zurückgelegte Strecke in Medium II ○ v_1 ist die Geschwindigkeit des Lichtsstrahls in Medium I ○ v_2 ist die Geschwindigkeit des Lichtsstrahls in Medium II
Gesucht ist:	$P_{minimal}$ (, der Punkt an dem der Lichtstrahl brechen sollte, um die Strecke in kürzester Zeit zurückzulegen.)

Wir wissen, dass physikalisch allgemein gilt:

$$\text{Strecke} = \text{Geschwindigkeit} \cdot \text{Zeit} \quad \text{bzw.} \quad s = v \cdot t.$$

Das bedeutet ganz einfach interpretiert: Je mehr Zeit wir haben, oder je schneller wir sind, desto mehr Weg können wir zurücklegen. Wir können diese Gleichung natürlich auch nach t umformen.

Dann lautet sie $t = \frac{s}{v}$. Diese Erkenntnis wollen wir nun anwenden. Die Zeit, welche der Lichtstrahl insgesamt benötigt, um vom Punkt A nach B zu gelangen, beträgt

$$t = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2}.$$

Dabei sind die Längen gegeben durch

$$l_1 = \sqrt{y_1^2 + x_3^2} \quad \text{und} \quad l_2 = \sqrt{y_2^2 + (x_2 - x_3)^2}.$$

(Da der Weg des Lichtstrahl die x-Achse am Punkt $P_{\text{minimal}} = x_3$ kreuzt, ist die Zeit t eigentlich genau genommen eine Funktion nach x_3 .) Setzen wir in unsere Funktion $t(x_3)$ gleich l_1 und l_2 ein, erhalten wir die Gleichung²⁷⁴:

$$t(x_3) = \frac{\sqrt{y_1^2 + x_3^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{y_2^2 + (x_2 - x_3)^2}}{v_2}$$

Wenn wir diese Formel nun nach x_3 ableiten und null setzen, erhalten wir genau jenen Punkte, wo sich für die Laufzeit des Lichtstrahls ein Minimal ergibt:

$$\frac{dt}{dx_3} = 0 \quad \text{oder etwas genauer formuliert} \quad \frac{dt(x_3)}{dx_3} = \frac{1}{v_1} \frac{dl_1}{dx_3} + \frac{1}{v_2} \frac{dl_2}{dx_3} = 0 \quad \text{Gl. (1)}$$

Um die Übersicht zu bewahren, werden wir die Terme einzeln ableiten:

1. Term

$$\frac{dl_1}{dx_3} = \frac{d(y_1^2 + x_3^2)^{\frac{1}{2}}}{dx_3} = \frac{1 \cdot (y_1^2 + x_3^2)^{-\frac{1}{2}}}{2} \cdot 2x_3 = \frac{x_3}{\sqrt{y_1^2 + x_3^2}} = \frac{x_3}{l_1}$$

Da $\sin\alpha_{\text{einfallswinkel}} = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}}$ ist erkennen wir aus der Abbildung 9:

$$\sin\alpha_{\text{einfallswinkel}} = \frac{x_3}{l_1} \quad \text{Gl. (2)}$$

2. Term

Hier ist natürlich ganz besonders auf die „äußere“ und „innere“ Ableitung zu achten.

$$\begin{aligned} \frac{dl_2}{dx_3} &= \frac{d(y_2^2 + (x_2 - x_3)^2)^{-\frac{1}{2}}}{dx_3} = \frac{1 \cdot (y_2^2 + (x_2 - x_3)^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot (x_2 - x_3)(-1)}{2} \\ &= -\frac{(x_2 - x_3)}{\sqrt{(y_2^2 + (x_2 - x_3)^2)}} = -\frac{(x_2 - x_3)}{l_2} \end{aligned}$$

Und natürlich ist auch hier

$$-\sin\alpha_{\text{gebrochen}} = -\frac{(x_2 - x_3)}{l_2} \quad \text{Gl. (3)}$$

Wir setzen nun unsere Lösungen aus Gl. (2) und Gl. (3) in die Gleichung Gl. (1) ein und erhalten:

$$\frac{1}{v_1} \frac{x_3}{l_1} - \frac{1}{v_2} \frac{(x_2 - x_3)}{l_2} = 0$$

Oder besser: $\frac{1}{v_1} \sin\alpha_{\text{einfallswinkel}} - \frac{1}{v_2} \sin\alpha_{\text{gebrochen}} = 0 \quad | + \frac{1}{v_2} \sin\alpha_{\text{gebrochen}} \quad | \cdot v_1$

²⁷⁴ Die Rechenwege sind (weitgehend) vom TIPLER/MOSCA 2009, S. 1217 übernommen worden.

$$\sin\alpha_{\text{einfallswinkel}} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \sin\alpha_{\text{gebrochen}} \rightarrow \sin\alpha_{\text{einfallswinkel}} = n \cdot \sin\alpha_{\text{gebrochen}}$$

Wir sehen also, dass die Ausbreitungszeit des Lichts einen Extremwert bezüglich der Variation des Weges besitzt, solange das Brechungsgesetz von Snellius gilt. Außerdem können wir uns endlich erklären, für was die Konstante n genau steht. Nehmen wir zum Beispiel an, wir haben eine Brechung von Licht ins Wasser, dann ist der Index n also nichts weiter als das Verhältnis von zwei Größen, nämlich der Geschwindigkeit im *Medium I* (z. B. *Luft*) zu der Geschwindigkeit im *Medium II* (z. B. *Wasser*):²⁷⁵

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_{\text{Luft}}}{v_{\text{Wasser}}}$$

Feynman erörtert aber weiter: „Offensichtlich ist die Aussage der kürzesten Zeit und die Aussage, dass Winkel bei der Reflexion gleich sind und dass die Sinusse der Winkel bei der Brechung proportional sind, dasselbe. Ist es also bloß eine philosophische Frage oder eine Frage der Schönheit? Man kann Argumente für beide Seiten finden.

Die Bedeutung eines weitreichenden Prinzips besteht jedoch darin, dass *es neue Dinge vorhersagt*.

Man kann leicht zeigen, dass es eine Reihe von neuen Dingen gibt, die vom Fermatschen Prinzip vorhergesagt wurden.²⁷⁶ Wir werden auf die spannenden Beispiele von Feynman jedoch aus Platzgründen nicht näher eingehen.²⁷⁷ **Doch entspricht hier Feynmans Aussage, der von Karl Popper, nämlich, dass das Fermatsche Prinzip mehr verbietet! Es verbietet nämlich nicht nur mehr als das Prinzip von Heron von Alexandria bzw. de la Chambre, sondern auch mehr als das Gesetz von Snellius, da beide Theorien (im Gegensatz zu Fermats Prinzip) nichts über die Lichtgeschwindigkeit des Lichts in verschiedenen Medien aussagen.** So könnten wir beispielsweise das Fermatsche Prinzip schon widerlegen (und das Gesetz von Snellius aber nicht!), wenn die Lichtgeschwindigkeit im Wasser größer wäre als in der Luft.²⁷⁸

Wir halten hier noch einmal die für uns wichtigsten Ansichten von Fermat fest:

Physikalische Themen	Fermats Position
Das Gesetz der Natur bezüglich der Optik	Fermat vertritt in der Optik das Gesetz der Ökonomie bzw. Extremalen . Nach seiner Ansicht ist es wichtig, dass das Licht den Weg des geringsten Widerstandes geht.
Die Lichtgeschwindigkeit	Die Lichtgeschwindigkeit ist nicht unendlich, sondern begrenzt.
Lichtgeschwindigkeit (bzw. Ausbreitungsleichtigkeit) in verschiedenen Medien	Das Licht breitet sich zum Beispiel im Wasser langsamer aus, als in der Luft.

²⁷⁵ vgl. FEYNMAN (I) 2007, S. 363

²⁷⁶ FEYNMAN (I) 2007, S. 363

²⁷⁷ Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf FEYNMAN (I) 2007, S. 363.

²⁷⁸ vgl. dazu FEYNMAN (I) 2007, S. 363

Die Descartessche Optik

Die Lehren von Kepler (Bild 7)²⁷⁹ haben sicher einen sehr starken Einfluss auf Descartes gehabt. So dürfte Descartes sogar den Titel seiner Schrift über die Optik, nämlich **Dioptrik** (1637) von Keplers gleichnamigem Werk übernommen haben, was soviel bedeutet wie „die Lehre von der Brechung des Lichts“.²⁸⁰ Auch die Erkenntnis, dass im Auge (bzw. auf der Netzhaut) ein umgekehrtes, verkleinertes und wirkliches Bild des beobachteten Objektes entsteht, hat er höchst wahrscheinlich von Kepler übernommen.²⁸¹ In selbst ausgeführten Experimenten erkennt er, dass das im Auge erzeugte Bild gegenüber dem Beobachteten Unschärfe bzw. Abweichungen enthält oder mit anderen Worten: Das was wir sehen ist nur ein konstruiertes Bild, welches der Realität zwar sehr nahe kommt, aber sie nicht korrekt darstellt.²⁸² Descartes schreibt: „So dürfen oft Bilder, um in ihrer Eigenschaft als Bilder vollkommen zu sein und die Gegenstände besser darzustellen, diesen häufig gerade nicht gleichen. Dasselbe müssen wir von Bildern annehmen, die sich in unserem Gehirn bilden. Wir müssen dabei beachten, wie sie der Seele die Möglichkeit geben können, die verschiedenen Eigenschaften der Gegenstände, die sie darstellen, zu empfinden, und nicht, welche Ähnlichkeit sie mit ihnen haben.“²⁸³ In diesem Sinn können wir die Mensch-Tier-Maschine Theorie von Descartes auf zweierlei Arten verstehen: (1) diese Theorie braucht kein perfektes Abbild der Wirklichkeit, sondern soll für uns einfach nur verständlich zu sein; oder (2) sie beschreibt die Realität durch unsere Vernunft genauso wie sie eigentlich sein müsste, nur wir können auf Grund unserer sinnlichen Beschränktheit diese nicht wahrnehmen. Wir werden in dieser Arbeit annehmen, dass Descartes *eher* die zweite Ansicht vertreten hat.²⁸⁴ Dennoch ist es interessant, dass Descartes erst gar nicht versucht, die wahre Natur des Lichts zu erklären.²⁸⁵ Dieser Entschluss wird



Bild 7: Johannes Kepler
(1571-1630)

²⁷⁹ BILD: JOHANNES KEPLER

²⁸⁰ Keplers **Dioptrik** erschien 1611.

„Die Lehre von Lichtreflexion“ wird als Katoptrik bezeichnet.

vgl. dazu DESCARTES 1969, S. 78, Fußnote 1 und HORN 2000, S. 21, Fußnote 21

²⁸¹ Da Descartes wahrscheinlich in der Beschreibung des Gesichtsinnes in **Über den Menschen** nicht auf die Einzelheiten eingehen möchte, wie er selbst betont (vgl. DESCARTES 1969, S. 78), wird das umgekehrte Netzhautbild dort gar nicht besprochen. (vgl. dazu DESCARTES 1969, S. 82, Fußnote 1)

²⁸² vgl. WEINRICH 1998, S. 21-22 (und DESCARTES 1969, S. 94)

²⁸³ zitiert nach HORN 2000, S. 25

²⁸⁴ Beispielsweise schreibt Descartes in seinen **Meditationen**: „In gleicher Weise muß man, wenngleich sogar dieses Allgemeine: Augen, Haupt, Hände und dergleichen nur in der Einbildung vorhanden sein könnte, doch notwendig gestehen, daß wenigstens gewisse andere, noch einfachere und allgemeinere Dinge wirklich vorhanden sind, mit denen, als den wirklichen Farben, alle jene, seien es wahre oder falsche Bilder von Dingen, die wir in unserem Bewußtsein haben, sich in uns malen. Von dieser Art scheinen zu sein die Natur des Körpers überhaupt seine Ausdehnung, ferner die Gestalt der ausgedehnten Dinge, ebenso die Quantität d.i. ihre Größe und Zahl, ebenso der Ort, an welchem sie existieren, die Zeit, während welcher sie dauern und dergleichen.“ DESCARTES 1965, S. 14 (I/8)

(vgl. dazu auch DESCARTES 1969, S. 90, Fußnote 2)

²⁸⁵ vgl. WEINRICH 1998, S. 13

Das könnte unter anderem daher kommen, dass die Natur des Lichts von Kepler (vgl. BIALAS 2004, S. 112) stark mystifiziert wurde. Volker Bialas schreibt: „Keplers Auffassung von der Natur des Lichts ist an die Idee des

sich als sehr weise herausstellen, da Jahrhunderte später selbst Alber Einstein, der zur Theorie des Lichtes Wesentliches beitrug, wenige Jahre vor seinem Tod in aller Bescheidenheit (an einen Brief an Besso) noch festhält: „50 Jahre Grübeleien haben mich einer Antwort auf die Frage ‚Was sind Lichtquanten?‘ nicht nähergebracht.“²⁸⁶ Wir werden dann später auch in dieser Arbeit sehen, dass auch Newton die Eigenschaften bzw. die Natur des Lichtes (so gut es geht) nicht behandeln will. Doch ist seine Untersuchung des Lichtes zu der von Descartes gänzlich verschieden, denn er schreibt: „Es ist nicht meine Absicht, in diesem Buche die Eigenschaften des Lichts durch Hypothesen zu erklären, sondern nur, sie anzugeben und durch Rechnung und Experiment zu bestätigen.“²⁸⁷ Descartes dagegen versucht sich eben mehr durch Vergleiche, an die Eigenschaften des Lichtes heranzutasten. So schreibt er zum Beispiel: „Denken Sie sich, das Licht eines leuchtenden Körpers sei nichts anderes als eine gewisse Bewegung oder eine sehr schnelle und lebhaftere Regung, die unser Auge durch die Vermittlung der Luft und anderer durchsichtiger Körper ebenso erreicht, wie Bewegung oder Verharren der Körper dem Blinden durch die Vermittlung des Stockes bekannt werden. Dadurch wird es Ihnen sofort nicht mehr merkwürdig erscheinen, dass das Licht seine Strahlen in einem Augenblick von der Sonne zur Erde ausbreiten kann. Denn Sie wissen, daß die Bewegung in die man das eine Ende des Stockes versetzt, in einem Augenblick auf das andere Ende übertragen wird, selbst wenn ein so großer Abstand wie der von der Erde zum Himmel dazwischen ist“²⁸⁸. In dieser Veranschaulichung Descartes sind jedoch schon einige physikalische Annahmen enthalten, wie zum Beispiel eine unendliche Lichtgeschwindigkeit, wie man sie auch bei Kepler findet,²⁸⁹ da die endlich schnelle Ausbreitung des Lichts erst von Olaf Römer 1675 entdeckt wurde.²⁹⁰

Um die Geschehnisse bei der *Reflexion* zu erklären, wählt Descartes zur Veranschaulichung das elastische Rückprallen eines Balles vom Boden. Dabei erkennt er, dass der Betrag der Geschwindigkeit vom Ball vor und nach dem Auftreffen völlig gleich sein sollte. Descartes vertritt hier

seelischen Prinzips geknüpft: Weil die Seele unkörperhaft und unsichtbar ist, muß sie ein dem Licht verwandtes Wesen haben, und wenn sie einem Geschöpf Leben einhaucht, geschieht das in Verbindung mit Licht und Wärme. Insofern ist das Licht ein <<Abkömmling der Seele>> (*lux animae soboles*) (KGW II, 36).“ BIALAS 2004, S. 108

²⁸⁶ zitiert nach HELD 1998, S. 31

²⁸⁷ NEWTON 1983, S. 5

Wir hätten es auch so übersetzen können: „Es ist nicht meine Absicht, in diesem Buche die Eigenschaften des Lichtes zu erklären, sondern ich stelle sie in Form von Behauptungen dar, die ich durch logische Schlüsse und durch Experimente beweise“. NEWTON 1983 (Einleitung von Markus Fierz), S. XV

Oder in der *Principia* schreibt er: „[...] wobei ich jedoch nichts über die Natur der Strahlen (ob sie Körper sind oder nicht) behaupte, sondern nur die Bahnen der Körper als denen der Lichtstrahlen sehr ähnlich voraussetze.“ NEWTON 2004, S. 831-832

²⁸⁸ zitiert nach WOHLERS 2002, S. 71

Da Descartes sehr selten seine Quellen zitiert, wollen wir hier angeben, wo dieses Gleichnis noch zu finden ist: Dieser Vergleich mit dem Stock scheint auf Alexander von Aphrodisias zurückzugehen. Der wiederum bezeichnet die Stoiker als Urheber. vgl. WEINRICH 1998, S. 13 Fußnote 2

²⁸⁹ Kepler ging ebenfalls von einer unendlichen Lichtgeschwindigkeit aus. vgl. BIALAS 2004, S. 110

²⁸⁹ WEINRICH 1998, S. 13-14

Bei Galilei ist es etwas unklar, ob er eine unendliche (bzw. instantane) Lichtgeschwindigkeit, wie Kepler annimmt oder nicht. Es scheint, dass er dies zu Beginn in seinem Werk *Dialog* vertreten hat. Dort steht nämlich: „Diese Übergänge, zu welchen unser Geist Zeit gebraucht, die er schrittweise vollführt, durchläuft der göttliche Intellekt dem Lichte gleich in einem Augenblicke oder, was auf dasselbe hinauskommt, sie sind ihm stets alle gegenwärtig.“ GALILEI 1891, S. 109

Im *Discorsi* heißt es dagegen: „[...] daher ich nicht annehmen mag, daß die Wirkung des Lichtes, auch des allerreinsten, ohne Bewegung geschehe, wenn auch mit sehr großer Geschwindigkeit.“ GALILEI 2004, S. 363 (vgl. dazu auch WEINRICH 1998, S. 511, Fußnote 96

²⁹⁰ vgl. dazu WOHLERS 2002, S. 71, Fußnote 60

somit ganz stark die **Gesetze der Erhaltung**. Mit den heutigen Methoden der Physik können wir sagen, dass Descartes hier (**eine Vorstufe**) des Impulserhaltungssatz bei elastischen Stößen anwendet²⁹¹ und zu quantitativ richtigen Ergebnissen der geometrischen Optik kommt.

Für die *Brechung* der Lichtstrahlen beim Übergang in ein anderes Medium macht Descartes eigentlich nur die Grenzschicht (z.B. Wasseroberfläche) verantwortlich. (Auch gibt er Beispiele mit Bällen, auf welche wir aus Platzgründen hier nicht eingehen werden.) Descartes kann natürlich auf Grund seiner Annahme einer *unendlichen Lichtgeschwindigkeit* nicht mehr behaupten, dass sich die *Geschwindigkeit* der Lichtstrahlen in verschiedenen Medien ändern können. So spricht er stattdessen von *leichter* bzw. *schwerer* Ausbreitung der Lichtstrahlen; was aber eigentlich auf dasselbe rauskommt. Doch das ist nicht die überraschendste Annahme an dem Ganzen. Interessant ist eigentlich, dass Descartes glaubt, dass das Licht sich im Wasser *leichter ausbreiten* kann als in der Luft, was natürlich zu einer Diskussion zwischen ihm und Fermat führt.²⁹²

Doch bevor wir die beiden Positionen gegenüberstellen, fassen wir die von Descartes in ein paar Punkten zusammen:

Physikalische Themen	Descartes Position
Das Gesetz der Natur bezüglich der Optik	Descartes vertritt in der Optik das Gesetz der Erhaltung . In seinen Erläuterungen ist es von großer Bedeutung, dass der Betrag der Bewegung (insgesamt) nicht verschwindet. ²⁹³
Die Lichtgeschwindigkeit	Descartes glaubt, dass sich das Licht sich mit unendlich großer Geschwindigkeit ausbreitet. ²⁹⁴ (Der <i>starre</i> Stock soll dabei als ein anschauliches Beispiel dienen.) ²⁹⁵ Descartes soll an dieser Idee sogar, so sehr gehangen sein, dass er meinte: „Ich gestehe, daß ich von Philosophie nichts weiß, wenn das Licht der Sonne nicht augenblicklich zu unseren Augen gelangt.“ ²⁹⁶
Lichtausbreitung in Medien	Descartes geht von der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes aus, solange es sich innerhalb desselben (homogenen) Mediums befindet. Wird das Medium aber gewechselt, dann wird der Strahl abgelenkt (oder auch ausgelöscht). ²⁹⁷

²⁹¹ Descartes schreibt der Geschwindigkeit bzw. dem Impuls sowohl einen Betrag, sowie eine Richtung zu. Diese beiden physikalischen Größen sind bei ihm aber noch völlig getrennt zu verstehen. Doch zerlegt er die Richtung (der Bewegung) in verschiedene Komponenten, und kann so die Reflexion verständlich machen.

Einige dieser Überlegungen sind natürlich bereits schon bei Alhazen oder Kepler vorhanden. vgl. dazu WEINRICH 1998, S. 16-19 und Fußnote 11-13

²⁹² vgl. dazu WEINRICH 1998, S. 19-23

²⁹³ vgl. dazu WEINRICH 1998, S. 10

²⁹⁴ Man sollte hier betonen, dass es zu Descartes Zeiten experimentell sehr schwer war, die Lichtgeschwindigkeit zu messen. So konnte bereits Galilei keine begrenzte Lichtgeschwindigkeit bei seinen Lampen-Experimenten feststellen. Descartes selbst betonte, dass sich die Mondfinsternis bei endlicher Lichtgeschwindigkeit anders darstellen müsste. Huygens argumentierte dagegen, dass das Licht so schnell sein müsse, dass wir jenen Effekt bei einer Mondfinsternis nicht erkennen könnten. Ironischer Weise gelang es erst Olaf Römer 1675 anhand der Verzögerung der Verfinsternung der Jupitermonde, die Lichtgeschwindigkeit in guter Näherung zu messen.

vgl. WOHLERS 2002, S. 71 Fußnote 60, WEINRICH 1998, S. 13, Fußnote 3 und VOLTAIRE 1997, S. 125-126

Sehr interessant ist, dass Römers Schätzungen sehr gut waren. So konnte er auch zeigen „, daß das Licht auf seinem Weg von der Sonne bis zur Erde sieben bis acht Minuten benötigt.“ VOLTAIRE 1997, S. 125

²⁹⁵ vgl. WEINRICH 1998, S. 13-14

²⁹⁶ zitiert nach VOLTAIRE 1997, S. 124; vgl. auch S. 365, Fußnote 25

²⁹⁷ WEINRICH 1998, S. 15

Teilchen- (bzw. Korpuskular)theorie des Lichts	Auch gibt es keine Lichtteilchen, die von der Lichtquelle aus starten und in unser Auge gelangen. Es wird nur eine Wirkung übertragen. ²⁹⁸
Äther	Das Vakuum bzw. der luftleere Raum ist für Descartes durch einen feinen Stoff durchzogen, den wir in dieser Arbeit einfach als <i>Äther</i> bezeichnen werden. ²⁹⁹ Das bedeutet, dass das Licht nach seiner Theorie unbedingt ein Medium zur Ausbreitung benötigt.
Lichtgeschwindigkeit (bzw. Ausbreitungsleichtigkeit) in verschiedenen Medien	Außerdem breitet sich das Licht beispielsweise im Wasser leichter aus als in der Luft. ³⁰⁰

Descartes versus Fermat

Den wenigsten Menschen ist es heute wahrscheinlich noch bekannt, dass Descartes sehr lange mit Fermat diskutierte, was die Natur des Lichtes betraf. *Denn das berühmte Brechungsgesetz der Optik, welches heute als das **Snelliussche Gesetz** bekannt ist, wurde höchstwahrscheinlich von **Descartes und Snellius** unabhängig voneinander (wieder)entdeckt³⁰¹, wobei Snellius Descartes mit Sicherheit um ein paar Jahre zuvorkam.³⁰²* (Es gab zwar große Physiker wie Huygens, Leibniz oder Ernst Mach, die nahe legten, dass Descartes das Gesetz von Snellius wohl einfach zu seinem machte.³⁰³ Doch gab es

²⁹⁸ vgl. WEINRICH 1998, S. 14, 128

²⁹⁹ vgl. WEINRICH 1998, S. 14

Genauer betrachtet, vertritt Descartes die Hypothese, dass die ganze sichtbare Welt aus genau drei verschiedenen Elementen zusammen gesetzt ist, wo bei das zweite Element eben unter anderem das ganze Weltall ausfüllt und dem Licht als Ausbreitungsmedium dient. So schreibt er: „Wir werden zeigen, daß aus diesen drei Gattungen der Materie sämtliche Körper dieser sichtbaren Welt zusammengesetzt sind, nämlich die Sonne und die Fixsterne aus der ersten, die Himmelsregionen aus der zweiten, sowie die Erde mit den Planeten und Kometen aus der dritten. Weil nämlich die Sonne und die Fixsterne Licht von sich aussenden, die Himmelsmaterie dieses Licht überträgt, und die Erde, die Planeten und die Kometen es zurückschicken, werden wir diesen, sich der Beobachtung geradezu aufdrängenden dreifachen Unterschied nicht zu unserem Nachteil auf drei Elemente zurückführen.“ DESCARTES 2005, S. 231 (III/52); (vgl. dazu auch DESCARTES 1969, S. 78, Fußnote 2)

³⁰⁰ WEINRICH 1998, S. 23

Descartes Erklärung ist „einfach und anschaulich: Je fester die Teilchen eines Körpers – z.B. Glas – zusammengefügt sind, umso leichter lassen sie das Licht hindurchgehen, während sich das Licht an den lose verbundenen Teilchen z.B. der Luft gewissermaßen erschöpft, indem es diese Teilchen in Bewegung versetzt und dadurch einen Teil seiner eigenen Bewegung auf sie überträgt, auf die festgefügteten Teilchen des Glases kann das Licht aber keine Bewegung übertragen, so daß es mit weitaus geringerem Widerstand durch einen solchen Körper hindurchgeht.“ WEINRICH 1998, S. 23-24

³⁰¹ WEINRICH 1998, S. 25

Ein starker Hinweis für diese Annahme wäre, dass Snellius wohl eher die Werke von Witelo, Maurolycus, Porta und Alhazen unter anderem für seine Untersuchungen benützte. vgl. WEINRICH 1998, S. 26

Und Descartes hauptsächlich die von Kepler. vgl. WEINRICH 1998, S. 43-44

³⁰² vgl. WEINRICH 1998, S. 25

³⁰³ Beispielsweise schreibt Voltaire: „*Snell Willebrod* war der erste, der nach dem Bericht des Augenzeugen *Huygens* das konstante Verhältnis herausfand, in dem das Licht in gegebenen Medien gebrochen wird. Er bediente sich der Sekanten. *Descartes* bediente sich dann des Sinus. Dabei handelte es sich um das gleiche Verhältnis, den gleichen Lehrsatz, nur mit anderem Namen. Dieses Verhältnis ist auch für diejenigen, die sich in

in neuerer Zeit genug Untersuchungen, die zeigen, dass die Fakten für diese Behauptung nicht stichhaltig sind.³⁰⁴) (Außerdem ist die Frage nach der zeitlichen Priorität der beiden Wissenschaftler (um die Entdeckung des Brechungsgesetzes) nach unserem heutigen Wissensstand gar nicht mehr erstrangig. Dieses Gesetz dürfte zuerst wohl von **Ibn Sahl** um das Jahr 1000 nach Chr. entdeckt worden sein.³⁰⁵ Danach finden wir es etwa 600 Jahre später auch bei **Thomas Harriot** usw.³⁰⁶)

Schon wenn wir uns nur **den letzten Punkt** beider Theoretiker uns ansehen, ist eines deutlich zu erkennen: Fermat stellt sich „klar gegen Descartes´ Theorie der Brechung – bei Descartes war ja der Widerstand des dichteren Mediums kleiner als der des dünneren. Fermat ist sich sicher bewußt, daß er mit dieser Annahme den heftigsten Widerspruch der Cartesianer provoziert.“³⁰⁷ Fermat findet zwar plausible Beispiele, die sein eigenes Prinzip unterstützen, doch kann er seine *Theorie des Ökonomischen Prinzips* des Lichts erst nach dem Tod Descartes (1650) geometrisch beweisen.³⁰⁸

Aus der heutigen Perspektive ist es vor allem überraschend, dass Fermat eine Zeit lang sogar an der Richtigkeit des Snelliusschen- bzw. Descartesschen Gesetzes zweifelte. „Er vermutete aber, daß das Snellius-Dcartessche Gesetz eine sehr gute Näherung des „wahren“ Gesetzes der Brechung darstellte, aber eben doch nicht ganz richtig sei. Um diese Auffassung mit der experimentellen Bestätigung des Gesetzes in Einklang zu bringen, nahm er an, daß die Annäherung an das „wahre“ Gesetz so gut sei, daß auch die besten Beobachter nicht in der Lage gewesen wären, die Abweichungen festzustellen“³⁰⁹.

Viele Jahre später kann er dann jedoch schließlich selbst zeigen, dass das Licht, welches stets den schnellsten Weg nimmt, den Snellius-Dcartesschen Gesetzen gehorcht.³¹⁰ (*Besser wäre es natürlich statt vom Snellius-Dcartesschen-Gesetz vom Snellius-Fermatschen-Gesetz zu sprechen, da die Theorie von Fermat über die Geschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Medien etwas anderes aussagt, als die von Descartes.*)

Kritik an Descartes

Heute wissen wir, dass Descartes, außer bei dem Reflexions- und Brechungsgesetz, mit keiner seiner Theorien zur Optik Recht hatte:

- ✓ Das Licht ist nicht instantan, sondern bewegt sich tatsächlich mit einer endlichen Geschwindigkeit.
- ✓ Es bewegt sich in dichteren Medien langsamer.
- ✓ Und im luftleeren Raum (der klassischen Physik) befindet sich kein Stoff, wodurch das Licht allgemein kein Medium zur Ausbreitung benötigt. Wenn dem so wäre, müssten wir uns auch

der Geometrie überhaupt nicht auskennen, sehr leicht zu verstehen.“ VOLTAIRE 1997, S. 150 Doch ist Voltaire natürlich auf Grund der Angriffe von seinen eigenen Landsmännern vorsichtiger mit der Wahl seiner Worte. vgl. VOLTAIRE 1997, S. 219

³⁰⁴ vgl. WEINRICH 1998, S. 9-10

³⁰⁵ vgl. IBN SAHL

³⁰⁶ vgl. dazu WEINRICH 1998, S. 25

³⁰⁷ WEINRICH 1998, S. 143

³⁰⁸ vgl. WEINRICH 1998, S. 8

³⁰⁹ WEINRICH 1998, S. 138

³¹⁰ vgl. WEINRICH 1998, S. 146

Gedanken darüber machen, mit welcher Relativgeschwindigkeit wir uns zu dem Stoff im Raum bewegen, um beispielsweise die Brechung vom Vakuum in Wasser beschreiben zu können. Doch da es diesen Stoff nicht gibt, können wir auf all das verzichten und sogar eine *absolute Brechzahl* für verschiedene Stoffe angeben:

Unten ist eine Tabelle, welche zu verschiedenen Medien die absolute Brechzahl³¹¹ angibt:

Material	Absolute Brechzahl: $n_{\text{Absolut}} = \frac{v_{\text{Vakuum}}}{v_{\text{Material}}}$
Vakuum	1
Luft	1,000292
Wasser	1,33
Quarzglas	1,46

Des Weiteren können wir auch sehen, wie in diesen verschiedenen Materialien die Geschwindigkeiten abnehmen³¹²:

Material	$v \left[\frac{m}{s} \right]$ (im jeweiligen Medium)	% von $v_{\text{Vakuum}} = \frac{v_{\text{Material}} \cdot 100}{v_{\text{Vakuum}}}$
Vakuum	299.792.458	100
Luft	299.704.944	99,97
Wasser	225.407.863	75,19
Quarzglas	202.562.471	67,56

Einen ganz anderen Kritikpunkt, nämlich eine *ethischen*, scheinen die Schriften von Descartes zu verdienen, welchen wir an dieser Stelle nicht vorenthalten werden. So schreibt bereits Goethe in seinem naturwissenschaftlichen Werk *Zur Farbenlehre* (1810): „Cartesius` Verdienste um den Regenbogen sind nicht zu leugnen. Aber auch hier, wie in anderen Fällen, ist er gegen seine Vorgänger nicht dankbar. Er will nun ein für allemal ganz original sein; er lehnt nicht allein die lästige Autorität ab, sondern auch die förderliche. Solche Geister, ohne es beinahe selbst gewahr zu werden, verleugnen, was sie von ihren Vorgängern gelernt und was sie von ihren Mitlebenden genutzt. So verschweigt er den Antonius De Dominis, der zuerst die Glaskugel angewendet, um die ganze Erscheinung des Regenbogens innerhalb des Tropfens zu beschränken, auch den innern Regenbogen sehr gut erklärt hat.“³¹³

Zum Schluss unserer Kritik an Descartes Optik übergeben wir das Wort an Voltaire: „Nachdem alle sogenannten Philosophen also aufs Geratewohl durch den Schleier hindurch, der die Natur bedeckte, herumgetragen hatten, erschien *Descartes*, der ein Ende dieses großen Schleiers lüftete und sagte: "Das Licht ist eine feine dünne Materie, die überall verbreitet ist und in unsere Augen fällt"³¹⁴. Die Farben sind die Empfindungen, die GOTT in uns entsprechend den verschiedenen Bewegungen,

³¹¹ vgl. SCHÜLERDUDEN PHYSIK 2004, S. 49

³¹² vgl. APOLIN (7) 2008, S. 83

³¹³ GOETHE (I) 1948

³¹⁴ Diese Theorie von Descartes wird dann von Voltaire weiter diskutiert. vgl. VOLTAIRE 1997, S. 124

durch die diese Materie zu unseren Organen gelangt, hervorruft." Bis hier hatte *Descartes* Recht. Er hätte es entweder dabei bewenden lassen oder, wenn er weitergehen wollte, sich vom Experiment leiten lassen müssen. Er war jedoch von dem Verlangen besessen, ein System aufzustellen. Diese Leidenschaft bewirkte bei diesem großen Menschen das gleiche, was Leidenschaften bei allen Menschen bewirken. Sie führen sie über ihre Prinzipien hinaus.“³¹⁵

Kritik an Fermat

Selbstverständlich war man auch mit Fermat Erklärungen nicht zufrieden – sonst könnte man in der Physik schließlich keine Diskussion führen und zu besseren Erkenntnissen gelangen:

- ✓ Clerselier vertritt die Ansicht, dass das Minimalprinzip bzw. die Ökonomieforderung an das menschliche Handeln (bzw. praktische Philosophie) zwar sinnvoll ist, aber nicht die Ursache der Naturvorgänge darstellen könne. (Obwohl er die Theorie aber nicht prinzipiell ablehnt.) Die Ursache der Vorgänge in der Natur, sollte eher in gewissen Kräften zu suchen sein, meint er.³¹⁶ Denn die Zeit kann unmöglich (mechanisch gesehen) einen Einfluß auf die Bewegung haben.³¹⁷ (Wir werden später sehen, dass es Newton sein wird, der die Optik mit Kräften zu erklären versucht.)

Dieses Argument lässt sich entkräften, wenn wir das Optimierungsprinzip nicht als eine kausale Bedingung ansehen, sondern richtiger als eine Eigenschaft der Funktion bzw. als ein Charakteristikum der Natur.³¹⁸

- ✓ Das Ökonomieprinzip von Fermat muss stets auf den gesamten Lichtweg angewandt werden.³¹⁹ Das bedeutet, wenn wir die Lichtquelle kennen und den Ort, wo das Licht von einem Medium in ein anderes übergeht, können wir dennoch nicht sagen, welchen Weg es nimmt. Denn erst beim Ankommen, können wir zeigen, dass das Licht den kürzesten Weg genommen hat.

Dieses Problem ist ganz einfach zu lösen. Man muss versuchen durch das Fermatsche Prinzip zu einem Brechungsgesetz zu gelangen.

Eine **durchaus berechtigte**, wissenschaftliche Kritik am Fermatschen Satz ist, *dass das Licht nicht immer den schnellsten Weg*, sondern bei gekrümmten reflektierenden Oberflächen auch den **maximal** andauernden Weg nimmt. Dieses Problem ist nicht neu. Wir konnten sehen, dass es bereits de La Chambre Kopfzerbrechen machte. Doch können wir diesem Problem mit Leichtigkeit entgehen, wenn wir das Fermatsche Prinzip mathematisch als eine Forderung nach einer Extremalfunktion interpretieren. Denn Extremale können allgemein Maximum oder Minimum sein.³²⁰

³¹⁵ VOLTAIRE 1997, S. 123-124

³¹⁶ WEINRICH 1998, S. 154

³¹⁷ WEINRICH 1998, S. 157

³¹⁸ vgl. WEINRICH 1998, S. 155

³¹⁹ vgl. WEINRICH 1998, S. 145, 158

³²⁰ Den in *mathematischer Physik* ungeübten Leser verweisen wir sehr gerne auf SZABO 1987, S. 108-110 (Aus Platzgründen können wir hier nicht näher darauf eingehen.)

Statt also das Fermatsche Prinzip, so zu definieren:

Das Licht nimmt den Weg des geringsten Widerstandes. Deswegen wählt das Licht genau jenen Weg, dass die Zeitspanne, die es von einem Punkt zum anderen benötigt, minimal ist.³²¹

, können wir dieses Prinzip etwas abstrakter (bzw. mathematischer) auch so formulieren, damit es zu einer allgemeinen und vollständigen Aussage wird:

Bezüglich der Variation (bzw. „Wahl“) des Ausbreitungsweges des Licht, nimmt die Zeitspanne einen Extremwert an. Drücken wir die Zeit t durch beispielsweise einen Parameter x aus, dann nimmt das Licht dafür genau jenen Weg, für den Folgendes gilt³²²: $\frac{dt}{dx} = 0$

Dabei können wir natürlich das Δt in Integralschreibe ausdrücken³²³:

$$\Delta t = \int_{t(a)}^{t(b)} dt. \quad \text{Gl. (4)}$$

Da wir wissen, dass $t = \frac{s}{v}$ ist, können wir genauso gut auch schreiben, dass

$$dt = \frac{ds}{v_{\text{Material}}} \quad \text{Gl. (5)}$$

ist. Anschließend formen wir die Formel für die absolute Brechzahl $n_{\text{Absolut}} = \frac{v_{\text{Vakuum}}}{v_{\text{Material}}}$ um und erhalten

$$\frac{n_{\text{Absolut}}}{v_{\text{Vakuum}}} = \frac{1}{v_{\text{Material}}} \quad \text{Gl. (6)}$$

Setzen wir jetzt die linke Seite der Gl. (6) in die rechte Seite der Gl. (5) dann erhalten wir

$$dt = \frac{n_{\text{Absolut}} \cdot ds}{v_{\text{Vakuum}}} \quad \text{Gl. (7)}$$

Danach drücken wir ds mit Hilfe der kartesischen Koordinaten x, y und dem Phythagoreischen Satz in der Form $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ aus und fügen es in die Gl. (7) ein. Zuletzt setzen wir diesen dann wiederum in die Gl. (4) ein und erhalten

$$\Delta t = \frac{1}{v_{\text{Vakuum}}} \int_{x(a)}^{x(b)} n(x, y)_{\text{Absolut}} \cdot \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

bzw.

$$\Delta t = \frac{1}{v_{\text{Vakuum}}} \int_{x(a)}^{x(b)} n(x, y)_{\text{Absolut}} \cdot \sqrt{1 + y' dx}$$

³²¹ vgl. dazu TIPLER/MOSCA 2009, S. 1198

³²² TIPLER/MOSCA 2009, S. 1199

³²³ vgl. dazu NEUENSCHWANDER 2011, S. 16-17

Das Prinzip der kleinsten Wirkung in der Optik

Maupertuis ist ein Naturforscher mit einem guten Gespür für die wichtigsten Prinzipien der Physik.

Während in Frankreich die Physik von Descartes gelehrt wird, ist er der erste, der in seinem Werk **Abhandlung über die unterschiedlichen Gestalten der Sterne** (1732)³²⁴ versucht Newton gegenüber seinen Landsmännern zu verteidigen.³²⁵

Außerdem veröffentlicht Maupertuis 1744 – (welcher offiziell zwei Jahre später vom Friedrich dem Großen zum Präsident der Berliner bzw. Preußischen Akademie ernannt wird)³²⁶ – eine Arbeit über die Optik. Er bemängelt in seiner Arbeit den Zugang zur Optik von Descartes, Fermat und Newton. Dabei findet er die Überlegungen von Fermat, dass „die Natur bey der Hervorbringung ihrer Wirkungen allezeit durch die einfachsten Mittel wirkt“³²⁷ gar nicht so schlecht, doch denkt Maupertuis wie Descartes und Newton, dass das Licht sich im dichteren Medium schneller bewegt als im dünneren.³²⁸ Da natürlich Fermat mit seinem Prinzip richtig liegt, wollen wir auf Maupertuis Arbeit nicht länger eingehen. Wir geben hier lediglich seine Optimierungsansicht weiter und wie sie in moderner mathematischer Weise zu schreiben wäre.

Maupertuis meint, dass der Aufwand der Natur als eine Menge der Wirkung zu betrachten sei und die Natur unter allen Möglichkeiten nur jene bevorzugt, in welchen die Menge der Wirkung am kleinsten ist bzw. ein Minimum aufweist.³²⁹ So schreibt er: „Der Weg, welchen das Licht nimmt, ist derjenige, auf welchem die Menge der Wirkung am kleinsten ist.“³³⁰ Als eine Definition der wahren Aufwand der Natur bzw. der Menge der Wirkung gibt er an: „Die Menge der Wirkung ist desto größer, je größer die Geschwindigkeit des Körpers und je länger der Weg ist, welchen er zurücklegt.“³³¹ Oder als eine Gleichung geschrieben:

$$\boxed{\text{Menge der Wirkung} = \text{Geschwindigkeit} \cdot \text{Weg}}$$

Da Maupertuis eine Optimierung fordert können wir auch schreiben:

$$\boxed{S = \int v \cdot ds = \text{Minimum}}$$

Zwei Jahre (1746) später wird Maupertuis bei seinen Untersuchungen zu den Stoßgesetzen sein *Prinzip* etwas umformulieren: „Wenn eine Veränderung in der Natur vorgeht, so ist die Menge der

³²⁴ Das sind 45 Jahre – beinahe ein halbes Jahrhundert später!- nach der Erscheinung der *Principia* von Newton.

³²⁵ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 381

³²⁶ vgl. SZABO 1987, S. 89, 92

³²⁷ zitiert nach BORZESZKOWSKI 1998, S. 19

³²⁸ vgl. dazu BORZESZKOWSKI 1998, S. 19 - 20

³²⁹ BORZESZKOWSKI 1998, S. 20

Der Gedanke physikalische Probleme mit Extremalen zu lösen ist bei Maupertuis schon 1740 zu finden. (vgl. SZABO 1987, S. 92)

Auch hier scheint es zum Teil Uneinigkeiten zu geben, wer der wirkliche Begründer des Minimalprinzips sei. Wir werden hier darauf nicht weiter eingehen. Dennoch möchten wir darauf aufmerksam machen, dass Walter Greiner Folgendes schreibt: „Euler ist auch im wesentlichen das den Namen von Maupertuis tragenden Minimalprinzip zu danken; er hatte den Satz 1744 vor Maupertuis und klarer als dieser gefaßt. Die endgültige Formulierung gelang aber dann erst (unter dem Beifall Eulers) Louis Lagrange.“ GREINER 2002, S. 519

³³⁰ zitiert nach BORZESZKOWSKI 1998, S. 29

³³¹ zitiert nach BORZESZKOWSKI 1998, S. 29

Wirkung, welche zu dieser Veränderung nötig ist, so klein als möglich.“³³² Dabei definiert er die Wirkung folgenderweise:

$$\boxed{\text{Menge der Wirkung} = \text{Masse} \cdot \text{Geschwindigkeit} \cdot \text{Weg}}$$

, dadurch gelangen wir schlussendlich zu der Gleichung

$$\boxed{S = \int m \cdot v \cdot ds = \text{Minimum}}$$

Selbstverständlich sind die meisten Kritiken an Fermat auch für Maupertuis gültig. Unter anderem wird er von Chevalier D´Arcy stark kritisiert. So schreibt Szabo und zitiert anschließend D´Arcy: „D´ARCYS Einwendungen sind sehr geistreich und schonungslos. Mit einer Figur zeigt er zum Beispiel, daß bei der Lichtreflexion bei geringen Krümmungen der reflektierenden Fläche anstatt ein Minimum, was MAUPERTUIS so sehr betont, ein Maximum eintritt und somit <<die Natur, die große Sparerin, die unerhörteste Verschwendung begeht!>>“³³³ Wir werden sehen, dass wir auch das Maupertuis Prinzip zwar aufrecht erhalten können, wenn wir sie nur ein bisschen verallgemeinern.

Horst-Heino v. Borzeszkowski betont: „Obwohl das Fermatsche Prinzip für die Strahlen- bzw. geometrische Optik völlig korrekt ist und daher von Maupertuis zu Unrecht kritisiert wurde, ist ihre Ersetzung durch Maupertuis´ optisches Prinzip der kleinsten Wirkung von 1744 von großer Bedeutung für den Fortgang der Physik gewesen, da es eine Verallgemeinerung auf nicht-optische mechanische Erscheinungen erlaubte.“³³⁴

Mit dem *Prinzip der kleinsten Wirkung* – oder mit dem Prinzip von Fermat, welche eine Sonderform darstellt – ist beispielsweise sehr einfach zu erklären, weshalb das Licht sich stets geradlinig bewegt. Besonders Newton machte es Kopfzerbrechen, weshalb das Licht auch nach der Brechung seine geradlinige Bewegung beibehält.³³⁵ Wenn wir das Prinzip der kleinsten Wirkung auf folgender Weise definieren:

$$\text{Menge der Wirkung} = \int_{x_1}^{x_2} m \cdot v \cdot ds = \int_{t_1}^{t_2} \frac{m \cdot v^2}{2} \cdot dt = \text{Extremum (Minimum)}$$

³³² zitiert nach BORZESZKOWSKI 1998, S. 29

³³³ SZABO 1987, S. 94

³³⁴ BORZESZKOWSKI 1998, S. 23-24

³³⁵ Newton fügt einen Absatz in seiner *Optik* hinzu, welcher in der ersten - sowohl in der englischen, als auch der lateinischen - Ausgabe völlig fehlt. Er gibt dort, wenn man so will, indirekt zu, dass es sehr schwer zu verstehen ist, weshalb sich das Licht in festen und flüssigen Körpern geradlinig fortpflanzen kann; so schreibt er: „Die Lichtstrahlen bewegen sich, mögen sie nun kleine vorwärts gestossene Körperchen sein oder nur eine Bewegung oder Kraftausbreitung, in geraden Linien, und ein Strahl, der irgend einmal durch ein Hinderniss von seinem geradlinigen Wege abgelenkt würde, kehrt nie wieder in die nämliche geradlinige Richtung zurück, es müsste denn durch einen ganz ausserordentlichen Zufall geschehen. Und doch wird das Licht in gerader Linie durch feste, durchsichtige Körper bis auf grosse Entfernungen durchgelassen. Wie die Körper genug Poren besitzen können, um diese Wirkung hervorzubringen, ist schwer, aber vielleicht nicht ganz unmöglich zu begreifen.“ NEWTON 1983, S. 176 (2. Buch, Prop. VIII); vgl. auch NEWTON 1983, S. 275, Fußnote 22

So erkennen wir, dass sobald die Geschwindigkeit konstant ist ($v = konst.$) – und nach der klassischen Mechanik die Masse sowieso konstant –, die Strecke eine *minimale* bzw. nur eine *geradlinige* sein kann.³³⁶

$$\text{Menge der Wirkung} = m \cdot v \int_{x_1}^{x_2} ds = \frac{m \cdot v^2}{2} \int_{t_1}^{t_2} dt = \text{Extremum (Minimum)}$$

Wir erhalten also für

$$\int_{x_1}^{x_2} ds = s = \text{Extremum (Minimum)}$$

bzw. für

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = t = \text{Extremum (Minimum)}$$

Woraus sich nicht nur die geradlinige Ausbreitung des Lichtes erklären lässt, sondern auch das 1. Newtonsche Axiom bzw. das Trägheitsgesetz.³³⁷ Später entwickelt William Hamilton das *Maupertuissche Prinzip* weiter in das *Hamiltonsche Prinzip* (– wobei genau genommen beide gleichwertig sind). Walter Greiner erläutert die Leistung Hamiltons mit folgenden Worten: „Die in der Optik gewonnenen Methoden wandte er auf die analytische Mechanik an, wo er das „Hamiltonsche Prinzip“ einführte, das für die Himmelsmechanik Bedeutung gewann. Er zeigte, daß aus der Wellenoptik durch einen mathematischen Grenzübergang die (nur für kleine Wellenlängen gültige) geometrische Optik gewonnen werden kann. Da er diese mit der klassischen Mechanik in Parallele setzte, fand Erwin Schrödinger hundert Jahre später hier den Ansatzpunkt, die volle Analogie zwischen Mechanik und Optik herauszustellen, d.h. eine der Wellenoptik entsprechende „Wellenmechanik“ zu begründen.“³³⁸

Wir erkennen bereits in diesen Zeilen Greiners, welch ein Vorteil das Maupertuissche Prinzip nicht nur für die Optik sondern allgemein für die Physik brachte. Doch kommen wir wieder zu Physik Descartes, wo uns auch noch einige Überraschungen erwarten.

³³⁶ vgl. MACH 1933, S. 363

³³⁷ vgl. SZABO 1987, S. 102, Fußnote 87

³³⁸ GREINER 2002, S. 524

Sehr empfehlenswert ist die zweite Mitteilung von Schrödinger. Dort spricht er die Analogie zwischen Optik und Mechanik nicht nur deutlich an, sondern gibt beispielsweise auf der Seite 494 (vgl. SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 494) den Zusammenhang vom Fermat’schen Prinzip, dem Maupertuisschem Prinzip, und dem Hamiltonschem Prinzip.

Die Prinzipien der Descartesschen Physik

Das Prinzip Impulserhaltung (bei Stoßgesetzen)

Ernst Mach (Bild 8)³³⁹ schreibt in seinem Buch *Die Mechanik in ihrer Entwicklung* (1883): „Die Gesetze des Stoßes haben einerseits Anlaß gegeben zur Aufstellung der wichtigsten Prinzipien der Mechanik und andererseits die ersten Beispiele für die Anwendung derartiger Prinzipien geliefert.“³⁴⁰

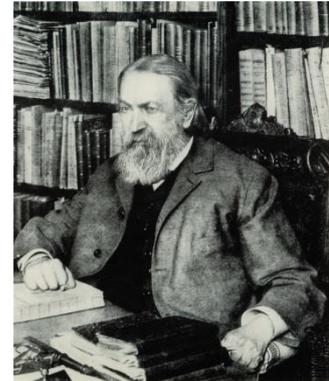


Bild 8: Ernst Mach (1838-1916)

Wie wir bereits in der Optik sehen konnten, existiert für Descartes kein Vakuum bzw. leerer Raum. Deswegen „spielt für ihn der Zusammenstoß von Körpern eine wichtige Rolle.“³⁴¹ Doch damit Materieteilchen miteinander zusammenstoßen können, benötigen sie einen Zustand: die Bewegung. Und genau bei dem Begriff der Bewegung, wodurch nach Descartes erst jede Begegnung bzw. Wechselwirkung stattfindet, möchte er dreierlei beweisen³⁴²:

1. Es gibt einen Gott.
2. (Nur) Erhaltungssätze können die Unveränderlichkeit (und die Universalität) Gottes bezeugen³⁴³.
3. Daher ist die Bewegung eine Erhaltungsgröße (und universell).

So meint Descartes: „Gott ist die oberste Ursache der Bewegung und erhält im Universum ständig dieselbe Quantität von Bewegung aufrecht.“³⁴⁴ „Es ist für uns auch einsichtig, daß eine

³³⁹ BILD: ERNST MACH

³⁴⁰ MACH 1933, S. 310-311

³⁴¹ SZABO 1987, S. 437

Wenn wir von Körpern nach Descartes Vorstellung sprechen, sollten wir jedoch auf zwei Sachen achten. Er geht nämlich physikalisch gesehen von Korpuskeln (= Teilchen) aus, jedoch – da es für ihn kein Vakuum geben kann – sind diese Korpuskeln unendlich teilbar:

1. Descartes hat deshalb eine diskrete Vorstellung von der Materie!
Stammel schreibt: „In seiner Prinzipienlehre entkleidet Descartes die Materie aller Formen und Qualitäten und behält als Prinzipien nur Größe (magnitudo), Figur (figura) und Bewegung (motus), d.h. die Prinzipien der Korpuskularphilosophen zurück, wobei die *magnitudo* zur *extensio*, zur geometrischen Ausdehnung der Körper umformuliert wird. Physikalische Objekte sind in der cartesischen Physik identisch mit geometrischen Körpern. Keine anthropomorphe Bestimmung, nichts Seelenartiges geht in ihre Konstitution ein.“ STAMMEL 1982, S. 20 (vgl. dazu DESCARTES 2005, S. 53-54 (I/48))
2. Aber andererseits besitzt die Materie zugleich eine kontinuierliche Struktur. So schreibt er: „Und weil kein Körper in so viele Teile geteilt werden kann, ohne daß seine einzelnen Teile als noch weiter teilbar vorgestellt werden könnten, werden wir annehmen, daß Quantität unbegrenzt teilbar ist.“ DESCARTES 2005, S. 35
Oder wie Spinoza bei seinem V. Lehrsatz im zweiten Teil seiner Prinzipienanalyse schreibt: „Es gibt keine Atome.“ SPINOZA 1987, S. 62

³⁴² vgl. DESCARTES 2005, S. 137 (II/36)

³⁴³ „Eine solche Auffassung der Natur der Bewegung veranlaßt die Betrachtung ihrer Ursache. Die Ursache ist zweifach, nämlich zunächst eine universale und oberste, die die allgemeine Ursache aller in der Welt stattfindender Bewegung ist, und sodann eine besondere, aufgrund derer es geschieht, daß einzelne Abteilungen der Materie, die sich zuvor nicht bewegt haben, Bewegung erlangen.“ DESCARTES 2005, S. 137

³⁴⁴ DESCARTES 2005, S. 137

Vollkommenheit Gottes darin besteht, daß er nicht nur in sich selbst unveränderlich ist, sondern auch, daß er auf eine äußerst beständige und veränderliche Weise wirkt [...]“³⁴⁵. „Deshalb ist es mit der Vernunft sehr gut vereinbar, daß wir allein deshalb, weil Gott, als er sie zuerst erschaffen hat, die Stücke der Materie auf verschiedenste Weisen bewegt hat, und er die Gesamtheit dieser Materie ja bereits auf dieselbe Weise und aus eben demselben Grund heraus erhält, aus dem heraus er sie zuerst erschaffen hat, annehmen, daß er auch beständig ebendasselbe Maß an Bewegung in dieser Materie aufrecht erhält.“³⁴⁶

Auch zum Impulserhaltungssatz gibt er ein völlig richtiges Beispiel: „[...] wenn wir annehmen, daß, wenn ein Stück der Materie sich zweimal schneller als ein anderes bewegt, und dieses andere doppelt so groß ist wie das erste, ebendieselbe Bewegung in dem kleineren wie in dem größeren vorhanden ist [...]“³⁴⁷.

In mathematischer Form würden wir wohl schreiben:

$$m \cdot 2 \cdot v = 2 \cdot m \cdot v \quad | \div 2$$

$$m \cdot v = m \cdot v$$

Doch dabei lässt es Descartes nicht bleiben. Er stellt anschließend seine *Gesetze* vor, wobei er die *ersten beiden* als *Naturgesetze* bezeichnet und das *dritte* als das *allgemeine Stoßgesetz* zu verstehen ist. Diese werden wir uns gleich näher ansehen.

³⁴⁵ DESCARTES 2005, S. 137

³⁴⁶ DESCARTES 2005, S. 137 - 139

³⁴⁷ DESCARTES 2005, S. 137

Die zwei Naturgesetze und das dritte (falsche) Gesetz von Descartes

1. Naturgesetz:

„Erstes Naturgesetz: Ein jedes Ding behält von sich aus denselben Zustand bei, und daher fährt ein Ding, das sich einmal in Bewegung gesetzt hat, immer fort, sich zu bewegen.“³⁴⁸

Bei der Erklärung geht er genauer ins Detail und schreibt: „Ein jedes Ding, insofern es ein einzelnes und ungeteiltes ist, verbleibt von sich aus in demselben Zustand und verändert sich niemals außer durch äußere Ursachen.“³⁴⁹ Unter äußeren Ursachen versteht Descartes natürlich die Reibung, welche er in der nächsten Ziffer genauer erläutert.³⁵⁰

Das Verständnis für dieses Gesetz, „daß der Geschwindigkeitswert, den der Körper aufweist, in ihm selbst unzerstörbar enthalten ist“³⁵¹, kann bekanntlich schon bei Galilei gefunden werden³⁵² (, womit er unter anderem versucht die Aristotelische Physik zu widerlegen³⁵³). Er schreibt in seinem Hauptwerk *Discorsi* (1638)³⁵⁴: „Wenn ein Körper ohne allen Widerstand sich horizontal bewegt, so ist aus allem Vorhergehenden, ausführlich Erörterten bekannt, daß diese Bewegung eine gleichförmige sei und unaufhörlich fortbestehe auf einer unendlichen Ebene: ist letztere hingegen begrenzt und ist der Körper schwer, so wird derselbe, am Ende der Horizontalen angelangt, sich weiter bewegen, und zu seiner gleichförmigen unzerstörbaren Bewegung gesellt sich die durch die Schwere erzeugte, so daß eine zusammengesetzte Bewegung entsteht, die ich Wurfbewegung (*projectio*) nenne und die außer gleichförmig horizontalen und aus der gleichförmig beschleunigten zusammengesetzt ist.“³⁵⁵ Hier kommt zugleich auch sein großes Talent zum

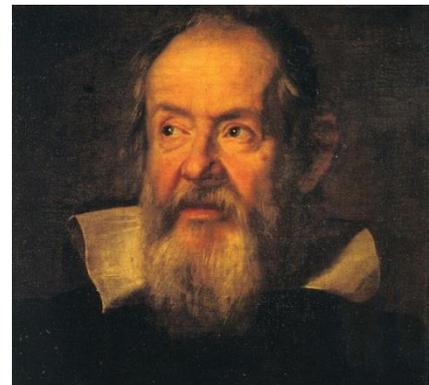


Bild 9: Galileo Galilei (1564-1642)

Perspektivenwechsel bzw. zur *Theory of Mind* zum Einsatz.³⁵⁶ Galilei (Bild 9)³⁵⁷ wählt ein Koordinatensystem, dass sich gleichmäßig (zum fallendem Körper) und

³⁴⁸ DESCARTES 2005, S. 139 (II/37)

In lat.: „*Prima lex naturae: quod unaquaeque res, quantum in se est, semper in eodem statu perseveret; sicque quod semel movetur, semper moveri pergat.*“ DESCARTES 2005, S. 138

³⁴⁹ DESCARTES 2005, S. 139

³⁵⁰ So schreibt er über die Reibung: „[...] es ist offensichtlich, daß sie von der Luft oder irgendwelchen anderen flüssigen Körpern, in denen sie sich bewegen, allmählich abgebremst werden und daher ihre Bewegung nicht lange andauern kann. Daß nämlich die Luft den Bewegungen anderer Körper Widerstand leistet, können wir mit unserem eigenen Tastsinn erfahren, wenn wir heftig mit einem Fächer schlagen; und dasselbe bestätigt uns auch der Flug der Vögel. Und keineswegs anders verhält es sich mit der Flüssigkeit, die noch offensichtlicher als die Luft den Bewegungen der geworfenen Gegenstände Widerstand leistet.“ DESCARTES 2005, S. 141 (II/38)

³⁵¹ Hawking, *Discorsi* S. 472

³⁵² Beispielsweise im *Dialog* (GALILEI 1891, S. 30) oder im *Discorsi*

³⁵³ GALILEI 1891, S. 522-523, Fußnote 42

³⁵⁴ Der ganze Titel lautet *Discorsi e dimostrazioni matematiche* bzw. in deutscher Übersetzung *Unterredungen und mathematische Demonstration über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend*.

³⁵⁵ GALILEI 2004, S. 490

³⁵⁶ Welche *prinzipielle* Bedeutung die *Theory of Mind* für unser Vostellung von einer „objektiven (Natur)wissenschaft“ hat, werden wir im **Anhang I** näher untersuchen.

³⁵⁷ BILD: GALILEO GALILEI

geradlinig fortbewegt. Aus dieser Perspektive erkennt er nicht nur, dass sich die Bewegung des Körpers aus zwei völlig voneinander unabhängigen Bewegungsformen zusammengesetzt beschreiben lässt³⁵⁸, sondern auch, dass die Fallzeit des Körpers einzig und allein abhängig von der anfänglichen Lage bzw. Höhe ist.³⁵⁹

Interessant sind jedoch die danach kommenden Stellen, wo Galilei seine Prinzipien (durch seine Figuren) kritisieren lässt. So entschuldigt sich Galilei mit den Worten: „All die vorgebrachten Schwierigkeiten und Einwürfe sind so wohlbegründet, daß man sie nicht hinwegräumen kann; ich gestehe zu, und ich glaube, unser Autor würde dasselbe tun. Ja, ich gebe noch ferner zu, daß unsere abstrakt gezogenen Schlüsse in Wirklichkeit sich anders darstellen und dermaßen falsch sein werden, daß weder die Transversalbewegung gleichförmig noch die beschleunigte Bewegung in dem angenommenen Verhältnis zustande komme, ja daß auch die Wurflinie keine Parabel ist.“³⁶⁰ Galilei scheint somit seine Prinzipien nur im Grenzfall gültig anzusehen, und entsagt ihnen eine allgemeine Gültigkeit. (Ob er das aus Angst vor der Kirche tut, lässt sich heute schwer sagen! Überraschend ist auch, dass er weder im *Dialog* noch im *Discorsi* auf die Keplerschen Gesetze eingeht.³⁶¹)

Wie wir sehen ist Galilei – im Gegensatz zu Descartes – **ein Meister des Perspektivenwechsels bzw. Theory of Mind in der Naturwissenschaft bzw. -philosophie.** Er beginnt nicht nur zu experimentieren und somit eine objektive Naturwissenschaft zu betreiben, sondern die Art und Weise, wie er Wissen weitergibt, ist erstaunlich! Er wendet sich dabei nicht nur weitgehend von der aristotelischen Physik ab, sondern versucht stattdessen sogleich in die Fußstapfen des Lehrers von Aristoteles, nämlich Platon, zu treten.³⁶² So veröffentlicht er seine Erkenntnisse in Form von *Dialogen*, welche didaktische³⁶³ Höchstleistungen darstellen. Descartes hat Galileis Werk *Dialog über die hauptsächlichsten Weltsysteme* (1632)³⁶⁴ sicher gekannt³⁶⁵ und hat von dort wohl die meisten seiner Kenntnisse über die Galileische Mechanik erlernt.³⁶⁶ (Dieses Werk dürfte einen enormen Einfluss auf Descartes Gedanken gehabt haben.) Darin lässt Galilei verschiedene Theorien zu Tage kommen.³⁶⁷ Wie auch das Schutzblatt darlegt, geht es in diesem Buch primär eigentlich um

³⁵⁸ Gemeint ist die gleichmäßig, geradlinige (unbeschleunigte) horizontale Bewegung plus eine gleichmäßig beschleunigte vertikale Bewegung.

³⁵⁹ GALILEI 2004, S. 490-494

³⁶⁰ GALILEI 2004, S. 494-495, vgl. dazu GALILEI 1891, S. 501, Fußnote 32

³⁶¹ Es sieht fast so aus, dass obwohl er mit Kepler sogar im Briefwechsel stand, von dessen Gesetzen nichts gewusst habe?!

vgl. dazu GALILEI 1891, S. 552, Fußnote 41 und S. 501, Fußnote 31

³⁶² vgl. dazu GALILEI 1891, S. XLIX

³⁶³ vgl. GALILEI 1891, S. XLIX

Insofern ist es auch kein Zufall, dass Emil Strauss – selbst ein Lehrer einer Realschule, der das Werk *Dialog* Galileis ins Deutsche übersetzte, erläuterte und herausgab – im Vorwort schreibt: „Da ich mir die Ausgabe auch in Händen von Schülern unserer höheren Schulen denke, wird man hoffentlich diese heutzutage nicht eben schwierige Kritik immerhin als erwünschte Zugabe betrachten.“ GALILEI 1891, S. V

³⁶⁴ Der original Titel lautet *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo.*

In unserer Arbeit bezeichnen wir dieses Werk einfach als *Dialog.*

³⁶⁵ Galileis *Dialog* und Descartes *Principia* erschienen im selben Verlag.

³⁶⁶ vgl. dazu DESCARTES 2005, S. LXVII

Auch Galileis Arbeit *Le Mecaniche* (1593) dürfte Descartes bekannt gewesen sein. (vgl. dazu DESCARTES 2005, S. LXVII, Fußnote 54)

³⁶⁷ Die Figur Salviati vertritt dabei die kopernikanische Position und Simplicio die ptolemäische. (Auch gibt es den Diskursteilnehmer Sagredo, der zu Beginn eher eine neutrale Perspektive besitzt, dann aber immer mehr die Ansichten von Salviati übernimmt.)

In diesem künstlerischen Werk steht Galilei sozusagen hinter der Bühne, auf den aber im Werk als der „Akademiker“ hingewiesen wird. (Diese Figuren und Position behält er dann auch in seinem *Discorsi.*)

die Perspektiven von Aristoteles, Ptolemäus und Kopernikus. (In der Abbildung 10 von links nach rechts dargestellt.)³⁶⁸



Abbildung 10: KUPFERSTICH VON STEFANO DELLA BELLA (1610-1664)

Beim genauen Betrachten des Bildes, sieht man weitgehend nur Galilei in verschiedenen Rollen bzw. Verkleidungen³⁶⁹; was womöglich zeigen soll, dass Galilei in diesem Buch versuchen wird, verschiedene **Perspektiven** einzunehmen.³⁷⁰

Doch zu sagen, Galilei habe (schon dort) klar und deutlich das *Beharrungsprinzip*³⁷¹ ausgesprochen, würde etwas zu weit gehen. So schreibt Galilei: „Nach Feststellung eines solchen *Principis*³⁷² lässt sich ohne weiteres schließen, dass, wenn die Hauptmassen des Weltalls vermöge ihrer Natur beweglich

vgl. GALILEI 1891, XLIX-LII

³⁶⁸ Die Namen wurden am Rande (bzw. im Saum) ihrer Mäntel notiert.

³⁶⁹ Beispielsweise war Kopernikus eine eher magere Person usw.

³⁷⁰ vgl. dazu DIE ERSTAUSGABE DES DIALOGS

³⁷¹ Das erste Naturgesetz von Descartes wird auch als *Beharrungsprinzip* bezeichnet. (Bei Newton wird es dann *Trägheitsprinzip* genannt.)

³⁷² Mit *Princip* ist der Glaube an höchste und vollkommene Gesetze gemeint. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 19-20)

sind, ihre Bewegungen unmöglich geradlinig oder anders als kreisförmig sein können. [...] Da außerdem die geradlinige Bewegung ihrer Natur nach unendlich ist – denn die gerade Linie ist unendlich und von unbestimmter Länge – so kann kein beweglicher Körper den natürlichen Trieb haben, sich in gerader Linie dahin zu bewegen, wohin er unmöglich gelangen kann, insofern einer solchen Bewegung kein Ziel gesetzt ist. Und die Natur, wie Aristoteles selbst sehr richtig bemerkt, versucht nicht, was unmöglich zu leisten ist, versucht also nicht dahin zu treiben, wohin zu gelangen unmöglich ist.“³⁷³ Ob Galilei dies ironisch oder sarkastisch meint, ist schwer zu sagen. Doch nehmen wir in dieser Arbeit an, dass er diese Ansicht tatsächlich vertreten hat, da er noch hinzufügt: „Wir können demnach sagen, es diene die geradlinige Bewegung dazu, die Baustoffe für das Werk herbeizuschaffen; ist dieses aber einmal fertig gestellt, so bewegt es sich entweder nicht, oder wenn es sich bewegt, so bewegt es sich kreisförmig. Es sei denn, dass wir noch weiter gehend mit Plato sagen wollten, dass auch die Weltkörper nach ihrer Schöpfung und ihrer endgültigen Fertigstellung eine gewisse Zeit hindurch von ihrem Schöpfer in gerader Linie bewegt wurden, dass sie aber, angelangt an dem bestimmten, ihnen zugewiesenen Orte, der Reihe nach in Drehung versetzt wurden und so von der geraden Bewegung zur kreisförmigen übergingen, in welcher sie sich dann behauptet haben und bis auf den heutigen Tag beharren. Ein erhabener Gedanke und Platos wohl würdig.“³⁷⁴ Wir können somit sagen, dass Galilei das *Beharrungsprinzip* als solches (im *Dialog*) **nicht** ausspricht.³⁷⁵ (Genau genommen erklärt Galilei wenn, dann eigentlich sogar gerade das Gegenteil zu einem Naturgesetz bzw. –prinzip.)³⁷⁶ Dagegen sind Galileis Erklärungen, wie wir oben sahen, zum Beharrungsprinzip im *Discorsi* zwar ohne Fehler, doch zögert er auch dort sie als ein Naturgesetz zu behandeln. Er entschuldigt sich sogar für die Annahme eines solchen Prinzips.

Wir können deshalb sagen: ***Klar ausgesprochen als ein universelles und somit allgemeingültiges Naturgesetz, dass nämlich ein Körper sich geradlinig und gleichförmig weiter bewegt, wenn auf ihn***

³⁷³ GALILEI 1891, S. 20

Diese Sichtweise übernimmt Galilei anscheinend von Kopernikus. vgl. GALILEI 1891, S. 499, Fußnote 22

³⁷⁴ GALILEI 1891, S. 21

In der Fußnote 23 wird erklärt, dass diese Aussagen von Galilei auch in seinem Hauptwerk *Discorsi* wieder zu finden sind. Außerdem wir dort Aufmerksam gemacht, dass Plato nirgends erwähnt, „dass die Himmelskörper anfänglich sich geradlinig bewegten, sondern nur, dass alles Sichtbare ursprünglich in verworrener und ungeordneter Bewegung begriffen war.“ GALILEI 1891, S. 499, Fußnote 23

³⁷⁵ Dass Galilei offensichtlich Probleme beim Verständnis des Beharrungsgesetzes hatte, wird unter anderem in den Fußnoten 37 und 41 (GALILEI 1891, S. 521) besprochen. Ein guter Grund, weshalb Galilei zu Fehlvorstellungen kommt, könnte darin liegen, dass sein Verständnis für das Gravitationsgesetz einfach sehr unausgereift ist. Somit kann er das Beharrungsprinzip und die Gravitation nicht ganz auseinanderhalten bzw. gelingt es ihm nicht sie getrennt zu behandeln. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 524, Fußnote 54)

Bei der Einsteinschen Physik (bzw. der ART) würden die Gedanken von Galilei *etwas besser* passen. Wir könnten Galileis Gedanken dann ein wenig umwandeln und übersetzen: Das Beharrungsprinzip, also das ein Körper sich geradlinig und gleichförmig bewegt, gilt nur für Lokale Systeme, bzw. dort wo der Raum weitgehend Euklidisch ist. Global gesehen stimmt sie aufgrund der Raum-Zeitkrümmung nicht.

³⁷⁶ Vgl. dazu auch GALILEI 1891, S. 499, Fußnote 20 und S. XIX-XXI

Galilei schreibt: „Ich sage: von Natur aus; denn die verzögerte geradlinige Bewegung ist gewaltsam, kann also nicht von ewiger Dauer sein; die beschleunigte Bewegung hingegen gelangt notwendig einmal ans Ziel, wenn ein solches vorhanden ist; ist aber keines vorhanden, so kann auch keine Bewegung zustande kommen, weil die Natur aus den das Weltall zusammensetzenden Naturkörpern zukommen kann, sobald diese sich in vollkommener Ordnung befinden; die geradlinige Bewegung hingegen kann höchstens dann von der Natur ihren Körpern und deren Teilen zugewiesen werden, sobald sie sich außerhalb der ihnen vorgeschriebenen Plätze in verkehrter Anordnung befinden und daher auf dem kürzesten Wege in die natürliche Lage zurückgebracht werden soll.“ GALILEI 1891, S. 34

keine Kraft wirkt, taucht das Prinzip erst bei Descartes auf (, obwohl eben bereits Galilei das Beharrungsprinzip anwendet).

Descartes, der bekannt dafür zu sein scheint, dass er selten darauf hinweist, von wo seine Inspirationen kommen, erwähnt Galilei natürlich erst gar nicht.³⁷⁷ Mag der Grund nun seine große Angst vor der Kirche sein, oder sein Stolz, so oder so ist sein Handeln natürlich *unethisch*. Kommen wir aber nun zu seinem zweiten Naturgesetz:

2. Naturgesetz:

„Das zweite Naturgesetz: Jede Bewegung ist aus sich selbst heraus geradlinig, und deshalb tendiert alles, was sich kreisförmig bewegt, sich vom Mittelpunkt des Kreises zu entfernen, den es beschreibt.“³⁷⁸

Descartes erklärt sein zweites Gesetz mit dem Beispiel eines geschleuderten Steins. (Siehe Abbildung 11.) Auch dieses gegebene Beispiel ist mitsamt Erläuterung im **Dialog** von Galilei zu finden.³⁷⁹ Doch die deutlichen axiomatischen Konsequenzen werden erst von Descartes gezogen. Er ist es sozusagen, der die Dialoge Galileis auf den Punkt bringt.

³⁷⁷ Es gab aber auch genügend Inspirationsquellen für Galilei, die auch er nicht erwähnt. Das scheint für diese Zeit wohl recht natürlich gewesen zu sein. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 523, Fußnote 42)

³⁷⁸ DESCARTES 2005 S. 141 (II/39)

„Altera lex naturae: quod omnis motus es se ipso sit rectus; & ideo quae circulariter moventur, tendere semper ut recedant a centro circuli quem describunt.“ DESCARTES 2005, S. 140

„Denn das All ist mit Körpern erfüllt, und gleichwohl tendiert die Bewegung eines jeden Körpers, sich in gerader Linie fortzusetzen. Indem Gott also die Welt durch dieselbe Handlung aufrecht erhält und sie unter die Bedingung ebenderselben Gesetze stellt, mit denen er sie erschaffen hat, heftet er die Bewegung nicht an ständig dieselben Stücke der Materie, sondern erhält die Bewegung in der Weise, daß sie von den einen Stücken der Materie so auf die anderen übertragen wird, wie sie aufeinander auftreffen.“ DESCARTES 2005, S. 147 (II/42)

Zum Verständnis der Zentrifugalkraft werden dann später die Arbeiten von Huygens von größter Bedeutung sein. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 529, Fußnote 69 und S. 532, Fußnote 85)

³⁷⁹ GALILEI 1891, S. 201-204; (vgl. dazu auch S. 528, Fußnote 69)

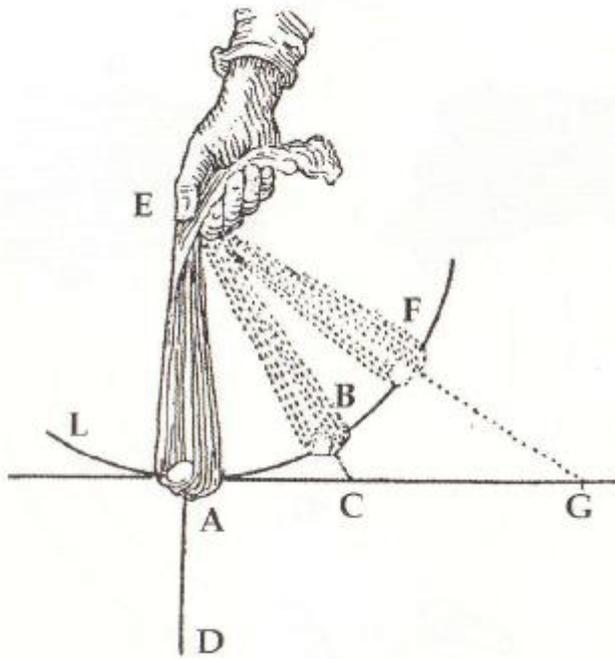


Abbildung 11, Quelle: DESCARTES 2005

Dabei macht er den Leser indirekt auf dreierlei physikalische Phänomene aufmerksam:

- Zentrifugalkraft³⁸⁰: Der Stein möchte nämlich vom Mittelpunkt der Drehung, aufgrund des Beharrungssatzes bzw. Trägheitssatzes, fliehen.
- Zentripetalkraft: Die Hand leistet eine Gegenkraft, um den Stein auf der Bahn zu halten.
- Die Beharrung bzw. Trägheit des Steins ist tangential zur Kreisbahn³⁸¹: Würde die Hand den Stein nämlich auslassen, würde er sich genau in diese Richtung weiterbewegen.

Es ist hier interessant zu sehen, dass Descartes hier feststellt, dass der Zentrifugalkraft eine Gegenkraft, nämlich die Zentripetalkraft, gegenübersteht, wie im Bild an Hand der Geraden EFG auch zu sehen ist. Warum Descartes deshalb kein Naturgesetz zum Verständnis von Kräften vorstellt, ist natürlich heute schwer zu beantworten. Gründe dafür könnten beispielsweise sein:

- Für Descartes scheinen nur die Erhaltungssätze ein Prinzip der Natur, wenn nicht sogar des Göttlichen, auszudrücken.
- So sieht Descartes auch die Materie eher durch ihre geometrische Form erhalten, als durch die Masse.³⁸²

³⁸⁰ „Daraus ergibt sich, daß jeder Körper, der sich kreisförmig bewegt, unablässig dazu tendiert, sich von dem Mittelpunkt des Kreises, den er beschreibt, zu entfernen, was wir auch an dem Stein durch unsere eigene Hand sinnlich erfahren, während wir ihn in der Schleuder im Kreis herumbewegen.“ DESCARTES 2005, S. 143

³⁸¹ „[...] daß die gerade Linie AC eine Tangente des Kreises bildet.“ DESCARTES 2005, S. 143

³⁸² Außerdem gibt er ein Beispiel zu Erhaltung der Form: „Wenn etwa ein Stück irgendeiner Materie viereckig ist, so sind wir völlig davon überzeugt, daß es beständig viereckig bleibt, wenn ihm nicht etwas von woanders her zustößt, das seine Gestalt verändert.“ DESCARTES 2005, S. 139

- Wie wir bei Newton sehen werden, benötigt man für den Kraftbegriff zuerst die Vorstellung der trägen Masse, aber auch ein ausgereiftes Verständnis für die Infinitesimalrechnung.

Schließlich gelangen wir zum dritten *Gesetz* von Descartes, welche sich mit Stoßgesetzen beschäftigt **und welches er auch *nicht* als ein Naturgesetz bezeichnet!**

3. Gesetz:

„Das dritte Gesetz: Ein Körper verliert nichts von seiner Bewegung, wenn er auf einen anderen auftrifft, der eine größere Kraft besitzt; trifft er hingegen auf einen mit geringerer Kraft auf, verliert er gerade so viel Bewegung, wie er auf jenen überträgt.“³⁸³

Wenn man sich abprallende Teilchen von großen Oberflächen vor Augen hält, die einfach zurückreflektiert werden, so scheint der erste Teil des Gesetzes gar nicht so abwegig. Und der zweite Teil ist uns schon spätestens seit der Reibungskraft verständlich. Descartes schreibt daher: „So erfahren wir, daß beliebige harte Körper, wenn sie geworfen werden und auf einen anderen harten Körper aufschlagen, keineswegs an Bewegung verlieren, sondern in die entgegengesetzte Richtung reflektiert werden, daß sie sich aber sofort bis zum Ruhezustand verlangsamen, wenn sie auf weiche Körper auftreffen, weil sie ihre gesamte Bewegung auf jene leicht übertragen. In diesem Gesetz sind alle besonderen Ursachen der Veränderungen, die den Körpern widerfährt, enthalten, zumindest diejenigen, die selbst körperlich sind; die Frage nämlich, ob und in welcher Weise der menschliche Geist oder der Geist eines Engels die Kraft besitzen, Körper zu bewegen, beachte ich jetzt nicht, sondern bewahre sie für die Abhandlung **Über den Menschen** auf.“³⁸⁴

Umso gravierender sind jedoch seine sieben Regeln, welche „er für den Stoß zweier vollkommen harter“³⁸⁵ Körper aufstellt. Da Descartes von harten Körpern ausgeht, können wir voraussetzen, dass er den vollkommen elastischen Stoß meint, obwohl er es nicht ausdrücklich erwähnt.³⁸⁶ So betrachtet, ist von all den Regeln nur eine für den vollkommen elastischen Stoß richtig, nämlich die erste. (Die fünfte wäre zumindest nur für vollkommen unelastische Körper richtig.³⁸⁷)

Von den *falschen* Regeln schauen wir uns am besten einzig die vierte an. Hier nehmen wir gleich die von Szabo kommentierte Zusammenfassung der Regel:

„ 4. Wenn ein kleiner Körper – gleich welcher Geschwindigkeit – auf einen größeren und ruhenden stößt, so prallt der kleinere zurück, während der größere weiter im Ruhezustand verharrt. Diese Regel ist so falsch und widerspricht der primitivsten Erfahrung in solchem Maße, daß man sie als geradezu grotesk bezeichnen könnte!“³⁸⁸

³⁸³ DESCARTES 2005, S. 145 (II/40)

In lat.: „Tertia lex: quod unum corpus, alteri fortiori occurendo, nihil amittat de suo motu; occurendo vero minus forti, tantum amittat, quantum in illud transfert.“ DESCARTES 2005, S. 144

³⁸⁴ DESCARTES 2005, S. 145

Wie wir es bereits wissen, wird er das Thema *menschlicher Geist* bzw. *der Geist von Engeln* auch dort nicht weiter verfolgen.

³⁸⁵ SZABO 1987, S. 437

³⁸⁶ vgl. SZABO 1987, S. 437

³⁸⁷ vgl. SZABO 1987, S. 438

³⁸⁸ SZABO 1987, S. 438

Man kann lesen, dass Szabos Kritik an Descartes ziemlich intensiv ausfällt. Weshalb Szabo einen derart *polemischen Ton* anschlägt könnte unter anderem zweierlei Gründe³⁸⁹ haben:

1. Marcus Marci – der höchstwahrscheinlich „mit steinernen Kanonenkugeln sowie mit elfenbeinernen Billiardkugeln und Spielbällen experimentiert zu haben“³⁹⁰ scheint – verkündet in seinem Werk *De proportione motus*³⁹¹ bereits 15 Jahre vor Descartes „einige quantitative richtige Sätze über elastische Stöße“³⁹², an welchen sich Descartes womöglich orientieren hätte können z.B.: an der *Porisma III.*³⁹³
2. Am Schluss der siebten Regel schreibt Descartes: „Und diese Regeln bedürfen keiner Überprüfung, weil sie ganz offensichtlich sind.“³⁹⁴

Natürlich könnten wir annehmen, dass Descartes die Schriften von Marcus Marci womöglich nicht kannte, wenn uns Szabo nicht darauf hinweisen würde, dass F.M. Pelzel folgendes schrieb: „Mehrere behaupten sogar, CARTESIUS sey durch unsers MARCUS Schriften und Beobachtungen veranlasst worden, sein System zu erbauen, und habe zu dessen Aufführung nicht wenig daraus entlehnt, welches man bey einer sorgfältigen Vergleichung der Werke dieser beyden gelehrten Männer leicht wahrnehmen kann.“³⁹⁵ So gesehen können wir nur spekulieren, weshalb Descartes genau jene Regeln vorgeschlagen hat. Eine rationale Hypothese könnte sein, dass obwohl Descartes Stoßregeln der Erfahrung widersprechen, besitzen sie doch eine innere logische Begründung! Dies wird in der neueren Zeit besonders von Desmond Clarke vertreten, auf den wir noch zurückkommen werden. Spinoza hat aber bereits etwa 20 Jahre nach der Entstehung der *Principia* „Beweise“ zu den Stoßregeln von Descartes gegeben. Spinozas Gedanken sind deswegen vor allem wichtig, da seine Arbeit fünf Jahre vor der richtigen Entdeckung der Stoßregeln – auf welche wir ebenfalls noch eingehen werden – stattfindet. Doch damit er all diese Regeln durch seine Beweise untermauern kann, stellt er zu Beginn einen Lehrsatz (XXIII) für das leichtere Verständnis bereit, welcher, wie

Dieses Gesetz wird etwas verständlicher, wenn wir uns vorstellen, dass Descartes womöglich erst durch das dritte Gesetz erklären kann, weshalb es feste Körper gibt: „Und in der Tat können wir uns keine andere Bindung ausdenken, die die Partikel harter Körper stärker miteinander verbände als ihre Ruhe.“ DESCARTES 2005, S. 159 Für die vierte Regel würde das beispielsweise bedeuten, dass die Luftteilchen kleiner wären als die Teilchen des Tisches. Nun können die Luftteilchen ihre Bewegung nicht weitergeben und prallen zurück, wodurch der Tisch erhalten bleibt. So kann Descartes eine Theorie der Kohäsion usw. aufbauen bzw. erklären weshalb Moleküle oder Stoffe etc. zusammenhalten.

Auch könnte Descartes, wenn wir weiter spekulieren, mit dieser Vorstellung die Trennlinie zwischen Leben und Tod ziehen wollen. Er schreibt: „Denn die Ruhe ist der Bewegung entgegengesetzt; nichts aber kann aus seiner wesenseigenen Natur heraus etwas tun, was gegen sich selbst gerichtet ist, bzw. zu seiner eigenen Zerstörung führt.“ DESCARTES 2005, S. 141

³⁸⁹ Auch experimentelle Überlegungen von Galilei, welche in *Discorsi* - (6. Kapitel) - zu finden sind, würden bereits Descartes 4. Regel widerlegen. Doch wurde die *Discorsi* (1638) mit nur 4 Kapiteln (bzw. 4 Dialogtagen) veröffentlicht. Das 6. (unvollendete) Kapitel erschien erst 1718. *Also rund 70 Jahre nach Descartes Tod.*

vgl. dazu SZABO 1987, S. 427, Fußnote 2

³⁹⁰ vgl. SZABO 1987, S. 431 - 432

³⁹¹ vgl. SZABO 1987, S. 436

³⁹² SZABO 1987, S. 429

³⁹³ „Stößt dagegen eine kleinere auf eine größere ruhende Kugel, so laufen gemäß <<Porisma III>> die Kugeln mit verschiedenen Geschwindigkeiten auseinander.“ SZABO 1987, S. 434

³⁹⁴ DESCARTES 2005, S. 155; vgl. dazu SZABO 1987, S. 438

³⁹⁵ SZABO 1987, S. 430

Mit Cartesius ist natürlich Descartes gemeint. Anhänger von Descartes werden deshalb auch Cartesianer genannt.

Spinoza meint, vom 1. Naturgesetz³⁹⁶ von Descartes herleitbar ist: „Wenn die Zustände (modi) eines Körpers eine Veränderung zu erleiden genötigt werden, so wird diese Veränderung immer die kleinstmögliche sein.“³⁹⁷ So kann Spinoza die vierte Regel von Descartes erklären. Der kleinere Körper würde, wenn er nicht einfach am größeren zurückprallen würde, nicht nur die Richtung, sondern auch die Bewegung verlieren. Nach Regel vier verliert er nur die Richtung und so weiter.³⁹⁸ Das interessante an Spinozas Gedanken ist jedoch nicht nur, dass sie Descartes Regeln halbwegs plausibel machen, sondern dass in dem ersten Naturgesetz von Descartes natürlich auch eine Optimierungsvorstellung bzw. ein Ökonomieprinzip steckt!! Ob Descartes mit dieser Feststellung einverstanden wäre, ist schwer zu sagen. Descartes schreibt jedoch selbst in der Erläuterung seines 2. Naturgesetzes: „Die Ursache dieser Regel ist ebendieselbe wie die der vorangegangenen, nämlich die Unveränderlichkeit und Einfachheit der Tätigkeiten, durch die Gott die Bewegung in der Materie aufrechterhält.“³⁹⁹ Der Streit mit Fermat könnte Descartes womöglich doch ein wenig beeinflusst haben. So gesehen ist es keine Ironie des Schicksals, das aus einer Optimierungsannahme eine Beweisführung für Descartes Regel aufbaubar ist.

Wir werden sehen, dass Spinoza mit seinen Gedanken einen wichtigen Punkt andeutet. Denn die Idee der Sparsamkeit der Natur, werden wir dann sowohl 6 Jahre später bei Leibniz wieder finden – welcher sich mit Descartes aber mit auch mit Spinoza gründlich auseinander setzt⁴⁰⁰ –, als auch ca. 60 Jahre später bei Maupertuis. Spinoza kann zwar nicht als der Gründer des „Prinzips der kleinsten Wirkung“ gelten, doch scheint er der erste zu sein, der bei Stoßgesetzen eine Art Ökonomieprinzip angewendet hat. Das ist wieder ein Beleg, dass Spinoza versucht mehr Theory of Mind in die Theorien Descartes zu bringen.

Doch gehen wir für ein tieferes Verständnis noch auf die Beziehung zwischen Descartes und Galilei ein. Descartes wurde höchstwahrscheinlich zu seinem 1. Naturgesetz von Galilei inspiriert⁴⁰¹ und

³⁹⁶ Spinoza spricht jedoch davon nicht als ein Naturgesetz. Er betrachtet es sogar nicht einmal als einen Grundsatz, sondern lediglich als einen Lehrsatz. SPINOZA 1987, S. 73 Lehrsatz XIV, II

³⁹⁷ SPINOZA 1987, S. 83 Lehrsatz XXIV, II

Desmond Clarke schreibt, ohne einen direkten Bezug zu Spinoza zu nehmen: „The corollary which stipulates that in resolving the incompatible motions of two bodies the minimal change of conditions possible should be expected, is not understood by Descartes as a distinct law of nature of an independent auxiliary hypothesis. In fact, if it were understood as such and applied in all seven sets of conditions, then some of the other rules would require modification to minimize the changes involved. On the other hand, Descartes can hardly intend this corollary as the most natural of literal application of L3 to the situation envisaged by R_4 . For the motive force of B is related to the inertial force of C as 9: 5, and therefore B could move C and lose as much of its motion as it transfers to C on impact. Presumably Descartes' minimal change hypothesis is a qualification of the second part of L3, which reads: "If however it has a greater force, then it moves the other body with itself. . . ." In those cases where the transfer of motion from B to C would be more than half the initial motion of B , we have gone beyond a critical point at which B is reflected rather than lose more than half its motion." CLARKE 1977, S. 65

³⁹⁸ vgl. SPINOZA 1987, S. 89 (II, Lehrsatz XXVIII)

³⁹⁹ DESCARTES 2005, S. 143 (II/39)

⁴⁰⁰ vgl. dazu RUSSELL 1988, S. 591-593

⁴⁰¹ Szabo schreibt: „Hierbei muß vorausgeschickt werden, daß DESCARTES mit der schriftstellerischen Tätigkeit begann, als GALILEI die seine schon beendet hatte, so daß ihm alles, was GALILEI schuf, bekannt sein mußte. Aus diesem Grunde können wir zum Beispiel DESCARTES das Beharrungsprinzip nicht zuschreiben, obwohl er selbst und andere dies tun.“ SZABO 1987, S. 57

Szabo erwähnt natürlich auch, dass auch Galilei, was den Trägheitssatz angeht, Vorgänger hatte: „Unter diesen Gesichtspunkten kann man LEONARDO DA VINCI, TARTAGLIA und BENEDETTI als die Vorgänger GALILEIS ansehen, welcher letzterem dann der revolutionierende Durchbruch zu neuen Bahnen der naturwissenschaftlichen Forschung gelang.“ SZABO 1987, S. 49

dennoch schreibt er: „Was GALILEI anbetrifft, so will ich Ihnen sagen, daß ich ihn niemals gesehen und auch keinen Verkehr mit ihm gehabt habe und daß ich folglich von ihm nichts entlehnt haben kann und auch in seinen Büchern nichts sehe, was ich beneidete und fast nichts, was ich als das Meinige ansehen möchte.“⁴⁰² So wird auch beispielsweise eine der Glanzleistungen von Galilei, nämlich seine Untersuchungen zu den Fallbewegungen, von Descartes als falsch angesehen.⁴⁰³ Die Fallbewegung wird Descartes durch seine Wirbeltheorie zu erklären versuchen.

Descartes teilt die Überlegungen von Galilei wohl auch vor allem deswegen nicht, da für ihn das „Gewicht“ „keine wesenhafte Eigenschaft seiner *Materie*“⁴⁰⁴ darstellt. Descartes „verwendet das *m* als rein geometrische >Größe<, wie es in der archimedischen Statik rundweg der Fall war.“⁴⁰⁵ Für Descartes gibt es die schwere und träge Masse nicht. Diese werden erst von Newton genauer formuliert. So betont Descartes, dessen Denken eng mit der Geometrie verwoben ist: „*Die Natur eines Körpers besteht nicht in Schwere, Härte, Farbe oder dergleichen, sondern allein in der Ausdehnung.*“⁴⁰⁶ Da ist womöglich auch der Ursprung des Gedankens zu finden, weshalb es für Descartes kein Vakuum geben kann. (Dies legt er besonders in den Ziffern 16-18 des zweiten Kapitels dar.⁴⁰⁷) Er schreibt: „*Es ist widersprüchlich, daß es ein Vakuum gibt, d.h. etwas, wo schlichtweg kein Ding ist.*“⁴⁰⁸ „Tatsächlich nämlich ist die Ausdehnung in Länge, Breite und Tiefe, die den Raum ausmacht, schlicht dasselbe wie jene, die den Körper ausmacht.“⁴⁰⁹ Er gibt dazu ein sehr interessantes und „folgerichtiges Gedankenexperiment“⁴¹⁰: „Wenn daher gefragt wird, was denn geschehen würde, wenn Gott den gesamten Körper, der in irgendeinem Gefäß enthalten ist, wegnähme und nicht zuließe, daß ein anderer an den Ort des weggenommenen trete, so ist darauf zu antworten, daß die Seiten des Gefäßes sich wechselseitig berühren würden. Wenn nämlich zwischen zwei Körpern nichts dazwischenliegt, so ist es unausweichlich, daß sie sich gegenseitig berühren und es ist offensichtlich widersprüchlich, daß sie voneinander entfernt sind, d.h. zwischen ihnen ein Abstand sein solle, und gleichwohl dieser Abstand nichts sein solle, weil alle Distanz ein Zustand der Ausdehnung ist und von daher ohne ausgedehnte Substanz gar nicht sein kann.“⁴¹¹

Mach kommentiert diese Stelle folgendermaßen: „Die Unvorstellbarkeit des Vakuums pflanzt sich bis in die moderne Zeit fort. *Descartes*⁴¹² ist noch so von derselben durchdrungen, daß er annimmt, die Wände eines Gefäßes, welches man vollständig entleeren könnte, müßten sich sofort berühren. Wir wissen, welche Arbeit *Guericke*, *Boyle* und *Pascal* hatten, den Zeitgenossen die Existenz des verpönten Vakuums in überzeugender Art nachzuweisen. Allerdings war dies kein Vakuum im Sinne der heutigen Physik.“⁴¹³ Wie (unwissentlich) Recht Mach mit seiner Aussage hat, werden wir dann

⁴⁰² SZABO 1987, S. 57

⁴⁰³ So schreibt Descartes: „Alles was er von der Geschwindigkeit der Körper sagt, welche im leeren Raum fallen, ist ohne Fundament aufgebaut. Er hätte zuerst bestimmen müssen, was die Schwere ist, und wenn er davon das richtige wüsste, so würde er wissen, daß sie im leeren Raum gar nicht vorhanden ist.“ SZABO 1987, S. 57

⁴⁰⁴ SALTZER 2000, S. 37

⁴⁰⁵ SALTZER 2000, S. 37

⁴⁰⁶ DESCARTES 2005, S. 95 (II/4); vgl. SALTZER 2000, S. 43

⁴⁰⁷ vgl. SALTZER 2000, S. 45

⁴⁰⁸ DESCARTES 2005, S. 109 (II/16)

⁴⁰⁹ DESCARTES 2005, S. 103 (II/10); vgl. dazu SALTZER 2000, S. 43-44

⁴¹⁰ SALTZER 2000, S. 45

⁴¹¹ DESCARTES 2005, S. 113 (II/18)

⁴¹² Hier macht Mach eine Fußnote. Nachdem er Descartes auf Latein zitiert, bemerkt er: „Wie mußte die Welt staunen, als das kaum einem Gott zugetraute Experiment von einem einfachen geschickten Bürgermeister mit ganz entgegengesetztem Erfolg ausgeführt wurde.“ *Erkenntnis und Irrtum*, Fußnote 578

⁴¹³ Ernst Mach, *Erkenntnis und Irrtum*, im Kapitel: *Zeit und Raum physikalisch betrachtet*. (Punkt 9)

später sehen; denn selbst das Vakuum ist voller *virtueller Teilchen*, wie uns die Quantentheorie lehrt. *So gesehen wird Descartes doch eine Rehabilitation bekommen.*

Descartes schreibt außerdem: „Denken und Ausdehnung können als die grundlegenden Naturen der einsehenden und körperlichen Substanz gelten, und dürfen damit nicht anders aufgefaßt werden als die denkende Substanz und die ausgedehnte Substanz selbst, will sagen: als Geist und als Körper“⁴¹⁴. Hier ist Seiten Descartes womöglich eine gewisse Anwendung der Theory of Mind sichtbar.⁴¹⁵ Descartes versetzt sich in die Lage, des nicht denkenden Substanzes: eines Körpers; und zieht daraus Parallelen. Walter G. Saltzer bringt diese auf den Punkt⁴¹⁶:

Denkende Substanz	Ausgedehnte Substanz
<u>Ich denke, also bin ich.</u>	<u>Ich dehne aus (= „halte Dimension, realisiere eine bestimmte Quantität Raum/Materie“⁴¹⁷), also ver- bzw. beharre ich.</u>

In dieser idealen Vorstellung folgert Descartes auch sein erstes Naturgesetz, nämlich dass der Impuls stets konstant bleibt.⁴¹⁸ *Deutlich ist nun erkennbar, dass Descartes das **Gesetz der Erhaltung** vertritt.*

Doch was konkret könnte er unter Impuls und vor allem unter dessen Berechnung bei Stößen verstanden haben, da seine Gedanken weit von den realen bzw. experimentell bestimmbareren Stößen abweichen?

Szabo schreibt: „Die recht anstößigen <<Stoßregeln>> von Descartes kranken an der falschen, oder sagen wir nachsichtiger: an der nicht ganz richtigen Annahme $\sum m_j |v_j| = \text{konst.}$ “⁴¹⁹ „In der Literatur trifft man auch die Behauptung, daß DESCARTES' Erhaltungsprinzip sich auf die absoluten Beträge der Bewegungsgrößen $m_j v_j$ ($j = 1, 2, \dots$) bezieht, daß also $\sum m_j |v_j| = \text{konst}$ ist. Zur Beschäftigung dieser Ansicht werden die Stoßregeln von DESCARTES herangezogen. Daß die Deutung mit den $m_j |v_j|$ generell nicht zutrifft, es sei auf DESCARTES' *Dioptrik* hingewiesen; hier sei nur noch soviel bemerkt, daß seine Impulsregeln nicht allein an der - in *Dioptrik* nicht verwendeten - $\sum m_j |v_j| = \text{konst}$ kranken, sondern (wie schon erwähnt) auch daran, daß selbst $\sum m_j |v_j| = \text{konst}$ allein im allgemeinen nicht ausreicht, um die Geschwindigkeiten nach dem Ablauf des Stoßvorgangs zu ermitteln.“⁴²⁰ Hier richtet Szabo zurecht seinen Blick auf die Fragestellung: Wieso konnte Descartes in der Optik den Impuls in verschiedene Ausbreitungsrichtungen teilen und ihn als „Vektor“ analysieren und somit zum Gesetz von Snellius gelangen⁴²¹ aber hier in der Mechanik versagt er zur Gänze und rechnet nur mit Beträgen?

⁴¹⁴ DESCARTES 2005, S. 71

⁴¹⁵ Ganz deutlich benützt sie Descartes in der Ziffer 64 im zweiten Kapitel bzw. DESCARTES 2005, S. 71-72

⁴¹⁶ vgl. SALTZER 2000, S. 47

⁴¹⁷ SALTZER 2000, S. 47-48

Dies hat unter anderem Locke in seinem Werk *Über den menschlichen Verstand* (1960) polemisiert. Denn die „Ausdehnung schließt nicht wie der Körper Festigkeit und Widerstand gegen die Bewegung ein.“ VOLTAIRE 1997, S. 71

⁴¹⁸ Es ist erwähnenswert, dass Descartes wohl die Überlegungen, dass nämlich der Impuls bei Stoßgesetzen eine wichtige Rolle spielt, von Pater Mersenne übernommen hat. vgl. SZABO 1987, S. 62 Fußnote 22

⁴¹⁹ SZABO 1987, S. 438

⁴²⁰ SZABO 1987, S. 439

⁴²¹ vgl. dazu WEINRICH 1998, S. 16 – 21

Scheint also Descartes wirklich übersehen zu haben, dass die Bewegung nicht nur aus dem Betrag, sondern auch aus einer Richtung besteht? Liegt der Grund vielleicht darin, dass Descartes das Licht, wie Kepler, nicht als etwas Körperliches interpretiert hat?

Doch all diese (Fehl)einschätzungen von Descartes kann man insofern auch als *den Beginn der quantitativen Bestimmung der Stoßgesetze* ansehen, weil gerade diese verfehlten Regeln des großen Genies den Anstoß gaben bzw. ein großes Interesse entstehen ließen, die richtigen Regel der Stoßgesetze heraus zu finden. Szabo bestätigt dies in etwas polemischer Form: „Das Fördernde der Naturphilosophen von ARISTOTELES und DESCARTES für die Naturwissenschaft, insbesondere für die Mechanik, kann man höchstens darin erblicken, daß sie GALILEI und NEWTON zur Widerlegung ihrer Irrtümer angespornt haben!“⁴²² Doch muss man Descartes natürlich zugutehalten, dass er das Animistische, wie es noch bei Kepler vorkam, zur Gänze aus seinem Weltsystem herausnahm.⁴²³ Ironischerweise wird es Newton sein, der wieder „animistische“ Thesen **erfolgreich** in die Physik einführen wird.

Das (Gallileische) Relativitätsprinzip und die Stoßgesetze⁴²⁴

Ernst Mach schreibt: „Die erst ausführlichere Behandlung des Stoßgesetze wurde im Jahre 1668 durch die Königliche Gesellschaft zu London angeregt. Drei hervorragende Physiker, Wallis (26. November 1668), Wren (17. Dezember 1668) und Huygens (4. Januar 1669), entsprachen dem Wunsche der Gesellschaft durch Vorlage von Arbeiten, in welchen sie in voneinander unabhängiger Weise (jedoch ohne Ableitungen) die Stoßgesetze darlegten. Wallis behandelte nur den Stoß unelastischer, Wren und Huygens nur den Stoß elastischer Körper. Wren hat seine Sätze, welche im Wesen mit den Huygensschen übereinstimmen, vor der Veröffentlichung durch Versuche geprüft. Diese Versuche sind es, auf welche sich Newton bei Aufstellung seiner Prinzipien bezieht.“⁴²⁵ Der letzte Satz von Mach könnte womöglich zu Missverständnissen führen. Newton lässt sich natürlich sowohl von Wren als auch von Huygens inspieren⁴²⁶ und nennt sie auch namentlich in seinen Prinzipien⁴²⁷.

„Das ist noch nicht sehr präzise, aber man kann ahnen, worauf es Descartes ankommt: er möchte unterscheiden zwischen einer Größe, die – mit unseren Worten – dem Betrag der Geschwindigkeit oder des Impulses entspricht, und einer Größe, durch die die Richtung der Bewegung festgelegt wird. Wir werden im Folgenden noch ausgiebig Gelegenheit haben, in die Geheimnisse dieser Begriffe und Unterscheidungen einzudringen, und wollen nun sehen, wie Descartes sie bei seinen Überlegungen benutzt.“ WEINRICH 1998, S. 17

⁴²² SZABO 1987, S. 60

⁴²³ Volker Bialas: „Neben der Vorstellung von der Ebenbildlichkeit Gottes ist noch die Idee des seelischen Prinzips für Keplers Naturbegriff besonders charakteristisch. Sie wird mitunter mit dem Prädikat <<animistisch>> versehen, kann so aber zu Mißverständnissen führen.“

Keplers Idee des seelischen Prinzips ist religiösen Ursprungs; naturphilosophisch wird es als eine das Universum durchströmende und belebende Kraft gedeutet, die die natürlichen Dinge erst aufeinander einwirken läßt und so den inneren Gesamtzusammenhang der Natur konstituiert.“ BIALAS 2004, S. 102

⁴²⁴ Stattdessen könnten wir auch schreiben:

Die elastischen Stoßgesetze nach Wren und Huygens unter der Nützung der Theory of Mind.

⁴²⁵ Ernst Mach S. 316-317

⁴²⁶ vgl. SZABO 1987, S. 451

⁴²⁷ vgl. NEWTON 2004, S. 656

Newton erwähnt natürlich auch Wallis.

Doch was machen Wren und Huygens deutlich anders als Descartes? Die Antwort ist wieder dieselbe, wie in der Optik: **Sowie Fermat bedienen sich auch Wren und Huygens sehr stark der Theory of Mind.** Sie versetzen sich in verschiedene Beobachter (bzw. Bezugssysteme) und erhalten dadurch eine objektivere bzw. bessere Perspektive.

Dass man prinzipiell gewisse verschiedene *Perspektiven* bzw. *Bezugssysteme* in der Physik verwendet, um die Naturgesetze zu ordnen, geht höchstwahrscheinlich auf die Genialität Galileis zurück. In seinem *Dialog* gibt er ein sehr schönes Beispiel: „Schließt Euch in Gesellschaft eines Freundes in einen möglichst großen Raum unter dem Deck eines großen Schiffes ein. Verschafft euch dort Mücken, Schmetterlinge und ähnliches fliegendes Getier; sorgt auch für ein Gefäß mit Wasser und kleinen Fischen darin; hängt ferner oben einen kleinen Eimer auf, welcher tropfenweise Wasser in ein zweites enghalsiges darunter gestelltes Gefäß tröpfeln lässt. Beobachtet nun sorgfältig, solange das Schiff stille steht, wie die fliegenden Tierchen mit der nämlichen Geschwindigkeit nach allen Seiten des Zimmers fliegen. Man wird sehen, wie die Fische ohne irgend welchen Unterschied nach allen Richtungen schwimmen; die fallenden Tropfen werden alle in das untergestellte Gefäß fließen. Wenn Ihr Euerem Gefährten einen Gegenstand zuwerft, so braucht Ihr nicht kräftiger nach der einen als auch der anderen Richtung zu werfen, vorausgesetzt, dass es sich um gleiche Entfernungen handelt. Wenn Ihr, wie man sagt, mit gleichen Füßen einen Sprung macht, werdet Ihr nach jeder Richtung hin gleichweit gelangen. [...] Nun lasst das Schiff mit jeder beliebigen Geschwindigkeit sich bewegen: Ihr werdet – wenn nur die Bewegung gleichförmig ist und nicht hier- und dorthin schwankend – bei allen genannten Erscheinungen nicht die geringste Veränderungen eintreten sehen. Aus keiner derselben werdet Ihr entnehmen können, ob das Schiff fährt oder stille steht. Beim Springen werdet Ihr auf den Dielen die nämlichen Strecken zurücklegen wie vorher, und wiewohl das Schiff aufs schnellste sich bewegt, könnt Ihr keine größeren Sprünge nach dem Hinterteile als nach dem Vorderteile zu machen; und doch gleitet der unter Euch befindliche Boden während der Zeit, wo Ihr Euch in der Luft befindet, in entgegengesetzter Richtung zu Euerem Sprunge vorwärts. Wenn Ihr Euerem Gefährten einen Gegenstand zuwerft, so braucht Ihr nicht mit größerer Kraft zu werfen, damit er ankomme, ob nun der Freund sich im Vorderteile und Ihr Euch im Hinterteile zu fallen, obgleich das Schiff, während der Tropfen in der Luft ist, viele Spannen zurückgelegt. Die Fische im Wasser werden sich nicht mehr anstrengen müssen, um nach dem vorangehenden Teile des Gefäßes zu schwimmen als nach dem hinterher folgenden; sie werden sich vielmehr mit gleicher Leichtigkeit nach dem Futter begeben, auf welchen Punkt des Gefäßrandes man es auch legen mag. Endlich werden auch die Mücken und Schmetterlinge ihren Flug ganz ohne Unterschied nach allen Richtungen fortsetzen. Niemals wird es vorkommen, dass sie gegen die dem Hinterteil zugekehrte Wand gedrängt werden, gewissermaßen müde von der Anstrengung dem schnellfahrenden Schiffe nachfolgen zu müssen, und doch sind sie während ihres langen Aufenthaltes in der Luft von ihm getrennt. Verbrennt man ein Korn Weihrauch, so wird sich ein wenig Rauch bilden, man wird ihn in die Höhe steigen, wie eine kleine Wolke dort schweben und unterschiedslos sich nicht mehr nach der einen als nach der anderen Seite hin bewegen sehen. Die Ursache dieser Übereinstimmung aller Erscheinungen liegt darin, dass die Bewegung des Schiffes allen darin enthaltenen Dingen, auch der Luft, gemeinsam zukommt. Darum sagte ich auch, man solle sich unter Deck begeben; denn oben in der freien Luft, die den Lauf des Schiffes nicht begleitet, würden sich mehr oder weniger deutliche Unterschiede bei einigen der genannten Erscheinungen zeigen. So würde unzweifelhaft der Rauch ebensoweit zurückbleiben wie die Luft selbst. Desgleichen würden die Mücken und Schmetterlinge, von der Luft behindert, der Bewegung des Schiffes nicht folgen können, wenn sie sich von ihm um ein beträchtliches Stück entfernten; halten sie sich aber in der Nähe, so würden sie unbehindert und

ohne Anstrengung dem Schiffe nachkommen, weil es, als ein unregelmäßiges geformtes Bauwerk, die benachbarten Teile der Luft mit sich führt.“⁴²⁸

Wir können aus den Erläuterungen Galileis entnehmen, dass er sich wünscht, dass wir uns in zwei verschiedene Situationen versetzen:

(1) In einem ruhenden Schiff unter Deck und anschließend

(2) in einem sich (geradlinig) gleichförmig bewegenden bzw. unbeschleunigten Schiff (unter Deck).

Anschließend betont er, dass in diesen beiden *abgeschlossenen Bezugssystemen*⁴²⁹ – welches wir heute auch als *Inertialsysteme* bezeichnen – die Natur genau den gleichen Gesetzen folgt. Diese Theorie bezeichnet man heute als das *Galileische Relativitätsprinzip*⁴³⁰.

Dafür versetzt er sich mit Hilfe von Theory of Mind sogar in *Fische, Mücken* und *Schmetterlinge*. Statt *Inertialsystemen*, könnten wir auch Folgendes sagen:

In Bezugssystemen, wo das erste Descartessche Naturgesetz gilt, sind die Naturgesetze dieselben. Das können wir dem Galileischen Relativitätsprinzip entnehmen!

Das bedeutet:

Wenn Descartes **die Bedeutung** dieser Sätze Galileis (bzw. das Galileische Relativitätsprinzip) verstanden hätte⁴³¹, dann wäre er sicher darauf gekommen, dass sein drittes Gesetz nicht ganz stimmt. Infolgedessen hätte er nicht nur erkennen können, dass sechs seiner sieben Stoßregeln (für den elastischen Stoß) falsch sind, sondern womöglich auch, wie sie besser zu formulieren gewesen wären.

⁴²⁸ GALILEI 1891, S. 197-198

⁴²⁹ Das ist der Grund weshalb wir unter Deck gehen sollen.

⁴³⁰ Auf das Relativitätsprinzip werden wir später dann etwas näher eingehen.

⁴³¹ In dieser Arbeit gehen wir davon aus, dass Descartes, die oben erwähnte Schiffszene in Galileis *Dialog* wohl mit Sicherheit gekannt, doch ihre Tragweite entweder nicht verstanden hat, oder einfach nicht verstehen wollte. So schreibt er:

„15. Diese Stellungen der Planeten können durch verschiedene Hypothesen erklärt werden.

Jemand, der auf offenem Meer bei ruhiger See von einem Schiff her von ferne andere Schiffe beobachtet, die untereinander ihre Stellung verändern, kann stets zweifeln, welchem dieser Schiffe denn nun, oder ob nicht vielmehr seinem eigenen, die Bewegung (aus der die Veränderung der Stellungen entspringt) zugeschrieben werden muß. Ebenso erscheinen die Abweichungen der Planeten(bahnen) von der Erde aus betrachtet so, daß aus ihnen allein nicht erkannt werden kann, welchem der beteiligten Körper sie denn nun zuzuschreiben sind. [...] Zu diesem Zweck sind von den Astronomen [...] drei verschiedene Hypothesen, das heißt: Positionen eingeführt worden, die nicht als wahr, sondern lediglich als geeignet gelten, um die Phänomene zu erklären.

16. Die Hypothese des Ptolemäus über die Planetenstellungen ist unbefriedigend.

[...]

17. Die Hypothesen des Kopernikus und des Tycho unterscheiden sich nicht, insofern sie Hypothesen sind.

[...]“ usw. Descartes-Latein S. 187-189 (bzw. III/15-17)

Man kann sehen, dass Descartes, ebenfalls wie Galilei, Schiffe als Bezugssysteme in seine Beispiele einbindet. Doch in keinem dieser scheint er auf das **Relativitätsprinzip** einzugehen, sondern lediglich auf die **relative Bewegung**. vgl. dazu auch DESCARTES 2005 (II/13, 24, 31)

Dies wird dann Huygens gelingen⁴³², der außerdem die einzig richtige Regel von Descartes, nämlich die erste, wo gleich schwere Körper entgegengesetzt aufeinander prallen, mit einem Gedankenexperiment überprüft. Hier übernimmt Huygens von Galilei dreierlei bedeutende Gedanken:

- ❖ Das *Trägheitsprinzip*.
- ❖ Die Eigenschaft der *Masse* eines Körpers ist durch dessen *Gewicht* bestimmbar.
- ❖ Und das *Galileische Relativitätsprinzip* (wonach die Naturgesetze in allen Intertialsystemen gleich ablaufen.)

Aufgrund des *Galileischen Relativitätsprinzips* kann Huygens auf relative Geschwindigkeiten schließen. Dass es dabei zu einer intensiven Anwendung von *Theory of Mind* kommt, lässt sich in Huygens Beschreibungen erkennen:

„Die Bewegung der Körper, Gleichheit oder Verschiedenheit der Geschwindigkeiten muß man relativ erkennen, bezogen auf andere Körper, die man als ruhend betrachtet, wenn sie vielleicht auch wie jene sich in einer anderen, gemeinsamen Bewegung finden...

So sagen wir beispielsweise, wenn ein Insasse eines mit gleichförmiger Geschwindigkeit fahrenden Schiffes zwei gleiche Kugeln mit – auf das Schiff bezogen – gleicher Geschwindigkeit zusammenstoßen läßt, daß beide Kugeln mit gleicher Relativ-Geschwindigkeit zum Schiff zurückprallen müssen, genauso, als wenn er auf dem ruhenden Schiff oder auf dem Lande stehend dieselben Kugeln mit gleicher Geschwindigkeit zusammenstoßen ließe.“⁴³³ (Siehe dazu die wunderschöne Abbildung 12 aus Huygens *Tractatus de Motu corporum ex percussione* (1703))⁴³⁴

⁴³² Feynman schreibt: „Das Relativitätsprinzip wird in der Mechanik seit langer Zeit verwendet. Es wurde durch verschiedene Leute angewandt, besonders aber durch Huygens, um die Regel für den Stoß von Billardkugeln zu finden – auf ganz ähnliche Weise, wie wir es in Kapitel 10 zur Diskussion der Impulserhaltung angewandt haben.“ FEYNMAN (I) 2007, S. 210

⁴³³ SZABO 1987, S. 449

⁴³⁴ vgl. SZABO 1987, S. 450

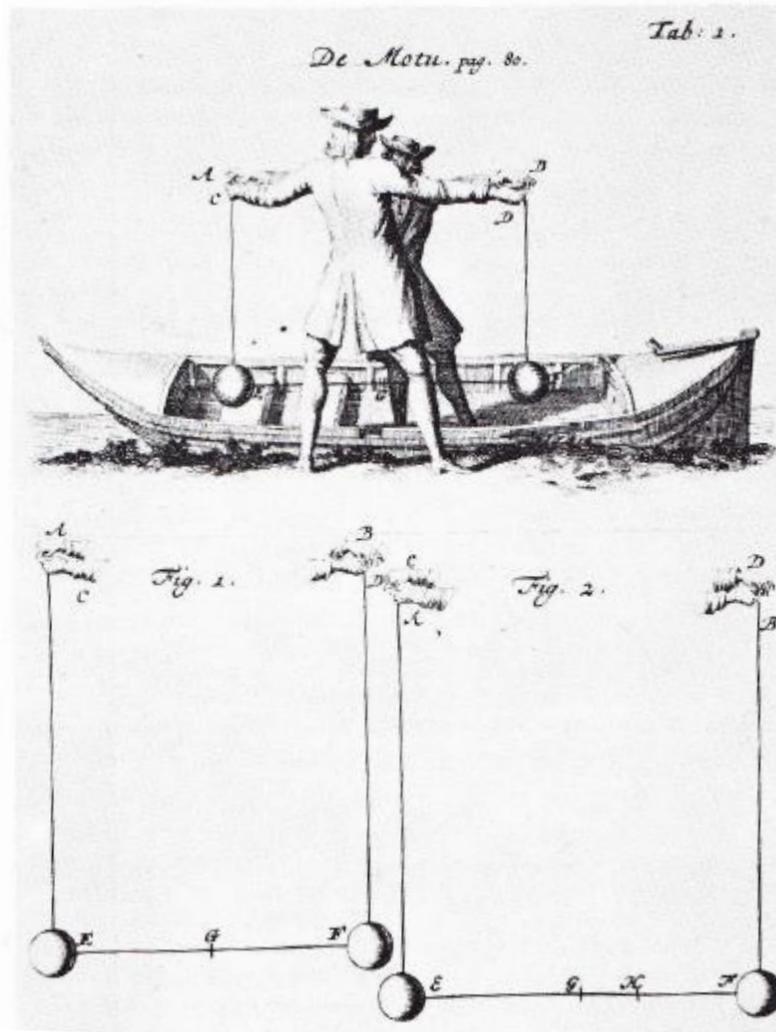


Abbildung 12, Quelle: SZABO 1987, S. 450

Doch sind die Theorien von Huygens nicht nur stark von Galilei beeinflusst, sondern auch von Descartes.⁴³⁵ Somit bringt Huygens einen wissenschaftlichen Zugang, welcher von beiden großen Vorgängern am besten profitiert. Deshalb lautet seine erste Regel, dass der Impuls erhalten bleibt. Und zwar nicht so wie es Descartes es verstanden hat, sondern dass der *Gesamtimpuls konstant* ist. Da die Kugeln an Seilen hängen und sich nach dem Stoß nicht mehr geradlinig weiterbewegen können, werden sie verständlicherweise nach oben schwingen. Damit sie das können, bedürfen sie einer *lebendigen Kraft* – wie sie auch Galilei benützte –, die wir heute als *Kinetische Energie* bezeichnen. Und diese bleibt, so erkennt Huygens vollkommen richtig, bei elastischen Stößen vollständig erhalten und er kann sie in seiner sechsten Regel⁴³⁶ auch quantitativ wiedergeben. So

⁴³⁵ So besitzt beispielsweise Huygens dritte Stoßregel „keine prinzipielle Bedeutung, und es ist sehr wohl denkbar, daß sie ein Seitenhieb auf die schon angeführte vierte Stoßregel von DESCARTES sein sollte.“ SZABO 1987, S. 447

Doch andererseits ist es sichtbar, dass Huygens sein Augenmerk auch, wie Descartes (und Galilei), auf die Erhaltungssätze richtet.

⁴³⁶ vgl. Szabo, S. 447

besitzt die Kugel, wenn sie wieder nach unten pendelt, natürlich wieder diese *lebendige Kraft*.⁴³⁷ (Heutzutage würden wir sagen, wenn der Pendelkörper an Höhe gewinnt, so wandelt sich seine kinetische Energie in potentielle Energie um. Wenn er dann die maximale Höhe erreicht hat – die gesamte kinetische Energie also umgewandelt wurde – so wandelt die Kugel ihre potentielle Energie beim Hinunterschwingen in kinetische Energie um. Eine genauere Auseinandersetzung mit dem sehr wichtigen physikalischen Begriff „Energie“ ist im **Anhang IV** zu finden.) Außerdem bemerkt Huygens „er habe ein wunderbares Naturgesetz bemerkt, [...] nämlich daß sich der gemeinsame Schwerpunkt zweier oder mehrerer Körper vor und nach dem Stoß auf einer Geraden mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortbewege.“⁴³⁸ Das Schwerpunktsystem ist genauer jenes Bezugssystem bzw. Inertialsystem, welches uns erlaubt die elastischen Stöße, sehr elegant nachzuvollziehen.⁴³⁹

Die Zusammenfassung der Erhaltungssätze nach Huygens bei elastischen Stößen:

Der Impulserhaltungssatz, Schwerpunkterhaltungssatz, kinetischer Energieerhaltungssatz

Wir fassen nun die Erhaltungssätze nach Huygens zusammen:

1. Der Impulserhaltungssatz⁴⁴⁰: $m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = \sum_i m_i \cdot \vec{v}_i = konst.$
2. Der Schwerpunkterhaltungssatz⁴⁴¹:

$$m_{Gesamtmasse} \cdot \vec{v}_{Schwerpunkt} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = \sum_i m_i \cdot \vec{v}_i = konst.$$

Theory of Mind: Hier versetzt sich Huygens von einem „relativ ruhenden“ Beobachter in einen sich mit dem Schwerpunkt mit bewegendem Beobachter. (In der Physik bezeichnet man das auch als einen Wechsel vom „Laborsystem“ in ein „Schwerpunktsystem“.)

3. Die, nur bei elastischen Stößen erhalten bleibende, kinetische Energie (bzw. Erhaltung der lebendigen Kraft):

$$\frac{m_1^2 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2^2 \cdot v_2^2}{2} = \frac{m_1'^2 \cdot v_1'^2}{2} + \frac{m_2'^2 \cdot v_2'^2}{2} \quad | \cdot 2$$

$$m_1^2 \cdot v_1^2 + m_2^2 \cdot v_2^2 = m_1'^2 \cdot v_1'^2 + m_2'^2 \cdot v_2'^2$$

Theory of Mind: Huygens versetzt sich von einem Stoßgesetzbeobachter in einen Pendelschwingungsbeobachter.

⁴³⁷ Diese Gedanken sind auch schon bei Galilei zu finden. vgl. GALILEI 1891 S. 24 (und Fußnote 27)

⁴³⁸ SZABO 1987, S. 447

⁴³⁹ Es sind natürlich unendlich viele mögliche Inertialsysteme vorstellbar, die sich geradlinig und gleichförmig bewegen. Intuitiv würde man höchstwahrscheinlich genau eines jener Bezugssysteme der rollenden Kugeln nehmen. Doch Huygens geht einen Schritt weiter und benützt jenes völlig abstrakte Bezugssystem bzw. Inertialsystem – mit Hilfe von *Theory of Mind* – in welchem nur ganz kurz der Zusammenstoß beider Kugeln erfolgen wird.

⁴⁴⁰ Auf welche auch Wallis und Wren bereits hinwiesen.

⁴⁴¹ Diesen macht sich Wren bei seinen Berechnungen zunutze. vgl. SZABO 1987, S. 445

Wir konnten hoffentlich zur Genüge zeigen, dass Huygens (wie bereits Galilei und Descartes) das **Gesetz der Erhaltung** vertritt. Im **Anhang V** finden Sie eine genauere Untersuchung, weshalb man Descartes falsche Stoßregeln tatsächlich auf das Fehlen von *Theory of Mind* zurückführen kann. Zum Schluss möchten wir das Wort an Ernst Mach übergeben, der für uns sehr treffend zusammenfasst: „Galilei hatte durch Beobachtung irdischer Bewegungen seine dynamischen Gesetze gefunden. Als Hauptvertreter des *Kopernikanischen* Systems hatte er vielfach Gelegenheit, die gegen dieses System vorgebrachten Einwendungen unter den Gesichtspunkten seiner Dynamik zu erörtern. Hierbei ergab sich nun, wie von selbst und unvermerkt, der Versuch, diese Dynamik, anstatt auf die Erde, auf den als festliegend gedachten *Fixsternenhimmel* zu beziehen. So fand er z.B. seine Theorie der Gezeiten als vermeintliche Stütze des *Kopernikanischen* Systems, die er nur für richtig hielt, weil ihm noch die Möglichkeit fehlte, deren Mängel zu erkennen. Newtons Ausbau der Mechanik des Himmels auf *Galileischen* und *Huygensschen* Grundlagen machten das neue *Bezugssystem*, welches sich auch bewährte, geradezu unentbehrlich.“⁴⁴²

Natürlich können wir ebenso die Natur mit den **Gesetzen der Extremalen** bzw. **Ökonomie** beschreiben, die auch in allen *Bezugssystemen* dieselben wären.

⁴⁴² MACH 1917, S. 440 (Im Kapitel: **Zeit und Raum physikalisch betrachtet.**)

Die Stoßgesetze und das Prinzip der kleinsten Wirkung bzw. „Principe général“⁴⁴³

Stefan Hildebrandt und Anthony Tromba schreiben in ihrem Buch *Kugel, Kreis und Seifenblasen* (1996): „Von jeher haben Menschen versucht, die Erscheinungen unserer physikalischen Welt in Gesetze zu fassen. Aber bis zum 18. Jahrhundert hatte niemand ein allgemeines Grundgesetz aufgestellt, das den Anspruch erhob, alle physikalischen Phänomene zu beschreiben. Erst im Jahre 1744 formulierte der französische Wissenschaftler Pierre-Louis Moreau de Maupertuis seinen allumfassenden Weltenplan, der als *Prinzip der kleinsten Wirkung* bekannt wurde. In ausgearbeiteter und erweiterter Form veröffentlichte Maupertuis 1746 seine Ideen unter dem Titel *Die Gesetze von Bewegung und Ruhe, hergeleitet aus einem metaphysischen Prinzip*.“⁴⁴⁴

Sowohl die Optik als auch die Stoßgesetze konnte Maupertuis somit mit seinem *Prinzip der kleinsten Wirkung* erklären. Zu dieser Zeit waren die Stoßgesetze selbstverständlich schon bekannt. Auch der Versuch sich in die Natur hineinzusetzen wurde bereits glanzvoll von Fermat umbesetzt. Wie wir schon im Kapitel zur Optik lesen konnten, glaubt Maupertuis „die Natur verfähre stets mit größtmöglicher Sparsamkeit“⁴⁴⁵ und zwar so, dass die Menge der Wirkung ein Minimum ergibt.

Deshalb schreibt er: „Wenn eine Veränderung in der Natur vorgeht, so ist die Menge der Wirkung, welche zu dieser Veränderung nötig ist, so klein als möglich.“⁴⁴⁶ (Das Wort Wirkung ist bei der Übersetzung womöglich gar nicht glücklich gewählt. Maupertuis benützt das Wort *action*, welche wir besser als Aktionsmenge oder Aufwand der Handlung übersetzen könnten.⁴⁴⁷) Am besten können wir den Begriff *Wirkung* vielleicht an einem netten Beispiel verstehen:

Stellen wir uns vor, dass wir ganz langsam im Wald spazieren gehen. Dabei stoppen wir die Zeit und erkennen, dass wir für eine Wegstrecke von zwei Kilometern genau zwei Stunden gebraucht haben. Würden wir dieselbe Strecke beim nächsten Mal nur in einer Stunde zurücklegen, dann wäre unsere Wirkung doppelt so groß.⁴⁴⁸ Dabei nehmen wir stillschweigend an, dass unsere Masse – diese setzt sich zusammen aus unserem Körper, Kleidung, Rucksack usw. – bei beiden Ausflügen dieselbe ist. Wir erkennen daher, dass wir die Wirkung angeben können als ein Produkt von Masse, Geschwindigkeit und (zurückgelegtem) Weg⁴⁴⁹:

$$\text{Menge der Wirkung} = \text{Masse} \cdot \text{Geschwindigkeit} \cdot \text{Weg}$$

bzw.

$\text{Menge der Wirkung} = m \cdot v \cdot s$
--

Die Forderung nach einer Optimierung in Maupertuis Theorie können wir in Form eines Integrals wiedergeben:

⁴⁴³ So wird es von Maupertuis selbst bezeichnet. vgl. SZABO 1987, S. 93

⁴⁴⁴ HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 31

In dieser Arbeit beschäftigt sich Maupertuis sowohl mit elastischen als auch mit unelastischen Stößen. Außerdem geht er auf die Gleichgewichtsbedingung beim Hebel ein. vgl. SZABO 1987, S. 93

⁴⁴⁵ HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 31

⁴⁴⁶ zitiert nach BORZESZKOWSKI 1998, S. 29

⁴⁴⁷ vgl. HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 31

⁴⁴⁸ Ein ähnliches Beispiel können die Leser auch auf HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 32 finden.

⁴⁴⁹ vgl. BORZESZKOWSKI 1998, S. 29

$$S = \int m \cdot v \cdot ds = \text{Minimum}$$

Vergleichen wir die *Erhaltungsgröße* ($p = m \cdot v$) von **Descartes** mit der Menge der Wirkung, dann erkennen wir, dass einfach die Dimension „Weg“ dazu kommt (und natürlich das Denken einer Optimierung!). Und wenn man die Menge der Wirkung mit der Erhaltungsgröße von **Huygens** vergleicht, welche wir heutzutage als die *kinetische Energie* bezeichnen, kommt noch die Dimension „Zeit“ hinzu⁴⁵⁰:

Descartessche Erhaltungsgröße:	$p = m \cdot v$ (Impuls)
Huygenssche (bzw. Leibnizsche) Erhaltungsgröße:	$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot v$ (kinetische Energie)
Maupertuissche Wirkung:	$m \cdot v \cdot s = (m \cdot v \cdot v \cdot t) = m \cdot v^2 \cdot t$

Wir können deswegen die *Menge der Wirkung* verschieden ausdrücken:

$$\text{Menge der Wirkung} = \text{Impuls} \cdot \text{Weg}$$

oder

$$\text{Menge der Wirkung} = \text{Energie} \cdot \text{Zeit}$$

Wir sind somit zu einer *quantitativen Definition der Wirkung* gelangt und können dadurch die Naturgesetze mathematisch formulieren.⁴⁵¹ Dieses tiefe Verständnis für den Begriff der *Wirkung* scheint aber bereits Leibniz (vor Maupertuis) zu haben. Auch geht er nicht nur von einem Minimum aus, sondern allgemein von Extremalen⁴⁵², wie er in einem Brief (1708) an Jakob Hermann erklärt: „Die Aktion ist nicht das, was Sie denken, die Berücksichtigung der Zeit ist hier unumgänglich; sie ist wie das Produkt aus Masse, Strecke und Geschwindigkeit oder aus Zeit und lebendiger Kraft. Ich habe bemerkt, daß sie in den Bewegungsänderungen ständig zum Maximum oder zum Minimum wird. Man kann daraus mehrere Verhältnisse von großer Bedeutung ableiten; sie könnten dazu dienen, die Kurven zu bestimmen, die Körper beschreiben, die zu einem oder mehreren Zentren hingezogen werden. Ich wollte diese Dinge unter anderen im zweiten Teil meiner Dynamik behandeln, den ich

⁴⁵⁰ vgl. BORZESZKOWSKI 1998, S. 29 und vgl. HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 32

⁴⁵¹ vgl. HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 32

⁴⁵² Allgemein kann man am Maupertuisschem *Prinzip der kleinsten Wirkung* zwei Punkte kritisieren:

1. „Anders als zunächst angenommen, besagen Wirkungsprinzipien nicht, daß die Wirkung ein Minimum ist, sondern nur, daß die Variation der Wirkung verschwindet, daß also die notwendige Bedingung für das Auftreten eines Extremums erfüllt ist. Es kann auch ein Maximum oder weder das eine noch das andere sein. (Darauf hatte schon Langrange hingewiesen.) Damit verliert die Formulierung vom niedrigsten Aufwand der Natur ihren Sinn.“ BORZESZKOWSKI 1998, S. 24
2. „Die Integralprinzipien sind nur eine andere mathematische Form der dynamischen Gleichungen, die durch Differentialgleichungen gegeben sind.“ BORZESZKOWSKI 1998, S. 24

unterdrückt habe; denn die schlechte Aufnahme, die eine vorgefaßte Meinung dem ersten Teil zuteil werden ließ, hat mir die Lust verdorben.“⁴⁵³

Diese Zeilen, auf welche Johann Samuel Koenig (1712-1757) aufmerksam macht, erzürnt verständlicherweise Maupertuis, der die Entdeckung des Wirkungsprinzips für sich beansprucht. Nicht selten kam es in der Geschichte der Wissenschaften zu Unstimmigkeiten, wem die Priorität einer neuen Entdeckung gebührt. Und beinahe in allen Fällen führten diese Unstimmigkeiten zu einem Prioritätsstreit, wie auch in diesem Falle. Dabei hielt der große Leonhard Euler zu Maupertuis und Voltaire zu Koenig.⁴⁵⁴ Leider konnte der Originalbrief von Leibniz nie gefunden werden, weshalb auch wir in dieser Arbeit kein vorschnelles Urteil treffen möchten.⁴⁵⁵ (Doch etwas wollen wir nicht unerwähnt lassen: Leibniz schrieb anscheinend aber über die *Wirkung* auch einen Brief an Johann Bernoulli im März 1696.⁴⁵⁶ So gesehen würde Leibniz Maupertuis eigentlich etwa ein halbes Jahrhundert zuvorkommen.)

Außerdem haben wir zum Teil zeigen können, dass der **Optimierungsgedanke** bereits bei **Spinoza** aber auch bei **Fermat** vorhanden waren (, wenn nicht sogar schon bei Kepler, Galilei usw.).

Zum Schluss möchten wir noch auf etwas hinweisen. Wir konnten in diesem Kapitel sehen, dass die Descartessche Erhaltungsgröße, die Huygenssche Erhaltungsgröße und Maupertuissche Wirkung wohl auf irgendeine Art zusammenhängen. Doch auf welche? Einen guten Zugang findet man, wenn man den Begriff der Kraft optimal definiert. Descartes glaubte, dass seine Erhaltungsgröße auch (in)direkt als Kraft betrachtbar sei.⁴⁵⁷ Leibniz übernahm dafür die Huygenssche Erhaltungsgröße und meinte, dass dies besser für den Begriff der Kraft geeignet sei. Doch der moderne Kraftbegriff orientiert sich eher am Newtonschen Kraftbegriff und gerade damit, wollen wir uns im übernächsten Kapitel auseinandersetzen. Vorher setzen wir uns aber noch mit dem Weltbild Descartes auseinander und inwiefern auch hier Maupertuis eine bedeutende Rolle spielte.

⁴⁵³ SZABO 1987, S. 97

⁴⁵⁴ SZABO 1987, S. 98-99

⁴⁵⁵ vgl. dazu aber auch SZABO 1987, S. 98, Fußnote 76

⁴⁵⁶ vgl. HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 32 Fußnote 2

⁴⁵⁷ Die Definition der Kraft ist bei Descartes ist nicht so klar verständlich. Teilweise wird es auch deswegen kompliziert, weil er die Kohäsionskräfte mit Bewegungszuständen der Körper(teile) zu erklären versucht. vgl. STAMMEL 1982, S. 321 und DESCARTES 2005, S. 157 (II/54)

Eine Definition findet man bei Descartes beispielsweise auf DESCARTES 2005, S. 147 (II/43). Wir wollen hier jedoch zur Abwechslung Spinoza zitieren, welcher ja gerade versucht Descartes Gedanken zu erklären: „Man bemerke, daß ich hier unter Kraft in den bewegten Körpern die Menge der Bewegung verstehe, welche Menge in gleich großen Körpern mit der Geschwindigkeit der Bewegung wachsen muß, insofern, als durch diese Geschwindigkeit gleich große Körper sich von den sie unmittelbar berührenden Körpern in gleicher Zeit mehr trennen, als wenn sie sich langsamer bewegten, und deshalb (nach Def. VIII) haben sie auch mehr Bewegung. Dagegen verstehe ich bei ruhenden Körpern unter der Kraft des Widerstandes die Menge der Ruhe.“ SPINOZA, 1987, S. 81-83

Dass der Impuls ($= m \cdot v$) in etwa als Kraft zu verstehen sei, ist auch bei Galilei zu finden. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 228 und Fußnote 87)

Die Prinzipien der Kosmologie von Descartes

Karl Rothschuh erläutert: „In manchen Einzelheiten seiner Annahmen war Descartes ein wissenschaftlicher Märchenerzähler, aber im Gesamtkomplex visionärer Systemschöpfer.“⁴⁵⁸ Dabei denkt Rothschuh an Descartes Theorie der Physiologie; doch diese sehr zutreffende Aussage würde wahrscheinlich ebenso gut zu Descartes Kosmologie passen. Doch viele der Gedanken und der theoretische Aufbau Descartes scheinen nicht ganz neu zu sein. Ironischerweise gibt es beispielsweise viele Parallelen zwischen dem nicht-Atomisten Descartes und den Atomisten Leukipp und Demokrit. Deren Philosophie beschreibt Manfred Stöckler folgendermaßen: „Die Atome haben keine innere Struktur, und es gibt keine von der Materie verschiedenen Kräfte, welche die Bewegung hervorrufen [...]. Einfluss auf die Bewegung haben nur andere Atome (durch Druck und Stoß): So wird ein mechanistisches Programm für Erklärungen physikalischer, biologischer und auch psychologischer Phänomene nahegelegt. Leukipp und Demokrit vertreten eine Kosmogonie, in der die unentstandenen und unvergänglichen Atome sich gegebenenfalls in großen Wirbeln zusammenballen. Aus einem solchen Wirbel sei auch die Erde entstanden oder in anderen Fällen andere Welten (Kosmoi), die sich dann auch wieder auflösten. Unsere Welt ist nicht geplant, sondern durch Zufall⁴⁵⁹ entstanden, eine Auffassung, die gut zu dem naturalistischen Grundzug des Atomiums passt.“⁴⁶⁰

Dass Descartes versucht die Physik, Biologie und auch psychologische Phänomene mechanisch zu begreifen, ist uns nicht entgangen. So überrascht es nicht, dass er auch seine Kosmologie mit Wirbeln (und Zufällen) erklärt.

Nicht nur Descartes Bewegungslehre, sondern auch seine Kosmologie stellt eine deutliche Absage an die aristotelischen Vorstellungen dar.⁴⁶¹ (Dabei scheint er Kepler und Galilei zu folgen.) Um die großen Probleme der Astronomie zu lösen, bedient sich Descartes der Wirbeltheorie. Diese Theorie steht natürlich in engem Zusammenhang mit seinem 1. Naturgesetz: Nämlich, durch den Erhaltungssatz von Impuls und Drehimpuls den gesamten (Aufbau und) Ablauf der Welt zu erklären.

Mit ihr versucht er unter anderem dreierlei Phänomene zu verstehen:

1. Planetenbewegung⁴⁶²
2. Erdanziehung⁴⁶³
3. Ebbe und Flut⁴⁶⁴

⁴⁵⁸ DESCARTES 1969, S. 191

⁴⁵⁹ Hier wird folgende Fußnote gemacht: „Zufall in einem speziellen, sogar mit Notwendigkeit vereinbaren Sinn, [...]“ STÖCKLER 2013, S. 141, Fußnote 4

⁴⁶⁰ STÖCKLER 2013, S. 140-141

⁴⁶¹ vgl. dazu auch DESCARTES 1969, S. 72, Fußnote 1

James Gleick schreibt, man könne die wissenschaftliche Revolution mit einem „Staffellauf“ vergleichen, „ausgeführt von einem Team von Heroen, die den Stab untereinander weitergeben: *Copernicus an Kepler, Kepler an Galilei, Galilei an Newton*. Oder man versteht darunter die Überwindung und Zertrümmerung der Aristotelischen Kosmologie: eines Weltbildes, das unter den Angriffen Galileis und Descartes ins Wanken geraten war und schließlich im Jahre 1687, als Newton seine >>Principia mathematica<< veröffentlichte, in sich zusammenbrach.“ GLEICK 2004, S. 54-55

⁴⁶² vgl. DESCARTES 2005, S. 203 (III/30)

⁴⁶³ vgl. DESCARTES 2005, S. 405, 407 (IV/20, 21) usw.

⁴⁶⁴ vgl. DESCARTES 2005, S. 443, 445 (IIII/49, 50)

All diese Themen werden auch bereits von Galilei behandelt. Zum letzten Punkt heißt es im **Dialog**: „Seien wir, bitte, eingedenk, dass die Frage nach dem Bau des Weltalls zu den größten und vornehmsten Problemen der

Wir wollen nicht allzu ausschweifend in die Wirbeltheorie Descartes eingehen und begnügen uns stattdessen mit einer kurzen Kostprobe seiner Erläuterungen: „Nachdem so nun alle Besorgnis hinsichtlich der Bewegung der Erde beseitigt ist, wollen wir annehmen, die gesamte Materie des Himmels, in der sich die Planeten aufhalten, kreise beständig gewissermaßen in der Weise eines Wirbels, in dessen Mittelpunkt sich die Sonne befindet, und zwar so, daß sich die der Sonne benachbarten Bereiche schneller bewegen als die entfernteren, und alle Planeten (zu denen die Erde zu zählen ist) sich immer inmitten derselben Teile dieser Himmelsmaterie aufhalten. Allein daraus, ohne irgendeine (Himmelsmechanik-)Maschinerie, können alle Stellungen der Planeten äußerst leicht einsichtig gemacht werden.“⁴⁶⁵ Dabei ist das Wirbel verursachende Phänomen für Descartes vergleichbar mit einem Fluss,⁴⁶⁶ da dieser Wirbel auch aus Materie besteht.⁴⁶⁷ Bei seiner (zumeist logisch konsequenten aber dennoch) offensichtlich erdichteten Astrophysik, wo jegliche experimentelle Begründung fehlt⁴⁶⁸, sind jedoch indirekt noch zwei Hypothesen versteckt, welche eine Überprüfung der Theorie zulassen:

1. Die Erde hat eine Zuspitzung an den Polen und eine Abplattung am Äquator.⁴⁶⁹
2. Und sie hat eine evolutionäre⁴⁷⁰ Entwicklungsgeschichte.

Naturwissenschaften zählt, umsomehr als sie zur Lösung eines anderen führt, nämlich zur Erklärung von Ebbe und Flut, die seither von allen großen Männern versucht und vielleicht von keinem gefunden worden ist.“ GALILEI 1891, S. 223

Er sah in Ebbe und Flut als einen derart großen Beleg für das kopernikanische System, dass er diese sogar anfänglich in den Titel seines Werkes einbauen wollte. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 531 Fußnote 83)

⁴⁶⁵ DESCARTES 2005, S. 203 (III/30)

⁴⁶⁶ vgl. DESCARTES 2005, S. 203, 205 (III/30, 33)

⁴⁶⁷ Genau genommen besteht die sichtbare Welt aus 3 Elementen, die sich, wie sollte es anders sein, besonders auf Grund ihrer Form voneinander unterscheiden:

1. Feine (unbegrenzt kleine) Materie: Aus ihr bestehen die Sonnen und die Fixsterne.
2. Kleine (aber noch teilbare) Kügelchen: Das ist der Stoff für den Wirbel.
3. Grobe Stücke: Aus ihr entstehen die Planeten und die Kometen.

vgl. DESCARTES 2005, S. 229, 230 (III/52) und SZABO 1987, S. 56

(Hier sollte vollständigkeitshalber noch erwähnt werden, dass zum Beispiel bei der Entstehung der Erdkugel natürlich alle drei Elemente mitgewirkt haben. vgl. dazu DESCARTES 2005, S. 389 ff. (IV/3))

Im Gegensatz zu Descartes sind es bei Leukipp und Demokrit „runde, eckige und häkchenförmige Atome“. STÖCKLER 2013, S. 140

⁴⁶⁸ So wie der Großteil der physikalischen Annahmen beruht auch das Weltsystem von Descartes selten auf experimentellen Beweisen, sondern mehr auf reiner Spekulation. So soll bereits Boerhaave gesagt haben: „Wenn Sie von der Geometrie *Descartes'* zu seiner Physik übergehen, werden Sie kaum glauben, daß es sich um die Werke ein und desselben Menschen handelt. Sie werden entsetzt sein, daß ein so großer Mathematiker in eine solche Vielzahl von Irrtümern verfallen konnte. Sie werden *Descartes* in *Descartes* suchen. Sie werden ihm alles das vorwerfen, was er den Peripatetikern vorgeworfen hat, nämlich daß nichts durch seinen Ursprung erklärt werden kann“. VOLTAIRE 1997, S. 218

⁴⁶⁹ Leider fehlen die Quellenangaben in den verwendeten Lektüren, an welcher Stelle (und in welchem seiner Werke) Descartes diese Hypothese vertreten hat. Man schreibt die Hypothese sogar meist allgemeiner den „Cartesianern“ zu. (Wir wollen es an dieser Stelle daher offen stehen lassen, wo und ob in der *Principia* Descartes diese Hypothese unmissverständlich vertritt.) Ziemlich sicher können wir jedoch davon ausgehen, dass Descartes an einer Zuspitzung am Äquator, wie es Newton später tat, nicht dachte. Er hätte es wohl sonst unter anderem in der Ziffer 44 (III) „*Wie daraufhin auf der Oberfläche der Erde Berge, Ebenen, Meere und das übrige entstanden sind.*“ erwähnt.

⁴⁷⁰ Schon in seiner Schrift *Discours* (1637) steht: „die Natur ist leichter zu begreifen, wenn man sie allmählich entstehen sieht, als wenn man sie als fertiges Werk betrachtet.“ zitiert nach DESCARTES 1969, S. 163, Fußnote 1. Dort in der Fußnote ist ebenfalls zu finden, dass Descartes die Entstehung des Kosmos auch in seinem Werk *Monde* beschreibt.

Wir werden dann später sehen, dass besonders die erste Hypothese nicht von der Newtonschen Theorie akzeptiert werden kann. Ähnlich wie bei seiner Theorie des Blutkreislaufes, wird die Zukunft also zeigen, dass er auch hier gegen einen englischen Naturwissenschaftler eine Niederlage einstecken wird. Der experimentelle Befund, dass hier Newton Recht hatte, wird interessanterweise (unter anderem) von Maupertuis geliefert werden. Voltaire, mit dem er in Streit liegt, bemerkt dazu in seiner Schrift **Verteidigung des Newtonianismus** (1739): „Diese Wahrheiten drangen trotz der beherrschenden Vorliebe hier zunächst von einem großen Mathematiker vorgelegt⁴⁷¹, der seitdem durch seine unterhalb des Polarkreises vorgenommenen Messungen die Figur, die *Newton* und *Huygens* der Erde zugeordnet hatten, anerkannt und bestimmt hat.“⁴⁷² Dass Maupertuis selbst über seinen eigenen Erfolg sehr stolz war, kann man in der Abbildung 13 klar erkennen.⁴⁷³



Abbildung 13: Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) in seinem Polarkostüm und mit der Hand auf dem Globus.⁴⁷⁴

Die Kritik an der Kosmologie von Descartes

Der bedeutendster Kritiker der Wirbeltheorie Descartes' wird Newton sein. James Gleick schreibt: „Zwischenzeitlich hielt Newton inne, um der Cartesianischen Kosmologie mit ihren Wirbeln den Garaus zu machen. Mit seinen eigenen >>Philosophischen Prinzipien<< war Descartes Newtons wichtigster Vorläufer gewesen; ihm verdankte er das grundlegende Prinzip der Trägheit. Doch keinen anderen wollte er nun so endgültig begraben wie gerade Descartes. Newton verbannte die Wirbel, indem er sie ernst nahm: er widerlegte sie mit Hilfe der Mathematik. Er ersann Methoden, um die Rotation von Körpern in einem flüssigen Medium zu berechnen; unermüdlich und einfallsreich stellte er Berechnungen an, bis er bewiesen hatte, daß solche Wirbel nicht von Dauer sein konnten. Die Bewegung ginge verloren, die Rotation würde aufhören. Die beobachteten Umlaufbahnen von Mars

⁴⁷¹ Hier fügt Voltaire noch eine Fußnote hinzu: „M. de *Maupertuis*. Ihm ist es gelungen zu erreichen, daß sich die Öffentlichkeit nur mit ihm beschäftigte und seine Reisegefährten vergaß.“ VOLTAIRE 1997, S. 215 Fußnote 1.

In seinem Buch *Elemente der Philosophie Newtons* (1741) wird beispielsweise Maupertuis in diesem Zusammenhang erst gar nicht erwähnt. vgl. dazu VOLTAIRE 1997, S. 200

⁴⁷² VOLTAIRE 1997, S. 215

⁴⁷³ vgl. HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 41-42

⁴⁷⁴ Die Quelle für das Bild: HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 30

und Venus ließen sich nicht mit der Erdbewegung in Einklang bringen. >>Die Wirbelhypothese...<<, so folgerte er daraus, >>dient weniger zur Erklärung der Himmelsbewegungen als vielmehr zu ihrer Verschleierung.<<⁴⁷⁵

Voltaire widmet in seinem Lehrbuch *Elemente der Philosophie Newtons* (1741) der Kritik an Descartes Wirbeltheorie (und dem vollen Raum) ein ganzes Kapitel.⁴⁷⁶ Dort zählt er zehn „Beweise“⁴⁷⁷ auf, die gegen diese Theorie sprechen würden. Wir wollen diese „Beweise“ nicht zitieren. Doch die *Essenz der Kritik* wollen wir in Form von Fragen wiedergeben:

1. Wirbel, sowie wie sie in der Luft oder auch im Wasser entstehen, haben keinen „Mittelpunkt“. Sie haben eher eine zylinderförmige Achse, um die sie sich drehen. (Tornados sind ein gutes Beispiel.) Ist das vereinbar mit der Form der Erde und dem Fallen von Körpern (- ohne die Benützung des Begriffs Gravitation-) in Richtung des Erdmittelpunkts?⁴⁷⁸
2. Würden diese Wirbel die geradlinige Ausbreitung des Lichts nicht stören?⁴⁷⁹
3. Wenn die Wirbeln die Bahnen der Planeten usw. bestimmen, wie kann es dann sein, dass Kometen aus verschiedenen Richtungen kommend, gesehen werden können?⁴⁸⁰
4. Wie kann dieses Medium, welches die Planeten tragen kann, so wenig Reibung besitzen, so dass die Planeten ihren Impuls nicht verlieren?⁴⁸¹
5. Weshalb bewegen sich die Planeten auf Ellipsenbahnen, wenn doch ein Kreis besser für eine Wirbelbewegung wäre?⁴⁸²

Und zu guter Schluss⁴⁸³:

6. Wir kennen die drei Kepler'schen Gesetze:

<ol style="list-style-type: none">1. „Die Umlaufbahn aller Planeten haben die Form einer Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.“⁴⁸⁴ (Siehe dazu die Abbildung 14⁴⁸⁵.)
--

⁴⁷⁵ GLEICK 2004, S. 141

⁴⁷⁶ KAPITEL II: „Daß die Wirbel Descartes' und der volle Raum unmöglich sind und daß es demzufolge eine andere Ursache für die Schwerkraft gibt.“ VOLTAIRE 1997, S. 175
Newton hat natürlich einige Anhänger, welche die Wirbeltheorie kritisieren. Zum Beispiel Roger Cotes. vgl. dazu HEUSER 2005, S. 152-153

⁴⁷⁷ Als Untertitel ist zu lesen: „Beweise für die Unmöglichkeit der Wirbel. Beweise gegen den vollen Raum.“ VOLTAIRE S. 175

⁴⁷⁸ vgl. dazu Beweis I und II und III. VOLTAIRE 1997, S. 175

⁴⁷⁹ vgl. dazu Beweis IV VOLTAIRE 1997, S. 175

⁴⁸⁰ vgl. dazu Beweis V VOLTAIRE 1997, S. 175

⁴⁸¹ vgl. dazu Beweis VI VOLTAIRE 1997, S. 176

⁴⁸² vgl. dazu Beweis VII VOLTAIRE 1997, S. 176

⁴⁸³ vgl. dazu Beweis IX VOLTAIRE 1997, S. 176

⁴⁸⁴ TIPLER/MOSCA 2009, S. 426

⁴⁸⁵ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 427

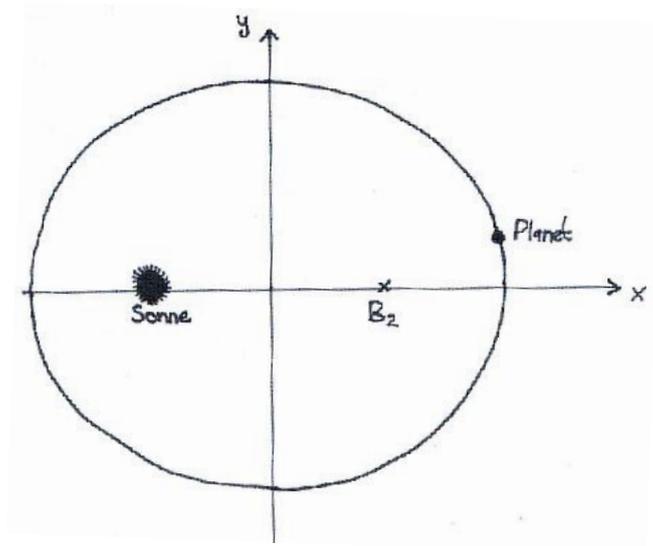


Abbildung 14

2. „Die Verbindungslinie von der Sonne zu einem Planeten überstreicht in gleichen Zeitintervallen gleiche Flächen.“⁴⁸⁶

In Form einer mathematischen Aussage ausgedrückt⁴⁸⁷:

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{1}{2} \vec{r} \times \vec{v} \cdot dt = \frac{1}{2 \cdot m} \vec{r} \times m \cdot \vec{v} \cdot dt \quad | \quad \vec{L} = (\text{Drehimpuls}) = \vec{r} \times m \cdot \vec{v}$$

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{1}{2 \cdot m} \cdot \vec{L}$$

(Siehe dazu die Abbildung 15⁴⁸⁸.)

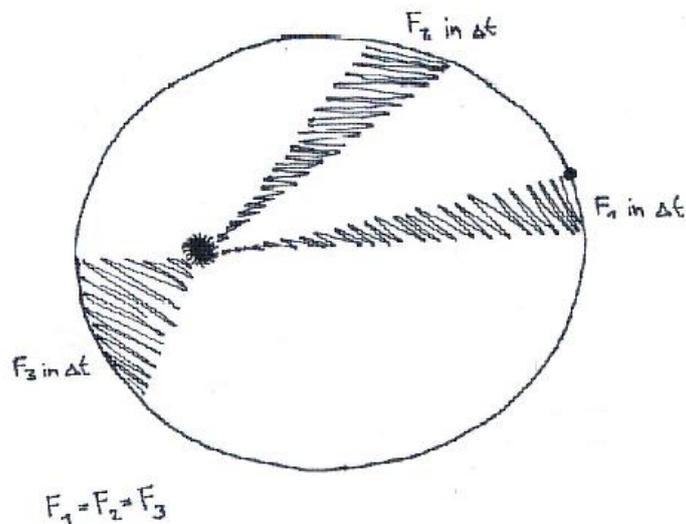


Abbildung 15

⁴⁸⁶ TIPLER/MOSCA 2009, S. 427

⁴⁸⁷ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 434

⁴⁸⁸ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 427

3. „Das Quadrat der Umlaufzeit eines Planeten ist proportional zur dritten Potenz der Hauptachse von seiner Umlaufbahn.“⁴⁸⁹

In Formel ausgedrückt⁴⁹⁰: $T^2 = \text{Konstante} \cdot r^3$
(Siehe dazu die Abbildung 16⁴⁹¹.)

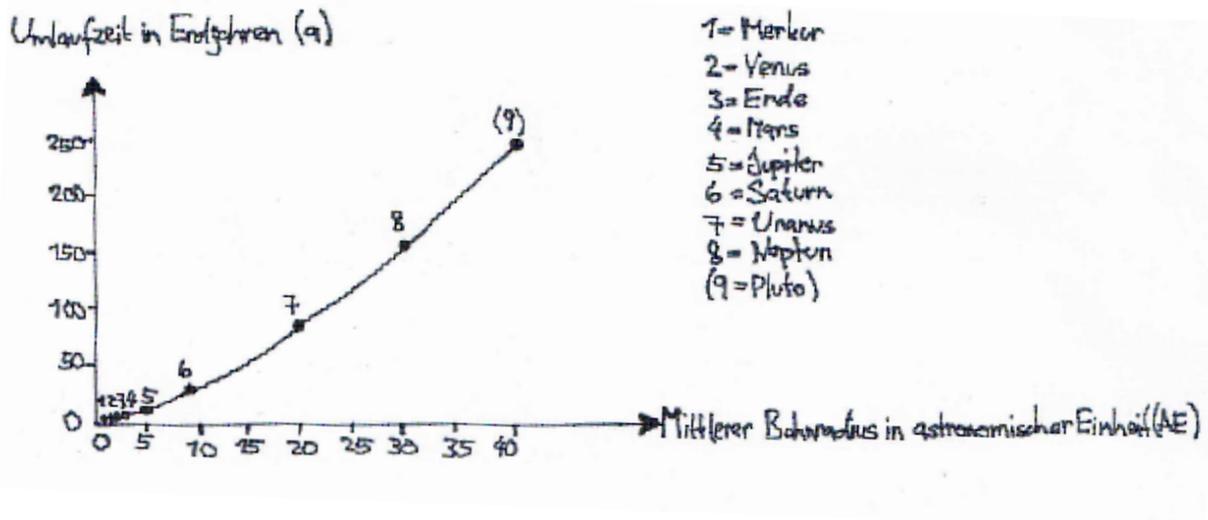


Abbildung 16

Diese Keplerschen Gesetze stimmen mit unseren Beobachtungen des Sonnensystems überein. Würde die Wirbeltheorie stimmen, dann würden die Planeten auf Schichten von Materie im Kreise getragen werden. Um die Geschwindigkeit der Materieschichten zu berechnen, könnten wir das zweite und das dritte Keplersche Gesetz nach der Geschwindigkeit umformen:

2. Keplersches Gesetz umgeformt:

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{1}{2} \vec{r} \cdot \vec{v} \cdot dt \quad | \cdot 2 \quad | \div (\vec{r} \cdot dt)$$

$$2 \cdot \frac{d\vec{A}}{dt^2 \cdot \vec{r}} = \vec{v}$$

3. Keplersches Gesetz umgeformt:

$$T^2 = \text{Konstante} \cdot r^3 \quad | \div T^2$$

$$1 = \text{Konstante} \cdot \frac{r^3}{T^2} \quad | \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} = v \rightarrow \frac{r^2}{T^2} = \frac{v^2}{4 \cdot \pi^2}$$

⁴⁸⁹ TIPLER/MOSCA 2009, S. 428

⁴⁹⁰ TIPLER/MOSCA 2009, S. 435

⁴⁹¹ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 429

$$1 = \text{Konstante} \cdot r \cdot \frac{v^2}{4 \cdot \pi^2} \quad | \quad \div v^2$$

$$\frac{1}{v^2} = \text{Konstante} \cdot r \cdot \frac{1}{4 \cdot \pi^2}$$

Wir sehen, dass die Entfernungen der Materieströmungen nach dem 2. Keplerschen Gesetz umgekehrt proportional zu ihren Geschwindigkeiten sein müssten und nach dem dritten Keplerschen Gesetz umgekehrt proportional zur Quadratwurzel der Geschwindigkeit. Dies ist ein Widerspruch!!

Ein besseres Verständnis für die Keplerschen Gesetze werden wir erst durch die Newtonsche Kosmologie erhalten. Beginnen wir daher im nächsten Kapitel die *Prinzipien* Newtons zu untersuchen.

Die Prinzipien der Newtonschen Physik⁴⁹²

Das Hauptwerk ***Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*** (1687)⁴⁹³ von Isaac Newton (Bild 10)⁴⁹⁴ hat die Entwicklung der Naturwissenschaften wie kein anderes Buch beeinflusst und die **mathematische Physik** neu begründet. Sie besteht aus drei Büchern.

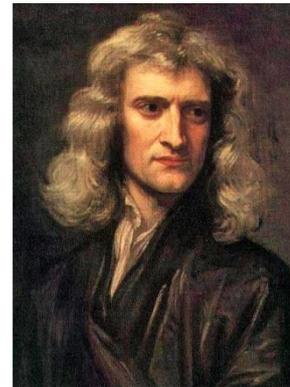


Bild 10: Isaac Newton (1643-1727)

- **Das erste Buch** von Newton enthält unter anderem die drei Newtonschen Gesetze⁴⁹⁵, mit welchen man die Mechanik beschreiben kann. (*Wir werden sehen, dass Newtons Gesetze sehr an Descartes angelehnt sind.*)
- **Das zweite Buch** ist vielen Personen heutzutage weitgehend unbekannt, vor allem deswegen, weil die meisten Überlegungen von Newton in diesem Buch nicht richtig sind.⁴⁹⁶ Dort beschäftigt er sich mit Flüssigkeiten und Gasen.⁴⁹⁷ (*Newton versucht in diesem Band hauptsächlich zu erklären, wieso die Wirbeltheorie von Descartes, mit welcher er seine Himmelsmechanik beschrieb, nicht stimmen kann.*⁴⁹⁸ *Interessant ist, dass er in diesem*

⁴⁹² „Die Mechanik war die erste und seinerzeit eben auch die einzige wirkliche Wissenschaft (wirkliche Wissenschaft im Sinne einer Theorie, die nicht nur empirisch begründet ist, sondern der selbst ein Konzept der Verknüpfung von Gesetz und Erscheinung inhärent ist). Zudem benötigte das aufstrebende Bürgertum die Naturwissenschaft als theoretische Basis einer aus ökonomischen Gründen zu entwickelnden Technik. Es bedurfte also der Rechtfertigung der Mechanik.“ VOLTAIRE 1997, S. 70 Bei dieser Textpassage hatten die Autoren wahrscheinlich sowohl Descartes als auch Newton als Pioniere im Hinterkopf. Beeindruckend ist jedoch, das was sie ein paar Seiten später schreiben: „Da Newton mit der klassischen Mechanik nicht irgendeine physikalische Disziplin, sondern die Physik überhaupt begründete, [...]“ VOLTAIRE 1997, S. 74

⁴⁹³ Ins Deutsche übersetzt: ***Mathematische Prinzipien der Philosophie der Natur***

⁴⁹⁴ BILD: ISAAC NEWTON

⁴⁹⁵ „GRUNDSÄTZE ODER GESETZE DER BEWEGUNG“ NEWTON 2004, S. 647

⁴⁹⁶ Newton hat selbstverständlich auch im zweiten Buch Überlegungen, die richtig waren, z.B.: seine Theorie zu zähen Flüssigkeiten (vgl. Szabo 1987, S. 156) usw. - doch die meisten grundlegenden Gleichungen haben nicht gestimmt. So stellten Daniel und Johann Bernoulli (Sohn und Vater) 50 Jahre später die richtigen Gleichungen auf (vgl. Szabo 1987, S. 155). Johann Bernoulli wird später schreiben: „Somit kann die Newtonsche Erklärung nicht richtig sein, da sie den hydrostatischen Gesetzen widerspricht.“ zitiert nach SZABO 1987, S. 156. vgl. auch SZABO 1987, S. 189

⁴⁹⁷ vgl. SZABO 1987, S. 152

Beispielsweise hat die Formel für den Strömungswiderstand $W = A \cdot c_w \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$ hier ihre Wurzel. (Wobei A die (Schatten)fläche des Körpers, c_w der Widerstandsbeiwert, ρ die Dichte des Körpers und v die Relativgeschwindigkeit des Körpers gegenüber dem Gas oder der Flüssigkeit darstellt.) Bei Newton fehlt beispielsweise der Widerstandsbeiwert. (Und statt der (Schatten)fläche des Körpers scheint es so, als ob Newton mehr vom Durchmesser der Körper ausgehen würde. Denn er spricht von „gleichen Breiten“. So gesehen, würde bei Newton dann auch die Dimension nicht mehr stimmen. Beim Widerstandsbeiwert ist das noch kein Problem, da sie Dimensionslos ist.) vgl. SZABO 1987, S. 154

⁴⁹⁸ vgl. SZABO 1987, S. 58

Szabo schreibt über das zweite Buch: „Newton ging es in erster Linie um den Bewegungswiderstand, den feste Körper in Flüssigkeiten oder in Gasen erfahren. So ist es zu erklären, daß er im zweiten Buch der *Principia* nicht mit Erklärungen und Definitionen zu diesen Medien beginnt, sondern mit der <<Bewegung solcher Körper, welche einen der Geschwindigkeit proportionalen Widerstand erleiden>> (erster Abschnitt). Im zweiten Abschnitt wird das zum Geschwindigkeitsquadrat proportionale Widerstandsgesetz untersucht. Für NEWTON spielte der Bewegungswiderstand eine solche bevorzugte Rolle, weil es ihm wohl darauf ankam, die Cartesianer zu widerlegen, die die Ansicht vertraten, daß das gesamte Universum mit Materie ausgefüllt ist. Wäre dem so, dann gäbe es auch für die Planeten einen Bewegungswiderstand, und das ist mit ihren bewährten Bewegungsgesetzen unvereinbar.“ Szabo 1987, S. 154

Buch gerade das immer wieder tut, was er bei Descartes stets kritisiert, nämlich Hypothesen zu erdenken.⁴⁹⁹ So gibt er es selbst indirekt zu, wenn er schreibt: „Ich wünschte, wir könnten auch diese Naturphänomene aus den mechanischen Prinzipien herleiten.“⁵⁰⁰)

- *Das dritte Buch* beschreibt die Himmelmechanik.⁵⁰¹ Auch das Gravitationsgesetz finden wir in diesem Buch. (*Newton stellt in diesem letzten Werk seine Himmelsmechanik der von Descartes gegenüber, auf die er auf den letzten Seiten noch eingehen wird.*)

Die große Bedeutung der **Principia** können wir bereits teilweise erahnen, wenn wir die Zeilen von Banesh Hoffmann lesen, wenn er erklärt: „Hier legt er in fünf knappen Sätzen die drei Gesetze der Bewegung dar. Verknüpft mit dem allgemeinen Gravitationsgesetz führten sie zu der atemberaubenden Schlußfolgerung, daß Himmel und Erde eine Einheit bilden: Überall im Universum sollten dieselben physikalischen Gesetze wirken.“⁵⁰²

Darauf geht Newton auch in der 28. Frage seiner Optik ein und schreibt: „Gegen die Erfüllung des Himmels mit flüssigen Medien, wenn sie nicht ausserordentlich dünn sein sollen, spricht auch sehr stark die regelmäßige und andauernde Bewegung der Planeten und Kometen auf allen möglichen Bahnen am Himmel, aus der sich deutlich ergibt, dass die Himmelsräume von merklichem Widerstand und folglich von jeder wahrnehmbaren Materie frei sind.“ Und weiter unten (auf der gleichen Seite) beschreibt er sein Pendelexperiment, welches er im zweiten Buch der **Principia** vorführt, um Widerstände in Flüssigkeiten zu messen: „Flüssigkeiten, deren Dichtigkeiten wenig verschieden sind, wie Wasser, Weingeist, Terpentinspiritus, heisses Oel, haben auch fast denselben Widerstand. Wasser ist 13-14 mal leichter und mithin ebensoviel dünner, als Quecksilber, und ungefähr in demselben Verhältniss ist sein Widerstand geringer, wie ich durch Pendelversuche ermittelt habe.“ NEWTON 1983, S. 241; vgl. dazu auch S. 277, Fußnote 38

⁴⁹⁹ Truesdell schreibt über das 1. und das 2. Buch der **Principia**: „Bereits im ersten Buch sind nahezu alle die Dinge enthalten, derentwegen das gesamte Werk berühmt wurde. Jedoch zeigt NEWTON in diesem Buch wenig Originalität, vielmehr eine andere Eigenschaft, die ebenso groß ist: Die Fähigkeit, die früheren Ergebnisse in streng mathematischer Weise zu ordnen und aus einem Minimum von Voraussetzungen herzuleiten. Das zweite Buch, welches die Flüssigkeiten behandelt, ist hingegen fast vollkommen eigenständig und beinahe ganz falsch. Das deduktive Verfahren, welches das erste Buch in so hervorragender Weise kennzeichnet, wird hier beiseite gelassen, und bei jedem neuen Gedankengang wird eine neue Hypothese aufgestellt. Hier offenbart NEWTON sein höchst schöpferisches Genie. Wohl sind seine Lösungen nicht immer richtig; dennoch ist er der erste, der diese Grundprobleme ausgewählt und anzupacken gewagt hat.“ zitiert nach SZABO 1987, S. 152, 154
⁵⁰⁰ zitiert nach SZABO 1987, S. 156

So wird es wohl umso ironischer sein, wenn Daniel Bernoulli in seinen Grundprinzipien der Hydrodynamik schreibt: „Das Wichtigste ist das Prinzip von der Erhaltung der lebendigen Kräfte, oder wie ich es nenne, die Gleichheit von dem tatsächlichen (aktuellen) Herabsteigen und dem möglichen (potentiellen) Austeigen: ich werde diese letztere Formulierung benutzen zumal sie die gleiche Bedeutung wie die erstgenannte beinhaltet und weil sie für gewisse Philosophen – die sich schon bei Nennung von lebendigen Kräften erregen – weniger anstößig ist.“ zitiert nach SZABO 1987, S. 162

Szabo schreibt in einer Fußnote (27), dass Bernoulli hier die Cartesianer als „gewisse Philosophen“ bezeichnet. Dies mag womöglich stimmen. Dennoch ist es sehr wichtig auf zwei Dinge hinzuweisen:

1. Descartes kannte die lebendigen Kräfte nicht. (Doch Descartes Wertschätzung der Erhaltungssätze, trug sicher einiges bei, dass Huygens schließlich auf diesen Erhaltungssatz kam und Leibniz ihn dann versuchte philosophisch zu interpretieren.)
2. Es wird sich zeigen, dass gerade Newton, derjenige ist, welcher von Erhaltungssätzen allgemein nicht überzeugt zu sein scheint.

Später wird Johann Bernoulli die Hydrodynamik mit den mechanischen Prinzipien (bzw. Newtonschen Gesetzen) erklären können und somit dem Wunsch von Newton nachkommen können. vgl. SZABO 1987, S. 173-174 (und vgl. SZABO 1987, S. 191)

⁵⁰¹ „VOM WELTSYSTEM“ NEWTON 2004, S. 835

⁵⁰² HOFFMANN 1997, S. 45

Wie nützlich das Gravitationsgesetz von Newton ist, werden wir uns später genauer ansehen. An dieser Stelle widmen wir uns der Untersuchung der drei Bewegungsgesetze.

Wir beginnen selbstverständlich mit dem ersten Gesetz; dieses bezieht sich auf Bezugssysteme (BS)⁵⁰³ oder genauer auf Inertialsysteme (IS):

1. Das Trägheitsprinzip:

„**Lex prima.** Jeder Körper beharrt in seinem Zustand der Ruhe oder gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.“⁵⁰⁴

Mit „Bewegung“ meint Newton, in moderner Sprache ausgedrückt, eigentlich den Impuls(-vektor). Da wir wissen, dass Impuls gleich Masse mal Geschwindigkeit bedeutet, können wir auch schreiben⁵⁰⁵:

$$\frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \rightarrow m\vec{v} = \mathbf{const.} \rightarrow \vec{F} = 0$$

In diesem Gesetz können wir sehen, dass das Nichtvorhandensein der Kraft (auf das System) eine große Rolle spielt. So bleibt natürlich noch offen, was *Kraft* bedeutet. Dies wird sogleich im zweiten Gesetz definiert:

2. Das Kraftprinzip:

„**Lex secunda.** Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und erfolgt in Richtung derjenigen geraden Linie, in welcher jene Kraft wirkt.“⁵⁰⁶

Obwohl Newton mit den Differentialgleichungen vertraut war – schließlich hat er sie selber entdeckt –, hat er sie in seiner *Principia* im Allgemeinen vermieden. Wir können dennoch stark davon ausgehen, dass Newton unter der *Änderung der Bewegung* eine endliche Impulsänderung $\Delta \vec{p}$ verstanden hat.⁵⁰⁷ Die mathematische Formulierung des 2. Prinzips von Newton würde jedoch eigentlich nur für konstante (resultierende) Kräfte Sinn machen⁵⁰⁸: $\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$.⁵⁰⁹

Und vielleicht war das auch Newtons Absicht! Da Newton schlussendlich die Himmelmechanik mit ihnen zu erklären versuchte, könnte es gut sein, dass **seine Gesetze in erster Linie für die Erklärung des Himmels gedacht** waren:

1. Gesetz: Konstanter Impuls (für den Drehimpuls der Planeten).
2. Gesetz: Konstante Kraft (für die stetige Anziehung zwischen der Sonne und den Planeten).

⁵⁰³ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 9

⁵⁰⁴ REBHAN (I) 2006, S. 19

⁵⁰⁵ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 19 und DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 72

⁵⁰⁶ REBHAN (I) 2006, S. 20

⁵⁰⁷ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 19

⁵⁰⁸ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 19

⁵⁰⁹ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 20

3. Gesetz: Konstante Wechselwirkung (für das Zusammenspiel zwischen der Zentripetal- und der Zentrifugalkraft).

Wenn wir nun auch den Inhalt von **Lemma X**⁵¹⁰ heranziehen, uns dazu die Masse als konstant vorstellen⁵¹¹ – was genau genommen nur eine Näherung darstellt, da sich die Masse mit der Geschwindigkeit eigentlich doch ändert – und zu Differentialen übergehen, erhalten wir die moderne Gleichung⁵¹²:

$$\frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad \rightarrow \quad \frac{dm}{dt} = 0 = \mathbf{const.} \quad \rightarrow \quad \frac{m \cdot d(\vec{v})}{dt} = m \cdot \vec{a} = \vec{F}$$

Auf zwei Sachen sei hier noch hingewiesen:

- Da wir neben der *trägen Masse* auch eine *schwere Masse* haben, wäre es besser $m_{träge}$ statt m zu schreiben.⁵¹³ Denn: „Wie schwer es ist, ein Objekt zu bewegen, ist eine Sache, wie viel es wiegt, ist eine andere.“⁵¹⁴ Doch können wir den Anhang „träge“ später dann weglassen, da die *träge Masse* und die *schwere Masse* einander proportional sind.⁵¹⁵ Wir können sie sogar ohne ein schlechtes Gewissen zu haben numerisch gleich setzen⁵¹⁶: $m_{träge} = m_{schwere}$
- Szabo bemerkt: „In der *Lex II* kommen weder die Worte Masse noch Beschleunigung vor“⁵¹⁷. Und das ist auch richtig! Genau genommen ist die mathematische Schreibweise, wie Szabo übrigens ebenfalls hinweist - die sich in der modernen Mathematik durchgesetzt hat - auch nicht die von Newton, sondern von seinem Gegner⁵¹⁸ Leibniz. Newton würde statt $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$

⁵¹⁰ „Die Wege, welche der Körper infolge der Einwirkung irgendeiner endlichen Kraft beschreibt, mag diese bestimmt und unveränderlich sein oder mag sie beständig zu- oder abnehmen, stehen beim Anfang der Bewegung proportional dem Quadrat der Zeiten“. REBHAN (I) 2006, S. 20 (oder vgl. NEWTON 2004, S. 665-666) So betont auch Szabo: „Kurz besagt dieses *Lemma*, daß eine Kraft, auch wenn sie nicht konstant ist, am Anfang der Bewegung zum Quadrat der Zeit proportionale Wege zur Folge hat; es ist viel mehr als ein Lehrsatz und hätte am Anfang der *Principia* einen Ehrenplatz verdient. Für konstante Kräfte ist darin das enthalten, was wir in *Lex II* und in den Definitionen vermißt haben: konstante Kräfte verursachen konstante Beschleunigungen.“ SZABO 1987, S. 16-17

⁵¹¹ Feynman schreibt dazu: „Beim Aufschreiben eines Gesetzes wie diesem verwenden wir viele intuitive Ideen, Folgerungen und Annahmen, die zuerst einmal angenähert zu unserem „Gesetz“ kombiniert werden. Später kann es notwendig sein, zurückzukehren und genauer zu untersuchen, was jeder Ausdruck bedeutet. Aber wenn wir dies zu früh tun, werden wir verwirrt. Also nehmen wir zu Beginn Verschiedenes als zutreffend an. Erstens, dass die Masse eines Objekts *konstant* ist; sie ist es nicht wirklich, aber wir werden mit der Newtonschen Approximation beginnen, dass die Masse *konstant* ist, dass sie zu allen Zeiten gleich ist, und weiterhin, dass beim Zusammenfügen zweier Objekte deren Massen *addiert* werden. Diese Vorstellungen wurden natürlich von Newton einbegriffen, als er sein Gleichung aufstellte; andernfalls wäre sie bedeutungslos. Nehmen wir z.B. an, dass sich die Masse umgekehrt proportional mit der Geschwindigkeit ändert; dann würde sich der Impuls *niemals ändern*. Also würde das Gesetz keine Bedeutung haben, solange wir nicht wissen, wie sich die Masse mit der Geschwindigkeit ändert. Zunächst sagen wir, *sie ändert sich nicht*.“ FEYNMAN (I) 2007, S. 120

⁵¹² vgl. REBHAN (I) 2006, S. 20 und DREIZLER/LÜDDE 2008, S. 72

⁵¹³ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 20

⁵¹⁴ FEYNMAN (I) 2007, S. 120

⁵¹⁵ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 20 und FEYNMAN (I) 2007, S. 120

⁵¹⁶ vgl. FEYNMAN (I) 2007, S. 120

⁵¹⁷ SZABO 1987, S. 12

⁵¹⁸ Der Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton, wer als Begründer der Differential- und Integralrechnungen (bzw. allgemein der Infinitesimalrechnungen) gelten darf, war historisch von großem

eher $\vec{p} = \vec{F}$ schreiben⁵¹⁹. Doch auch diese oder ähnliche Formeln stehen nicht wirklich in der **Principia** von Newton. Auch darauf weist Szabo hin. *Jedoch scheint sich Szabo in seiner Meinung zu irren, wenn er glaubt, Newton habe nirgendwo in seiner Principia auf die Beziehung „Kraft ist gleich Masse mal Beschleunigung“ hingewiesen.*⁵²⁰ Denn Newton schreibt (bereits in seiner Erklärung 8) bevor er seine Axiome angibt: „Die beschleunigende Kraft verhält sich daher zur bewegenden wie die Geschwindigkeit zur Bewegung. Die Größe der Bewegung entsteht nämlich aus dem Produkte der beschleunigenden Kraft in dieselbe Masse, indem die Summe der Wirkungen, welche die beschleunigende Kraft in den einzelnen Teilchen des Körpers hervorbringt, die bewegende Kraft des ganzen Körpers ist.“⁵²¹ Doch weshalb erwähnt Newton das nicht auch in seinem zweiten Gesetz? Szabo glaubt, dass der wahrscheinlichste Grund warum Newton Masse und Beschleunigung in seinem zweiten Gesetz nicht erwähnt, folgender sein könnte: „Weil er sie als selbstverständlich empfand! Der viel Geduldsarbeit erfordernde logische Aufbau nach axiomatischen Gesichtspunkten war eben nicht NEWTONS, des schöpferischen Genies, Stärke. Seine diesbezügliche Unvollkommenheit besteht – neben dem Gebrauch von einzelnen Worten wie zum Beispiel *motus* und *vis* für verschiedene Begriffe – vor allem darin, daß seine *Definitiones* teilweise schon die *Leges* (also die Axiome) vorwegnehmen oder diese voraussetzen.“⁵²²

Doch nach all diesen Kommentarpunkten, kommen wir nun zum 3. Gesetz, welches versucht anzugeben, wie nun eine Wechselwirkung (zwischen zwei Körpern) zu beschreiben ist.

3. Das Wechselwirkungsprinzip:

*„Lex tertia. Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets und gleich und von entgegengesetzter Richtung.“*⁵²³

Das bedeutet, wenn beispielsweise ein Massepunkt m_1 auf einen anderen Massepunkt m_2 eine Kraft \vec{F}_{12} ausübt, dann wird zur gleichen Zeit auch der Massenpunkt m_2 eine Kraft \vec{F}_{21} auf Massenpunkt m_1 ausüben⁵²⁴:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Interesse. Heute können wir sagen, dass Newton sie zwar zuerst entdeckte – Leibniz jedoch seine Arbeit früher veröffentlichte. Die Schreibweise von Leibniz hat sich heute größtenteils durchgesetzt.

vgl. dazu GLEICK 2004, S. 182 (und SZABO 1987, S. 10)

⁵¹⁹ Newton würde wahrscheinlich, wie Leibniz natürlich die Vektoren ohne Pfeile anschreiben, da sich auch diese Schreibweise später durchsetzte.

⁵²⁰ Szabo schreibt: „Weder das in Worte gefaßte Gesetz Kraft gleich Masse mal Beschleunigung noch die Formel (2) oder (3) sind im zweiten Bewegungsgesetz (*Lex II*) und ebensowenig an anderer Stelle in NEWTONS *Principia* anzutreffen.“ SZABO 1987, S. 14

⁵²¹ NEWTON 2004, S. 641

⁵²² SZABO 1987, S. 16 oder vgl. REBHAN (I) 2006, S. 20, (Fußnote 3)

⁵²³ REBHAN (I) 2006, S. 20

⁵²⁴ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 72

Dabei sind selbstverständlich beide Kräfte gleich stark bzw. besitzen die gleiche Größe; jedoch wirken sie in entgegengesetzte Richtung.⁵²⁵ Kurz und bündig drückt man dieses Gesetz auch in der Form aus⁵²⁶:

$$actio = reactio$$

Nach Newton gab es ausschließlich diese drei Gesetze.

Gleich im Anschluss dieser Axiome erklärt Newton im Zusatz I (und auch in Zusatz II) ein geometrisches Kraftgesetz, welches wir heute auch als ein *mathematisches, selbstständiges Gesetz* betrachten können. Wir wollen es als **(Vektor)-Additions-Gesetz** bezeichnen. Eckhard Rebhan gibt es gleich in einer modernen Formulierung an:

„*Lex quarta. Kräfte addieren sich wie Vektoren.*“⁵²⁷

Dieses Gesetz, welches so nicht bei Newton zu finden ist, können wir mit dem zweiten Newtonschen Gesetz kombinieren und erhalten⁵²⁸:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_{Gesamt} = \vec{F} \rightarrow \dot{\vec{p}}_1 + \dot{\vec{p}}_2 = \frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \dot{\vec{p}}_{Gesamt} = \dot{\vec{p}}$$

Dass man die Kräfte einfach so addieren darf, bezeichnet man auch als das **Superpositionsprinzip**. Dieses überaus nützliche Instrument bzw. Prinzip gilt beispielsweise aber nicht immer zwischen Elementarteilchen, da dort auch nichtlineare Wechselwirkungskräfte auftreten. (Beispielsweise, wenn wir mehrere Teilchen betrachten, welche miteinander wechselwirken.) Auch erfüllen die Gravitationskräfte der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) von Einstein kein lineares Superpositionsprinzip.⁵²⁹ Dennoch reicht es aus, um damit die Wechselwirkungen und den Aufbau der Kräfte der klassischen Physik zu verstehen (und sogar noch mehr).

⁵²⁵ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 72

⁵²⁶ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 20

⁵²⁷ REBHAN (I) 2006, S. 20

⁵²⁸ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 21

⁵²⁹ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 30

Die Rolle der Theory of Mind in den Prinzipien von Newton

bzw.

Die newtonschen Gesetze und die Galileitransformation

Trägheitsgesetz und Invarianz bzw. Theory of Mind

In einigen Physikbüchern wird das erste Newtonsche Gesetz als ein Spezialfall des zweiten Newtonschen Gesetzes dargestellt. Denn wenn es keine Kraft gibt ($\vec{F} = 0$), welche auf einen Körper wirkt, dann wird sich dessen Impuls mit der Zeit nicht verändern ($\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$) und bleibt gleich ($m \cdot v = \text{const.}$). Doch ergänzt Eckhard Rebhan: „Diese Interpretation geht jedoch am Kern des ersten Gesetzes vorbei: Für sich genommen ist das zweite Grundgesetz noch ohne physikalischen Inhalt, es erhält diesen erst durch seine Verknüpfung mit den übrigen Grundgesetzen.“⁵³⁰

Stellen wir uns beispielsweise einen beschleunigten Körper vor. Wenn wir als Beobachter nicht relativ zu dem Körper in einer geradlinig, gleichförmigen Bewegung oder in Ruhe wären, dann könnten wir dessen Beschleunigung erst gar nicht feststellen. Schon die Beschreibung, dass etwas sich beschleunigt bewegt, wäre purer Unsinn bzw. nur ein Raten, da uns das richtige Bezugssystem völlig fehlt.⁵³¹ Auch könnten wir, wenn wir die Erde als ein Inertialsystem betrachten, Bewegungen an verschiedenen Orten nicht miteinander vergleichen. Erst durch das 1. Newtonsche Gesetz ist es möglich verschiedene Beobachter bzw. Bezugssysteme miteinander zu vergleichen.

Das erste Newtonsche Grundgesetz, welches man auch als 1. Axiom bezeichnet, „bringt zum Ausdruck, dass Bewegungsgesetze nur eine Bedeutung haben, wenn man sie auf ein geeignetes Bezugssystem bezieht. Das Axiom stellt den Zustand der Ruhe und den der uniformen Bewegung gleich. Wenn man also die Beschreibung eines Bewegungsablaufes aus der Sicht von zwei Bewegungssystemen vergleicht, die sich mit konstanter Geschwindigkeit gegeneinander bewegen, so ist die Beschreibung gleichwertig.“⁵³²

Doch diese Aussage, dass eine Bewegung, wenn sie von einem Beobachter (= Inertialsystem bzw. unbeschleunigtes Koordinatensystem) gesehen wird, auch für einen anderen Beobachter (= Inertialsystem bzw. unbeschleunigtes Koordinatensystem) gleich wahrgenommen wird, konnten wir bereits von Galilei erfahren. Dies wollen wir hier noch genauer definieren und zugleich überprüfen. „Der Übergang von einem Koordinatensystem zu einem anderen wird durch eine Koordinatentransformation vermittelt. Für diese klassische Mechanik ist die Klasse der **Galilei-Transformationen** von besonderer Bedeutung.“⁵³³ Doch bevor wir zu Galilei-Transformationen fortschreiten, ist es von Vorteil noch mehr über Inertialsysteme in Erfahrung zu bringen und somit auch über das 1. Newtonsche Gesetz: „Das erste Newton'sche Axiom kennt keinen Unterschied zwischen einem ruhenden Körper und einem Körper, der sich mit konstanter, aber von null verschiedener Geschwindigkeit bewegt. Ob ein Körper in Ruhe bleibt oder sich mit unveränderlicher Geschwindigkeit weiterbewegt, hängt vom Bezugssystem ab, von dem aus der Körper betrachtet

⁵³⁰ REBHAN (I) 2006, S. 21

⁵³¹ REBHAN (I) 2006, S. 21

⁵³² DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 72

⁵³³ REBHAN (I) 2006, S. 14

wird.⁵³⁴ Das bedeutet natürlich auch, wenn eine Person sich mit konstanter Geschwindigkeit fortbewegt, zum Beispiel in einem Zug oder im Flugzeug, dann erlebt sie die Naturgesetze genauso, wie wenn jemand in einem Laborraum jene Gesetze beobachten würde. Deswegen sind unbeschleunigte Transportmittel mit Sicherheit entspannender als beschleunigte, da man nur so seine **Ruhe** hat. Dieses Phänomen konnte Galilei wohl als Schiffsreisender gut feststellen. Deshalb bezeichnet man es auch als das **Galileischer Relativitätsprinzip**.⁵³⁵

„Dieses Prinzip ist, dass die Gesetze der Physik die gleiche Form haben, ob wir uns in Ruhe befinden oder ob wir uns mit konstanter Geschwindigkeit auf einer geraden Linie bewegen.“⁵³⁶

Oder mit eher etwas formellen, physikalischen Begriffen:

„Die Newtonschen Bewegungsgleichungen sind unter sämtlichen Galilei-Transformationen invariant.“⁵³⁷

Wir sehen, dass die Physik hier eine klare Definition über Beobachter macht. Und diese Definition setzt selbstverständlich erst eine *Theory of Mind* voraus, wodurch man erst die gedankliche Möglichkeit bekommt, sich in andere Personen (bzw. Bezugssysteme) hinein zu versetzen.

Wir können somit das 1. Newtonsche Gesetz auch so definieren:

Es gibt Bezugssysteme, in denen die kräftefreie Bewegung durch $\frac{d\vec{s}}{dt} = \dot{\vec{s}} = \vec{v} = konst.$ beschrieben wird.⁵³⁸ In diesen Bezugssystemen bleiben Körper in Ruhe oder in geradlinig, gleichförmiger Bewegung, wenn auf sie keine Kraft einwirkt. Diese Systeme bezeichnet man auch als Inertialsysteme (IS).⁵³⁹

„In allen Gebieten der Physik formuliert man Gesetze, die ein Bezugssystem voraussetzen.“⁵⁴⁰ Die Inertialsysteme „sind dadurch ausgezeichnet, dass in ihnen die physikalischen Gesetze besonders *einfach* sind.“⁵⁴¹

So gesehen, sind die Inertialsysteme, genau jene Theory of Mind Bedingung für die Beobachtung der Naturgesetze, welche zugleich die Komplexität der Beschreibungen *minimieren* soll. Das zu wissen ist von Bedeutung, da *die Newtonschen Gesetze nur in Inertialsystemen eine Gültigkeit haben – also in Systemen, in welchen das Trägheitsgesetz gilt!*⁵⁴²

⁵³⁴ TIPLER/MOSCA 2009, S. 100

⁵³⁵ Auf dieses Prinzip geht Newton im Zusatz 5 ein und nimmt dabei das gleiche Beispiel wie Galilei: „Alle Bewegungen finden auf dieselbe Weise in einem Schiff statt, mag dieses ruhen oder sich gleichförmig und geradlinig fortbewegen.“ NEWTON 2004, S. 654

⁵³⁶ FEYNMAN (I) 2007, S. 136

⁵³⁷ REBHAN (I) 2006, S. 27

Eckhard ergänzt sogleich: „(Galilei hat dieses Prinzip nicht so allgemein, sondern nur für spezielle Bewegungsklassen (freier Fall) formuliert, da er die Newtonsche Mechanik noch nicht kannte.)“ REBHAN (I) 2006, S. 27

⁵³⁸ vgl. FLIEßCAH (I) 2007, S. 9

⁵³⁹ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 101

⁵⁴⁰ vgl. FLIEßCAH (I) 2007, S. 9

⁵⁴¹ vgl. FLIEßCAH (I) 2007, S. 10

⁵⁴² vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 5

„Nachdem wir definiert haben was ein Inertialsystem ist, wollen wir noch der Frage nachgehen, wie sich ein solches realisieren lässt und wie man bei einem System feststellen kann, ob es sich um ein Inertialsystem handelt.“⁵⁴³

Ironischerweise hat es nämlich mit Descartes geometrischem Denken sehr viel zu tun, denn um „ein Inertialsystem zu erhalten, muss man einen Probekörper von einem Punkt des kräftefreien Raumgebietes aus sich in drei zueinander senkrechten Richtungen bewegen lassen. Wählt man dann die durchlaufenen Bahnen als Achsen eines Koordinatensystems, so ist dieses kartesisch und stellt ein Inertialsystem dar.“⁵⁴⁴

Diese möchten wir uns etwas konkreter ansehen und dabei sogleich die Galilei-Transformation anwenden. Nehmen wir an, wir hätten zwei fiktive Beobachter: Galilei und Newton. (Fiktiv ist es schon deshalb, da Newton etwa in dem Jahr auf die Welt kam, in welchem Galilei verstarb.⁵⁴⁵) Wir können die Beobachter dank Physik natürlich noch abstrakter definieren, nämlich als Bezugssysteme – oder noch genauer als Inertialsysteme. Diese Inertialsysteme können wir uns auch in erster Linie als kartesische Koordinaten vorstellen. (Siehe Abbildung 17.)

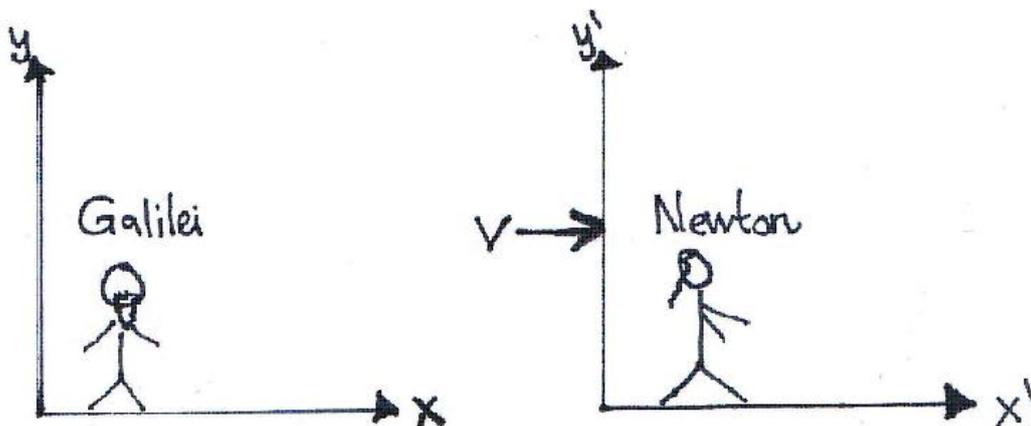


Abbildung 17

Zuerst nehmen wir an, dass alle beide in (voneinander unabhängigen) Zügen stehen, welche sich relativ zueinander in gleicher Richtung bewegen. Um unsere Berechnungen zu erleichtern, warten wir eine Situation ab, wo sie alle am gleichen Punkt und zur selben Zeit (bzw. zum Zeitpunkt Null) losstarten. (Die Zeit wird natürlich immer jeweils an ihrer eigenen Uhr gemessen). In der Fachsprache der Physik würde man diese Situation auf folgender Weise schildern:

Die Koordinatenursprünge von *Intertialsystem*_{Galilei} (= IS) und *Intertialsystem*_{Newton} (= IS') fallen zur Zeit

$$t_{Galilei} (= t) = t_{Newton} (= t') = 0$$

zusammen. Nach dem Start nehmen wir an, dass Newton sich um v schneller bewegt als Galilei. Wenn Newton nun ein Ereignis in seinem Koordinatensystem x' beobachten würde, so bräuchte

⁵⁴³ REBHAN (I) 2006, S. 22

⁵⁴⁴ REBHAN (I) 2006, S. 22

⁵⁴⁵ Russell gibt Notizen zu Galilei an: „Er wurde ungefähr an dem Tage geboren, da Michelangelo starb; sein Todesjahr ist Newtons Geburtsjahr. Ich erwähne diese Daten für Leute, die womöglich noch an Seelenwanderung glauben.“ RUSSELL 1988, S. 541

man nur noch die Geschwindigkeit von Newton (= v) addieren und wüsste an welchem Ort Galilei das Ereignis an seinem Koordinatensystem beobachten würde. Da nach dem 1. Newtonschen Gesetz nun beide ihre Geschwindigkeit, wenn wir die Reibungskraft außeracht lassen, beibehalten, erhalten wir die *spezielle Galilei-Transformation* der Form:⁵⁴⁶

$$\begin{aligned}x &= x' + v \cdot t', \\y &= y', \\z &= z', \\t &= t'\end{aligned}$$

Hätte jedoch Galilei das Ereignis vor Newton gesehen und müssten wir daher, die Informationen von Galileischem Koordinatensystem ins Newtonsche Koordinatensystem umwandeln, hätten wir die inverse (= gegenteilige) Transformation:

$$\begin{aligned}x' &= x - v \cdot t, \\y' &= y, \\z' &= z, \\t' &= t\end{aligned}$$

Da es in der objektiven Naturwissenschaft von höchster Priorität ist, dass die Gesetze für alle Beobachter dieselben sind, wollen wir nun sogleich eine sehr wichtige Aussage überprüfen:

Die gleichförmige, geradlinige Bewegung von einem Körper, wie sie von Galilei beobachtet wird, wird durch die spezielle Galilei-Transformation in eine Bewegung desselben Typs in Newtons Beobachtungssystem überführt.⁵⁴⁷

Für Galilei sieht die Bewegung des Körpers folgendermaßen aus⁵⁴⁸:

$$x = v_{\text{Körper (Galilei)}} \cdot t$$

Nun setzen wir dieses Wissen in die (inverse) Galilei-Transformation ein und sehen:

$$x' = x - v \cdot t \quad | \quad x = v_{\text{Körper (Galilei)}} \cdot t$$

$$x' = v_{\text{Körper (Galilei)}} \cdot t - v \cdot t = (v_{\text{Körper (Galilei)}} - v) \cdot t \quad | \quad t' = t$$

$$x' = (v_{\text{Körper (Galilei)}} - v) \cdot t' \quad | \quad v_{\text{Körper (Newton)}} = (v_{\text{Körper (Galilei)}} - v)$$

$$x' = v_{\text{Körper (Newton)}} \cdot t'$$

⁵⁴⁶ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 1470 und TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 6

Wir benutzen in dieser Arbeit die spezielle Galileitransformation, da sie sehr einfach und für unsere Zwecke vollkommen ausreichend ist. (Die **allgemeine Galileitransformation** werden wir, obwohl wir sie nicht einsetzen, dennoch später kurz und knapp besprechen.)

⁵⁴⁷ REBHAN (I) 2006, S. 14

⁵⁴⁸ vgl. SEXL (8) 2007, S. 27; TIPLER/MOSCA 2009, S. 1470; REBHAN (I) 2006, S. 14; DREIZLER/LÜDDE (I) 2008 S. 73; FEYNMAN (I) 2007, S. 176, 177; FLIEßBACH (I) 2007, S. 32

So kann man sehen: Für beide Inertialsysteme sind die Bewegungstypen dieselben. Das bedeutet sowohl für Galilei als auch für Newton bewegt sich der Körper gleichförmig geradlinig weiter!

„Kurz zusammengefasst definiert das erste Gesetz den Begriff des Inertialsystems und liefert damit den Bezugsrahmen für das zweite Grundgesetz.“⁵⁴⁹

Wir können daher die spezielle Galileitransformation auch auf beschleunigte Körper in Inertialsystemen anwenden und erhalten das gleiche Ergebnis wie oben. Die Untersuchungen dazu unternehmen wir im nächsten Kapitel.

⁵⁴⁹ REBHAN (I) 2006, S. 23

Kraftgesetz und Invarianz bzw. Theory of Mind

Erst das 1. Gesetz von Newton, das eng mit dem Konzept eines Inertialsystems (IS) verbunden ist, gestattet uns die physikalische *Kraft* zu definieren. „Eine **Kraft** ist ein äußerer Einfluss oder eine äußere Einwirkung auf einen Körper, infolgedessen der Körper relativ zu einem Inertialsystem beschleunigt wird.“⁵⁵⁰ „Wie das erste Newton'sche Axiom kann auch das zweite Axiom *nur* auf Inertialsysteme angewendet werden.“⁵⁵¹

Wenn also im Koordinatensystem von Galilei aus betrachtet auf einen Körper eine Kraft $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ wirken würde, so würde Newton auch in seinem Koordinatensystem aus betrachtet die gleiche Kraft beobachten⁵⁵²:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = \vec{F}'$$

Genau das wollen wir natürlich schnell überprüfen:

Die Geschwindigkeit eines Körpers von dem Inertialsystemen von Galilei (oder Newton) aus gesehen, können wir in Form von Differentialgleichungen angeben:

$$v_{\text{Körper (Galilei)}} = \frac{dx}{dt}$$

$$v_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{dx'}{dt'} \quad | \quad t' = t$$

$$v_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{dx'}{dt} \quad | \quad x' = x - v \cdot t$$

$$v_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{d(x-v \cdot t)}{dt} = v_{\text{Körper (Galilei)}} - v$$

Wobei v wieder die relative Geschwindigkeit zwischen Galilei und Newton ist.

Wir differenzieren diese Gleichungen noch einmal und sehen, dass auch (die Bewegung) beschleunigte Körper in beiden Bezugssystemen gleich wären:

$$a_{\text{Körper (Galilei)}} = \frac{dv}{dt}$$

$$a_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{dv'}{dt'} \quad | \quad t' = t$$

$$a_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{dv'}{dt} \quad | \quad v' = \frac{x'}{dt} = \frac{(v_{\text{Körper (Galilei)}} - v) \cdot t}{dt} = v_{\text{Körper (Galilei)}} - v$$

$$a_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{d(v_{\text{Körper (Galilei)}} - v)}{dt} = a_{\text{Körper (Galilei)}}$$

Da die relative Geschwindigkeit zwischen den beiden Inertialsystemen gleich bleibt, gilt:

$$\frac{dv}{dt} = \text{const.} = 0$$

Für unsere Gleichung bedeutet das:

$$a_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{d(v_{\text{Körper (Galilei)}} - v)}{dt} = a_{\text{Körper (Galilei)}} \quad | \quad \frac{dv}{dt} = \text{const.} = 0$$

⁵⁵⁰ TIPLER/MOSCA 2009, S. 101

⁵⁵¹ TIPLER/MOSCA 2009, S. 103

⁵⁵² vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 6

$$\mathbf{a}_{\text{Körper (Newton)}} = \frac{d\mathbf{v}_{\text{Körper (Galilei)}}}{dt} = \mathbf{a}_{\text{Körper (Galilei)}}$$

Wir wollen hier auch ein Gedankenexperiment vollführen, um einzusehen, dass dieses Resultat für unsere Alltagserfahrung gar nicht so überraschend ist.⁵⁵³

Nehmen wir an Galilei und Newton sitzen beide in einem Zug, wobei sich der Zug von Newton gegenüber dem von Galilei mit der Geschwindigkeit \vec{v} bewegt. Da sowohl Newton als auch Galilei begeistert sind von physikalischen Pendeln – diese sind sehr oft hilfreich physikalische Gesetze präzise zu demonstrieren – befestigen sie jeweils ein Pendel gleicher Art an der Decke ihres Zuges. Wenn Newton nun eine gewisse Kraft anwendet – sagen wir 1 [Newton]⁵⁵⁴ – um das Pendel aus der Ruhelage zu stoßen, so weiß Galilei aufgrund des nach ihm benannten Relativitätsprinzips, dass er die gleiche Kraft anwenden muss, um auch sein Pendel um den gleichen Winkel auslenken zu können. (Siehe Abbildung 18.)

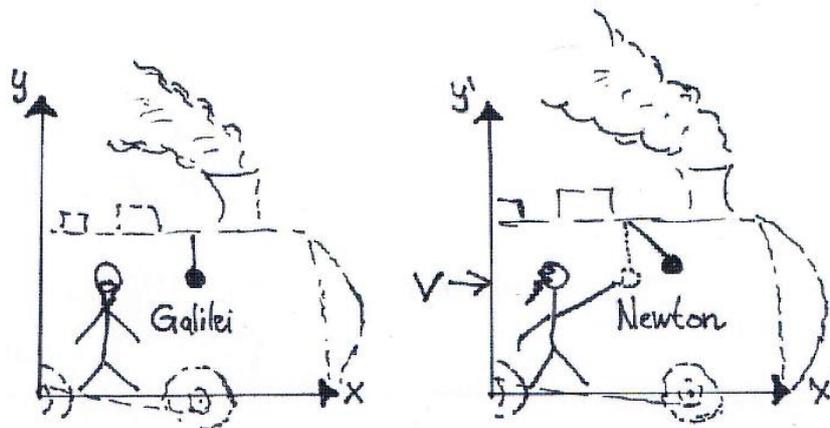


Abbildung 18

Wir können uns daher notieren:

Aus unseren Betrachtungen geht hervor, dass das zweite Gesetz von Newton so ausgelegt werden muss, dass die Beschleunigung stets relativ zu einem Inertialsystem erfolgt.⁵⁵⁵

Wir möchten noch einmal unseren bisherigen Wissensstand in Punkten darlegen:⁵⁵⁶

- Die Newtonschen Gesetze gelten nur in *Inertialsystemen*.
- *Inertialsysteme* sind genau jene Bezugs- bzw. Koordinatensysteme, in denen das erste Newtonsche Gesetz gilt.
- Bewegt sich ein Bezugssystem mit *konstanter Geschwindigkeit* – also unbeschleunigt – relativ zu einem anderen Inertialsystem, dann ist es ebenfalls ein Inertialsystem.

⁵⁵³ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 5

⁵⁵⁴ Newton [N] ist die Einheit, in der die Kraft gemessen wird. Eine gute Faustregel ist: Eine Masse mit $m = 0,1 \text{ kg} = 100 \text{ g}$ besitzt in etwa eine Gewichtskraft von 1 [N].

⁵⁵⁵ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 23

⁵⁵⁶ vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 5

- Die Newtonschen Gesetze gelten unverändert in allen Inertialsystemen, was man auch als *Invarianz* bezeichnet. (Das garantiert uns *Relativitätsprinzip*.)⁵⁵⁷ Deswegen kann man durch die Galilei-Transformation in verschiedene Inertialsysteme wechseln.
- Daraus ergibt sich, dass es kein spezielles oder ausgezeichnetes Inertialsystem geben kann. *Alle Inertialsysteme sind gleichwertig (bzw. äquivalent), wodurch eine objektive Wissenschaft garantiert wird.*
- Wir wollen unsere Erkenntnis, welche wir aus diesem Kapitel gewonnen haben zusammenfassen:

„Jedes Bezugssystem, das sich mit konstanter Geschwindigkeit bezüglich eines Inertialsystems bewegt, ist ebenfalls ein Inertialsystem. Die Newton'schen Axiome sind invariant in allen Bezugssystemen, die über eine Galilei-Transformation miteinander verknüpft sind.“⁵⁵⁸

Obwohl wir unsere Untersuchungen bereits hier schon abschließen könnten, möchten wir – da *Newton das Gesetz der Kräfte vertritt* – es nicht versäumt haben, uns mit dem *Kraftbegriff* selbst auseinanderzusetzen. Um den Kraftbegriff besser zu verstehen, stellen wir uns zwei Inertialsysteme vor:

- einen festen, reibungsfreien, glatten Boden und
- eine darauf ruhende Eisplatte.

Wenn wir die Eisplatte anstoßen, wenden wir eine Kraft an! Die Eisplatte ändert nämlich ihre Geschwindigkeit bzw. sie wird beschleunigt. Doch mit dem beenden der ausgeübten Kraft, wird natürlich auch die Beschleunigung beendet und die Eisplatte geht wieder in ein Inertialsystem über. Wenn wir fester stoßen würden, könnten wir mehr Kraft aufwenden und die Änderung der Geschwindigkeit bzw. die Geschwindigkeit der Eisplatte wäre größer. Wir können deswegen sagen: „Die Beschleunigung \mathbf{a} eines Körpers ist direkt proportional zu der auf ihn ausgeübten Gesamtkraft, wobei die Masse die Proportionalitätskonstante ist. Darüber hinaus weisen der Beschleunigungsvektor und der Vektor der Gesamtkraft in dieselbe Richtung. Newton hat diese Beobachtungen in seinem zweiten Axiom zusammengefasst:“⁵⁵⁹

„Die Beschleunigung eines Körpers ist direkt proportional zu der auf ihn wirkenden Gesamtkraft, wobei die Proportionalitätskonstante der Kehrwert der Masse ist.“⁵⁶⁰

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \text{mit} \quad \vec{F} = \sum \vec{F}_i$$

Doch wird hier klar, dass die physikalische Bedeutung der Masse (in dieser Formel) noch nicht eindeutig bestimmt ist. Dazu benötigen wir nämlich das dritte Newtonsche Gesetz.⁵⁶¹ Um die Massen

⁵⁵⁷ „Galileisches Relativitätsprinzip. Die Newtonschen Bewegungsgleichungen sind unter sämtlichen Galilei-Transformationen invariant.“ REBHAN (I) 2006, S. 27

⁵⁵⁸ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 6

⁵⁵⁹ TIPLER/MOSCA 2009, S. 103

⁵⁶⁰ TIPLER/MOSCA 2009, S. 103

⁵⁶¹ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 23

quantitativ messen zu können, stellen wir uns zwei Massenpunkte m_1 und m_2 vor, wobei wir (rein willkürlich) m_1 als Einheitsmasse annehmen. Wir gehen nur von deren beiderseitigen Wechselwirkungskräften \vec{F}_{12} und \vec{F}_{21} aus und erhalten:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{12} &= -\vec{F}_{21} & | \quad F_{12} &= m_1 \cdot \vec{a}_1 \text{ und } F_{12} = m_2 \cdot \vec{a}_2 \\ m_1 \cdot \vec{a}_1 &= m_2 \cdot \vec{a}_2 & | \quad \div \vec{a}_2 \\ m_1 \frac{|\vec{a}_1|}{|\vec{a}_2|} &= m_2 & \text{ bzw. } \quad m_1 \frac{a_1}{a_2} &= m_2 \end{aligned}$$

Wir sehen in der obigen Formel, dass wir m_2 durch Beschleunigungsmessungen bestimmen können. Sie kann in diesem Sinne irgendein Vielfaches der Einheitsmasse m_1 sein. Die Masse ist natürlich eine (innere) Eigenschaft der Körper und ist daher an jedem Ort gleich!⁵⁶² Newton definiert die Masse, könnten wir sagen, vor allem anderen, in der Erklärung I: „Die Menge der Materie wird durch ihre Dichte und ihr Volumen vereint gemessen.“⁵⁶³ Auch erläutert Newton, dass er unter „Menge der Materie“ „Masse“ (oder auch „Körper“) versteht.⁵⁶⁴ Die Masse ist somit eine eindeutig additive Größe. „(Bei homogenen Körpern bedeutet dies, dass ihre Masse proportional zu der durch ihr Volumen messbaren Substanzmenge ist.)“⁵⁶⁵

Wir können aus der obigen Formel aber sehen, dass wenn die Kraft konstant wäre, wir aber die Masse vergrößern würden, dann natürlich auch die Beschleunigung wieder abnehmen würde. Diese sich widersetzende Masse, welche sich daher träge verhält, wird deshalb auch träge Masse genannt.⁵⁶⁶

Soweit könnten wir mit dem *Massenbegriff* zufrieden sein. Doch wie ist es nun mit dem Begriff von Kraft?

Die „vollständige Behandlung von Kräften“ geht eigentlich „über den Rahmen der Mechanik“⁵⁶⁷ hinaus, doch darauf wollen wir hier gar nicht eingehen. Wir wollen uns ansehen, welche Art von Kräften in der Mechanik eigentlich zugelassen sind. Die Kraft \vec{F} als eine Funktion, wie wir sie in der Formel finden, ist eigentlich nur von der Angabe eines Ortes \vec{x} und einer Geschwindigkeit $\dot{\vec{x}} = \vec{v}$ abhängig. Die Beschleunigung $\ddot{\vec{x}} = \vec{a}$ als ein Anfangswert ist gar nicht notwendig. Das würde auch zur Gänze unserer Erfahrung widersprechen.⁵⁶⁸ Denn nach unserer alltäglichen Erfahrung gilt das

Newtonsches Prinzip des Determinismus:

„Jede Teilchenbahn wird eindeutig durch die Vorgabe von Anfangswerten für Ort und Geschwindigkeit festgelegt.“⁵⁶⁹

⁵⁶² vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 105 und REBHAN (I) 2006, S. 23

⁵⁶³ REBHAN (I) 2006, S. 24 und vgl. NEWTON 2004, S. 637

⁵⁶⁴ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 24 und NEWTON 2004, S. 637

⁵⁶⁵ REBHAN (I) 2006, S. 24

⁵⁶⁶ REBHAN (I) 2006, S. 24

⁵⁶⁷ REBHAN (I) 2006, S. 24

⁵⁶⁸ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 24

⁵⁶⁹ REBHAN (I) 2006, S. 24

Wir können daher unsere Formel genauer aufschreiben als⁵⁷⁰:

$$m \cdot \ddot{\vec{x}} = m \cdot \vec{a} = \vec{F}(\vec{x}, \dot{\vec{x}}, t).$$

Jede andere Funktion der Kraft, welche von der Beschleunigung abhängt, oder noch höhere Ordnungen erlaubt, könnte etwa das dritte oder das „vierte“ Newtonsche Gesetz oder gar beides verletzen!⁵⁷¹

Doch hat natürlich auch dieses, uns aus dem Alltag sehr vertraute, Prinzip eine Gültigkeitsgrenze: „Den deterministischen Standpunkt kann man bei der Formulierung der Dynamik in der Mikrowelt (Quantenmechanik) nicht aufrecht erhalten. So ist es z.B. für die Beschreibung der Bewegung eines Elektrons prinzipiell nicht möglich, die geforderten Anfangsbedingungen vorzugeben (das ist die Aussage der Heisenbergschen Unschärferelation). Bestimmt man den Ort einigermaßen genau (z. B. durch eine Blende, Abb. 3.6b), so ist eine entsprechend genaue Vorgabe der Geschwindigkeit nicht möglich. Die Unschärferelation bedingt, dass der Bewegungsablauf von Mikroteilchen nur im Rahmen einer Wahrscheinlichkeitsaussage betrieben werden kann (siehe Band 3).“⁵⁷² Doch bevor wir in die moderne Physik ausschweifen, kehren wir nochmals zur klassischen Physik zurück.

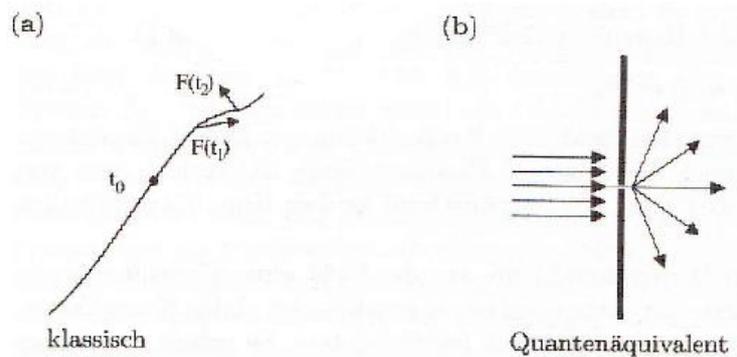


Abb. 3.6. Zu dem Thema Determinismus

Abbildung 19, Quelle: Dreizler I, S. 76

Wenn wir den Kraftbegriff Newtons und Descartes vergleichen, erkennen wir, dass der größte Unterschied vor allem darin liegt, dass Newton, neben den *Kontaktkräften*, auch *Fernwirkungskräfte* noch zulässt.⁵⁷³ Der berühmte Wissenschaftsphilosoph und -theoretiker Thomas S. Kuhn schreibt in seinem Hauptwerk *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* (1962) dazu: „Da neutrale Korpuskeln nur durch Kontakt aufeinander einwirken konnten, richtete die mechanisch-korpuskulare

⁵⁷⁰ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 24

⁵⁷¹ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 26

⁵⁷² DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 76

⁵⁷³ Nach dem Newtonschen Konzept können wir zwischen zwei verschiedenen Kräftearten unterscheiden:

- **Kontaktkräfte:** „Wichtig ist dabei, dass es in jedem Fall einen direkten körperlichen Kontakt zwischen dem Körper, der die Kraft ausübt, und dem, auf den die Kraft ausgeübt wird, gibt.“ (TIPLER/MOSCA 2009, S. 101)
- **Fernwirkungskräfte:** Diese Kräfte „wirken dagegen auf einen Körper, ohne dass es einen direkten körperlichen Kontakt mit einem zweiten Körper gibt. Zu diesen als Fernwirkungskräfte bezeichneten Kräfte zählen die Gravitationskraft, die magnetische Kraft und die elektrische Kraft.“ (TIPLER/MOSCA, S. 101)

Naturanschauung die wissenschaftliche Aufmerksamkeit auf ein völlig neues Studienobjekt – die Veränderung der Teilchenbewegung durch Kollision. Descartes machte das Problem bekannt und lieferte seine erste auf Vermutungen beruhende Lösung. Huygens, Wren und Wallis entwickelten es weiter, teils dadurch, daß sie mit kollidierenden Pendelgewichten experimentierten, vor allem aber dadurch, daß sie altbekannte Eigenschaften der Bewegung auf das neue Problem übertrugen. Und Newton fügte ihre Ergebnisse in seine Bewegungsgesetze ein. Die einander gleiche >>actio<< und >>reactio<< des dritten Gesetzes sind die Veränderungen der Bewegungsgröße der beiden an der Kollision beteiligten Körper. Die gleiche Bewegungsänderung liefert die Definition der dynamischen Kraft, die im zweiten Gesetz enthalten ist. In diesem Fall wie auch sonst oft im siebzehnten Jahrhundert erzeugte das Korpuskularparadigma ein neues Problem und gleichzeitig auch einen großen Teil der Lösung dieses Problems.

Und doch, obwohl ein großer Teil der Newtonschen Arbeit sich auf die Probleme und Normen richtete, die vom mechanisch-korpuskularen Weltbild hergeleitet waren, war die Wirkung des aus seiner Arbeit entstehenden Paradigmas eine weitere, teilweise destruktive Veränderung der für die Wissenschaft gültigen Probleme und Normen. Die Schwerkraft, die als eine der Materie innewohnende Anziehung zwischen jedem Teilchenpaar interpretiert wurde, war eine okkulte Eigenschaft im gleichen Sinne, wie es die >>Falltendenz<< der Scholastiker gewesen war. Deshalb war die Suche nach einer mechanischen Erklärung der Schwerkraft eines der lockendsten Probleme für die welche die *Principia* als Paradigma annahm, solange die Normen der Korpuskulartheorie wirksam blieben. Newton wandte dieser Suche viel Aufmerksamkeit zu, und viele seiner Nachfolger im achtzehnten Jahrhundert taten das gleiche. Die einzige andere Möglichkeit war die Ablehnung der Newtonschen Theorie, weil sie die Schwerkraft nicht erklären konnte, und auch diese fand viele Anhänger. Dabei triumphierte letztlich keine dieser Anschauungen. Da die Wissenschaftler einerseits die Wissenschaft ohne die *Principia* nicht praktizieren, andererseits aber dieses Werk den Korpuskularnormen des siebzehnten Jahrhunderts nicht anpassen konnten, übernahmen sie allmählich die Anschauung, daß die Schwerkraft in der Tat etwas der Materie Innewohnendes sei. In der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts war diese Interpretation fast allgemein anerkannt, und das Ergebnis war eine echte Rückkehr (was nicht das gleiche ist wie ein Rückschritt) zu einer scholastischen Norm. Innewohnende Kräfte der Anziehung und Abstoßung traten neben Größe, Form, Lage und Bewegung als physikalisch nicht reduzierbare Primäreigenschaften der Materie.

Die sich ergebende Veränderung der Normen und des Problembereichs der Physik war wiederum folgerichtig. In den Jahren nach 1740 konnten die Elektriker beispielsweise vom Anziehungs->>Vermögen<< der elektrischen Flüssigkeit sprechen, ohne damit den Spott herauszufordern, [...].⁵⁷⁴

Nun haben wir aber schon genug der vielen Worte zum Kraftbegriff getätigt. Wir möchten natürlich auch kennenlernen, wie diese Kräfte bzw. wie Körper aufeinander wirken können; oder mit anderen Worten: Was genau sagt das dritte Newtonsche Gesetz über >>actio<< und >>reactio<< eigentlich tatsächlich aus?

⁵⁷⁴ KUHN 2012, S. 117-118

Passend hierzu können wir auch Renate Wahsner und Horst-Heino v. Borzeszkowski zitieren, die folgendes betonen: „Die neuzeitliche Naturwissenschaft, insbesondere die Physik, beruht darauf, daß nicht die Substanz der Körper Gegenstand der Untersuchung ist, sondern ihr Verhalten oder – wie man auch sagt – ihre Wirkung. Cassirer faßt diesen Übergang als den vom Substanzdenken zum Funktionsdenken [...]“ VOLTAIRE 1997, S. 47, Fußnote 130

Wechselwirkungsgesetz und Invarianz bzw. Theory of Mind

In *Tipler* ist zu lesen: „Das dritte Newton'sche Axiom beschreibt eine wichtige Eigenschaft von Kräften: Kräfte treten stets paarweise auf. Wird beispielsweise auf einen Körper A eine Kraft ausgeübt, muss es einen anderen Körper B geben, der diese Kraft ausübt. Das dritte Newton'sche Axiom besagt, dass die Kräfte den gleichen Betrag, aber die entgegengesetzte Richtung haben. Das heißt: Wenn der Körper A eine Kraft auf den Körper B ausübt, übt der Körper B auf den Körper A eine Kraft aus, die betragsmäßig gleich, aber entgegengesetzt gerichtet ist.“^{575/576}

Wir können sehen, dass das dritte Newtonsche Gesetz (bzw. Axiom) selbstverständlich eine Theory of Mind voraussetzt, da wir uns in beide Körper A und B (abwechselnd) hineinzusetzen versuchen. Die Begriffe *actio* und *reactio* (aber auch das dritte Newtonsche Gesetz allgemein) können natürlich zu einigen Missverständnissen führen. (Beispielsweise könnte man den Eindruck gewinnen, dass der eine Körper erst auf den anderen Körper reagieren muss. Tatsächlich treten die Kräfte aber gleichzeitig auf.⁵⁷⁷) Auf diese werden wir in dieser Arbeit wenig eingehen und wollen uns mehr auf ihren Nutzen konzentrieren:

- Wir konnten bereits zeigen, dass wir das dritte Gesetz benötigen, wenn wir mit dem zweiten Gesetz die Massen bestimmen möchten.⁵⁷⁸
- Außerdem führte uns das dritte Newtonsche Gesetz zusammen mit dem vierten Gesetz zum Determinismus bzw. zum Kausalitätsprinzip.⁵⁷⁹

Ohne den Beweis in dieser Arbeit (aus Platzgründen) zu geben, wollen wir hier zu dem noch festhalten, dass auch das dritte Newtonsche Gesetz natürlich **generell nicht** in Nicht-Inertialsystemen gilt. (Es gibt jedoch eben schon Fälle, wo sie auch in Nicht-Inertialsystemen gilt.)

Wir können uns deshalb notieren:

„Ein System, in dem bei der Wechselwirkung zweier Massenpunkte generell das Prinzip „actio = reactio“ gilt, ist ein Inertialsystem.“⁵⁸⁰

*Insofern können wir auch zwischen dem dritten Newtonschem Gesetz und der Theory of Mind eine Beziehung feststellen. Wenn wir uns als Beobachter in einem Bezugssystem befinden, in welchem das dritte Newtonsche Gesetz **generell** gilt, dann wissen wir: Wir sind in einem Inertialsystem.⁵⁸¹ Also genau in einem System, welches uns nach der klassischen Physik erst eine objektive Wissenschaft erlaubt!*

Das dritte Gesetz kam Newton sicher sehr entgegen, da er mit ihr sogleich auch für das **1. Fundamentale Kraftgesetz (=Gravitationsgesetz)** – welches schließlich von ihm selbst entdeckt

⁵⁷⁵ Dies schließt auch ein: „Zwei äußere Kräfte, die auf denselben Körper wirken, können nie ein Aktions-Reaktions-Paar bilden.“ TIPLER/MOSCA 2009, S. 120

⁵⁷⁶ TIPLER/MOSCA 2009, S. 119

⁵⁷⁷ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 119-120

⁵⁷⁸ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 28

⁵⁷⁹ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 28

⁵⁸⁰ REBHAN (I) 2006, S. 29

⁵⁸¹ vgl. dazu auch REBHAN (I) 2006, S. 28

wurde – einsetzen konnte.⁵⁸² Es gilt aber auch für das **2. Fundamentale Kraftgesetz (= Coulombkraft bzw. elektrische Kraft)**, welches etwas 100 Jahre nach dem Erscheinen der *Principia* entdeckt wurde.⁵⁸³ Bei diesem Kraftgesetz ist jedoch aufgrund der Ladungen sowohl eine Anziehung, als auch eine Abstoßung möglich.⁵⁸⁴ Doch in der Elektrodynamik, wenn geladene Teilchen mit hoher Relativgeschwindigkeit mit einander wechselwirken und somit relativistische Effekte auftreten, wird das dritte Gesetz in Inertialsystemen endgültig verletzt.⁵⁸⁵ Wenig später nach dem elektrischen Kraftgesetz, konnte man auch die magnetischen Kraftwirkungen physikalisch besser verstehen. Doch auch diese konnten das dritte Gesetz nicht direkt erfüllen.⁵⁸⁶ Im 20. Jhdt. sind noch **zwei weitere fundamentale Kraftwirkungen** entdeckt worden, weshalb man auch von **vier fundamentalen Wechselwirkungen** der Natur spricht.⁵⁸⁷ „Man geht davon aus (und es gibt bisher keine gegenteiligen experimentellen Hinweise), dass alle vier Wechselwirkungen eine erweiterte Form des dritten Axioms erfüllen.“⁵⁸⁸ Aber das soll in dieser Arbeit nicht unsere Sorge sein. Schauen wir uns stattdessen lieber die 1. fundamentale Kraftwirkung im Zusammenhang mit *Newtons Kosmologie* etwas genauer an.

Die Prinzipien der Kosmologie von Newton

Das erst im Todesjahr gedruckte Werk *Sechs Bücher über die Revolutionierung der Himmelsbahnen* (1543) von Nicolaus Kopernikus (1473-1543)⁵⁸⁹ führt bekanntlich die *kopernikanische Wende* ein. Dieses hat für die Neuzeit *zwei* unterschiedliche *Epochen*⁵⁹⁰ eingeleitet, welche beides von *Theory of Mind* geprägt sind:

- ✓ Einerseits sicher in der wissenschaftlichen Landschaft der Astronomie bzw. Kosmologie, wo ein Perspektivenwechsel stattfindet. Der wissenschaftliche Beobachter verlässt sozusagen seine Beobachtungsstation Erde und versetzt sich gedanklich in das Inertialsystem der Sonne. Wie vorher die Erde nimmt er nun die Sonne als das **Beobachtungszentrum**. (Die Annahme, dass Kopernikus die Sonne in das Weltzentrum stellt, ist zwar sehr verbreitet, aber nicht richtig! Die Sonne nimmt zwar eine zentrale Stellung, jedoch nicht einen zentralen Platz in seinem System ein.⁵⁹¹ Erst Kepler wird das Zentrum des Sonnensystems in den Mittelpunkt der Sonne legen.)⁵⁹² Aus dieser neuen Perspektive und dem gedachten Modell werden die

⁵⁸² vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 79

⁵⁸³ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 80

⁵⁸⁴ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 80

⁵⁸⁵ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 29

⁵⁸⁶ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 80-81

⁵⁸⁷ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 81

Diese sind die:

- gravitative Wechselwirkung
- elektromagnetische Wechselwirkung
- schwache Wechselwirkung
- starke Wechselwirkung

⁵⁸⁸ DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 81

⁵⁸⁹ Im Original: *De Revolutionibus orbium coelestium libri sex*

vgl. BIALAS 2004, S. 72-73

⁵⁹⁰ vgl. BIALAS 2004, S. 71

⁵⁹¹ vgl. BIALAS 2004, S. 81

⁵⁹² vgl. BIALAS 2004, S. 73

theoretischen Beschreibungen der Himmelbewegungen am einfachsten.⁵⁹³ Dieses Modell ist ökonomisch gesehen sicher das Beste und erfüllt die Forderungen des Okhamschen Messers.

- ✓ Andererseits auch eine neue Stellung des Menschen! Da die Erde „nur“ die Rolle eines der Planeten (unter vielen) bekam, und ihren zentralen Punkt in der Weltanschauung verlor, so verlor auch der Mensch seinen zentralen Punkt bzw. seine absolute Perspektive im Universum. Umso deutlicher wurde natürlich die revolutionäre Bedeutung der Perspektivenübernahme bzw. Theory of Mind!

An Kopernikus Lehren schließt sich Kepler an und schickt die zukunftsweisenden Worte voraus: „Ich halte dafür, daß die beiden Wissenschaften [Astronomie und Physik] so miteinander verflochten sind, daß keine ohne die andere zur Vollkommenheit gelangen kann.“⁵⁹⁴ Es klingt beinahe so, als ob dieser Satz den tiefen Blick des Thales in den Sternenhimmel endlich in Worte fassen kann. Kepler – der von Karl Popper ganz besonders bewundert wird⁵⁹⁵ – gelingt es die Beobachtungsdaten von Tycho Brahe und das Kopernikanische Modell in drei Gesetzen zusammenfassen. Dabei gründet er Hypothesen, durch welche die Planetenbewegungen physikalisch begreifbar bzw. beschreibbar werden:

- Die Anziehungskraft ist der Grund, weshalb die Planeten auf ihren Bahnen bleiben. Kepler folgt hier dem englischen Wissenschaftler William Gilbert, der dachte, dass die magnetischen Kräfte dafür der Grund seien.⁵⁹⁶ Doch Kepler geht hier weiter und benützt den Magnetismus nur als Gleichnis, um die Massenanziehung begreifbarer zu machen.⁵⁹⁷
- Kepler setzt die Sonne in das Zentrum des Sonnensystems, von wo die anziehende Kraft auf die Planeten ausgeht.⁵⁹⁸
- Diese anziehende Kraft nimmt mit dem umgekehrten Quadrat des Abstandes ab⁵⁹⁹: $F \sim \frac{1}{r^2}$

⁵⁹³ „Ihrer Entstehung nach beruht die copernikanische Lehre vor allem auf dem Prinzip, eine möglichst einfache und zweckmäßige Erklärung für die Planetenastronomie bereitzustellen.“ BIALAS 2004, S. 76

Auch Russell weist darauf hin, wenn er über Kopernikus schildert: „Er wußte alles, was man mit den damaligen Instrumenten überhaupt von der augenscheinlichen Bewegung der Himmelskörper im Weltenraum feststellen konnte und erkannte, daß die tägliche Umdrehung der Erde eine ökonomischere Hypothese war als die Umdrehung aller himmlischen Sphären. Nach moderner Auffassung, die jede Bewegung als relativ ansieht, ist der einzige Vorzug dieser Hypothese die Einfachheit; [...]“ RUSSELL 1988, S. 537

⁵⁹⁴ BIALAS 2004, S. 32

⁵⁹⁵ „Unter den drei Geistesriesen – den Zeitgenossen Galilei und Kepler und ihrem Nachfolger Newton -, die zusammen (und mit anderen) unsere Naturwissenschaft geschaffen haben, ist Kepler vielleicht der größte. Sicher ist er die anziehendste, offenste und bescheidenste Persönlichkeit.“ POPPER 2012, S. 8

Kepler wurde sehr (unter anderem) von den Schriften Platons beeinflusst. vgl. RUSSELL 1988, S. 539

⁵⁹⁶ William Gilbert schreibt: „Die Erdkugel ist magnetisch und darüber hinaus ein Magnet. Ein Magnetstein bei uns hat alle ansehnlichen Kräfte (*vires primariae*) der Erde, die Erde bleibt durch dieselben Wirksamkeiten (*potentiae*) im Weltall in einer festen Richtung.“ zitiert nach BIALAS 2004, S. 79; vgl. auch BIALAS 2004, S. 90

⁵⁹⁷ vgl. BIALAS 2004, S. 93

⁵⁹⁸ vgl. BIALAS 2004, S. 91, 93

⁵⁹⁹ vgl. BIALAS 2004, S. 91

Weshalb die Anziehung quadratisch abnimmt, ist für uns heute nicht schwer einzusehen. Das dritte Keplersche Gesetz können wir vereinfacht schreiben als

$$T^2 \approx r^3$$

Außerdem können wir die Geschwindigkeit einer Kreisumlaufbahn ganz leicht in folgender Form wiedergeben

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$$

- Außerdem ist diese Kraft „der Masse des anziehenden Körpers proportional“⁶⁰⁰: $F \sim M$

Kepler wird seine Gedanken im hohen Alter immer klarer formulieren und schreibt schlussendlich über die Anziehungskraft: „Ich definiere die Schwere als eine der magnetischen Kraft ähnliche gegenseitige Anziehung. Die Kraft dieser Anziehung ist größer in näheren als in entfernten Körpern“⁶⁰¹.

Wenn wir nun nach einem Gesetz suchen, welche die Anziehungskraft zweier Massen aufeinander beschreiben soll, dann können wir durch Keplers Gedanken auf folgende Formel schließen:

$$F \sim \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$$

Genauere Messungen würden jedoch zeigen, dass da noch eine Gravitationskonstante G fehlt. Die genauere Formel wäre dann somit:

Wenn wir diese Gleichung quadrieren und schließlich das vereinfachte Keplersche Gesetz einsetzen, erhalten wir

$$v^2 \approx \frac{r^2}{T^2} \quad | \quad T^2 \approx r^3$$

$$v^2 \approx \frac{r^2}{r^3} \approx \frac{1}{r}$$

Von Huygens wissen wir, dass wir für die Zentripetalbeschleunigung

$$a_{\text{Zentripetal}} = \frac{v^2}{r} \quad \text{bzw.} \quad a_{\text{Zentripetal}} \cdot r = v^2$$

benützen dürfen. Nun erhalten wir schlussendlich

$$v^2 \approx \frac{1}{r} \quad | \quad v^2 = a_{\text{Zentripetal}} \cdot r$$

$$a_{\text{Zentripetal}} \cdot r = \frac{1}{r} \quad | \quad \div r$$

$$a_{\text{Zentripetal}} = \frac{1}{r^2}$$

Da die Zentripetalbeschleunigung quadratisch abnimmt, können wir natürlich auch sagen, dass die Anziehung quadratisch abnimmt.

vgl. LORENZEN 1960, S. 138

⁶⁰⁰ BIALAS 2004, S. 98

⁶⁰¹ zitiert nach BIALAS 2004, S. 98

So schreibt Volker Bialas alle in allem: „In der schrittweise erfolgenden Konkretisierung des Schwerebegriffs kommt Kepler, ohne sich die mechanistische Naturauffassung zueigen zu machen, dem Newtonschen Gravitationsbegriff bereits recht nahe.“ BIALAS 2004, S. 96

Diese Ansicht hat bereits Emil Strauss, der meint: „Eine nach mancher Seite hin richtigere Ansicht über das Wesen der Schwere hat Kepler gehabt; ja man darf behaupten, dass er die allgemeine Gravitation vor Newton gelehrt habe, abgesehen von der, allerdings überaus wesentlichen, Bestimmung betreffs der Größe der Attraktion.“ GALILEI 1891, S. 525, Fußnote 54

Aber auch Kopernikus schreibt: „Ich wenigstens bin der Ansicht, daß die Schwere (*gravitas*) nichts anderes ist als ein gewisses natürliches Streben (*appetentia quaedam naturalis*) der Teile, das ihnen von der göttlichen Vorsehung des Weltenmeisters eingepflanzt ist, damit sie sich in Form einer Kugel zu einer Einheit und Ganzheit zusammenschließen. Es ist anzunehmen, daß dieses Streben (*affectio*) auch der Sonne, dem Mond und den übrigen Planeten innewohnt, so daß sie durch diese Wirkung in der runden Gestalt, in der sie erscheinen, verharren. Sie vollenden nichtsdestoweniger auf verschiedenen Weise ihre Kreisläufe.“ zitiert nach BIALAS 2004, S. 72-73

$$F = \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2} \cdot G$$

Das ist das Gravitationsgesetz von Newton. Wir sehen also, wie nah beieinander die Vorstellungen von Kepler und Newton in Wirklichkeit waren. Newton konnte natürlich nicht nur die rechte Seite der Gleichung, sondern auch die linke Seite der Gleichung, nämlich den Begriff der Kraft besser definieren. (Dafür sind sicher unter anderem eben die Arbeiten von Galilei, Descartes und Huygens sehr hilfreich gewesen.)

Mit den Newtonschen Gesetzen tauchen die bei Descartes erwähnten Probleme beim Verständnis der Keplerschen Gesetze erst gar nicht auf! Wir werden beispielsweise auch zeigen, dass das dritte Keplersche Gesetz mit den Newtonschen Gesetzen nicht nur übereinstimmt, sondern von ihnen sogar ableitbar ist.⁶⁰² Genau genommen gilt zwischen den Gesetzen Keplers und den Gesetzen Newtons das Korrespondenzprinzip.⁶⁰³ Denn streng betrachtet, kann schon das erste Keplersche Gesetz nicht ganz stimmen. Die Planeten drehen sich nämlich weder um die Sonne, noch sitzt diese im Brennpunkt einer Ellipse. Newton stellt klar: „Der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Sonne, der Erde und aller Planeten muß also als der Mittelpunkt der Welt angesehen werden.“⁶⁰⁴ Wir sehen, wie einfach, präzise und vor allem elegant Newton einer der bedeutendsten Fragen in der Menschheitsgeschichte beantwortet, ob nun die Sonne oder die Erde usw. im Mittelpunkt unseres Weltsystems steht. Auf Grund der großen Sonnenmasse (relativ zu den Planeten), befindet sich dieser gemeinsame Schwerpunkt jedoch in der Sonne, wodurch wir das erste Keplersche Gesetz guten Gewissens benutzen können.⁶⁰⁵ Doch schauen wir uns dieses Gesetz doch gleich etwas genauer an.

Das 1. Keplersche Gesetz lautet bekanntlich: „Die Umlaufbahn aller Planeten haben die Form einer Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.“⁶⁰⁶

Aus der Geometrie lässt sich erklären, dass *der Kreis eine Sonderform der Ellipse* darstellt – siehe dazu die Abbildungen 20-23. Wenn nämlich die Brennpunkte einer Ellipse genau aufeinander fallen (Abbildung 23), dann erhalten wir einen Kreis.

⁶⁰² Newton setzte sich schon sehr früh mit den Keplerschen Gesetzen auseinander. Paul Lorenzen schreibt: „NEWTON bemerkte schon in den Jahren 1664-1666, daß sich das zweite Keplersche Gesetz der Planetenbewegung durch die Annahme einer Zentralbeschleunigung (also einer Beschleunigung in Richtung auf die Sonne) erklären läßt.“ LORENZEN 1960, S. 137

⁶⁰³ vgl. dazu POPPER 2005, S. 385

⁶⁰⁴ NEWTON 2004, S. 852

⁶⁰⁵ Betrachten wir nun aber beispielsweise, wie die Erde um die Sonne eine Ellipse beschreibt, müssten wir eigentlich – wenn wir es etwas genauer untersuchen wollen würden - sagen: „Der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Erde und des Mondes beschreibt um die Sonne eine Ellipse, in deren Brennpunkt sich die letztere befindet und deren um diesen Punkt beschriebene Flächenräume den Umlaufzeiten proportional sind. Die Erde bewegt sich um diesen gemeinschaftlichen Schwerpunkt ungefähr in einem Monat.“ NEWTON 2004, S. 853

⁶⁰⁶ TIPLER/MOSCA 2009, S. 426

Das erste Keplersche Gesetz setzt physikalisch eigentlich voraus, dass die Masse der Sonne (= Zentralkörper), viel größer sein muss, als die der Planeten, so dass deren Massen *vernachlässigbar* sind. Denn aus der Perspektive der Physik gesehen, sitzt nicht die Sonne in diesem einen Brennpunkt, sondern der gemeinsame Schwerpunkt von der Sonne und den Planeten. Da aber die Masse der Sonne 700fach größer ist, als die Massen aller Planeten in unserem Sonnensystem, können wir in *guter Näherung* sagen, dass der Schwerpunkt unseres Sonnensystems und der der Sonne zusammenfallen.

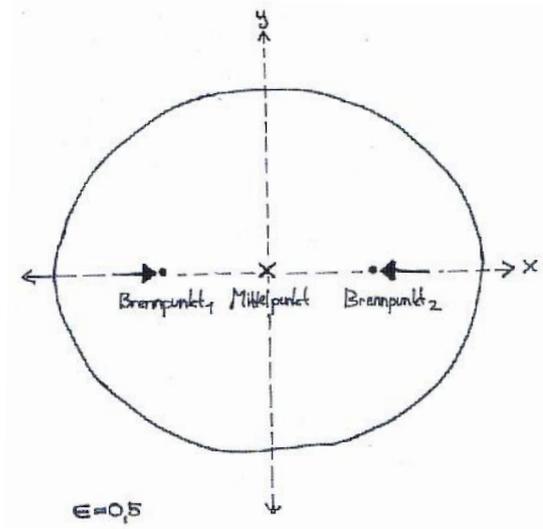


Abbildung 20

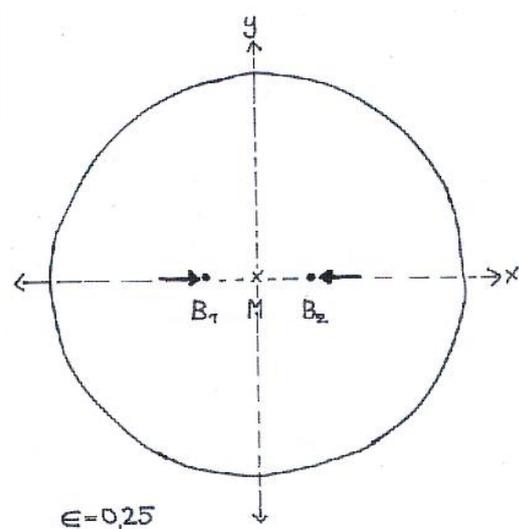


Abbildung 21

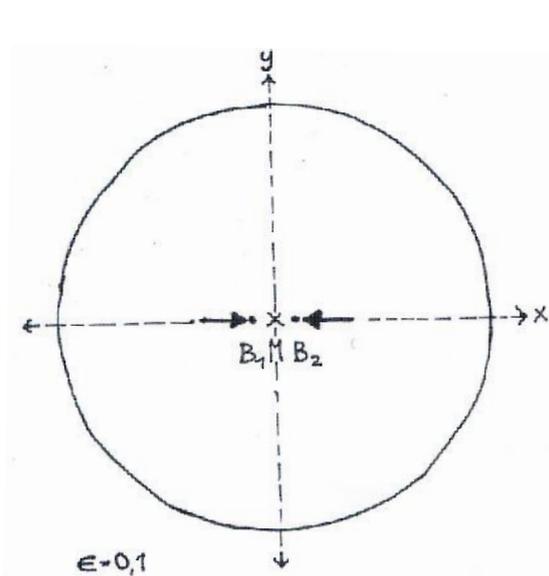


Abbildung 22

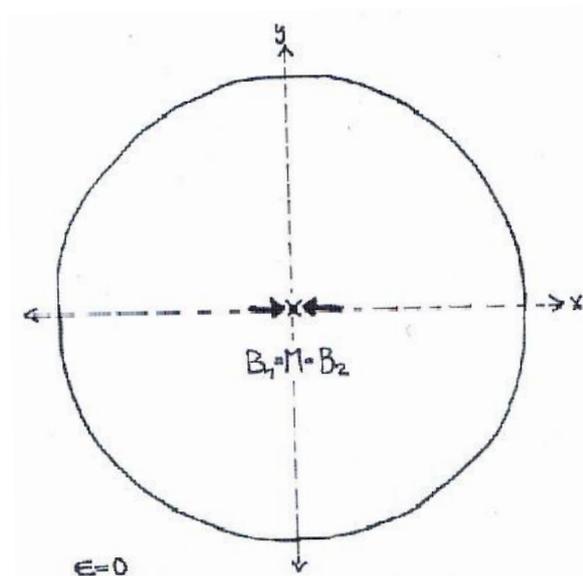


Abbildung 23

Das kommt uns natürlich sehr gelegen, denn die Ellipsenbahnen, auf welchen sich die Planeten bewegen, sind eigentlich beinahe Kreise.⁶⁰⁷ Diesen Zusammenhang wollen wir uns genauer anschauen. Dabei ist der Begriff der **Exzentrizität** (ϵ) von Bedeutung. Nehmen wir an, wir haben eine Ellipse, wie in der Abbildung 24 (und Abbildung 25) dargestellt, wobei für die Halbachsen a, b folgendes gilt: $a \geq b$.

⁶⁰⁷ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 78

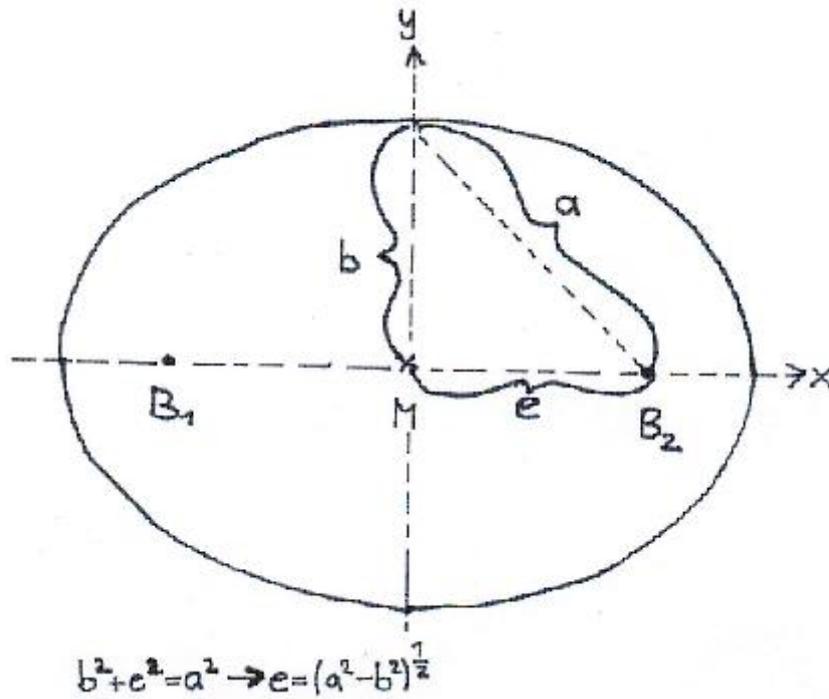


Abbildung 24

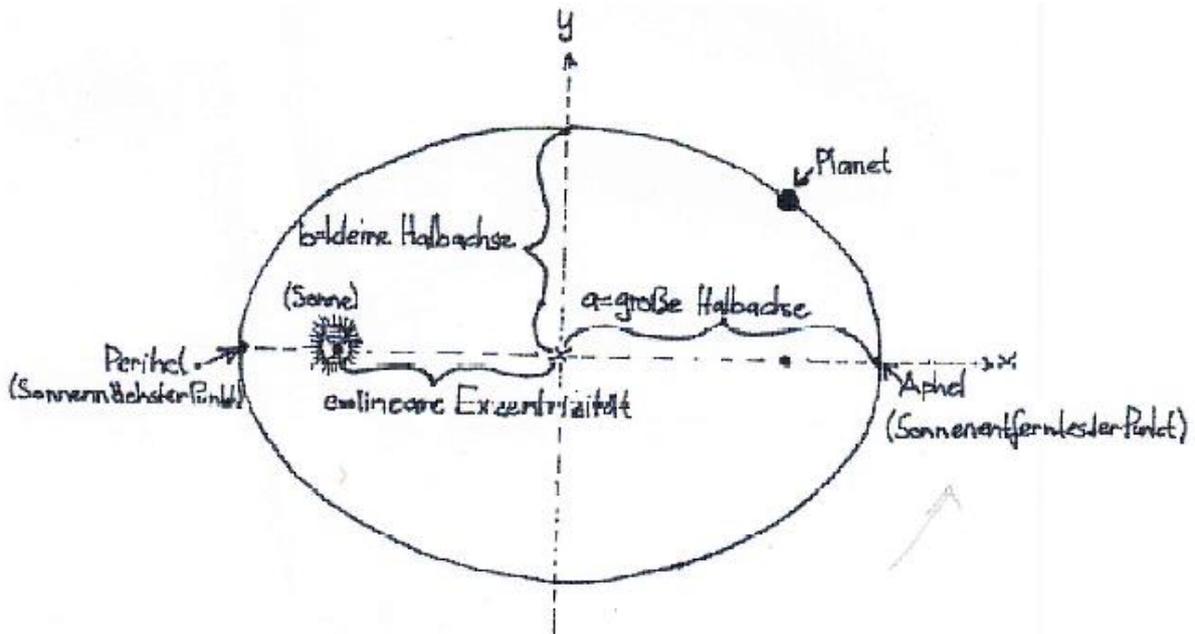


Abbildung 25

Wenn e nun den Abstand der beiden Brennpunkte vom Mittelpunkt angibt, dann können wir das auch mit einer Formel angeben⁶⁰⁸:

$$e = (a^2 - b^2)^{\frac{1}{2}}$$

⁶⁰⁸ vgl. DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 78

(Im Falle einer Parabel hätten wir $b = 0$ und somit $e = a$. Das hätte zu bedeuten, dass die Planeten zwar von der Sonne umgelenkt würden, aber dabei nicht auf einer Bahn eingefangen werden. Hätten wir dagegen $a = b$ und $e = 0$, dann ergäbe sich eine schöne Kreisumlaufbahn.)

Die Exzentrizität ϵ ist gegeben durch

$$\epsilon = \frac{e}{a} = \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Wenn wir nun für die Exzentrizität

- $\epsilon = 0$ haben, dann erhalten wir einen Kreis,
- bei $0 \leq \epsilon < 1$ bekommen wir eine Ellipse
- $\epsilon = 1$ ergibt eine Parabel und
- $\epsilon > 1$ führt zu einer Hyperbel.

Die *parabolischen*⁶⁰⁹ und *hyperbolischen Kurven* sind keine *geschlossenen Bahnen*. Ein gutes Beispiel geben einige Kometen, die zwar von der Schwerkraft der Sonne *einmal* von ihrer Bahn abgelenkt werden, aber nicht um sie „kreisen“. Dagegen sind die Bahnen der Planeten⁶¹⁰ geschlossen – für ihre Exzentrizität haben wir die folgenden Daten⁶¹¹:

Planet	Exzentrizität ϵ der Umlaufbahn
Merkur	0,2
Venus	0,01
Erde	0,02
Mars	0,09
Jupiter	0,05
Saturn	0,06
Uranus	0,05
Neptun	0,01

Wir können sehen, dass (bis auf Merkur) die Planetenbahnen in sehr guter Näherung eigentlich eine Kreisform besitzen. (Besonders Neptun oder noch besser Venus beschreiben als Bahn einen *ausgezeichneten* Kreis.) Für ein besseres Verständnis geben wir hier ein Beispiel: Nehmen wir an, Sie wollten die Erdbahn auf ein Blatt Papier, mit Zirkel und Lineal aufzeichnen. Wenn Sie dabei für die kleine Halbachse $b = 4 \text{ cm}$ wählen würden, dann hätten sie für die große Halbachse $a = 4,0006 \text{ cm}$.⁶¹² Sie werden sehr schnell erkennen, dass Sie mit dem Zeichnen eines Kreises, dessen Radius 4 cm

⁶⁰⁹ Eine Parabel können wir uns auch so vorstellen: Wenn die Brennpunkte einer Ellipse unendlich weit voneinander entfernt sind (bzw. die große Halbachse unendlich lang ist), dann „wird“ sie zu einer Parabel.

⁶¹⁰ Da Pluto nicht mehr den Status eines Planeten besitzt, wird er in diese Tabelle nicht miteinbezogen. (Seit 2006 hat Pluto den Status eines Zwergplaneten.)

⁶¹¹ vgl. hierzu die Tabelle DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 78. Auch die Interpretation der Tabelle wurde von dort übernommen.

Für die Schule empfehlen wir besonders die LEIFIPHYSIK (KEPLER GESETZE) und die SIMULATION ZU DEN KEPLERGESETZEN.

⁶¹² vgl. hierzu DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 78

beträgt, am besten bedient sind (, denn der Unterschied 0,0006 cm ist mit bloßem Auge gar nicht wahrnehmbar.)

Wir können somit eigentlich mit gutem Gewissen die Planetenbahnen als Kreisbahnen betrachten. Kepler selbst stützte seine Berechnungen auf die Beobachtungsdaten von Tycho Brahe. Dieser suchte mehr oder minder einen Kompromiss zwischen dem Ptolemäischen und dem Kopernikanischen Weltbild⁶¹³ und hatte lange Zeit den Planeten *Mars* beobachtet. Diese Informationen sind auch deshalb erwähnenswert, da Kepler in gewisser Weise auch ein bißchen Glück hatte. Und zwar nicht nur, weil auch Tycho Brahe sich mit verschiedenen Weltbildern auseinandersetzte, sondern auch deswegen, da Mars von allen Planeten am zweit deutlichsten eine Ellipse beschreibt.

Doch wir wollen nun wieder zu unserem Problem mit dem dritten Keplerschen Gesetz zurückkehren. Wir übernehmen den Gedanken von Newton, dass ein Planet sich – im Gegensatz zu Descartes – im leeren Raum um die Sonne dreht. Wir kommen sodann gleich zu der Formel⁶¹⁴:

$$2 \cdot \pi \cdot r = v \cdot T$$

Jetzt setzen wir noch die Radialbeschleunigung mit dem zweiten Newtonschen (Kraft)gesetz gleich und erhalten:

$$F = m_{\text{Planet}} \cdot a = m_{\text{Planet}} \cdot \frac{v^2}{r}$$

(Bei der Zentripetalkraft können wir statt a auch v^2/r schreiben.)

Nun benötigen wir das berühmte Gravitationsgesetz von Newton, welches einen Zusammenhang zwischen dem Fallen eines Steines auf der Erde und der Bewegung der Himmelskörper herstellt. Ein Gesetz, welches sowohl die Erde, als auch den Himmel unter dieselben Naturgesetze stellt, durch das einfache Verständnis, dass sich zwei Massen gegenseitig anziehen. Das berühmte Gravitationsgesetz lautet⁶¹⁵:

$$F_{\text{Gravitation}} = G \cdot \frac{m_{\text{Sonne}} \cdot m_{\text{Planet}}}{r^2}$$

Wir setzen nun die beiden Formeln gleich:

$$F_{\text{Gravitation}} = F$$

bzw.

$$G \cdot \frac{m_{\text{Sonne}} \cdot m_{\text{Planet}}}{r^2} = m_{\text{Planet}} \cdot \frac{v^2}{r} \quad | \cdot r \quad | \div m_{\text{Planet}}$$

$$G \cdot \frac{m_{\text{Sonne}}}{r} = v^2 \quad | v^2 = \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}\right)^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^2}{T^2}$$

⁶¹³ vgl. dazu RUSSELL 1998, S. 538

⁶¹⁴ (vgl. dazu auch TIPLER/MOSCA 2009, S. 435)

T = Umlaufzeit
 v = Bahngeschwindigkeit
 r = Bahnradius

⁶¹⁵ G = Gravitationskonstante

$$G \cdot \frac{m_{\text{Sonne}}}{r} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^2}{T^2}$$

$$| \cdot r \quad | \cdot T^2 \quad | \div (G \cdot m_{\text{Sonne}})$$

und erhalten so das 3. Keplersche Gesetz:

$$T^2 = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot m_{\text{Sonne}}} \cdot r^3$$

Wir können auch gleich erkennen, dass die Keplersche Konstante im 3. Keplerschen Gesetz eigentlich aus verschiedenen physikalischen Größen (, unter anderem aus der Gravitationskonstante und Masse der Sonne,) zusammengesetzt ist: $\text{Konstante} = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot m_{\text{Sonne}}}$.⁶¹⁶ **Das Bezaubernde ist also nicht nur, dass die Newtonschen Gesetze einen tief physikalischen Blick in das Innere der Keplerschen Gesetze gewähren, sondern auch in die „Keplersche Konstante“.**

Auch Karl Popper beschreibt, passend zu unseren Untersuchungen, die Beziehung zwischen Kepler und Newton in folgender Weise: „Er hatte die Integralrechnung intuitiv erreicht, aber nicht die Differentialgleichung. Er verstand, daß die Körper einander anziehen, einander bewegen; und daß die große, von der Sonne ausgehende Kraft die Ursache ist, die die Bewegung der Planeten erklärt. Aber er sah noch nicht den subtilen Unterschied zwischen einer Ursache der Bewegung von Körpern und einer Ursache der Änderung ihres Bewegungszustandes. Das ist der Unterschied zwischen dem Keplerschen und dem Newtonschen Angriff auf das Problem, die *Ursache* hinter den Erscheinungen, hinter Keplers Gesetzen, zu entdecken. Das ließ Kepler hoffen, die Ursache in der Harmonie zu finden.“⁶¹⁷

Wir möchten in dieser Arbeit jedoch versuchen uns ein genaueres Bild davon zu machen, wie der Einfluss von Kepler auf Descartes und Newton konkreter zu definieren ist. Generell könnten wir die Kosmologien von Descartes und Newton in folgender Weise darstellen:

- Descartes formulierte eine Wirbeltheorie. Mit dieser versuchte er die Bewegung der Planetenbewegung zu erklären; und in gewisser Weise auch die Schwerkraft.
- Newton zeigte, dass Descartes Theorie falsch war! (Die Theorie hatte sowieso beinahe niemanden überzeugt.) Doch Newton konnte nicht nur durch Experimente zeigen, weshalb es keinen Wirbel erzeugenden Äther geben durfte, sondern er erkannte durch das Fallen eines Apfels, wie Schwerkraft funktionierte.

Diese Auffassung der Physikgeschichte ist aber sicher **ungenau**, wenn nicht sogar **unwahr!** Beruhend auf womöglich auf falschen Legenden, einer Herabwürdigung von Descartes und einem Verschweigen der Vorarbeit von Kepler.

Natürlich nicht vollkommen, jedoch besser wäre die geschichtliche Entwicklung womöglich in dieser Form gegeben:

- **Schon Kepler benützte sowohl eine Wirbeltheorie wie Descartes, als auch eine Theorie der Anziehungskraft wie Newton in seiner Theorie, um die Kosmologie zu erklären!**⁶¹⁸ (Kepler

⁶¹⁶ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 435

⁶¹⁷ POPPER 2012, S. 151

⁶¹⁸ Volker schreibt: „In der näheren physikalischen Begründung seiner Planetenastronomie hat Kepler so zwei einander ergänzende Bewegungsprinzipien angenommen: Zum einen den aus der Rotation des Sonnenkörpers

hervorgehenden und in die ganze Welt ausstrahlenden Strom der immateriellen Spezies, der nun an die Stelle des aristotelischen ersten Bewegers getreten ist; zum anderen die magnetische Ausrichtung des Planetenkörpers in Wechselwirkung mit dem Magnetfeld des Sonnenkörpers. Die Spezies sind also die Träger einer Kraft oder Energie, die den Planeten aktuell ergreift und herumbewegt. Ihre Emanation erfolgt ähnlich jener des Lichtes, allerdings zeitverzögert und nicht geradlinig, und geschieht innerhalb des fein verteilten Äthers (*aura artherea*), der wie eine Flüssigkeit das Universum erfüllt, <<so daß durch ihn die Planeten und Kometen getragen werden>> (KGW VII, 53.10f.)

Infolge der Trägheit der Materie folgen die Planeten nicht genau der Wirbelbewegung des Bewegers (*turbinatio motoris*), bewegen sich aber verzögert in dieselbe Richtung. Dabei sind ihre Bewegungen innerhalb des Systems in Relation der Umlaufperioden zu den Abständen vom Bewegungszentrum nach dem *dritten Keplerschen Gesetz* geregelt (vgl. Teil III.5 u. Anhang).

In der weiteren himmelsphysikalischen Vorgehensweise wird die Annahme der Wirbelbewegung der *species immateriata* in einem ruhenden Äther von der Vorstellung wirkender magnetischer Kräfte zwischen Sonne und Planeten ergänzt. Erst so kann die transversale, in Richtung der Tangente in einem Punkt der Bahnkurve erfolgende Bewegung des Planeten zur elliptischen Bewegung umgebogen gedacht werden.“ BIALAS 2004, S. 94-95

benötigt noch beide Theorien in seiner Himmelsmechanik. Er beschreibt sie jedoch nicht in Form einer Prinzipienlehre der Natur.⁶¹⁹ Da sowohl Descartes sich mit Kepler beschäftigte, was wir schon in der Optik sahen, als auch Newton, könnten wir die Theorie bzw. Vermutung aufstellen, dass beide versuchten einer dieser Keplerschen Theorien nachzugehen.⁶²⁰ Descartes war wohl die animistische Vorstellung, dass Gott als eine anziehende Kraft in den Körpern wirkte⁶²¹, nicht wissenschaftlich bzw. Vernünftig genug, weshalb er wohl nur das Beharrungsgesetz benutzte. Newton hingegen kam diese Vorstellung wohl zu unreligiös vor, und sicher auch Experimentell nicht gesichert, weshalb er nur die Anziehungskraft als das *aktive Prinzip* einführt.)

- Das würde dann aber bedeuten, dass beide Schüler, sowohl Descartes als auch Newton, den Gedanken bzw. Themen ihres Lehrers, dem Kepler, folgten.⁶²² **Aus dieser Perspektive können Descartes und Newtons Überlegungen als ein zeitlich verzögerter Dialog zu Keplers Theorien⁶²³ aufgefasst werden, wodurch wir alle drei große Denker würdigen können.**

Dabei konzentriert sich Descartes mehr auf die Wirbeltheorie von Kepler; und Newton, der auch den Galileischen Experimenten folgt, bevorzugt die Anziehungskraft. *Diese Grenze ist selbstverständlich eher etwas verschwommen, denn Newton beschäftigt sich am Anfang, genau wie Descartes auch mit der Äthertheorie, welche die Anziehungskraft erklären soll. So gesehen, hat es tatsächlich den Anschein eines Dialoges, wo der eine seine Gedanken beim Anderen anknüpft. Newton gelingt es schlussendlich durch Experimente eines der beiden Überlegungen Keplers zu falsifizieren!*

Unten in der Tabelle sind die Theorien von Descartes und Newton zur Himmelsmechanik zusammengefasst:

Physikalische Inhalte	Descartes Standpunkt	Newtons Standpunkt
Himmelsmechanik	Wirbeltheorie	Gravitation
Plattung an den Polen	Nein!	Ja! ⁶²⁴

⁶¹⁹ Volker Bialas schreibt: „Trotz der dargelegten Vielfalt der himmelsphysikalischen Begrifflichkeit hat Kepler eine systematische Darstellung *erster Gründe* seiner Naturauffassung im Sinne ihrer prinzipiellen Anfangsbegründung nicht vorgelegt. So existiert auch keine Schrift, in der es seine eigenen mathematischen Prinzipien der Naturphilosophie dargestellt hätte.“ BIALAS 2004, S. 104

⁶²⁰ In der Optik versucht Newton sogar wie (Pythagoras und) Kepler eine Harmonie zwischen den Farben und den Tönen zu finden. Er gibt dazu genaue mathematische Formulierungen an. Vgl. dazu NEWTON 1983, S. 187 und S. 272, Fußnote 13

⁶²¹ Volker Bialas berichtet: „Neben der Vorstellung von der Ebenbildlichkeit Gottes ist noch die Idee des seelischen Prinzips für Keplers Naturbegriff besonders charakteristisch. Sie wird mitunter mit dem Prädikat <<animistisch>> versehen, kann so aber zu Mißverständnissen führen.“

Keplers Idee des seelischen Prinzips ist religiösen Ursprungs; naturphilosophisch wird es als eine das Universum durchströmende und belebende Kraft gedeutet, die die natürlichen Dinge erst aufeinander einwirken läßt und so den inneren Gesamtzusammenhang der Natur konstituiert.“ BIALAS 2004, S. 102 So kommt es bei Kepler vor, dass er manche Arten von Bewegungskraften auch als „Willensäußerungen höchst vollkommener Geister“ beschreibt. vgl. BIALAS 2004, S. 91

⁶²² Während Descartes die Planetenbewegungen durch Wirbel erklären will, begründet Newton seine Himmelsmechanik mit Hilfe seiner 3. Gesetze und der zusätzlichen Annahme der Anziehungskraft.

⁶²⁴ vgl. NEWTON 2004, S. 855

Welche großen Probleme konnte Newtons Kosmologie besser lösen?

Newton konnte in seiner Kosmologie, den drei wichtigen Fragestellungen⁶²⁵ zum

- ❖ Zentrumsproblem,
- ❖ Bewegungsproblem und
- ❖ Endlichkeitsproblem,

welche bei der Kopernikanischen Wende entscheidend waren, physikalisch gute Lösungswege anbieten. Wir wollen diese Antworten zu den jeweiligen Fragen (zum Teil noch einmal) zusammenfassen wiedergeben:

Das Zentrumsproblem:

Die „zentrale Stellung“ der Erde, wie es sich Aristoteles vorstellte, war schon seit Kopernikus nicht mehr haltbar⁶²⁶. Bei Kopernikus fiel jedoch das Weltzentrum „in den Mittelpunkt der Erdbahn, der nicht Mittelpunkt der Sonne ist. Daran setzte dann die Kritik Keplers an, der das Zentrum des Systems in die wahre Sonne legte und den Zentralkörper als wesentlich für die astronomische wie auch *physikalische* Problemstellung begriff.“⁶²⁷ Newton ist hierbei etwas vorsichtiger und bleibt dabei sachlich – und wenn man so will, auch ein bisschen schlichtend. Obwohl er stets betont, dass Hypothesen in der Naturphilosophie nicht zu suchen hätten, gibt er zwischen all seinen Lehrsätzen selbst – wie bei Descartes auch⁶²⁸ – eine öffentlich bekannt: „§ 13. I. *Hypothese*. Der Mittelpunkt des Weltsystems befindet sich in Ruhe. Man gibt dies allgemein zu, nur behaupten die einen, die Erde sei dieses Zentrum, die anderen hingegen, die Sonne sei es. Wir wollen sehen, was aus dieser Hypothese folgt.

§ 14. *Lehrsatz*. Der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Sonne und aller Planeten befindet sich in Ruhe. [...]

§ 15. *Lehrsatz*. Die Sonne ist immer in Bewegung, sie entfernt sich aber nur sehr wenig von dem gemeinschaftlichen Schwerpunkt aller Planeten. [...]

Zusatz. Der gemeinschaftliche Schwerpunkt der Sonne, der Erde und aller Planeten muß also als der Mittelpunkt der Welt angesehen werden. [...]⁶²⁹ Newton stoppt, so könnte man sagen, die

⁶²⁴ vgl. NEWTON 2004, S. 855

⁶²⁵ vgl. BIALAS 2004, S. 72

⁶²⁶ vgl. BIALAS 2004, S. 73

⁶²⁷ BIALAS 2004, S. 73

⁶²⁸ Denn auch Descartes geht in seiner *Principia* auf Nummer sicher und benützt den Begriff der Hypothese. (Hier dürfte wohl die Angst vor der Inquisition eine große Rolle spielen.)

Eine Stelle, wo Descartes den Begriff *Hypothese* besonders hervorhebt: „Von daher weiche ich von beiden nur insofern ab, als ich aufrichtiger als Tycho und gewissenhafter als Kopernikus die Erde aller Bewegungen berauben werde, und schlage hier eine Hypothese vor, die sich als die überaus einfachste und sowohl zur Einsicht in die Phänomene als auch als für die Untersuchung ihrer natürlichen Ursachen als die allergeeignetste zeigen wird. Freilich möchte ich, daß sie lediglich für eine Hypothese, nicht für die Wahrheit des Sachverhalts selbst gehalten werde.“ DESCARTES 2005, S. 191 (III/19)

⁶²⁹ NEWTON 2004, S. 851-852

platonische Naturphilosophie⁶³⁰ zur Gänze und begründet mit der wissenschaftlich, mathematischen Naturphilosophie sein Weltsystem. So schreibt er ja auch bekanntlich: „Platon ist mein Freund, Aristoteles ist mein Freund, aber mein größter Freund ist die Wahrheit.“⁶³¹ Doch das „*heliozentrische*“ Sonnensystem als eine Hypothese zu bezeichnen kommt nicht von irgendwo, sondern hat eine lange Tradition. Dieses Wort stand schon auf der Titelseite des revolutionären Buchs von Kopernikus – **wohlbemerkt ohne das Einverständnis von Kopernikus.**⁶³²

Das Bewegungsproblem:

In seinem astronomischen Hauptwerk *Astronomia Nova* (1609)⁶³³ gibt Kepler bereits bekannt, dass die Planeten sich nicht auf einer Kreisbewegung um die Sonne bewegen, sondern auf einer elliptischen Bahn, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet.⁶³⁴ *Den Inhalt dieser Aussage bezeichnen wir heute als das 1. Keplersche Gesetz.* Außerdem zeigt er, dass die Planeten sich im Perihel – dem sonnennächsten Punkt - am schnellsten bewegen und im Aphel – dem sonnenentferntesten Punkt – am langsamsten, da die Entfernungslinie vom Planeten zur Sonne in gleichen Zeiten gleiche Flächen überstreicht.⁶³⁵ *Somit hätten wir auch sogleich das 2. Keplersche Gesetz besprochen. Interessant dabei ist, dass im Original das zweite Keplersche Gesetz dem ersten vorangeht.*⁶³⁶ Die Keplerschen Gesetze zeigen „einen prinzipiellen Standortwechsel von der geometrischen Betrachtungsweise der Bahn eines Planeten zum dynamischen Verständnis eines von physikalischen Kräften ungleichförmig bewegten Planeten. Nicht nur wird nun das Axiom von der idealen Kreisbahn endgültig zu Fall gebracht und zur mathematischen Behandlung nichtkreisförmiger – im Idealfall: elliptischer – Bahnen der Himmelskörper übergeleitet. Es wird auch das antike Postulat der Gleichförmigkeit umgestoßen, um allerdings in dynamischer Deutung in Gestalt des zweiten Gesetzes bei Kepler wiederzukehren, das nun gewissermaßen die gebündelte physikalische Erklärung

⁶³⁰ Das Denken von Kopernikus zeigt sich von platonischer Naturphilosophie, „mit der er sich in Disputationen in Padua vertraut gemacht hatte, beeinflusst. In der copernicanischen Vorstellung kommt der Platonismus ganz unmittelbar in der Einführung der heliozentrischen Idee zum Ausdruck, so wenn die Sonne mit einer im Welttempel aufgestellten Lampe, die zugleich Leuchte (*lucerna*), Seele (*mens*) und Lenker (*rector*) der Welt ist [...], verglichen wird.“ BIALAS 2004, S. 73

⁶³¹ Frei übersetzt von Eren Simsek.

Im Original lautet das Zitat: „Amicus Plato amicus Aristoteles magis amica veritas.“

Mit dieser Aussage bezieht er sich auf Aristoteles, der gemeint haben soll: „Platon ist mein Freund, aber die Wahrheit steht mir noch näher.“ GLEICK 2004, S. 34

⁶³² „Osiander, der hoffte, die Fürsprecher der geozentrischen Theorie beschwichtigen zu können, nahm ohne Wissen und Zustimmung des Kopernikus mehrere Veränderungen vor. Auf die Titelseite setzte Osiander das Wort „Hypothese“, strich wichtige Passagen und fügte eigene Sätze hinzu, die die Wirkung des Werkes und die Bestimmtheit seiner Aussagen verwässerten.“ BIALAS 2004, S. 16

⁶³³ vgl. dazu BIALAS 2004, S. 31

Übersetzt bedeutet der Titel: **Die neue Astronomie**

⁶³⁴ Wortgetreu schreibt Kepler eigentlich: „Für den Planeten bleibt keine andere Bahnfigur übrig als eine vollkommene Ellipse, weil die aus physikalischen Prinzipien abgeleiteten Gründe mit der Probe auf die Beobachtungen und mit der stellvertretenden Hypothese im Einklang stehen.“ zitiert nach (KGW III, 366) BIALAS 2004, S. 163

⁶³⁵ Wortgetreu schreibt Kepler eigentlich: „Wie sich die Fläche CDE zur halben Umlaufzeit, die wir mit 180° bezeichnen, verhält, so verhalten sich die Flächen CAG oder CAH zu den Zeiten, die der Planet auf CG oder CH verweilt. So wird also die Fläche CGA ein Maß für die Zeit oder die mittlere Anomalie, die dem Exzenterbogen CG entspricht, weil die mittlere Anomalie ein Maß für die Zeit ist.“ (KGW III, 264f.) BIALAS 2004, S. 163

⁶³⁶ vgl. BIALAS 2004, S. 163

Das dritte Keplersche Gesetz veröffentlicht er in seinem Werk *Harmonice Mundi* (1619) vor (vgl. BIALAS 2004, S. 167). Übersetzt bedeutet der Titel: **Weltharmonik.** (vgl. BIALAS 2004, S. 38)

der elliptischen Bahnfigur impliziert.⁶³⁷ Newton nimmt diese beiden Gesetze auf⁶³⁸ und gibt an, an welchen Paragraphen er die physikalischen Beweise bereits im 1. Buch behandelt hat.⁶³⁹ Denn nach Newton will ein sich bewegender Planet, stets seine geradlinige, gleichförmige Bewegung beibehalten (- 1. Newtonsches Gesetz-). Doch er wird, von dieser geradlinigen Bahn dauernd abgelenkt. Diese Ablenkung verursacht (- 2. Newtonsches Gesetz-) die Anziehungskraft der Sonne bzw. die Zentripetalkraft.⁶⁴⁰ Aus diesen beiden Impulsen, nämlich dem Impuls des Planeten sich geradlinig weiter zu bewegen und dem Impuls(stoß), welcher den Planeten in Richtung Mittelpunkt der Sonne zieht, entsteht, sozusagen aus Kompromiss, die elliptische Planetenbahn.

Das Endlichkeitsproblem:

Kopernikus geht zwar von einem geschlossenen Kosmos aus, doch spricht er ihm zugleich eine unermessliche Größe zu.⁶⁴¹ Auch Kepler (, welcher an einer Harmonie des Himmels festhielt,) konnte nur einen endlichen Kosmos annehmen.⁶⁴² Newton entfernt mit seinem absoluten Raum und seiner absoluten Zeit die Grenzen und gibt das Modell von einem unendlichen Universum frei.⁶⁴³

Die Kritik an der Gravitationstheorie⁶⁴⁴ von Newton

Die meisten Kritiken zu seinen Theorien stammen von Newton selbst. Sein wissenschaftliches Denken zeigt ihm sogleich die Grenzen seiner Theorie. Diese sind vor allem an drei Punkte⁶⁴⁵ festgemacht:

⁶³⁷ BIALAS 2004, S. 95

Schon bei Voltaire ist zu lesen: „So wurde die Bewegung der Erde genau genommen von *Kepler* bewiesen. Das ist also noch ein aus den gleichen Lehrsätzen abgeleiteter einfacher Beweis.“ VOLTAIRE 1997, S. 187

⁶³⁸ „§ 16. *Lehrsatz*. Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, deren einer Brennpunkt sich im Mittelpunkt der Sonne befindet, und die um denselben beschriebenen Flächenräume sind den Umlaufzeiten proportional.

Wir haben oben diese Bewegungen nach den Erscheinungen diskutiert. Sind die Prinzipien der ersteren einmal bekannt, so schließen wir aus ihnen a priori auf die Bewegungen der Himmelskörper.“

NEWTON 2004, S. 852

⁶³⁹ vgl. NEWTON 2004, S. 852

⁶⁴⁰ vgl. §13 und §14 in NEWTON 2004, S. 670-672

⁶⁴¹ vgl. BIALAS 2004, S. 74

⁶⁴² vgl. BIALAS 2004, S. 75

⁶⁴³ Vor Newton gab es natürlich schon einige Vertreter eines unendlichen Universums, wie Thomas Digges, Giordano Bruno oder Nicolaus Cusanus. (vgl. BIALAS 2004, S. 74)

Im Gegensatz zu Kepler, glaubte wohl auch Galilei an eine Unendlichkeit des Weltalls. vgl. GALILEI 1891, S. 502, Fußnote 44 und S. 551, Fußnote 31

⁶⁴⁴ Die genauere Auseinandersetzung mit der Gravitationstheorie ist ganz wichtig, da sie neben den Erhaltungssätzen das zweite physikalische Konzept ist, wo sich die *Geister „der Prinzipien“* am meisten scheiden. So schreibt Voltaire: „Sie wissen, daß sich viele Leute, die so mit der Philosophie oder besser mit dem Namen *Descartes* verbunden sind, wie sie es früher mit dem Namen *Aristoteles* waren, gegen die Anziehung gewandt haben. Die einen wollten sie nicht untersuchen, die anderen haben sie geringgeschätzt und verhöhnt, nachdem sie sie kaum untersucht hatten.“ VOLTAIRE 1997, S. 152

⁶⁴⁵ Diese Kritiken zu seiner Gravitationstheorie sind in seinen Briefen an Bentley in den Jahren 1692/93 enthalten. vgl. VOLTAIRE 1997, S. 42

Richard Bentley hält dann Vorträge zum Thema *Die Widerlegung des Atheismus* und benützt Newtons *Principia* – mit dessen Einverständnis - zur Glaubensstärkung. vgl. HEUSER 2005, dazu S. 144-145, 151

1. Das Problem der physikalischen Erklärung der Gravitation

Kritik von Newton:

Newton kann keine natürliche Ursache finden, weshalb die Gravitationskraft gilt. Etwa zehn Jahre bevor er seine *Principia* schreibt, glaubt er noch wie Descartes⁶⁴⁶, dass die Anziehungskraft mit dem Äther im Zusammenhang stehen würde und legt 1675 sogar eine Arbeit bei der *Royal Society* vor.⁶⁴⁷ 1678 schreibt Newton in einem Brief an Boyle, dass „er den Aether als eine äusserst elastische, durch den ganzen Raum verbreitete und alle Körper durchdringende Substanz definiert, ihn als Ursache der Brechung und Beugung des Lichts, Adhäsion und Cohäsion, der chemischen und Capillar-Attraction etc. bezeichnet und schliesslich durch weitere Hypothesen auseinandersetzt, in welcher Weise er sich den Druck des Aethers als Ursache der Schwerkraft denkt.“⁶⁴⁸ Doch der disziplinierte, wissenschaftliche Charakter von Newton macht sich am Ende des Briefes deutlich bemerkbar, wo er schreibt: „Ich für meinen Theil spüre so wenig Neigung für solche Dinge [Hypothesen], dass ich ohne Eure Ermuthigung keineswegs deshalb die Feder angesetzt hätte“⁶⁴⁹. Später wird er sich in seiner *Optik* mit diesem Thema (unter anderem in der Frage 21) weiter auseinandersetzen.⁶⁵⁰ Ob diese Zeilen eine nostalgische Ader Newtons, oder einfach nur ein Zeichen seines Wunsches nach Versöhnung darstellen, soll in dieser Arbeit offen gelassen werden. Jedenfalls schreibt Newton im Vorwort zur zweiten Auflage im Jahre 1717 in seiner *Optik*: „Am Ende des 3. Buches sind einige Fragen hinzugefügt. Um zu zeigen, dass ich die Schwerkraft nicht als eine wesentliche Eigenschaft der Körper auffasse, habe ich eine Frage über die Ursache derselben hinzugefügt, und wollte dies gerade in Form einer Frage vorlegen, weil ich in Ermangelung von Versuchen darüber noch nicht zu befriedigendem Abschlusse gelangt bin.“⁶⁵¹ Wenn wir annehmen, dass Newton hier klar danach fragt, dass er nicht weiß, wie die gravitative Wechselwirkungskraft zwischen den Massen übermittelt wird, so können wir sagen, dass diese Frage immer noch nicht ganz geklärt ist. Die modernen Theorien besagen zwar, dass ein Wechselwirkungsteilchen Teilchen mit dem Namen *Graviton* die Kräfte übermittelt, doch fehlen auch in unserer Zeit sowohl eine genauere Theorie (=Quantengravitationstheorie), als auch ein experimenteller Nachweis! (Doch es ist gut möglich, dass Newton bereits mit Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie zufrieden gewesen wäre.)

In der *Principia* betont er, noch vor seinen drei Gesetzen, dass er die Gravitationskraft zwar mathematisch beschreiben kann, aber keine physikalische Ursache dafür hat bzw. geben kann.⁶⁵² Er schreibt: „Die *absolute Kraft auf das Zentrum*, welches mit einer Ursache begabt ist, ohne welche die bewegenden Kräfte sich nicht durch den umgebenden Raum fortpflanzen würden. Diese Ursache mag nun irgendein Zentralkörper (wie der Magnet im Zentrum der magnetischen, die Erde im Zentrum der Schwerkraft) oder irgendwie unsichtbar sein. Dies ist wenigstens der *mathematische* Begriff derselben, denn die *physikalischen* Ursachen und Sitze der Kräfte ziehe ich hier nicht in Betracht.“⁶⁵³ Und noch auf der gleichen Seite weiter unten weist er wieder darauf hin: „Die Benennung Anziehung, Stoß oder Hinneigung gegen den Mittelpunkt nehme ich ohne Unterschied

⁶⁴⁶ vgl. NEWTON 1983, S. 277, Fußnote 36

⁶⁴⁷ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 47

⁶⁴⁸ NEWTON 1983, S. 277, Fußnote 36

⁶⁴⁹ zitiert nach NEWTON 1983, S. 277, Fußnote 36

⁶⁵⁰ NEWTON 1983, S. 231-232 und vgl. S. 277, Fußnote 36; VOLTAIRE 1997, S. 191, 366-367, Fußnote 35

⁶⁵¹ NEWTON 1983, S. 4; vgl. auch S. 277, Fußnote 36

⁶⁵² vgl. VOLTAIRE 1997, S. 47

Auch bekundet dies Newton in seinem ersten Brief an Bentley. vgl. VOLTAIRE 1997, S. 42

⁶⁵³ NEWTON 2004, S. 640-641

und untereinander vermischt an, indem ich diese Kräfte nicht im physischen, sondern nur im mathematischen Sinne betrachte. Der Leser möge daher aus Bemerkungen dieser Art nicht schließen, daß ich die Art und Weise der Wirkung oder die physische Ursache erkläre oder auch daß ich den Mittelpunkten (welche geometrische Punkte sind) wirkliche und physische Kräfte beilege, indem ich sage: die Mittelpunkte ziehen an, oder es finden Mittelpunktskräfte statt.“⁶⁵⁴

In der **Optik** wagt er dann (in fragender Form) die **Gravitationskraft** zu einem **aktiven Prinzip** zu erklären.⁶⁵⁵ Er schreibt über dieses aktive Prinzip und betrachtet es von universeller Bedeutung: „Da wir also sehen, dass die verschiedenen Bewegungen, die wir in der Welt vorfinden, in stetiger Abnahme begriffen sind, so liegt die Nothwendigkeit vor, sie durch thätige Principie zu erhalten und zu ergänzen, wie ein solches die Ursache der Schwerkraft ist, durch welche die Planeten und Kometen in der Bewegung auf ihren Bahnen erhalten werden und die Körper ihre grosse Fallgeschwindigkeit erreichen, ferner die Ursache der Gährung, welche das Herz und Blut der Thiere in immerwährender Bewegung und Wärme, das Erdinnere beständig warm, an manchen Stellen sogar sehr heiss erhält, durch welche die Körper brennen und leuchten, die Berge in Feuer entflammen, die Höhlen in der Erde aufgetrieben werden und die Sonne beständig auf's Heftigste glüht und leuchtet und mit ihrem und mit ihrem Lichte Alles erwärmt. Denn wir treffen wenig Wärme in der Welt an, die nicht diesen activen Principien zu verdanken ist. Ohne sie würden die Körper der Erde, der Planeten und Kometen, der Sonne und Alles auf ihnen in Kälte erstarren und unthätige Massen werden, Verwesung und Zeugung, Vegetation und Leben würden aufhören, und Planeten und Kometen könnten nicht in ihren Bahnen verharren.“⁶⁵⁶

Kritik von Huygens und Leibniz an der Gravitationstheorie von Newton:

Nach dem Erscheinen der **Principia** wurde Newtons Gravitationstheorie auch von Huygens und Leibniz kritisiert. Sie sahen sie als einen „Rückfall in die Qualitätenphysik der Scholastik“⁶⁵⁷ und betrachten sie daher nicht in die Mechanik gehörig⁶⁵⁸, wie es wohl auch Descartes getan hätte.⁶⁵⁹ (In

⁶⁵⁴ NEWTON 2004, S. 641; vgl. auch VOLTAIRE 1997, S. 366, Fußnote 33

Vergleichbar schreibt er auch im dritten Buch der **Principia**: „Ich habe bisher die Erscheinungen der Himmelskörper und die Bewegungen des Meeres durch die Macht der Schwerkraft erklärt, aber ich habe nirgends die Ursache der letzteren angegeben. Diese Kraft rührt von irgendeiner Ursache her, welche bis zum Mittelpunkt der Sonne und der Planeten dringt, ohne irgend etwas von ihrer Wirksamkeit zu verlieren. Sie wirkt nicht nach Verhältnis der *Oberfläche* derjenigen Teilchen, worauf sie einwirkt (wie die mechanischen Ursachen), sondern nach Verhältnis der Menge fester Materie, und ihre Wirkungen erstreckt sich nach allen Seiten hin, bis in ungeheure Entfernungen, indem sie stets im doppelten Verhältnis der letzteren abnimmt.“ NEWTON 2004, S. 957 (vgl. auch VOLTAIRE 1997, S. 367, Fußnote 37)

⁶⁵⁵ vgl. auch VOLTAIRE 1997, S. 189, S. 192

⁶⁵⁶ NEWTON 1983, S. 265

⁶⁵⁷ „Mit „Qualitätenphysik“ war die Erklärung durch sogenannte okkulte Qualitäten gemeint. Die Bezeichnung „okkulte Qualität“ geht auf den Aristotelismus zurück, in dem zwischen verständlichen und verborgenen, sinnlich nicht wahrnehmbaren natürlichen Eigenschaften der Dinge unterschieden wurde. Als verborgene oder okkulte Eigenschaften wurden jene gefaßt, die prinzipiell nicht durch die vier elementaren sublunaren Eigenschaften (Wärme, Kälte, Trockenheit, Feuchtigkeit) erklärt werden konnten, statt dessen unmittelbar auf (nicht weiter auflösbare) substantielle Formen zurückgeführt wurden. Trotz gewisser Wandlungen und Schattierungen des Begriffs der okkulten Qualität kennzeichnet dies seinen prinzipiellen Inhalt.“ VOLTAIRE 1997, S. 48, Fußnote 130

⁶⁵⁸ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 47

⁶⁵⁹ Huygens soll sogar gesagt haben: „Es kümmert mich nicht, daß er kein Cartesianer ist, solange er uns nicht solche vagen Ideen wie die Anziehungskraft auftischt.“ GLEICK 2004, S. 147

der *Optik* wird Newton in der letzten Frage versuchen, gegen diese Vorwürfe zu kontern.)⁶⁶⁰ In der *Principia* gibt er zu erkennen, dass er gleich Descartes, die Verharrung bzw. das Trägheitsgesetz als eine innere Eigenschaft der Körper anerkennt⁶⁶¹ und die Schwerkraft nicht, da die Schwerkraft mit dem Abstand abnimmt. Newton schreibt: „Sind endlich alle Körper in der Umgebung der Erde gegen diese schwer, und zwar im Verhältnis der Menge der Materie in jedem; ist der Mond gegen die Erde nach Verhältnis seiner Masse und umgekehrt unser Meer gegen den Mond schwer; hat man ferner durch Versuche und astronomische Beobachtungen erkannt, daß alle Planeten wechselseitig gegeneinander und die Kometen gegen die Sonne schwer sind; so muß man nach dieser Regel behaupten, daß alle Körper gegeneinander schwer seien. Stärker ist der Beweis in Bezug auf die allgemeine Schwere (*universal gravitation*) als auf die Undurchdringlichkeit der Körper, über welche letztere wir keinen Versuch und keine Beobachtung der Himmelskörper haben. Ich behaupte aber doch nicht, daß die Schwere den Körpern wesentlich zukomme. Unter der ihnen eigentümlichen Kraft begreife ich die Kraft der Trägheit, welche unveränderlich ist, wogegen die Schwerkraft mit der Entfernung von der Erde abnimmt.“⁶⁶²

Wenn dem so ist, weshalb dann überhaupt die ganze Streiterei? Und weshalb versuchte Newton früher überhaupt die Gravitation zu begründen?

Die Antwort ist ganz einfach: „Das Wesen der Gravitation zu diskutieren bedeutete, um das Verständnis der *aktiven Prinzipien* der Natur zu ringen.“⁶⁶³ Newton „bestimmte“ „die Gravitation als aktives Prinzip“ „im Gegensatz zum passiven Prinzip Trägheit“⁶⁶⁴. Newton schreibt: „Es scheint mir ferner, dass diese Partikeln nicht nur Trägheit besitzen und damit den aus dieser Kraft ganz natürlich entspringenden passiven Bewegungsgesetzen unterliegen, sondern dass sie von activen Principien, wie die Schwerkraft oder die Ursache der Gährung und der Cohäsion der Körper sind, bewegt werden. Diese Principien betrachte ich nicht als verborgene Qualitäten, die etwa aus der spezifischen Gestalt der Dinge hervorgehen sollen, sondern als allgemeine Naturgesetze, nach denen die Dinge gebildet werden.“⁶⁶⁵ **Diese Position, die Newton einnimmt, ist ganz klar der von Descartes gegenübergestellt** (, wie es in konstruktiven Dialogen nicht selten der Fall ist.) Wir wollen sie daher wieder in einer Tabelle zusammenfassen:

⁶⁶⁰ Newton schreibt in der 31. Frage: „Auch die Aristoteliker geben den Namen einer *Qualitas occulta* nicht den bemerkbaren Eigenschaften, sondern nur denen, die nach ihrer Annahme in den Körpern verborgen lagen und die unbekannt Ursachen sichtbarer Wirkungen darstellten. Solche würden z.B. die Ursachen der Schwerkraft, der magnetischen und elektrischen Anziehung und Gährung sein, wenn wir annehmen würden, dass diese Kräfte oder Wirkungen aus uns unbekannt Eigenschaften entsprängen, die wir nicht entdecken und klarstellen. Solche verborgene Eigenschaften bilden ein Hemmniss für den Fortschritt der Naturkenntnis und sind deshalb in den letzten Jahren verworfen worden. Wenn man uns sagt, jede Species der Dinge sei mit einer spezifischen verborgenen Eigenschaft begabt, so ist damit gar nichts gesagt; wenn man aber aus den Erscheinungen zwei oder drei allgemeine Principien der Bewegung herleitet und dann angiebt, wie diesen klaren Principien die Eigenschaften und Wirkungen aller körperlichen Dinge folgen, so würde dies ein grosser Fortschritt in der Naturforschung sein, wenn auch die Ursachen dieser Principien noch nicht entdeckt wären. Deshalb trage ich kein Bedenken, die oben erwähnten Principien der Bewegung, welche eine sehr allgemeine Ausdehnung besitzen, aufzustellen und die Entdeckung ihrer Ursache Anderen anheimzugeben.“ NEWTON 1983, S. 266-267

⁶⁶¹ Weitere Eigenschaften wären nach Newton noch: „Ausdehnung, Härte, Undurchdringlichkeit, Beweglichkeit“. VOLTAIRE 1997, S. 48

⁶⁶² NEWTON 2004, S. 836-837

⁶⁶³ VOLTAIRE 1997, S. 49 (und Fußnote 135)

⁶⁶⁴ VOLTAIRE 1997, S. 50.

⁶⁶⁵ NEWTON 1983 (Frage 31), S. 266; (vgl. dazu VOLTAIRE 1997, S. 53)

Vorstellungen über die Prinzipien der Physik		
Physikalische Konzepte:	Beharrungs- bzw. Trägheitssatz	Gravitation
Descartes	Aktives Prinzip	----
Newton	Passives Prinzip	Aktives Prinzip

Dieser Abschnitt des (*zeitlich verzögerten*) Dialogs zwischen Descartes und Newton war mit Sicherheit von ganz großer Bedeutung für die Physikgeschichte. So konnte Newton zeigen, dass Wechselwirkungen in der Physik um den Bereich der Fernwirkungen erweiterbar sind⁶⁶⁶, wenigstens wenn man sie rein mathematisch untersucht.⁶⁶⁷ (Die Betonung auf rein mathematisch deshalb, weil wie schon oben erwähnt, Newton selbst von der Idee der Gravitation nicht ganz überzeugt war. Er drückt dies im dritten Brief an Bentley mit folgenden Worten aus: „Es ist unfassbar, daß nichtlebende rohe Materie ohne Vermittlung durch irgend etwas, das nicht materiell ist, etwas bewirken, auf andere Materie einwirken sollte ohne Kontakt, wie es sein müßte, wenn die Gravitation im Sinne Epikurs ihr wesentlich und inhärent ist. ... Daß ein Körper per Distanz auf einen anderen wirken kann ... ohne Vermittlung von irgend etwas, durch das die Aktion und Kraft von einem zum anderen transportiert wird, ist eine große Absurdität.“⁶⁶⁸)

Trotz dessen wollen wir Newton, dem Entdecker des Gravitationsgesetzes, den Gedanken der Fernwirkung nahelegen.

Wirkungsarten:	Kontaktwirkung	Fernwirkung
Descartes	JA!	NEIN!
Newton	JA!	(JA!)

Im *Tipler* wird erläutert: „Newton konnte zu seiner Zeit noch nicht erklären, wie Kräfte über einen leeren Raum wirken können. Später wurde hier der Begriff des Feldes geprägt, das als ein Vermittler wirkt. So wird die Anziehung der Erde auf die Sonne in zwei Schritten betrachtet. Die Sonne erzeugt im Raum einen Zustand, den wir Gravitationsfeld nennen. Dieses Feld übt dann eine Kraft auf die Erde aus. Ähnlich erzeugt die Erde ein Gravitationsfeld, das eine Kraft auf die Sonne ausübt.“⁶⁶⁹

Später werden wir sehen, dass Einstein *die Grundlagen der Gravitationstheorie prinzipiell neu definieren* wird. Die Allgemeine Relativitätstheorie von Einstein nimmt (unter anderem) an, dass die *träge* und die *schwere* Masse gleichwertig sind. **Durch das Eintreten von Einstein in diese Diskussionsrunde gelangen wir zu einem Niveau, wo Descartes' und Newtons Perspektiven (gewissermaßen) vereinbar zu sein scheinen.** Denn der Begriff der Fernwirkung wird in der Allgemeinen Relativitätstheorie ganz neu interpretiert. Es ist, wenn man so will, eine *indirekte* Fernwirkung der Massen aufeinander, da in der Allgemeinen Relativitätstheorie die Massen streng genommen sich auf die Raum-Zeit auswirken. Bei der Theorie der Quantengravitation werden voraussichtlich die virtuellen Higgsteilchen die *träge* und die virtuellen Gravitons die *schwere* Masse verursachen, wodurch die Fragestellungen von Newton (vorerst) wohl ausreichend beantwortet werden können.

⁶⁶⁶ Wichtig ist natürlich zu erwähnen, dass wohl selbst Galilei gegenüber Fernwirkungen skeptisch gewesen sein dürfte. vgl dazu GALILEI 1891, S. 570, Fußnote 21

⁶⁶⁷ vgl. dazu auch VOLTAIRE 1997, S. 51

⁶⁶⁸ VOLTAIRE 1997, S. 52, Fußnote 145

⁶⁶⁹ TIPLER/MOSCA 2009, S. 101

2. Das Problem der Anfangsbedingungen des Universums

Wir haben schon gesehen, dass wenn wir den Ort nach der Zeit ableiten die Geschwindigkeit $\frac{\vec{x}(t)}{dt} = \vec{v}$ erhalten. Und wenn wir die Geschwindigkeit nach der Zeit ableiten, dann bekommen wir die Beschleunigung $\frac{\vec{v}(t)}{dt} = \vec{a}$. (Deshalb sagt man auch, dass die Bewegungsgleichungen von Newton Differentialgleichungen zweiter Ordnung sind. Darauf deutet auch die Zahl 2, wenn wir die Beschleunigung in der Form $\frac{d^2\vec{x}(t)}{dt^2} = \vec{v}$ aufschreiben.)

Das bedeutet: Wollen wir die Bahn eines unbeschleunigten Körpers voraussagen oder berechnen, dann genügt es, wenn zu einem Zeitpunkt t_0 der Anfangsort $\vec{x}(t_0)$ und die Anfangsgeschwindigkeit $\dot{\vec{x}}(t_0)$ gegeben sind. Ähnlich ist es auch mit den Planetenbahnen. Sobald wir eine beliebige Anfangszeit und den Anfangsort eines Planeten haben, können wir mit Hilfe der Gravitationstheorie seine Bahn ziemlich genau voraussagen. *Da tut sich dann aber eine interessante Frage auf: Wie sind dann die Anfangsbedingungen des Sonnensystems entstanden bzw. allgemein zu verstehen? Auf diese Frage geben die Newtonschen Bewegungsgleichungen natürlich keine Antwort. Es muss eine Hypothese aufgestellt werden, wie die Welt wohl entstanden sein könnte!*

Renate Wahsner und Horst-Heino v. Borzeszkowski erklären: „Im zweiten Bentley-Brief kommt Newton auf die Frage zurück, wie die Planeten auf ihre Bahnen kommen bzw. wie die entsprechenden Anfangsbedingungen dafür zustande kamen. Er diskutiert die auf Plato zurückgehende These, daß diese in einem weit von der Sonne entfernten Gebiet entstanden sind („von Gott geschaffen wurden“) und dann von dort aus in Richtung Sonne fallengelassen wurden, und zeigt, daß sie nicht ohne einen Eingriff, der ihnen in ihrer heutigen Entfernung von der Sonne zum Zeitpunkt t ihres Eintreffens an diesen Örtern die entsprechenden Anfangsgeschwindigkeiten“ $\dot{\vec{x}}(t) = \vec{v}(t)$ „gegeben hat, auf die beobachteten Bahnen gelangt sein können. Newton beseitigt diese Schwierigkeit durch die Annahme, daß Gott zum Zeitpunkt t_0 eingegriffen hat. Später nimmt Newton diese Argumentation in seine "Prinzipien" auf.“⁶⁷⁰ Diese (nicht physikalischen) Erklärungen (bzw. Rechtfertigungen) sind schon in Galileis **Dialog** zu finden: „Besteht diese Erörterung zu Recht, so dürfen wir uns vorstellen, Gott habe die Masse z.B. des Jupiter erschaffen und wolle ihm nunmehr eine so und so große Geschwindigkeit verleihen, die er alsdann gleichförmig in alle Ewigkeit bewahren soll; wir werden dann mit Plato sagen können, dass er ihm anfangs verstattete in geradlinig beschleunigter Bewegung fortzuschreiten und dass er dann, auf der vorgeschriebenen Stufe der Geschwindigkeit angelangt, die gerade Bewegung in die kreisförmige verwandelte, deren Geschwindigkeit dann natürlich einförmig sein muss.“⁶⁷¹

Weshalb Newton an dieser Stelle Gott benötigt, um den Anfang der Welt zu erklären, können wir somit ganz sachlich, wie oben dargestellt, begreifen. Ist es jedoch in der Tat so, dass Newton hier nur sachlich argumentiert, oder steckt da mehr dahinter?

⁶⁷⁰ VOLTAIRE 1997, S. 42

⁶⁷¹ GALILEI 1891, S. 22

Wir werden uns genauer aus diesem Grund mit der *Principia* auseinandersetzen und sehen, dass Newton hier *im Gegensatz zu Descartes bewusst keine evolutionäre Geschichte der Welt als Hypothese annimmt, sondern er lässt Gott direkt das Sonnensystem aufbauen.*

Der letzte Paragraph der *Principia* von Newton beginnt mit folgenden Worten: „§. 61. Allgemeine Anmerkung. Die Hypothese der Wirbel unterliegt vielen Schwierigkeiten. [...]“⁶⁷². **Wir sehen, dass Newton in diesen Betrachtungen zum Abschluss seiner *Principia*, sein Hauptwerk in genau jener Rolle zu Ende bringen möchte, mit welcher er angefangen hat, nämlich als ein Dialogpartner bzw. Gegenspieler der *Principia* von Descartes.**

Newton stellt sehr gute Argumente gegen die Wirbeltheorie, doch es bleibt nicht dabei. Newton zeigt nicht nur, dass seine Idee Galileis Erkenntnisse miteinschließt, sondern schreibt: „Die geworfenen Körper erleiden hernieden keinen anderen Widerstand als den der Luft, und im *Boyle*’schen Vakuum hört aller Widerstand auf, so daß eine dünne Feder und festes Gold dort mit gleicher Geschwindigkeit fallen. Dasselbe findet in den Himmelsräumen oberhalb unserer Atmosphäre statt. In ihnen müssen sich alle Körper ganz frei bewegen und also die Planeten und Kometen ihre Umläufe in Bahnen, welche der Art und Lage nach gegeben sind, zurücklegen, indem sie die oben erklärten Gesetze befolgen. Sie werden nach den Gesetzen der Schwerkraft in ihren Bahnen verharren, aber die ursprüngliche und regelmäßig Position der Umlaufbahnen konnten sie *nicht* durch diese Gesetze erlangen.“⁶⁷³ Und schreibt weiter: „Diese bewundernswürdige Einrichtung der Sonne, der Planeten und Kometen hat nur aus dem Ratschlusse und der Herrschaft eines alles einsehenden und allmächtigen Wesens hervorgehen können. Wenn jeder Fixstern das Zentrum eines dem unsrigen ähnlichen Systems ist, so muß das Ganz, da es das Gepräge eines und desselben Zweckes trägt, bestimmt *einem* und demselben Herrscher unterworfen sein. Das Licht der Fixsterne ist von derselben Natur wie das der Sonne, und alle Systeme senden einander ihr Licht zu. Ferner sieht man, daß derjenige, welcher diese Welt eingerichtet hat, die Fixsterne in ungeheure Entfernungen voneinander gestellt hat, damit diese Kugeln nicht, vermöge ihrer Schwerkraft, aufeinander fallen.

Dieses unendliche Wesen beherrscht alles, nicht als Weltseele, sondern als Herr aller Dinge. Wegen dieser Herrschaft pflegt Gott *der Herr über alles* genannt zu werden. Denn das Wort Gott (deus) bezieht sich auf Diener und die *Gottheit* ist die Herrschaft Gottes nicht über seinen eigenen Körper, wie diejenigen annehmen, welche Gott einzig zur Weltseele machen, sondern über Diener. Der höchste Gott ist ein unendliches, ewiges und vollkommenes Wesen; ein Wesen aber, wie vollkommen es auch sei, wenn es keine Herrschaft ausübte, würde nicht Gott sein.“⁶⁷⁴

Renate Wahsner und Horst-Heino v. Borzeszkowski erläutern weiter: „Selbstverständlich sind die sich für die Entstehung des planetarischen Systems bei Newton ergebenden Schwierigkeiten wesentlich mit dem speziellen Modell, wonach die Planeten weit entfernt von der Sonne entstanden sind und dann von dort radikal in deren Richtung fallen, verbunden. Dieses Modell, das vorausgesetzt worden ist, um die entsprechenden Anfangsbedingungen der Planetenbewegungen zu begründen, erfüllt diese Erwartung nicht. Es sind jedoch andere Modelle denkbar, die das leisten und damit das Eingreifen Gottes an dieser Stelle überflüssig machen.“⁶⁷⁵

⁶⁷² NEWTON 2004, S. 954

⁶⁷³ NEWTON 2004, S. 955

⁶⁷⁴ NEWTON 2004, S. 955-956; vgl. dazu VOLTAIRE 1997, S. 91 und Fußnote 10

⁶⁷⁵ VOLTAIRE 1997, S. 42

Doch ist Newtons Versuch hier Gott als Protagonisten miteinzunehmen wohl kein Zufall.⁶⁷⁶ *Denn Descartes braucht das nicht zu tun.* Und gerade darauf weist Newton wohl auch *indirekt* (bzw. *stillschweigend*) hin. **Descartes versucht nämlich mit seinen zukunftsweisenden Vorstellungen das Entstehen der Welt mit Hilfe der Evolution zu erklären.**⁶⁷⁷ (Über 200 Jahre wird es dann noch dauern, bis Darwin mit seinem Werk *Über die Entstehung der Arten* (1859) das wissenschaftliche Weltbild endgültig revolutionieren wird.) Er ist natürlich vorsichtig und betont wo es nur geht, dass dies nur eine *Hypothese* sei. **Da Descartes wahrscheinlich einerseits versucht nicht als Atheist eingestuft und verfolgt zu werden⁶⁷⁸, doch andererseits eine evolutionäre Idee präsentieren will,**

⁶⁷⁶ Es könnte natürlich auch sein, dass Newton hier ohne es auszusprechen eine Analogie zwischen der Vergänglichkeit des Menschen und der Vergänglichkeit des Universums ziehen will. So sieht er womöglich die religiöse Sichtweise vertreten, dass Gott wieder Tote zum Leben erweckt, oder auch die Weltordnung immer wieder neu festlegt. Beispielsweise bedient sich Voltaire dieser Analogie: „Erfahrungsgemäß ist es mehr als klar, daß GOTT Maschinen gemacht hat, die zerstört werden. Wir sind das Werk seiner Weisheit und wir werden vergehen. Warum nicht ebenso die Welt? Leibniz will, daß diese Welt vollkommen sei. Aber wenn GOTT sie nur geformt hat, damit sie eine gewisse Zeit bestehe, besteht ihre Vollkommenheit also darin, nur bis zu dem für ihre Auflösung festgelegten Zeitpunkt zu bestehen.“ VOLTAIRE 1997, S. 107

⁶⁷⁷ Eine gewisse Ironie steckt in diesem Satz auch gerade deswegen, da erst in diesem Jahr (2014) eine wissenschaftliche Arbeit veröffentlicht wurde, in welcher die Resultate von wichtigen Daten interpretiert werden. Die Daten sind nämlich Messungen über das **ECHO DES URKNALLS** (unseres Universums).

⁶⁷⁸ Obwohl Descartes eigentlich bereits im Widmungsschreiben seiner *Meditationen* Atheisten angreift (Vgl. Descartes, Cogito S. XI-XII), kann er die (*beinahe*) Anschuldigungen an seine Person natürlich nicht vermeiden. So schreibt Voltaire in *Elemente der Philosophie Newtons* die Cartesianer im Auge behaltend:

„Es braucht noch einiges, bis die sogenannten physikalischen Prinzipien *Descartes'* den Geist so zur Erkenntnis seines Schöpfers führen. Verhüte GOTT, daß ich diesen großen Mann mit einer schrecklichen Verleumdung anklage, das höchste geistige Wesen, dem er soviel verdankte und das ihn über fast alle Menschen seines Jahrhunderts erhoben hatte, verkannt zu haben. Ich sage nur, daß der Mißbrauch, den er manchmal mit seinem Geist getrieben hat, seine Anhänger zu Abgründen geführt hat, von denen der Meister weit entfernt war. Ich sage, daß das cartesianische System das des *Spinoza* hervorgebracht hat. Ich sage, daß ich viele Menschen gekannt habe, die der Cartesianismus dazu gebracht hat, keinen anderen GOTT als die Unermeßlichkeit der Dinge anzunehmen und daß ich dagegen keinen Newtonianer gesehen habe, der nicht im strengsten Sinne Theist gewesen wäre.

Sobald man mit *Descartes* davon überzeugt ist, daß die Welt unmöglich endlich sein kann und daß die Bewegung immer die gleiche Größe hat, sobald man zu sagen wagt: „Gebt mir Bewegung und Materie und ich mache eine Welt“, scheinen diese Ideen eingestandenermaßen durch zu gesetzmäßige Folgen die Idee von einem einzigen unendlichen Wesen, dem einzigen Schöpfer der Bewegung, dem einzigen Schöpfer der Ordnung der Substanzen auszuschließen.

Mehrere Leute werden sich hier vielleicht wundern, daß von allen Beweisen für die Existenz eines GOTTes derjenige des Endzwecks in den Augen *Newton's* der stärkste war. [...]

Den großen Beweis, der sich aus der Aufeinanderfolge der Wesen ergibt, mochte er nicht sehr. Gemeinhin wird gesagt, daß man eine zwecklose Generationenfolge annehmen müßte, wenn Menschen, Tiere, Pflanzen und alles, woraus die Erde besteht, ewig wären. Diese Wesen, wird gesagt, hätten keinerlei existentiellen Ursprung, weder einen äußeren, noch einen inneren, da keines von ihnen an sich existiert. So wäre alles Wirkung und nichts wäre Ursache.

Er fand, daß dieses Argument nur auf der Doppeldeutigkeit von *Generationen und Wesen beruht, die durcheinander gebildet worden waren.* Denn die Atheisten, die vom vollen Raum ausgehen, antworten, daß es eigentlich keine Generationen gibt, daß es keine erzeugten Wesen gibt, daß es nicht mehrere Substanzen gibt. Das Universum ist ein Ganzes, das notwendigerweise existiert und das sich unaufhörlich entwickelt.“ VOLTAIRE 1997, S. 91-92

Die Ironie an der ganzen Sache ist, dass bei Newton in der Tat „ketzerische“ Gedanken (zumindest in seinen Notizbüchern) zu finden waren. James Gleick berichtet über Newtons Interesse an der Religion: „Die Themen, die ihn am meisten beschäftigten, waren das Verhältnis zwischen Gott und Christus und besonders die Dreieinigkeit. Hier neigte er zu einer ketzerischen Auffassung. Denn dieses zentrale Dogma seiner Religion lehnte er ab: drei Personen in einer Gottheit, heilig und ungeteilt. Er leugnete die Göttlichkeit Jesu und des Heiligen Geistes.“ (GLEICK 2004, S. 114) Auch gibt er Argumente für seine Position. (vgl. dazu GLEICK 2004, S. 119) Dies bedeutet aber nicht, dass Newton nicht an einen Gott glaubte: „Er empfand die Lehre von der

lässt sich der Text beinahe mit sarkastischem Ton lesen. So schreibt Descartes: „Es kann nämlich kein Zweifel bestehen, daß die Welt vom Anfang an mit aller ihrer Vollkommenheit geschaffen wurde, so daß in ihr die Sonne, die Erde, der Mond und die Sterne existiert haben, und ebenso auf der Erde sich nicht nur Vorformen der Pflanzen, sondern die Pflanzen selbst befunden haben, und daß Adam und Eva nicht als lallende Säuglinge geboren, sondern als erwachsene Menschen geschaffen wurden. Dies lehrt uns der christliche Glaube, und davon überzeugt uns auch die natürliche Vernunft völlig. Wir können nämlich, wenn wir auf die unermeßliche Macht Gottes aufblicken, nicht annehmen, daß er jemals irgend etwas getan hat, das nicht in jeder Hinsicht vollkommen gewesen ist. Um die Natur der Pflanzen oder der Menschen einzusehen, ist es gleichwohl allerdings weitaus besser, zu überlegen, auf welche Weise sie nach und nach aus ihren Vorformen sich entwickelt haben können, als auf welche Weise sie durch Gott am ersten Ursprung der Welt geschaffen wurden, so daß, wenn wir uns solche äußerst einfachen und im Prozeß des Erkennens leicht verwendbare Prinzipien ausdenken und beweisen würden, daß aus ihnen gleichsam wie aus einer Art Samen die Gestirne, die Erde und zuletzt alles, was wir in dieser sichtbaren Welt entdecken, abstammen könnte, auch wenn wir sehr wohl wissen, daß sie niemals auf diese Weise entstanden sind, wir auf diese Weise gleichwohl deren Natur weitaus besser erklären werden, als wenn wir sie lediglich so beschreiben würden, wie sie bereits sind. Und weil mir scheint, daß ich solche Prinzipien ermittelt habe, lege ich sie hier kurz dar.“⁶⁷⁹

Die Prinzipien Descartes sind folgende⁶⁸⁰:

1. Der ganze Kosmos besteht aus der gleichen Materie (, so dass überall die gleichen Naturgesetze gelten können).⁶⁸¹

Dreifaltigkeit nicht so sehr als Irrtum, sondern als Sünde, und diese Sünde hieß Götzenanbetung. Newton galt sie als das verabscheuungswürdigste Verbrechen.“ (GLEICK 2004, S. 120; vgl. dazu auch HEUSER 2005, S. 70 ff.) Humorvoll zu diesem Thema ist die Bemerkung von Heuser: „Es ist eine sonderbare Ironie, dass dieser antitrinitarische Newton ausgerechnet in dem *College of the Holy and Undivided Trinity* lebte.“ (HEUSER 2005, S. 73) Auch verfasste Newton Untersuchungen zu *Bibelfälschungen*, welche er an Locke sandte. (vgl. GLEICK 2004, S. 154)

⁶⁷⁹ DESCARTES 2005, S. 219, 221 (III/45)

⁶⁸⁰ Descartes schreibt: „46. Welche Prinzipien ich hier in Anspruch nehme, um alle Phänomene zu erklären. Aufgrund des bereits Ausgeführten steht folgendes fest: Die Materie ist in allen Körpern der gesamten Welt dieselbe. Sie ist in beliebig viele Teile teilbar und tatsächlich bereits in viele Teile geteilt, die sich auf unterschiedliche Weisen bewegen. Diese Teile vollführen insgesamt eine in irgendeiner Weise zirkuläre Bewegung, wobei sie stets dieselbe Quantität an Bewegung im Universum aufrechterhalten.“ HEUSER 2005, S. 221 (III/46)

⁶⁸¹ Für Descartes hat die Universalität der Naturgesetze sicher auch deswegen eine große Bedeutung, da es erst durch diese Eigenschaft der Natur dem Menschen gesichert wird, über die ganze Natur herrschen zu können, sobald er die Naturgesetze kennt und sie gekonnt einsetzt. So schreibt Descartes in *Discours de la Méthode*: „Es ist möglich, zu Kenntnissen zu kommen, die von Nutzen für das Leben sind, und statt jener spekulativen Philosophie, die in den Schulen gelehrt wird, eine praktische zu finden, die uns die Kraft und die Wirkungsweise des Feuers, des Wassers, der Luft, der Sterne, der Himmelsmaterie und aller anderen Körper, die uns umgehen, ebenso genau zu kennen lehrt, wie wir die verschiedenen Techniken unserer Handwerker kennen, so daß wir sie auf dieselbe Weise zu all den Zwecken, für die sie geeignet sind, verwenden und uns so zu Herren und Eigentümern der Natur machen könnten.“ zitiert nach VOLTAIRE 1997, S. 70

Renate Wahsner und Horst-Heino v. Borzeszkowski erläutern dazu: „Die Welt, die Wirklichkeit sollte nicht mehr als gottgegeben, sondern als vom Menschen beherrschbar und gestaltbar betrachtet werden. Zu diesem Zweck entwickelte Descartes seine deduktive, für die Mathematik späterhin sehr fruchtbare, Methode, seine „Regeln zur Ausrichtung der Erkenntniskraft“.“ VOLTAIRE 1997, S. 70

2. Auf grund des ersten Naturgesetzes ist der Impuls immer erhalten und daher alles – da der Raum nicht leer, sondern voller Materie ist – in einer zirkulierenden Bewegung.⁶⁸²

Natürlich schreibt Descartes, dass Gott diese Materie erst in Partikeln geteilt habe⁶⁸³, doch nimmt er schon in der nächsten Ziffer wieder Mut, und betont, dass seine Fiktionalität (von der Evolution) wahr sein kann⁶⁸⁴. Außerdem schreibt er: „Freilich: Aufgrund der Naturgesetze hätte möglicherweise auch aus dem Chaos eben diese Ordnung, die sich jetzt an den Dingen vorfindet, hergeleitet werden können, und ich hatte es vormals sogar unternommen, dies so zu erklären; aber mir scheint die Unordnung weniger mit der höchst Vollkommenheit Gottes, des Schöpfers der Dinge, zusammenzupassen als das Ebenmaß oder die Ordnung.“⁶⁸⁵ *Gerade dies sieht Newton anders. Für ihn reichen die Naturgesetze allgemein nicht aus, um die Welt zu erklären:* „Die blinde metaphysische Notwendigkeit, welche stets und überall dieselbe ist, kann keine Veränderung der Dinge hervorbringen; die ganze, in Bezug auf Zeit und Ort herrschende Verschiedenheit aller Dinge kann nur von dem Willen und der Weisheit eines notwendig existierenden Wesens herrühren.“⁶⁸⁶

Die Prinzipien, welche nach Descartes oder nach Newton den Anfang der Welt erklären, wollen wir in einer Tabelle zusammenfassen:

PRINZIPIEN VON	Descartes	Newton
Anfangsbedingungen der Planeten bzw. Universums können alleine mit Naturgesetzen verstanden werden:	Ja! <i>Nämlich mit Hilfe evolutionärer Vorstellung und Erhaltungssätzen.</i>	Nein! <i>Gott ist als Erstbeweger notwendig.</i>

3. Das Problem der Unendlichkeit des Universums

Das Gravitationsparadoxon:

Der dritte Kritikpunkt von Newton wurde zum Teil bereits im oberen Punkt behandelt. Wir wollen ihn hier jedoch kurz wiedergeben: „Ferner sieht man, daß derjenige, welcher diese Welt eingerichtet hat, die Fixsterne in ungeheure Entfernungen voneinander gestellt hat, damit diese Kugeln nicht, vermöge ihrer Schwerkraft, aufeinander fallen.“⁶⁸⁷ Newton sieht schon hier bereits das Problem, dass es auf Dauer durch die Anziehungskräfte der Fixsterne zu einer Umstrukturierung des Systems kommen könnte.

⁶⁸² Diese Prinzipien erkennt er eben höchstwahrscheinlich sowohl beim Blutkreislauf des Menschen, als auch bei der (annähernden) Kreisbahn der Planeten.

⁶⁸³ „Alle Materie, aus der die sichtbare Welt zusammengesetzt ist, ist anfänglich von Gott in untereinander nahezu gleiche Partikel von mittlerer Größe geteilt worden, d.h. in solche von mittlerer Größe in Relation zu den Partikeln, aus denen sich jetzt die Himmelsregionen und Gestirne zusammensetzen.“ HEUSER 2005, S. 223 (III/46)

⁶⁸⁴ „47. Die bloße Fiktionalität dieser Annahmen verhindert nicht, daß das, was aus ihnen hergeleitet wird, wahr und untrüglich sein kann.“ DESCARTES 2005, S. 223 (III/47)

⁶⁸⁵ DESCARTES 2005, S. 225 (III/47)

⁶⁸⁶ NEWTON 2004, S. 957; vgl. VOLTAIRE 1997 S. 43

⁶⁸⁷ NEWTON 2004, S. 955

Bei einem unendlichen Universum etwa, könnte man auch annehmen, dass es unendlich viele Massen geben könnte, wodurch „zu jeder Zeit auf jede Masse eine unendliche Gravitationskraft“⁶⁸⁸ wirken würde. „Man spricht daher vom Newtonschen Gravitationsparadoxon.“⁶⁸⁹ Denn jede Masse müsste so gesehen eine unendliche Geschwindigkeit besitzen, um jene Zentrifugalkraft zu haben, welche sich der Zentripetalkraft gegenüberstellt. Jede Masse müsste danach unendlichen Impuls bzw. unendliche kinetische Energie beanspruchen.⁶⁹⁰ Deshalb muss Gott nach Newton immer wieder die Anfangsbedingungen (Ort und Geschwindigkeit) der Planeten neu festlegen, „bis die Geschwindigkeiten erneut zu hoch werden.“⁶⁹¹ „Die Newtonsche Gravitationstheorie liefert für das unendlich ausgedehnte Universum mit unendlich vielen Teilchen im allgemeinen tatsächlich kein mathematisch sinnvolles Modell. In ihrem Rahmen ist ohne ganz spezifische Zusatzannahmen ein solcher Fall nicht lösbar. Er liegt außerhalb ihrer Gültigkeitsgrenzen.“⁶⁹²

Die Art, in der Newton, um die besprochene Schwierigkeit zu überwinden, Gott als Akteur einführte, zeigt – unabhängig davon, daß es seinem Glauben entgegenkam –, daß er die Begrenztheit seiner Theorie kannte oder doch ahnte, selbst wenn er diese Theorie als die Physik bzw. die Naturwissenschaft darstellte. Denn damit blieb nur offen (gewiß auch für ihn selbst), ob er die Gültigkeitsgrenzen der Mechanik, der Physik oder der Naturwissenschaft meint, aber es bleibt das Ahnen der Grenzen.“⁶⁹³ Dennoch hat hier Leibniz etwas entgegensetzen: „Newton und seine Anhänger haben außerdem noch eine recht sonderbare Meinung von dem Wirken Gottes. Nach ihrer Ansicht muß Gott von Zeit zu Zeit seine Uhr aufziehen – sonst bliebe sie stehen. Er hat nicht genügend Einsicht besessen, um ihr eine immerwährende Bewegung zu verleihen. Der Mechanismus, den er geschaffen, ist nach ihrer Ansicht sogar so unvollkommen, daß er ihn von Zeit zu Zeit durch einen außergewöhnlichen Eingriff ummodellieren und selbst ausbessern muß, wie ein Uhrmacher sein Werk. Nun ist aber der schlechteste Meister derjenige, der sich am häufigsten zu Änderungen und Berichtigungen genötigt sieht. Meiner Anschauung nach besteht im Ganzen der Welt stets dieselbe Kraft und Tätigkeit fort; sie geht nur gemäß den Gesetzen der Natur und der erhabenen prästabilierten Ordnung von Materie zu Materie über.“⁶⁹⁴ Hier nimmt Leibniz jene Stellung von

⁶⁸⁸ VOLTAIRE 1997, S. 44

⁶⁸⁹ VOLTAIRE 1997, S. 44

„Schon in seinem zweiten Brief an Bentley diskutiert Newton diese Schwierigkeit.“ VOLTAIRE 1997, S. 44

⁶⁹⁰ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 44

⁶⁹¹ VOLTAIRE 1997, S. 44

⁶⁹² „Auch die Einsteinsche Gravitationstheorie kann nicht alle Schwierigkeiten der Newtonschen Theorie lösen. Sie gestattet nicht, das Universum physikalisch derart zu erfassen daß es aus sich selbst heraus für alle Zeiten bestehen kann (d.h. sie gestattet nicht, es selbstkonsistent zu beschreiben). Hinsichtlich der Stabilität astrophysikalischer Objekte mit endlicher Masse (zum Beispiel Sterne, Galaxienkerne) hat sich das Problem sogar verschärft: Nach der Einsteinschen Theorie stürzen bereits Objekte mit endlicher Masse in sich zusammen, sofern diese größer ist als eine bestimmte aus der Theorie folgende Grenzmasse.“ VOLTAIRE 1997, S. 46 Fußnote 121

⁶⁹³ VOLTAIRE 1997, S. 45-46

„Bei Newton entwirft Gott den Weltplan, setzt die Anfangsbedingungen des Universums und greift immer wieder korrigierend in den Lauf der Welt ein. Der Newtonsche Gott muß die Himmelskörper in ihre Bahnen lenken, weil die physikalischen Gesetze nicht auch die Anfangsbedingungen der physikalischen Prozesse jeweils schon mit angeben. Er muß die Weltuhr hin und wieder aufziehen, weil die Theorie Gültigkeitsgrenzen und damit Mängel aufweist, die zu katastrophalen Folgen führen können (zum Beispiel zum Gravitationskollaps). Gott muß bei Newton schließlich als vermittelndes Agens auftreten, weil das physikalische Gesetz nur angibt, wie die in ihm enthaltenen Größen funktional zusammenhängen, nicht aber ein Ursache-Wirkung-Verhältnis repräsentiert. Gott gleicht also bei Newton tatsächlich vorhandene Mängel der physikalischen Theorie aus.“ VOLTAIRE 1997, S. 62

⁶⁹⁴ zitiert nach VOLTAIRE 1997, S. 44; (vgl. dazu HEUSER 2005, S. 156)

Kepler ein, welche Newton teilweise fehlt, nämlich dass die Welt auf die beste und schönste Art erschaffen worden ist. Und daher eine fehlerhafte Konstruktion der Weltmechanik nicht einen vollkommenen Schöpfer präsentieren würde.

Eine Lösung des Gravitationsparadoxons durch die Theory of Mind: Eine Lösung für dieses Problem könnte für die klassische Physik (unbewusst) Ernst Mach schon (indirekt) gegeben haben. Denn in seiner Kritik an Newton kommt Mach zu der Schlussfolgerung, dass „die Massenverteilung des Universums die Inertialsysteme festlegt“⁶⁹⁵. (*Man bezeichnet diese Folgerung auch als das Machsche Prinzip.*) Dieses Prinzip scheint für die Allgemeine Relativitätstheorie jedoch keine allgemeine Gültigkeit zu besitzen.) Da das Sonnensystem – beispielsweise bezogen auf den Drehimpuls der Planetenbahnen – weitgehend konstant bleibt, könnte man sagen, dass es in guter Näherung ein Inertialsystem bildet.⁶⁹⁶ Dies könnte man natürlich auch von (relativ zu menschlichen Zeitmaßstäben) gleich bleibenden Galaxien behaupten, auf welche eben die resultierenden Kräfte nahe Null sind. Doch zurzeit von Newton war der Begriff der Galaxien natürlich noch nicht gegeben.

Nun möchten wir aber endlich die Hauptwerke beider großen Männer, nämlich die von Descartes und Newton, miteinander vergleichen. *Dies zu tun, ist sicher eines der größten Versprechen dieser Arbeit.* Und wir werden sehen, dass die **Principia** von Newton der **Principia** von Descartes ähnlicher ist, als sie auf den ersten Blick vermuten lässt.

Principia von Descartes und Newton im Vergleich

Newton dürfte bereits in sehr jungen Jahren einige Werke von Descartes in lateinischer Sprache gelesen haben.⁶⁹⁷ Beispielsweise setzt er sich bereits auch in seinem Notizbuch, während seines zweiten Studienjahres, konkret mit den Gedanken Descartes' auseinander.⁶⁹⁸

Newton orientiert sich nicht nur namentlich an Descartes' Principia, sondern auch inhaltlich. Er kann deutlich zeigen, dass sein **Principia**, gegenüber der von Descartes, Fortschritt bzw. revolutionäre Gedanken in die Physik bringt! In dem Titel seines Hauptwerkes **Mathematische Prinzipien der Philosophie der Natur** (1687)⁶⁹⁹ (bzw. **Principia**), zeigt sich schon der Hinweis auf seine neue Errungenschaft: eine **neue mathematische Methode**. *Mathematica* ist deswegen nicht zufällig im Titel mitenthalten.⁷⁰⁰ Newton will natürlich betonen, dass seine Prinzipien mit neuen, die

Diese Überlegungen von Leibniz sind nicht neu. Sie sind bereits in Platons Werk **Timaios** (vgl. BIALAS 2004, S. 13, 66) zu finden. Ganz intensiv hat sich eben auch Kepler damit beschäftigt. Schon er ging von einer besten und schönsten aller möglichen Welten aus. (vgl. BIALAS 2004, S. 54) Diese Schriften dürften wahrscheinlich auch Leibniz sehr beeinflusst haben. Leibniz trieb den „*Optimismus*“, wie man es ein wenig schroff ausdrückt, dann schlussendlich zur Spitze. Voltaires berühmtestes Werk **Candid** ist beinahe ausschließlich eine Verspottung dieser Philosophie von Leibniz.

⁶⁹⁵ FLIEßBACH (I) 2007, S. 31

⁶⁹⁶ Ob etwas ein Inertialsystem darstellt oder nicht, ist natürlich von der Genauigkeit der Messungen abhängig. Beispielsweise stellt die Erde erst ein gutes Inertialsystem dar, wenn wir beispielsweise die Corioliskräfte vernachlässigen können.

⁶⁹⁷ vgl. dazu GLEICK 2004, S. 210, Fußnote 14 und S. 212-213, Fußnote 12

⁶⁹⁸ Diesen Notizen, wo auch die Namen anderen Wissenschaftler erwähnt werden, gab er den Titel *Questiones quaedam philosophicae*. (Ins deutscher Übersetzt: *Einige philosophische Fragen.*)

Einen kurzen Überblick über den Inhalt seiner Zeilen und vor allem, wie sehr er sich dort mit Descartes' Gedanken auseinandersetzt, findet man zum Beispiel bei GLEICK 2004, S. 34-38

⁶⁹⁹ Im Original: **Philosophiae naturalis principia mathematica**.

⁷⁰⁰ vgl. DESCARTES 2005, S. 33

von ihm entwickelten, mathematischen Methoden⁷⁰¹ einhergehen. Er dürfte hier zurecht sehr stolz auf sich gewesen sein, denn er hatte niemanden geringeren überboten als Descartes, dessen Hauptverdienst in der Wissenschaft wohl sein Werk über die Geometrie war, welches auch Newton eifrig studiert haben dürfte.⁷⁰² So schreibt er in seiner *Principia* (gegen Ende des ersten Buches, wo es um die Optik geht):

„Zusatz 1. Indem man bewirkt, daß der Punkt A oder B bald sich ins Unendliche entfernt, bald sich nach verschiedenen Teilen von C begibt, erhält man alle diejenigen Figuren, welche *Cartesius* in der Optik und Geometrie zum Behuf der Brechungen dargestellt hat. Da er die Auffindung derselben für sehr wichtig hielt und dieselbe eifrigst verbarg, so schien es angemessen, sie durch diesen Satz hier darzustellen.“⁷⁰³

Das Fehlen einer neuen mathematischen Errungenschaft für die Physik war somit natürlich der stärkste Kritikpunkt an Descartes. Denn obwohl Descartes – wie schon bereits Galilei⁷⁰⁴ vor ihm – darauf hinwies, dass die Prinzipien der Naturwissenschaft nur in der Sprache der Mathematik ihren Ausdruck finden sollten⁷⁰⁵, so brachte er keine neuen mathematischen Errungenschaften in seinen Prinzipien, wenn wir von dem Einsatz seines Impulserhaltungssatzes absehen. Sein Verdienst, so dachte wohl Descartes, liegt mehr darin, dass er philosophisch erklären könne, dass Körper nur geometrische Eigenschaften, wie Teilbarkeit, Formbarkeit und Beweglichkeit aufzuweisen benötigen.⁷⁰⁶

Harro Heuser möchte noch eine tiefere Botschaft entdeckt haben: „Denn der Schöpfer hat die Welt nach *mathematischen* Prinzipien – *principia mathematica* – konstruiert, „nach Maß, Zahl und Gewicht“. Gottes Mathematik aber ist keine andere als die des Menschen. Im Medium der Mathematik denkt der Mensch wie Gott, und indem er die Welt mathematisch analysiert, durchdringt er sie in der Manier Gottes. Die *principia mathematica* sind die *principia Dei* (= Prinzipien Gottes). Der Titel des Newton'schen Jahrtausendbuches ist nicht nur ein wissenschaftstechnisches, sondern auch ein theologisches Programm.“ (HEUSER 2005, S. 165) (vgl. dazu auch BIALAS 2004, S. 51)

Diese Interpretation von Heuser ist nicht so weit hergeholt, wie es womöglich auf den ersten Blick zu scheinen mag. Schließlich hat Newton mehr theologische Texte während seines Lebens verfasst als physikalische (vgl. HEUSER 2005, S. 10). Außerdem sieht er in den Lehren von Descartes atheistische Ansätze (vgl. HEUSER 2005, S. 69). Es ist daher gut möglich, dass Newton mit seinem sehr sorgfältig gewählten Titel in zweifacher Weise eine Gegenposition zu Descartes einnehmen möchte.

⁷⁰¹ Newton selbst bezeichnete sie als Fluxionsmethode. vgl. SZABO 1987, S. 10

⁷⁰² James Gleick schreibt (über Newton): „Euklid las er nun aufmerksam und gründlich. Mit Hilfe der >>Elemente<< lernte er, wie man aus ein paar gegebenen Axiomen die Eigenschaften von Dreiecken, Kreisen, Geraden und Kugeln herleitet. Die Theoreme Euklids eignete er sich zu späteren Gebrauch an, die Erleuchtung, jedoch kam ihm während der Lektüre von Descartes' >>Géométrie<<, dem dritten und letzten Anhang zu seinem >>Discours de la Méthode<<. Dieser kurze und inkohärente Text stellt eine Art Quantensprung dar, weil er zwei große Bereiche des mathematischen Denkens, die Geometrie und die Algebra, für alle Zeiten miteinander verknüpfte.“ (GLEICK 2004, S. 43) Doch Newton begann natürlich die Möglichkeiten dieser Wissenschaft zu erweitern, erklärt Gleick weiter: „Dabei ging er über die Descartes zu Gebote stehende Algebra einen Schritt hinaus. Er wollte sich nicht auf Formeln mit einigen (oder vielen) Gliedern beschränken; statt dessen konstruierte er unendliche Reihen: Formeln, die gegen Unendlich gehen.“ (GLEICK 2004, S. 43, 45) (Dass Descartes weniger Gefallen am Unendlichen hatte, ist in GLEICK 2004, S. 43 und 46 zu finden.)

⁷⁰³ NEWTON 2004, S. 832

⁷⁰⁴ vgl. GREINER 2002, S. 516

⁷⁰⁵ „Ich lasse in der Physik keine anderen Prinzipien gelten als solche, die der Geometrie oder der reinen Erkenntnis (*Mathesis abstracta*) entnommen sind, und wünsche das auch nicht, weil sich auf diese Weise alle Naturphänomene erklären und sie durch sichere Beweise bestätigt werden können.“ DESCARTES 2005, S. 173 (II/64)

⁷⁰⁶ Descartes schreibt: „Denn völlig frei bekenne ich, daß ich keine andere Materie der körperlichen Dinge zugestehe, als jene in jeder Weise teilbare, formbare, und bewegliche, die die Geometer Quantität nennen und

Noch dazu ist er sogar bei den (einzigen) mathematischen Anwendungen, nämlich bei Stoßgesetzen, bis auf die erste Regel, genau genommen bei allen gescheitert. Newton gelang schlussendlich eine allgemeine mathematische Formulierung. Doch diese Methode – nämlich die Differentiation und Integration, wie wir sie heute kennen – konnte noch viele andere Zusammenhänge herstellen. So gelang es zum ersten Mal Newton damit eine konsequente mathematische Verbindung zwischen dem *Weg, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung* eines Körpers aufzuzeigen.⁷⁰⁷ Dies können wir in heutiger mathematischer Sprachform⁷⁰⁸ wiedergeben: $\frac{d\vec{s}}{dt} = \dot{\vec{s}} = \vec{v} \rightarrow \frac{d^2\vec{s}}{dt^2} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = a$. Diese mathematische Form beinhaltet sowohl Elemente von Newton als auch von Leibniz. *Doch muss sich Newton nicht nur die Beschreibung der mathematischen Methode mit Leibniz teilen – wobei sich eigentlich die Methoden von Leibniz heute durchgesetzt haben – sondern auch die Priorität.* Wir können heute annehmen – obwohl Newton und Leibniz zu Lebzeiten einen heftigen Streit⁷⁰⁹ miteinander führten – dass diese neue mathematische Methode, sowohl von Newton als auch von Leibniz unabhängig voneinander entdeckt wurden. *Wobei Newton höchstwahrscheinlich die Methode der Differential- und Integralrechnung wohl früher entdeckte, dafür Leibniz sie aber früher veröffentlichte.*

So schreibt Paul Lorenzen: „NEWTON hat die entscheidenden Gedanken zuerst: in den Jahren höchster Blüte seines jugendlichen Genies, 1664-1666. Er veröffentlicht sie aber erst seit 1704, lange nach den Principia. LEIBNIZ findet inhaltlich etwa dasselbe – unabhängig von NEWTON – 10 Jahre später und veröffentlicht seine Resultate seit 1684. Er benutzt vor allem eine viel zweckmäßigere Bezeichnung, er hat außerdem in den Brüdern BERNOULLI (JAKOB B., 1654-1705 und JOHANN B., 1667-1748) viel bessere Mitarbeiter, so daß sich – trotz eines erbittert geführten Prioritätsstreites – schließlich die Leibnizschen Methoden allgemein durchsetzen. Schon um 1700 hatten LEIBNIZ und die beiden BERNOULLIS die wichtigsten Sätze erarbeitet, die noch heute in den Anfängervorlesungen über Differential- und Integralrechnung gelehrt und gelernt werden müssen.“⁷¹⁰

Doch wenn Newton die Differential- und Integralrechnungen in seiner **Principia** gar nicht anwendet, wie kann er dann seine physikalischen Annahmen mathematisch darstellen?

Newton bediente sich in seiner **Principia** meist der Geometrie, um mathematische Zusammenhänge zu beweisen bzw. zu zeigen. Doch die „geometrische Betrachtungsweise erschwert das Studium des Werkes ungemein; dem heutigen und mehr durch Neugierde als durch Wißbegierde interessierten Leser erschließt es sich schwer“⁷¹¹, schreibt Szabo.

die sie als Gegenstand ihren Beweisen zugrunde legen; und ich vermag nichts anderes in ihr zu erblicken außer jene Teilungen, Gestalten und Bewegungen; und ich gestehe in Bezug auf sie nichts als wahr zu, das nicht aus jenen allgemeinen Grundbegriffen, deren Wahrheit wir nicht bezweifeln können, so evident hergeleitet ist, daß es als mathematischer Beweis gelten könnte.“ DESCARTES 2005, S. 175 (II/64)

⁷⁰⁷ Gewisse Zusammenhänge sind natürlich auch bereits bei Galilei zu finden. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 243 und Fußnote 101)

⁷⁰⁸ Welche wohl auf Leonhard Euler zurückgeht. vgl. SZABO 1987; S. 12

⁷⁰⁹ vgl. SZABO 1987, S. 10-11

⁷¹⁰ LORENZEN 1960, S. 151

Anschließend gibt Lorenzen auch Kostproben von Originaltexten sowohl von Newton als auch von Leibniz. Siehe dazu die Seiten 151-153.

⁷¹¹ SZABO 1987, S. 9; vgl. auch S. 10

Auch James Gleick schreibt: „Der Ruf, unverständlich zu sein, der den >>Prinzipien<< anhaftete, verbreitete sich schneller als das Buch selbst.“ GLEICK 2004, S. 140

Nun wollen wir aber zu den Zusammenhängen zwischen Descartes und Newtons Gesetzen vordringen. Für einen besseren **Vergleich**, werden wir am besten zuerst darauf hinweisen, was beide **gleich** haben. Doch ist Newton allgemein sehr vorsichtig – daher schon weit mehr als Descartes als Naturwissenschaftler tätig – und nennt seine Gesetze nicht Naturgesetze.⁷¹²

Die Anzahl der Gesetze: Interessant ist natürlich, dass Newton, ebenso wie Descartes von drei Grundgesetzen⁷¹³ ausgeht. (Das ist nicht selbstverständlich, denn wie wir bei den Newtonschen Gesetzen schon hingewiesen haben, hätte er durchaus auch von *vier* Gesetzen ausgehen können.)

Der Inhalt der Gesetze:

1. Gesetz

Und gleich sein erstes Gesetz, wie sollte es anders sein, ist dem ersten Gesetz von Descartes sehr ähnlich. So schreibt Walter G. Saltzer: „[...] es ist schon ein Rätsel, wie Newton wohl dazu kommt, bei der Formulierung seiner *Lex Prima*, seines Trägheitsgesetzes, ausgerechnet Terminologie, inhaltliche Konzeption und Formulierung gerade von Descartes zu übernehmen, wenn doch jeder, der nur ein bißchen in *dessen* Principia geblickt hat, weiß, daß der bestimmende Begriff hier der der *Ausdehnung*, der *extensio* und nicht der der neuen *Masse* ist, deren Inbegriff – eben seit Newton – wiederum mit der Trägheit zusammenfällt, auf die man sich seit daher gewöhnt hat, die Erhaltung von Ruhe und gleichförmiger Bewegung zurückzuführen.“⁷¹⁴ Saltzer betont später, dass Newton seine Begrifflichkeiten nicht von Galilei übernimmt, oder von Huygens⁷¹⁵, sondern eben weitgehend von Descartes.⁷¹⁶ Das bedeutet, was die physikalische Annahmen betraf, hatte sich Newton natürlich sehr stark an Galilei orientiert – welchen Descartes leider nicht zu schätzen lernte⁷¹⁷ –, doch statt Galileis Begriffe für den Impuls (= *Momentum* oder *Impetus*) zu verwenden, bezeichnete Newton, wie sein Principia-Vorgänger Descartes, den Impuls als *quantitas motus*.⁷¹⁸ So ist natürlich Descartes' erstes Naturgesetz eine „deutliche Vorlage zu Newtons *Lex I*“⁷¹⁹. **Dennoch will Newton lieber eher Galilei oder sogar dessen Methoden-Gegner Aristoteles⁷²⁰ als einen Kenner des ersten Gesetzes**

⁷¹² Newton war allgemein sehr vorsichtig und bezeichnet seine Gesetze – im Gegensatz zu Descartes – nicht als Naturgesetze. Darauf weist auch Saltzer hin: „Newton geht mit dem Begriff >Naturgesetz< sehr sparsam um; nur in den >Queries< seiner *Opticks* vollzieht er eine ähnliche Gleichsetzung zwischen den >Laws of Nature< und den >Active Principles<, ohne die es keine >Motion< (auch hier eher als >Impuls< denn als bloße >Bewegung< zu verstehen) in der Welt gäbe.“ SALTZER 2000, S. 39

⁷¹³ Darauf *scheint* (indirekt) auch James Gleick hinzuweisen. vgl. GLEICK 2004, S. 138

⁷¹⁴ SALTZER 2000, S. 33

⁷¹⁵ Doch nicht nur bei Begrifflichkeiten, sondern auch bei Methoden in der Optik wird Newton Huygens' Beschreibungen ignorieren. Er wird sogar stattdessen (bewusst oder unbewusst), Regel verwenden, die keineswegs richtig sein werden. vgl. NEWTON 1983, S. 235 (3. Buch, 25. Frage) und Fußnote 37 S. 277 (Erst in der 28. Frage wird er wieder kurz auf Huygens' Theorie eingehen, doch auch um sie gleich wieder zu kritisieren. vgl. NEWTON 1983, S. 240)

⁷¹⁶ vgl. SALTZER 2000, S. 35

⁷¹⁷ vgl. SZABO 1987, S. 57

⁷¹⁸ SALTZER 2000, S. 35

Newton verwendet den Begriff *motus* sowohl bei seiner Erklärung 2 als auch bei seinem 2. Gesetz!

vgl. dazu SALTZER 2000, S. 38

⁷¹⁹ SALTZER 2000, S. 38-39

Natürlich ist auch die Ziffer (II/38) und das zweite Naturgesetz (II/39) von Descartes für das 1. Gesetz Newtons von Bedeutung. vgl. SALTZER 2000, S. 39, vgl. STAMMEL 1982, S. 42-43

⁷²⁰ SALTZER 2000, S. 41

ansehen, statt Descartes. Doch im Inhalt scheinen sich die beiden Gesetze nicht grundsätzlich entgegen zu stehen. Sie beide sagen aus, dass wenn keine Kraft auf einen Körper wirkt, dann der Impuls erhalten bzw. gleich bleibt.

Sogar Spinoza scheint dieses Gesetz bereits so aufgefasst zu haben. Er schreibt:

„Lehrsatz XIV.

Jedes Ding, sofern es einfach und ungeteilt ist und an sich allein betrachtet wird, verharrt, sofern an ihm liegt, immer in demselben Zustande.

[...]

Zusatz. Ein Körper, der einmal in Bewegung ist, wird in seiner Bewegung immer fortfahren, wenn nicht äußere Ursachen ihn aufhalten.“⁷²¹

Natürlich könnte man nun vorwerfen, dass Newton von Ruhe oder geradlinig, gleichförmiger Bewegung spricht und dass das sowohl beim ersten Gesetz von Descartes, als auch im Lehrsatz XIV von Spinoza nirgends zu finden ist. Das stimmt zwar, doch wird dafür sowohl im zweiten Gesetz von Descartes extra auf die geradlinige Bewegung hingewiesen als auch im nächsten Lehrsatz XV von Spinoza. Es ist also ein sehr guter Zug von Newton, die Art der Bewegung ohne Krafteinwirkung zur Gänze gleich in das erste Gesetz einzubauen, aber das heißt nicht, dass nicht auch Descartes darauf hingewiesen hat.

2. Gesetz

Doch sogar zwischen dem zweiten Naturgesetz von Descartes und dem zweiten Gesetz von Newton gibt es Parallelen. Wir wollen uns noch einmal Descartes' Beispiel zu seinem zweiten Gesetz anschauen. (Siehe dazu auch die Abbildung 26.)

⁷²¹ SPINOZA 1987, S. 73-74

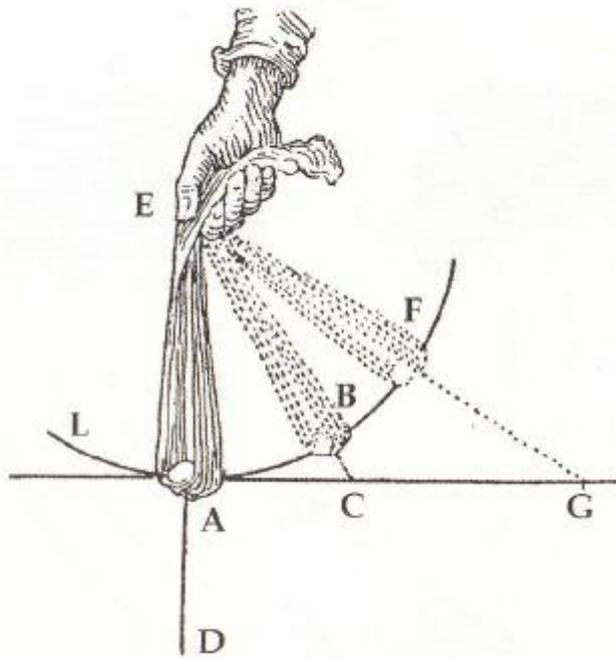


Abbildung 26

Die Interpretation dieses Gesetzes ist wohl der Wendepunkt (; besonders für die Weiterentwicklung der Descartesschen und der Newtonschen Kosmologie⁷²²). Die Person, welche das Tuch hält, übt also in diesem Beispiel eine konstante Kraft auf die Kugel aus und verhindert somit, dass die Kugel sich geradlinig weiterbewegt. Und genau dieses Phänomen beschreibt Newton in seinem zweiten Gesetz, nämlich die konstante Ausübung einer Kraft auf einen Gegenstand. Hier könnten auch die Arbeiten von Huygens über Zykloiden, Zentralbewegung und Zentralkraft Newton sehr geholfen haben.⁷²³ Sie haben als Erscheinungsjahr (**1673**) einen Zeitraum, welcher zwischen dem Tod Descartes' (**1650**) und dem Erscheinen der *Principia* (**1687**) von Newton liegt.

Das Faszinierende bei dem Ganzen ist: Wir können dieses Bild, mit welchem Descartes sein zweites Gesetz zu erklären versucht, direkt mit dem zweiten Gesetz von Newton in Verbindung bringen. Wir wollen hier zugleich einen Versuch demonstrieren:

2. Newtonsche Gesetz:

⁷²² „Fast die gesamte Theorie der Schwerkraft beruht bei *Descartes* auf dem Naturgesetz, daß jeder Körper, der sich in einer gekrümmten Linie bewegt, von seinem Mittelpunkt weg auf eine gerade Linie strebt, die die Kurve in einem Punkt berührt, so wie die Bandschleuder, die aus der Hand fliegt usw. Alle Körper, die sich mit der Erde drehen, trachten also danach, sich vom Mittelpunkt zu entfernen. Die feine Materie, deren Kraft größer ist, drängt jedoch, wie gesagt wurde, alle anderen Körper zurück.“ VOLTAIRE 1997, S. 182

⁷²³ vgl. GREINER 2002, S. 510

Paul Lorenzen schreibt: „Die wichtigsten sachlichen Fortschritte in der Dynamik zwischen GALILEI und NEWTON werden von HUYGENS erzielt. Er gibt als erster eine dynamische Theorie der gleichförmigen Kreisbewegung, indem er beweist, daß sie einem Radius r und einer Geschwindigkeit v eine zentripetale Beschleunigung

$$b = \frac{v^2}{r}$$

erfordert.“ LORENZEN 1960, S. 133

Die Änderung der Bewegung (= Die Bewegungsänderung der Kugel) ist der Einwirkung der bewegendes Kraft proportional und erfolgt in Richtung derjenigen geraden Linie (= AE oder BE oder FE bzw. entlang des Tuches), in welcher jene Kraft (= welche man in den Händen spürt) wirkt.

Wir sehen also, dass die Parallelen zwischen dem zweiten Gesetz von Descartes und von Newton sehr groß sind.

Doch, die wichtigere Frage ist: Wenn es keinen großen *qualitativen* Unterschied gibt, ist dann ein großer *quantitativer* Unterschied zwischen Newton und Descartes festzustellen? Denn, wenn Newton von Zentripetalkräften spricht, dann hält er an seinem ersten Gesetz fest und stellt sich unendlich kleine, geradlinige Bewegungen vor, die er dann mit seiner Differentialmethode lösen kann. Bei ihm sieht die *Bewegung* eines Körpers unter dem Einfluss der Zentripetalkraft wie folgt aus:

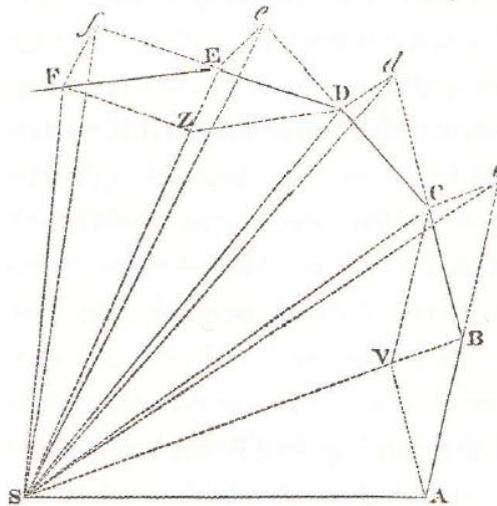


Abbildung 27, Quelle: NEWTON 2004, S. 670

Und diese Denkweise fehlt doch Descartes zur Gänze, oder? Ganz besonders interessant zu dieser Fragestellung ist ein Satz von Descartes, welchen er tätigt, bevor er sein Beispiel mit der Kugel erklärt. Dieser einleitende Satz geht folgendermaßen: „Und wenn sich auch in einem einzigen Zeitpunkt gar keine Bewegung vollzieht, so ist es gleichwohl offensichtlich, daß alles, was sich bewegt, in einzelnen Augenblicken, die man unterscheiden kann, während es sich bewegt, darauf eingeschränkt ist, seine Bewegung entlang einer geraden und nicht einer gekrümmten Linie fortzusetzen.“⁷²⁴ Hier macht sich also schon bei Descartes eine „infinitesimale Betrachtung“⁷²⁵ der physikalischen Phänomene bemerkbar.

Man könnte natürlich nun sagen, dass wir das heute deshalb hineininterpretieren können, da wir Newtons Herangehensweise bereits kennen. Doch können wir diese Behauptung sehr leicht außer Kraft setzen. Denn bereits Spinoza weist **eindeutig** darauf hin, dass

- wir uns die Kugel unendlich kleine geradlinige Bewegungen ausführend, denken können;

⁷²⁴ DESCARTES 2005, S. 143

⁷²⁵ SALTZER 2000, S. 39

Auch bei Galilei kommen verschiedene Infinitesimalvorstellungen vor. vgl. GALILEI 1891, S. 528, Fußnote 68 und S. 561, Fußnote 72)

- dass durch das Tuch eine Kraft wirkt, welche die Kugel von diesen unendlich geradlinigen Bewegungen stets ablenkt;
- und wenn man das Tuch losließe, dann die Kugel sich tangential weiterbewegen würde.

Dabei gibt Spinoza für seine Erklärung folgendes Beispiel an:

In einen Kreis zeichnet man ein beliebiges Vieleck, beispielsweise ein Sechseck. An einer der Seiten, nennen wir sie AB , legen wir eine Kugel. Wenn man nun vom Mittelpunkt des Kreises D ein Lineal entlang des Radius legt – diese wird in der Zeichnung als die Linie DBE dargestellt –, dann kann man zeigen, dass man damit die Kugel entlang der geraden Strecken in einem Kreis führen kann. Ab dem Punkt wo man jedoch den Kreis entfernen würde, würde die Kugel sich stets entlang der Geraden und im rechten Winkel zum Lineal fortbewegen oder mit anderen Worten: tangential. All dies ist bei Spinoza gedanklich zu finden⁷²⁶ – siehe dazu die Abbildung 28.

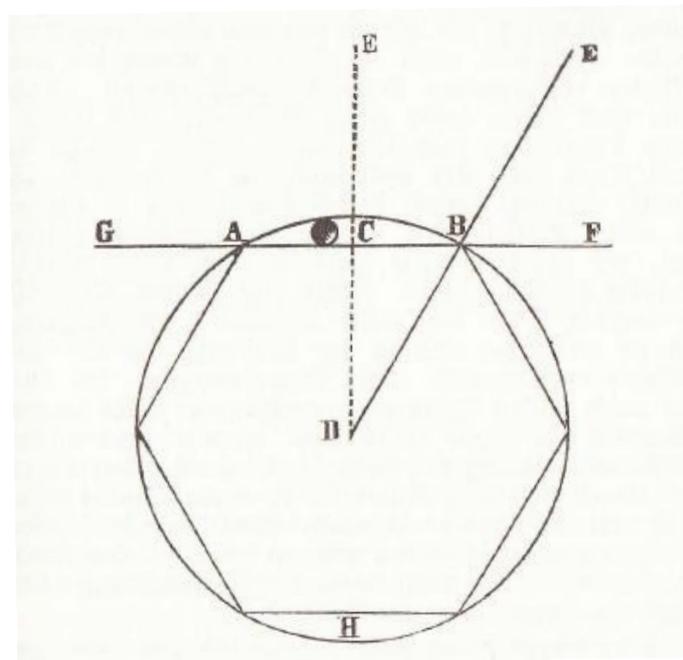


Abbildung 28, Quelle: SPINOZA 1987, S. 77

Wir wollen einen Teil seines Beispiels zitieren, um zu zeigen, welche klaren Worte Spinoza dabei findet. **Seine Dargestellung und Idee ist derart gut, dass sie sogar, mit ein paar ergänzenden Erläuterungen, in der Schule Anwendbarkeit finden könnte:** „Man stelle sich daher statt eines Sechsecks eine geradlinige Figur von unendlich vielen Seiten vor (d.h. einen Kreis nach der Definition des Archimedes), so erhellt, daß das Lineal DBE den Körper C , wo es ihn auch treffen wird, immer zu der Zeit treffen wird, wo es eine Seite einer solchen Figur rechtwinklig durchschneidet. Somit wird es den Körper C nie treffen, ohne ihn nicht zugleich zu bestimmen, daß er fortfahre, sich in der Richtung der ins Unendliche verlängerten Linie fortzubewegen. Da nun jede nach beiden Richtungen verlängerte Seite immer außerhalb der Figur fallen muß, so wird eine solche unbestimmt verlängerte Seite die Tangente einer Figur von unendlich vielen Seiten, d.h. eines Kreises sein. Stellt man sich nun statt eines Lineals eine im Kreise sich bewegende Schleuder vor, so wird sie den Stein fortwährend bestimmen, sich in der Richtung der Tangente fortzubewegen. W. z. b. w.

⁷²⁶ SPINOZA 1987, S. 77-78

*Man bemerke, daß beide Beweise sich jeder beliebigen krummlinigen Figur anpassen lassen.*⁷²⁷

Dieses Beispiel ist natürlich nicht bei Descartes zu finden.⁷²⁸ Wir können daraus zumindest zwei unterschiedliche Schlüsse ziehen:

1. Entweder sind die Gedanken und Erklärungen, die Spinoza hier äußert, schon grundlegend auch bei Descartes vorhanden, so dass man sagen könnte, er versucht es nur in einem besseren didaktischem Lichte darzustellen. Oder...
2. Spinoza trägt einiges zum besseren Verständnis selbst bei.

Beide Punkte würden nicht gerade für Newton sprechen. Vor allem der zweite Punkt wäre historisch womöglich sogar am interessantesten. Denn Descartes bezeichnet sein Werk bekanntlich **Prinzipien der Philosophie**. Spinoza scheint damit noch nicht so zufrieden zu sein. Er will Descartes Werk viel genauer, nämlich in eine *geometrische Form* bringen. *Ähnlich wie das Buch von Euklid.*⁷²⁹ So beginnt er mit Definitionen, dann gibt er die Grundsätze an und macht mit seinen Lehrsätzen weiter. Er bezeichnet sein Werk daher aus gutem Grund **Descartes' Prinzipien der Philosophie auf geometrische Weise begründet**.⁷³⁰ Dass ihm die *geometrische Methode sehr am Herzen lag, können wir auch von Wolfgang Bartuschat* in Erfahrung bringen. Er schreibt beispielsweise über Spinoza: „1661 schreibt er auch an Oldenburg [...], daß er, um Auskunft über die Struktur Gottes geben zu können, nichts Besseres habe finden können, „als es auf geometrische Art darzutun“.“⁷³¹ Als Briefpartner ist an dieser Stelle Henry Oldenburg – langjährige Sekräter der Royal Society in London – gemeint, der unter anderem auch mit Newton später im Briefwechsel stand.

Doch Oldenburg ist nicht das Einzige, was Spinoza und Newton verbindet. James Gleick schreibt über das Konzept der **Principia**: „Newton baute seine Argumentationskette nach dem Muster der klassischen griechischen Geometrie auf: Axiome, Lemmata, Korrolare; [...]“⁷³², also in etwa wie Spinoza. Überraschend ist auch, dass beide Denker *für die damalige Zeit* ketzerische Gedanken hegten.⁷³³ Wir möchten in dieser Arbeit nicht spekulieren, ob Newton von Spinozas Werke beeinflusst wurde – obwohl Nachforschungen zu diesem Thema sicher sehr interessant wären⁷³⁴ – ;

⁷²⁷ SPINOZA 1987, S. 78

⁷²⁸ Darauf weist auch Wolfgang Bartuschat hin. Er schreibt nur: „Dieser Beweis findet sich bei Descartes nicht.“ SPINOZA 1987, S. 171. Ob dieser Beweis von Bedeutung ist oder nicht, darüber wird dort nicht diskutiert.

⁷²⁹ vgl. dazu SPINOZA 1987, S. XXV-XXVI

⁷³⁰ Genauer heißt der Titel: **Descartes' Prinzipien der Philosophie auf geometrische Weise begründet mit dem „Anhang, enthaltend metaphysische Gedanken“**

⁷³¹ SPINOZA 1987, S. XXVI

⁷³² GLEICK 2004, S. 139

⁷³³ Einen kurzen Überblick zu Newtons ketzerischen Gedanken zu den Dreifaltigkeiten usw. gibt James Gleick. (vgl. GLEICK 2004, S. 114 ff.)

Und Wilhelm Weischedel schreibt beispielsweise zu Spinozas anonym erschienenen Werk **Tractatus theologico-politicus** (1670): „Kaum erschienen, wird der >>Theologisch-Politische Traktat<< verboten, und zwar von Universitätskanzleien ebenso wie von kirchlichen und staatlichen Behörden; dabei macht es keinen Unterschied, ob es sich um katholische oder um protestantische Instanzen handelt.“ WEISCHEDEL 1989, S. 163

⁷³⁴ Wenn Newton sich mit Spinozas Werken auseinandergesetzt hätte, würde das beispielsweise einigermaßen erklären, weshalb er für Descartes wenig gute Worte findet (und Spinoza erst gar nicht erwähnt). Denn obwohl Newton *insgeheim* eine Kritik an der Religion ausübt, bleibt er doch eine sehr *gottesfürchtige Person*. Aus diesem Grund könnten ihm Descartes und noch mehr die metaphysischen Gedanken von Spinoza zuwider gewesen sein? Das sind Fragen, die wir uns in dieser Arbeit zwar stellen, jedoch keine Antwort erhoffen dürfen.

denn die geometrische Methode war damals nicht so selten,⁷³⁵ und dass man zur damaligen Zeit als Wissenschaftler mit der Religion nicht auf einem guten FuÙe stand, dürfte auch nicht die Ausnahme gewesen sein. Auch können Menschen voneinander unabhängig zu ähnlichen Ideen und Einstellungen gelangen. Besonders wahrscheinlich ist dies der Fall, wenn Menschen an verschiedenen Orten dieselben Lehren studieren. Und bei Spinoza und Newton trifft zumindest das mit Sicherheit zu. Beide wurden durch Descartes Werke stark beeinflusst (und haben diese anschließend einer (konstruktiven) Kritik unterzogen).

Newton studiert aber auch die Dialogpartner von Descartes, beispielsweise Fermat. Der wiederum hatte sich auf Grund der Diskussion zwischen ihm und Descartes (in der Optik) mit dem Minimum (bzw. Extremalen) beschäftigt, wie wir uns erinnern können. Paul Lorenzen schreibt hierzu: „FERMAT (1601-1665) findet für algebraische Kurven eine Methode aus der Gleichung $\varphi(x, y) = 0$ durch Übergang – wie wir sagen würden – zu $\varphi(x + \Delta x, y + \Delta y) = 0$ die Maxima und Minima zu bestimmen. Die Erkenntnis, daß Integration und Tangentenbestimmung (Differentiation) in gewissem Sinne Umkehrungen voneinander sind, wird zuerst von BARROW (1630-1677), dem Lehrer NEWTONs, ausgesprochen. Wir formulieren diesen Zusammenhang heute – nach LEIBNIZ – als Hauptsatz der Infinitesimalrechnung etwas so:

$$\text{Aus } \frac{dF}{dx} = f \text{ folgt } \int f dx = \Delta F \text{ und umgekehrt.}$$

Durch die Geometrie von DESCARTES wurde die Algebra in die Diskussionen um die Grenzprozesse einbezogen. WALLIS (1616 bis 1703) schreibt 1655 seine „Arithmetica infinitorum“, in der z.B. unendliche Produktentwicklungen wie

$$\frac{\pi}{2} = \frac{2}{1} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{6}{5} \cdot \frac{6}{7} \cdots$$

vorkommen.

Auf der Basis der griechischen Mathematik, erweitert um die infinitesimalen Ideen der Geometrie von CAVALIERI einerseits, der Arithmetik von WALLIS andererseits, erwuchs dann – zusammengeschmolzen durch die analytische Geometrie von DESCARTES – die neuzeitliche Analysis, zunächst ihr grundlegender Teil, die Differential- und Integralrechnung.⁷³⁶

Wir sehen, es dreht sich so ziemlich viel um einen gewissen Schwerpunkt; nämlich um die Person Descartes. Auch Walter Greiner schreibt über Newton: „Von Descartes⁷³⁷ und John Wallis ausgehend, begründete er die Infinitesimalrechnung und die Reihenlehre, bestimmte Krümmung und Wendepunkt vieler Kurven. Veränderliche Größen nannte er Fluenten, die Geschwindigkeit ihrer Änderung Fluxionen, und ermittelte aus den Fluenten die Fluxionen und umgekehrt.“⁷³⁸ Doch nun, um nicht zu sehr auszuschweifen, kommen wir gleich zum nächsten und letzten Gesetz.

⁷³⁵ SPINOZA 1987, S. XXVI

⁷³⁶ LORENZEN 1960, S. 150-151

⁷³⁷ vgl. auch GREINER 2002, S. 513

⁷³⁸ GREINER 2002, S. 507

3. Gesetz

Doch wie sieht es nun mit dem dritten Newtonschem Gesetz aus? Ist nicht diese wenigstens ganz neu und nur Newton zuzuschreiben? Überraschenderweise kommt das dritte Gesetz von Newton schon bei Lucretius und bei Descartes vor.⁷³⁹ Descartes schreibt:

„43. Worin die Kraft eines beliebigen Körpers zur Einwirkung und zum Widerstand besteht.

Hier aber muß sorgfältig beachtet werden, worin die Kraft eines beliebigen Körpers zur Einwirkung auf einen anderen oder zum Widerstehen der Einwirkung eines anderen besteht, nämlich allein darin, daß zufolge des an ersterer Stelle angeführten Gesetzes ein jedes Ding von sich aus dazu tendiert, in demselben Zustand zu verharren, in dem es sich befindet.“⁷⁴⁰ Wir sehen, dass Descartes für das dritte Gesetz in gewissem Sinnen einen Erhaltungssatz fordert. Das ist aber nicht wirklich unerwartet, wenn wir bedenken, dass **Descartes** eben für das **Gesetz der Erhaltung** eintritt und **Newton** für das **Gesetz der Kräfte**. Die Ironie an der ganzen Sache ist, dass das dritte Gesetz – welches beschreibt, wie die Kräfte jeweils auftreten usw. – *tatsächlich* die Impulserhaltung ausdrückt:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{12} &= -\vec{F}_{21} & | \vec{F} &= \frac{d\vec{p}}{dt} \\ \frac{d\vec{p}_{12}}{dt} &= -\frac{d\vec{p}_{21}}{dt} & | &+ \frac{d\vec{p}_{21}}{dt} \\ \frac{d\vec{p}_{12}}{dt} + \frac{d\vec{p}_{21}}{dt} &= 0 & | \frac{d\vec{p}_{12}}{dt} + \frac{d\vec{p}_{21}}{dt} &= \frac{d\vec{p}_{\text{Gesamt}}}{dt} \end{aligned}$$

$$\frac{d\vec{p}_{\text{Gesamt}}}{dt} = 0$$

Die obige Formel sagt aus, dass die zeitliche Änderung der Impulse null ist – oder mit anderen Worten, dass der Impuls sich nicht mit der Zeit ändert bzw. konstant bleibt.

Doch wir wollen in dieser Arbeit die Gesetze nicht allzu detailliert diskutieren, denn das wurde schon zur Genüge getan. So schreibt Saltzer: „Übernommen hat Newton de facto sein erstes Bewegungsgesetz, das sog. Trägheitsgesetz, übernommen hat er den Zentralbegriff seines Kraftgesetzes, die >quantitas motus< qua >Impuls< $m \times v$, deren >mutatio< dann proportional nach Größe und Richtung der von außen einwirkenden Kraft sein soll – so der Inhalt seines Kraftgesetzes, des Grundgesetzes der Mechanik. Auch die Erläuterungen zu den drei >leges motus< zeigten Entsprechungen zu einschlägigen Paragraphen bei Descartes; philologische Kriterien, an Details angelegt, würden die textliche Verwandtschaft noch deutlicher belegen.“⁷⁴¹

Wir wollen in dieser Arbeit einen Schritt weiter wagen und die folgende *Hypothese* aufstellen:

Es ist offensichtlich, dass Newton das ganze Konzept der mechanischen Gesetze von Descartes übernahm, da der Inhalt seiner Gesetze genau dieselben Themen beinhalten, wie Descartes!

⁷³⁹ vgl. SALTZER 2000, S. 35

⁷⁴⁰ DESCARTES 2005, S. 147-149 (II/43); vgl. SALTZER 2000, S. 39

⁷⁴¹ SALTZER 2000, S. 40

Diese Hypothese möchten wir natürlich noch begründen. Dazu möchten wir noch einmal den Descartesschen Gesetzen die Newtonschen Gesetze gegenüberstellen:

Die mechanischen Gesetze		
Gesetze	Descartes	Newton
1. Gesetz	<i>Ein jedes Ding behält von sich aus denselben Zustand bei, und daher fährt ein Ding, das sich einmal in Bewegung gesetzt hat, immer fort, sich zu bewegen.</i>	<i>Jeder Körper beharrt in seinem Zustand der Ruhe oder gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.</i>
2. Gesetz	<i>Jede Bewegung ist aus sich selbst heraus geradlinig, und deshalb tendiert alles, was sich kreisförmig bewegt, sich vom Mittelpunkt des Kreises zu entfernen, den es beschreibt.</i>	<i>Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und erfolgt in Richtung derjenigen geraden Linie, in welcher jene Kraft wirkt.</i>
3. Gesetz	<i>Ein Körper verliert nichts von seiner Bewegung, wenn er auf einen anderen auftrifft, der eine größere Kraft besitzt; trifft er hingegen auf einen mit geringerer Kraft auf, verliert er gerade so viel Bewegung, wie er auf jenen überträgt.</i>	<i>Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets und gleich und von entgegengesetzter Richtung.</i>

Anschließend fassen wir den konzeptuellen Zusammenhang zwischen Descartes und Newton in Form einer Tabelle zusammen:

Die mechanischen Gesetze		
Descartes	Thema	Newton
1. Naturgesetz: Zustandsbewahrung (auch in der Bewegung)	Bewegungsverharrung ↔	1. Gesetz: Zustandsbewahrung der Bewegung
2. Naturgesetz: In Abhängigkeit von Zwang (= Kraft) entsteht Bewegungsänderung	Änderung des Zustandes durch Zwang (bzw. Kraftaufwand) ↔	2. Gesetz: Die Bewegungsänderung ist dem Zwang bzw. Kraftaufwand proportional
3. Gesetz: Die Art, wie Stöße ablaufen.	Eine allgemeine Aussage wie man Wechselwirkungen definieren kann. ↔	3. Gesetz: Wie Wechselwirkungen stattfinden.

Doch trotz dessen scheint Newton gegenüber Descartes nicht wohlgesonnen zu sein. Und das, obwohl Descartes bei der Veröffentlichung der *Principia* von Newton (1687) schon beinahe 40 Jahre tot (1650) ist. Saltzer schreibt über Newton: „Er benutzt Descartsche Diktionen und seinen Modus der Grundlegendiskussion, nennt ihn aber in den *Principia* nicht, führt ihn nur negativ und global als

Urheber und Adressanten einer Abart erklärender Mechanik, die sich Hypothesen⁷⁴² fingiert, wo es doch nur auf das plane induzieren wahrer Sätze aus den Phänomenen ankommt, das offenbar fraglos gelingt, wenn man nur den *Hypothesen* keinen Raum gibt - >>non obstantibus hypothesisibus<< aus der Regula Philosophandi IV zu Beginn vom Buch III der *Principia Mathematica*.⁷⁴³ Newton schreibt nämlich im 3. Buch der *Principia* vier Regeln zur Erforschung der Natur. Die vierte besagt: „In der Experimentalphysik muß man die aus den Erscheinungen durch Induktion geschlossenen Sätze, wenn

⁷⁴² „Nach dem Newtonschen Konzept beruht das Experiment natürlich auch auf theoretischen Voraussetzungen, doch diese sind die Prinzipien, die durch die von ihm beschriebene Erfahrungsanalyse gewonnen wurden. Der Anti-Hypothesen-Satz richtet sich vor allem gegen die Cartesianer, die – obzwar sie es beabsichtigen – keine physikalische Experimentalwissenschaft, sondern eine spekulative Naturphilosophie entwickelt hatten.“ VOLTAIRE 2006, S. 38

⁷⁴³ SALTZER 2000, S. 36

Diese letzte Seite des dritten Buches von *Principia*, wo Newton deutlich ausspricht „Hypothesen erdenke ich nicht“ ist bei genauem Hinsehen voller Doppeldeutigkeit. Denn

1. Newton schreibt in der Tat, dass er das Prinzip hinter der Schwerkraft nicht habe lösen können: „Ich habe noch nicht dahin gelangen können, aus den Erscheinungen den Grund dieser Eigenschaften der Schwerkraft abzuleiten, und Hypothesen erdenke ich nicht. Alles nämlich, was nicht aus den Erscheinungen folgt, ist eine Hypothese, und Hypothesen, seien sie nun metaphysische oder physische, mechanische oder diejenigen der verborgenen Eigenschaften, dürfen nicht in die Experimentalphysik aufgenommen werden. In dieser leitet man die Sätze aus den Erscheinungen ab und verallgemeinert sie durch Induktion. Auf diese Weise haben wir die Undurchdringlichkeit, die Beweglichkeit, den Stoß der Körper, die Gesetze der Bewegung und der Gravitation kennengelernt. Es genügt, daß die Schwerkraft existiere, daß sie nach den von uns dargelegten Gesetzen wirke und daß sie alle Bewegungen der Himmelskörper und des Meeres zu erklären im Stande sei.“ (NEWTON 2004, S. 958)
2. Doch ergänzt er zugleich durch eine Hypothese, dass er die gravitative (und die abstoßende) Wechselwirkung als das Prinzip schlechthin ansieht: „Es würde hier der Ort sein, etwas über die geistige Substanz hinzuzufügen, welche alle festen Körper durchdringt und in ihnen enthalten ist. Durch die Kraft und Tätigkeit dieser geistigen Substanz ziehen sich die Teilchen der Körper wechselseitig in den kleinsten Entfernungen an und haften aneinander, wenn sie sich berühren. Durch sie wirken die elektrischen Körper in den größten Entfernungen, sowohl um die nächsten Körperchen anzuziehen, als auch um sie abzustößen. Mittelt dieses geistigen Wesens strömt das Licht aus, wird zurückgeworfen, gebeugt, gebrochen und erwärmt die Körper. Alle Gefühle werden erregt und die Glieder der Tiere nach Belieben bewegt durch die Vibrationen desselben, welches sich von den äußeren Organen der Sinne, mittelst der festen Fäden der Nerven bis zum Gehirn und hierauf von diesem zu den Muskeln fortpflanzen. Diese Dinge lassen sich aber nicht mit wenigen Worten erklären, und man hat noch keine hinreichende Anzahl von Versuchen, um genau die Gesetze bestimmen und beweisen zu können, nach welchen dieser elektrische und ungreifbare Geist wirkt. –“ (NEWTON 2004, S. 958) (Zur Verdeutlichung unterstrichen von Eren Simsek.)

Diese zwei Absätze, welche gleich untereinander stehen, ergänzen sich in keinsten Weise, schließen sich sogar gegenseitig aus und zeigen deutlich, dass Newton selbst von Hypothesen umgeben war. Das ist auch natürlich, denn die Wissenschaft gründet prinzipiell ausschließlich auf Hypothesen! Bei den berühmten Fragen der *Optik*, welche auch zum Schluss des dritten Buches stehen, geht Newton noch detaillierter auf dieses Prinzip bzw. auf seine Hypothesen ein. Zu Punkt 1 sei noch zu erwähnen, dass er hier offensichtlich sehr stark Kepler folgt, denn schon Kepler versuchte Ebbe und Flut mit der Anziehungskraft zu erklären. So schreibt Volker Bialas zu den Gedanken von Kepler: „Die Gravitation der Sonne bewirkt eine Änderung der Geschwindigkeit der Bahnbewegung des Planeten in Abhängigkeit von seiner Entfernung zum Zentralkörper, während die Gezeiten der Meere durch die Anziehung des Mondes erklärt werden. Hier wiederum wird die traditionelle Auffassung von der Trennung irdischer und himmlischer Bewegungsvorgänge durchbrochen. Demnach würden sich auch Erde und Mond, wären sie durch spezifische Kräfte nicht in ihren Bahnen gleichsam festgehalten, aufeinander zubewegen, wie sich auch zwei Steine außerhalb des Kraftbereichs eines dritten Körpers an einem dazwischenliegenden Ort vereinigen würden.“ BIALAS 2004, S. 97-98

Sehr interessant ist es, dass Galilei in seinem *Dialog* diese zukunftsweisende Theorie von Kepler (zu Unrecht) tadelt. (vgl. dazu GALILEI 1891, S. 483 und Fußnote 29; GLEICK 2004, S. 146-147)

nicht entgegengesetzte Voraussetzungen vorhanden sind, entweder genau oder sehr nahe für wahr halten, bis andere Erscheinungen eintreten, durch welche sie entweder größere Genauigkeit erlangen oder Ausnahmen unterworfen werden.

Dies muß geschehen, damit nicht das Argument der Induktion durch Hypothesen aufgehoben werde.“⁷⁴⁴

Hier schlägt interessanterweise Newton einen anderen Weg ein als Kepler. Erst Karl Popper wird Jahrhunderte später wieder zeigen können, dass Kepler hier Recht hatte. Deshalb haben wir auch das Kapitel *Prinzipien der (klassischen) Physik* mit dem Zitat „1. Regel. An Ursachen zur Erläuterung natürlicher Dinge nicht mehr zuzulassen, als wahr sind und zur Erklärung jener Erscheinungen ausreichen.“ von Newton eingeleitet. Damit sie heute noch ihre Gültigkeit behält, würden wir diese Regel wohl eher etwas umschreiben: „1. Regel. Die Theorien bzw. Hypothesen zur Erläuterung natürlicher Phänomene so gestalten, dass sie zur Erklärung jener Erscheinungen ausreichen und dem *Prinzip der Einfachheit* möglichst genügen.“ Denn ob eine Aussage *wahr* ist oder nicht, das liegt nicht in unserem Ermessen. Karl Popper hebt das deutlich hervor, wenn er schreibt: „Unsere Wissenschaft ist kein System von gesicherten Sätzen, auch kein System, das ist stetem Fortschritt einem Zustand der Endgültigkeit zustrebt. Unsere Wissenschaft ist kein Wissen [epistēmē]: weder Wahrheit noch Wahrscheinlichkeit kann sie erreichen.“⁷⁴⁵ Wir können nur sagen, ob sich Theorien bzw. Hypothesen *bewährt* haben. So benötigt natürlich auch Newton, auch wenn er es sich offensichtlich selbst nicht eingestehen wollte, für seine Gesetze Hypothesen, wie beispielsweise eine (erweiterte) *atomistische Struktur* der Physik⁷⁴⁶, den *absoluten Raum* und die *absolute Zeit*.⁷⁴⁷ *Diese möchten wir uns gleich genauer ansehen und mit den Hypothesen von Descartes vergleichen. Nur so können wir den Unterschied zwischen Descartes' und Newtons Denken bzw. Mechanik vergleichen und somit besser verstehen.* (Viele der unten angeführten Themen wurden in dieser Arbeit bereits behandelt. Der Abschnitt dient nur als Zusammenfassung und kann daher vom Leser ohne Bedenken übersprungen werden.)

Die Fundamentalste Eigenschaft von Körpern:

Descartes schreibt über die Theorie der Atome von Demokrit: „[...] sie ist erstens zurückzuweisen, weil er diese Körperchen als unteilbar unterstellte und das durch eine Bezeichnung ausdrückte, die ich ebenfalls verwerfe.“⁷⁴⁸ Sie ist außerdem zurückzuweisen, weil er sich ausdachte, daß um diese kleinen Körper herum ein Vakuum sei, von dem ich beweise, daß es nicht zugestanden werden kann; drittens weil er diesen Körpern Gewicht zusprach, das ich an keinem Körper einsehen kann, wenn er für sich allein betrachtet wird, sondern nur, insofern er von der Lage und der Bewegung anderer Körper abhängt und sich auf diese bezieht; und schließlich, weil er nicht zeigte, auf welche Weise sich die einzelnen Dinge allein aus der Verbindung der Körperchen bilden sollten, und dort, wo er dies

⁷⁴⁴ NEWTON 2004, S. 837

⁷⁴⁵ POPPER 2005, S. 266

⁷⁴⁶ „Mit der Einsicht, daß die Gravitation ein aktives Prinzip ist, eine Bestimmung von der Art eines Gegeneinander-Verhaltens, also keine Bestimmung, die einem Atom als Einzelnem und als Eigenschaft zugeschrieben werden kann, modifizierte Newton den Begriff des Atomismus.“ VOLTAIRE 1997, S. 53, Fußnote 150; (vgl. auch S. 51 Fußnote 143 und S. 67)

⁷⁴⁷ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 38

⁷⁴⁸ Newton schreibt dagegen: „Die *prima materia* muß aus Atomen bestehen. Mag diese Materie auch so klein sein, daß man sie nicht erkennen kann.“ GLEICK 2004, S. 35

von irgendwelchen zeigte, nicht alle seine Begründungen untereinander übereinstimmen – zumindest insofern ein Urteil über das, was von seinen Ansichten überliefert ist, gestattet ist. Ob aber das, was ich bisher über die Philosophie geschrieben habe, ausreichend kohärent ist, überlasse ich der Beurteilung anderer.“⁷⁴⁹ Wir können schon an diesen Zeilen erkennen, dass Newton beinahe zur Gänze die Gegenposition von Descartes einnahm, welche ihn schließlich zum Erfolg führte. War es bei Descartes die *Ausdehnung*, welche einen Körper auszeichnet, so ist es bei Newton die *Masse*!⁷⁵⁰ Und auch die Masse ist für Newton jene Eigenschaft, welche dem Trägheitsprinzip zugrunde liegt. *Newton hat somit ganz genau die Schwäche der Descartesschen Hypothese ausmachen können: in $p = m \cdot v$ fehlt es an (träger) Masse.*⁷⁵¹ Die träge Masse, mit welcher Newton sein 1. Gesetz definiert ist wohl überhaupt die wichtigste Basisgröße in der klassischen Physik, „von der andere Parameter sehr wohl abhängen, die aber selbst von allen anderen als strikt unabhängig gilt“!⁷⁵² „Der Charakter ihrer Universalität“ [...] „liegt darin, daß sie für jeden individuellen Körper stets und an jedem Ort invariant ist und bleibt. Selbst wenn nur ein Körper im Universum existierte, er wäre *träge*, nicht aber *schwer*. Darin liegt einer der Gründe, weshalb Newton nur die Trägheit, nicht aber die Schwere als eine der Primäreigenschaften der Materie ansieht.“⁷⁵³ Für Descartes ist die entsprechende *Singularitätseigenschaft* der Materie an der Basis eindeutig die *extensio*.⁷⁵⁴ So beginnt Newton sein *Principia* nicht mit den drei Grundgesetzen. Sondern, er gibt zuerst acht Erklärungen und eine Anmerkung, wobei er mit den ersten drei Erklärungen gleich die *träge Masse* zu erklären versucht.⁷⁵⁵

Wir erkennen, dass Newton folgende Begriffe als eine verschiedene Ausdrucksweise desselben betrachtet:

*Materie = Masse = Körper = Trägheit.*⁷⁵⁶

Descartes hingegen:

*Materie = Körper = Ausdehnung = Verharrung.*⁷⁵⁷

⁷⁴⁹ DESCARTES 2005, S. 625 (IV/202)

⁷⁵⁰ SALTZER 2000, S. 33

⁷⁵¹ SALTZER 2000, S. 40

⁷⁵² SALTZER 2000, S. 34

⁷⁵³ Newton schreibt: „Unter der ihnen eigentümlichen Kraft begreife ich die Kraft der Trägheit, welche unveränderlich ist, wogegen die Schwerekraft mit der Entfernung von der Erde abnimmt.“ NEWTON 2004, S. 857

⁷⁵⁴ SALTZER 2000, S. 34

⁷⁵⁵ Die Überschriften lauten:

Erklärung I: „DIE GRÖSSE DER MATERIE WIRD DURCH IHRE DICHTIGKEIT UND IHR VOLUMEN VEREINT GEMESSEN.“

Eklärung II: „DIE GRÖSSE DER BEWEGUNG WIRD DURCH DIE GESCHWINDIGKEIT UND DIE GRÖSSE DER MATERIE VEREINT GEMESSEN.“

Eklärung III: „DIE MATERIE BESITZT DAS VERMÖGEN ZU WIDERSTEHEN; DESHALB VERHARRT JEDER KÖRPER, SOWEIT ES AN IHM IST, IN EINEM ZUSTANDE DER RUHE ODER DER GLEICHFÖRMIGEN GERADLINIEN BEWEGUNG.“ NEWTON 2004, S. 637

⁷⁵⁶ SALTZER 2000, S. 42

⁷⁵⁷ vgl. SALTZER 2000, S. 42

„Wechselweise exklusiv sind in beiden >*Principia*< also die Termini *extensio* für den einen und *inertia* für den anderen Text!“⁷⁵⁷ (SALTZER 2000, S. 40)

Wir können hier also zugleich in einer Tabelle zusammenfassen, wie sich die Ansichten über die Materie und dessen Wechselwirkung unterscheiden:

Physikalische Inhalte	Descartes Einstellung	Newtons Einstellung
Fundamentale Eigenschaft der Materie	Ausdehnung	Masse
Atomistische Vorstellungen der Untrennbarkeit	Unendlich zerlegbar	Über die Zerlegbarkeit entscheidet das Experiment ⁷⁵⁸
Atomistische Vorstellung der Wechselwirkung	Stöße	Stöße + Fernwirkung
(Kohäsion)	Entsteht durch die (relative) Ruhe der Teilchen	Durch eine bestimmte Anziehungskraft der Teilchen ⁷⁵⁹

Die Eigenschaften von Raum und Zeit:

Für Descartes hat die fundamentale Eigenschaft, *die Ausdehnung* der Materie, eine tiefer gehende Bedeutung. Denn so kann Descartes, wie wir bereits gesehen haben, sogleich den Raum definieren, da es für ihn kein Vakuum geben darf. Er schreibt: „Wenn wir die Idee irgendeines Körpers, die wir besitzen, zum Beispiel die eines Steines bestimmen wollen, dann trennen wir von dieser Idee alles ab, von dem wir erkennen, daß es für die Natur dieses Körpers nicht erforderlich ist: und zwar verwerfen wir zunächst die Härte, weil, wenn der Stein geschmolzen oder in winzigste Staubpartikel zerteilt wird, er die Härte verliert, und dennoch deswegen nicht etwa aufhört, ein Körper zu sein; weiterhin verwerfen wir die Farbe, weil wir häufig Steine gesehen haben, die so durchsichtig waren, daß an ihnen keinerlei Farbe war; wir verwerfen das Gewicht, weil, obgleich das Feuer äußerst leicht ist, deswegen nicht weniger angenommen wird, daß es ein Körper ist; und schließlich verwerfen wir die Kälte und die Wärme und alle anderen Qualitäten, weil sie sich entweder an dem Stein gar nicht zeigen, oder nicht anzunehmen ist, daß durch ihre Veränderung der Stein die Natur der Körperlichkeit verlieren würde. Auf diese Weise werden wir feststellen, daß gar nichts in der Idee des Körpers bestehen bleibt, außer daß er etwas in Länge, Breite und Tiefe Ausgedehntes ist, und das findet sich ebenso in der Idee nicht nur des mit Körpern erfüllten, sondern auch desjenigen Raumes, der Vakuum genannt wird.“⁷⁶⁰ Saltzer schreibt: „Das wahre Vakuum wäre demnach die Negation all dieser und aller sonstigen physischen Zuordnungen.“⁷⁶¹ Damit es kein Vakuum geben kann, müssten die Körper natürlich unendlich teilbar sein bzw. ein Kontinuum ergeben.⁷⁶² Das bedeutet für

⁷⁵⁸ „Ähnlich äußert er sich auch in der Diskussion der dritten Regel zur Erforschung der Natur. Aus der Tatsache, so schreibt er hier, daß entsprechend der Mathematik die Teile eines Körpers durch Rechnung in immer noch kleinere zerlegt werden können, folgt nicht, daß dieses in der Natur tatsächlich möglich ist, sondern darüber entscheidet erst das Experiment.“ VOLTAIRE 1997, S. 39

⁷⁵⁹ Ganz klar nimmt Newton in seiner Optik, bei der Frage 31 dazu Stellung: „Die Theile aller homogenen harten Körper, die sich vollkommen berühren, hängen mit stärkster Kraft einander. Um zu erklären, wie dies möglich ist, haben Einige mit Häkchen versehene Atome erfunden, womit sie aus dem, was sie erst beweisen wollen, einen Schluss ziehen; Andere sagen, die Körper seien durch die Ruhe fest verbunden, d.h. durch eine verborgene Eigenschaft, oder eigentlich durch gar nichts, wieder Andere, sie hängen zusammen durch zusammenwirkende Bewegungen, d.h. durch relative Ruhe. Ich ziehe es vor, aus ihrer Cohäsion zu schliessen, dass die Theilchen einander mit einer gewissen Kraft anziehen, welche bei unmittelbarer Berührung ausserordentlich stark ist, bei geringen Abständen die erwähnten chemischen Vorgänge verursacht, deren Wirkung sich aber nicht weit von den Theilchen fort erstreckt.“ NEWTON 1983, S. 258

⁷⁶⁰ DESCARTES 2005, S. 103-105

⁷⁶¹ SALTZER 2000, S. 45

⁷⁶² vgl. SALTZER 2000, S. 45

Descartes gibt es keine Atome.⁷⁶³ Diese Denkweise ist sehr konsequent, denn gibt es keine Materie, so gibt es auch keinen Raum – und gibt es keinen Raum so auch keine Materie.⁷⁶⁴ (Wir werden in der *Allgemeinen Relativitätstheorie* und in der *relativistischen Quantenmechanik* dann sehen, dass Descartes' Denken, dass der Raum nicht nichts ist, sondern mit der Materie wechselwirkt, wieder eine Bedeutung gewinnen wird.)

Für Newton ist hingegen der Raum *absolut* und kann daher auch (zumindest rein theoretisch) *leer* bzw. frei von Materie sein. Er schreibt in seiner Anmerkung bevor er zu seinen drei Gesetzen übergeht: „Der *absolute Raum* bleibt vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand stets gleich und unbeweglich.“⁷⁶⁵ Newton hat sicher einige gute Gründe um den absoluten Raum vorauszusetzen. Einer davon ist, dass er nicht von den Erhaltungssätzen überzeugt ist⁷⁶⁶, wie wir noch später zeigen werden. Daher benötigt Newton andere Dinge, welche stets *erhalten* bleiben und in irgendeiner Weise *Gott* repräsentieren.⁷⁶⁷ *Diese sind somit der absolute Raum und die absolute Zeit.*⁷⁶⁸ In seinen zu Lebzeiten nicht veröffentlichten Entwürfen (zum Scholium) steht: „Weil jeder einzelne Teil des Raumes immer ist und jedes einzelne Moment der Zeit überall ist, wird Gott gewiß immer und überall sein“⁷⁶⁹.

In der folgenden Tabelle sind Descartes' und Newtons Ansichten wieder gegenübergestellt:

Physikalische Inhalte	Descartes Einstellung	Newton Einstellung
-----------------------	-----------------------	--------------------

⁷⁶³ vgl. SALTZER 2000, S. 45

⁷⁶⁴ vgl. SALTZER 2000, S. 45

⁷⁶⁵ NEWTON 2004, S. 642; vgl. dazu REBHAN (I) 2006, S. 8

⁷⁶⁶ Wenn man es genau nimmt, ist Newton eigentlich schon wenigstens von einem Erhaltungssatz überzeugt; nämlich von der Erhaltung der Masse. Newton schreibt: „All dies bedenkend, scheint es mir wahrscheinlich zu sein, daß Gott am Anfang die Materie in soliden, massiven, harten, undurchdringlichen, beweglichen Teilchen von solcher Größe und Gestalt und mit solchen weiteren Eigenschaften und in solchem Verhältnis zum Raume erschuf, wie sie am besten dem Zweck entsprachen, für den er sie geschaffen hatte; ... Solange die Teilchen bestehen bleiben, können sich auf ihnen Körper ein und derselben Natur und Struktur zu allen Zeiten zusammensetzen ... Damit also die Natur beständig ist, können die Veränderungen der körperlichen Dinge nur in verschiedenen Trennungen und neuen Vereinigungen und Bewegungen dieser beständigen Teilchen bestehen; [...]“ zitiert nach VOLTAIRE 1997, S. 53

⁷⁶⁷ Dieser absolute, materiefreie Raum allein „vermag >sensorium Dei<⁷⁶⁷ zu sein, der Vorstellungsort göttlicher Allperzeption und, vor allem, der Realisator aller >active principles<, wie etwa der Schwere, die nur extrinsisch auf die rein rezeptive passive >Masse-Materie< einwirken.“ SALTZER 2000, S. 46

Sensorium Dei kann man frei übersetzen mit *Organ Gottes*. An dieser Stelle möchten wir natürlich bemerken, dass Newton diese Gleichnisse zwischen Gottes Eigenschaften und den Eigenschaften von Raum zwar zieht und veröffentlicht, jedoch viel vorsichtiger, als sie meist interpretiert wurden. Auf eine präzise Auseinandersetzung, inwiefern Newton den Raum mit Gott in Verbindung bringt, möchten wir in dieser Arbeit nicht eingehen. Wir verweisen den interessierten Leser gerne auf VOLTAIRE 1997, S. 362-363, Fußnote 12; OPTIK 1983, (Frage 28, 31)

⁷⁶⁸ „Die *absolute, wahre* und *mathematische* Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand. Sie wird auch mit dem Namen *Dauer* belegt.“ NEWTON 2004, S. 641; vgl. REBHAN (I) 2006, S. 9

⁷⁶⁹ GLEICK 2004, S. 158 und Fußnote 16

Absoluter Raum ⁷⁷⁰	Nein! ⁷⁷¹	Ja!
Absolute Zeit ⁷⁷²	Nein! ⁷⁷³	Ja!
Vakuum	Nein!	Ja!
Vakuum=(kontinuierliche) Materie	Ja!	Nein!

⁷⁷⁰ Eckhard Rebhan erläutert: „Mit absolutem Raum ist also gemeint, dass dieser ohne Bezug auf das Vorhandensein materieller Körper „an sich“ existiert, dass seine Eigenschaften also nicht von diesen beeinflusst werden und stets gleich bleiben. Wie nehmen es als empirische Tatsache hin, dass der Raum drei Dimensionen besitzt, d.h. dass jeder Raumpunkt eindeutig durch die Angabe von drei Koordinaten festgelegt werden kann, und betrachten es als eine für die Mechanik brauchbare Arbeitshypothese, dass sich der Raum allseits bis ins Unendliche erstreckt und euklidisch ist. Euklidizität des Raumes ist eine Eigenschaft, die gemessen werden kann. Wir denken uns die Messung von Längen und Winkeln in üblicher Weise mit Meterstab und Gradmesser vorgenommen. Der Raum ist euklidisch, wenn in jedem rechtwinkligen Dreieck (= kürzeste Verbindung von drei Punkten) – groß oder klein und beliebig gelegen – der Lehrsatz des Pythagoras gilt. Der euklidische Raum ist **homogen** und **isotrop**, d.h. kein Punkt ist vor irgendeinem anderen und keine Richtung vor irgendeiner anderen ausgezeichnet.“ REBHAN (I) 2006, S. 8-9

⁷⁷¹ Obwohl die Vorstellung der Beschaffenheit der Materie von Kepler der Newtonschen ähnlicher ist, haben Descartes und Kepler sehr ähnliche Vorstellungen von Raum und Zeit.

Volker Bialas gibt die Naturauffassung von Kepler wieder: „Stets ist der Raum auf ein körperhaft Materielles bezogen, erst in der Ausfüllung mit einem Körperhaften wird er existent. Somit ist ein Vakuum nicht denkbar. Das ganze Universum ist von dem feinstofflichen Äther wie von der Flüssigkeit erfüllt. Ebenso ist ein unendlicher Raum nicht möglich. Dieser würde die Unendlichkeit der Materie voraussetzen; seine Annahme ließe sich mit dem Postulat von der Endlichkeit und Begrenztheit der geschaffenen Welt nicht vereinbaren.“ (BIALAS 2004, S. 106) Und über das Konzept der *Zeit* von Kepler, schreibt er: „Näherhin ist Zeit auf *Messen* bezogen, indem die Ungleichheit von Bewegungen nicht anders wahrgenommen werden kann als durch ein Vergleichen dessen, was sich auf gleiche Größen bezieht. Daher ist die Zeit <<das Maß der Bewegungen>>, und das nächstliegende, uns bekannte Element ist der über die scheinbare Sonnenbewegung als Intervall zwischen zwei Meridiandurchgängen definierte Tag [...]“. BIALAS 2004, S. 107

⁷⁷² Eckhard erläutert: „Wir akzeptieren es als empirisches Faktum, dass die Zeit eine einzige Dimension besitzt, und benutzen als eine für die Mechanik brauchbare Arbeitshypothese, dass sie sich sowohl in die Vergangenheit als auch in die Zukunft unendlich weit erstreckt. Sie ist homogen und isotrop, d.h. kein Zeitpunkt ist vor irgendeinem anderen ausgezeichnet, insbesondere also auch die Zukunft nicht vor der Vergangenheit. Die letzte Eigenschaft befindet sich in Übereinstimmung mit den experimentellen Erfahrungen der traditionellen Mechanik. Sie steht jedoch in krassem Gegensatz zu unserem Zeitgefühl, nach dem Vergangenheit und Zukunft sehr verschieden beurteilt werden.“

Der Begriff der absoluten Zeit impliziert zusätzlich zu den genannten Eigenschaften noch den Begriff der **absoluten Gleichzeitigkeit**: Zwei Uhren gleicher Bauart, die einmal synchronisiert worden sind, weisen zu allen späteren Zeitpunkten unabhängig von ihrer Lage im Raum und unabhängig von ihrem Bewegungszustand stets den gleichen Zeigerstand auf. (Diese Hypothese muss in der Relativitätstheorie revidiert werden.)“ REBHAN (I) 2006, S. 9

⁷⁷³ Es ist nicht so ganz einfach zu verstehen, was Descartes unter Zeit verstanden haben könnte. *Fest steht, dass er ihr keine absolute Objektivität zugesteht.* Somit ist klar, dass er *mit dem Begriff der absoluten Zeit nicht einverstanden* sein konnte. Descartes versteht daher unter Zeit einen „gedanklichen Zugriff“. Doch ist sein Gedanke von der Zeit, nicht derart relativ, wie es uns in der speziellen Relativitätstheorie gegeben ist; dass nämlich in einem bewegten System die Zeit langsamer vergeht, wie in einem relativ dazu ruhenden. Das kann man sehr leicht damit begründen, dass es zu jener Zeit einfach keine Experimente gab, welche darauf hinweisen hätten können. Insofern scheint Descartes zumindest an einer absoluten Gleichzeitigkeit nicht prinzipiell zu zweifeln. Zum besseren Verständnis wollen hier Descartes zitieren: „So ist es nur ein gedanklicher Zugriff, wenn wir die Zeit von der Dauer allgemein genommen unterscheiden und behaupten, daß sie das Maß der Bewegung sei; denn tatsächlich wird uns an der Bewegung keine andere Dauer als an unbewegten Dingen einsichtig. Dies wird daraus klar, daß wir, wenn sich zwei Körper, der eine langsam, der andere schnell, eine Stunde lang bewegen, an dem einen nicht mehr Zeit als an dem anderen zählen, obwohl an dem zweiten viel mehr Bewegung vorhanden ist. Wir messen aber die Dauer sämtlicher Dinge, indem wir sie mit der Periode jener größten und äußerst gleichmäßigen Bewegungen vergleichen, von der die Jahre und Tage hergenommen sind, und diese Periode nennen wir Zeit, die daher zur Dauer im allgemeinen genommen, abgesehen von einem besonderen gedanklichen Zugriff, nichts hinzufügt.“ DESCARTES 2005, S. 63 (I/57)

Die Wichtigkeit der Erhaltungssätze:

Newton ist von den Erhaltungssätzen nicht (zur Gänze) überzeugt. Obgleich Newtons 3. Gesetz den Impulserhaltungssatz ausdrückt,

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \rightarrow \quad \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = \dot{\vec{p}}_{12} + \dot{\vec{p}}_{21} = \frac{d\vec{p}_{12}}{dt} + \frac{d\vec{p}_{21}}{dt} = \dot{\vec{p}}_{\text{Gesamt}} = 0,$$

steht Newton, als ein Gegenspieler zu Descartes, den Impulserhaltungssätzen skeptisch gegenüber. Saltzer schreibt: „Die ontologische Mitverankerung der materialen Perseveranz samt ihren wichtigsten Zuständen in den göttlichen Willen ist für Descartes wohl zur Schlüssigkeit seines universalen Weltverständnisses da, und das meine ich nicht nur äußerlich! Die viel radikalere theologische Bindung zur Komplettierung seines Weltverständnisses liegt bei Newton vor: sein Gott-Pantokrator ist unmittelbares Subjekt der >active principles<, der wahren kosmogonischen Kräfte, durch die allein >Bewegung in die Weltprozesse kam<, und dieser Gott hat jederzeit die Möglichkeit, diese zu ändern und damit die >laws of Nature zu variieren<, wie es in >query< 31 der >Opticks< heißt. Und ferner muß oder will Newtons Gott ständig den im Naturgeschehen verlorengelassenen Impuls wieder refizieren, damit die >machina mundi< am Laufen bleiben kann. Von den realen, ernstesten metaphysischen Anbindung her gesehen ist Newtons Lex I, sein Trägheits- bzw. Zustandsbewahrungsgesetz, ein Erhaltungsgesetz nur auf Zeit, auf unsichere Zeit, so daß wir, auf unsere Thematik bezogen, letztlich folgende Situation haben: Für Newton gilt, >Trägheit ja, aber keine universelle Erhaltung<; für Descartes gilt, >Universelle Erhaltung ja, aber keine Trägheit<.“⁷⁷⁴ So sieht Newton im allwissenden Gott von Descartes, welcher den Raum als eine kontinuierliche materielle Extension⁷⁷⁵ erschafft und Erhaltungssätze erlässt, „ohne durch willkürliche Gesetzeskorrektur oder durch ständige Impulszufuhr seine Omnipotenz und Gnade unter Beweis stellen zu müssen“⁷⁷⁶, eine allgemeine Gefährdung der Religion. Newton meint daher in seiner Schrift **De Gravitatione sive aequi pondio fluidorum**⁷⁷⁷, dass „wenn wir mit Descartes sagten, die extensio sei corpus, würden wir dann nicht dem Atheismus ganz klar den Weg bereiten...?“⁷⁷⁸

Wir wollen die Gegenpositionen der beiden großen Geister in einer Tabelle wiedergeben:

Physikalische Inhalte	Descartes Einstellung	Newton´s Einstellung
Trägheit	Nein!	Ja!
Erhaltungssätze	Ja!	Nein!

⁷⁷⁴ SALTZER 2000, S. 48

⁷⁷⁵ vgl. SALTZER 2000, S. 49

⁷⁷⁶ SALTZER 2000, S. 50

⁷⁷⁷ Harro Heuser interpretiert dieses Werk Newton auf folgender Weise: „Auch Newton hatte, wie Henry More, in Descartes die Speerspitze des Atheismus ausgemacht. Schon als Mittzwanziger, bevor er zum Magister graduierte, schrieb er das fragmentarische Manuskript *De gravitatione et aequi pondio fluidorum* („Über Gravitation und das Gleichgewicht von Flüssigkeiten“), das mit Flüssigkeiten wenig und mit Gravitation gar nichts zu tun hat. Es ist hauptsächlich eine Polemik gegen Descartes’ Raum- und Bewegungsbegriff und gegen seine Trennung von Geist und Materie.“ HEUSER 2005, S. 69

⁷⁷⁸ zitiert nach SALTZER 2000, S. 49; (vgl. dazu auch VOLTAIRE 1997, S. 52)

Über die gleiche Thematik werden dann später in modifizierter Form Leibniz, der (gemeinsam mit Huygens) indirekt in Descartes Fußstapfen tritt, und Clarke, welcher direkt die Rolle Newtons übernimmt, ausführlicher diskutieren. Dieser Dialog beeinflusst die *Geschichte* sehr stark. (vgl. dazu auch SALTZER 2000, S. 49)

Die Rolle Gottes in der *Principia* von Descartes und Newton

Bei all ihren unterschiedlichen Theorien über die Physik und Himmelmechanik verbindet sie dennoch die große Idee, dass es möglich ist, durch bestimmte universelle Gesetze die Natur zu beschreiben. Außerdem bedienen sich **beide der Theory of Mind und versuchen sich in Gott hineinzusetzen**. Sie möchten eine Antwort auf die bedeutende Frage geben: Weshalb hat Gott die Welt erschaffen, und vor allem wie bzw. welche Größe in der (abstrakten) Natur trägt die (abstrakten) Spuren von ihm? Oder ganz einfach: **Was spiegelt in der Welt das Abbild des Göttlichen wieder?** Auf ihrer Fährte kommen beide Naturphilosophen auf zwei unterschiedliche Überzeugungen, welche sich dann wiederum in ihrer Physik widerspiegeln:

Philosophischer Inhalt	Descartes Einstellung	Newton 's Einstellung
Universalität und Ewigkeitsspiegelung Gottes in der Natur	(Impuls)erhaltungssatz	Absoluter Raum & Absolute Zeit

Mit Newtons absolutem Raum und absoluter Zeit sind schon einige Zeitgenossen nicht ganz zu frieden. Kritik bekommt Newton unter anderem vom britischen Philosophen und Bischof George Berkeley, als auch vom deutschen Philosophen und Mathematiker Gottfried Wilhelm Leibniz.⁷⁷⁹ „Leibniz erklärte, daß Raum und Zeit nicht von sich aus existierten, sondern nur als Beziehungen zwischen materiellen Körpern zu verstehen seien.“⁷⁸⁰ (Diese oder ähnliche Vorstellungen sind natürlich nicht neu, denn wir hatten sie bereits bei Descartes. Was eben auch auf einen zeitverzögerten *Dialog* zwischen Newton und Descartes hindeutet.) „Als Reaktion auf die Kritik von Berkeley und Leibniz fügte Newton noch im Alter von siebzig Jahren einen Abschnitt am Ende seiner *Principia* an.“⁷⁸¹ Aus diesem „Scholium generale“⁷⁸² wollen wir hier gerne zitieren:

„Es folgt hieraus, daß der wahre Gott ein lebendiger, einsichtiger und mächtiger Gott, daß er über dem Weltall erhaben und vollkommen ist. Er ist ewig und unendlich, allmächtig und allwissend, d.h. er währt von Ewigkeit zu Ewigkeit, von Unendlichkeit zu Unendlichkeit, er regiert alles, er kennt alles, was ist oder was sein kann. Er ist weder die Ewigkeit noch die Unendlichkeit, aber er ist ewig und unendlich; er ist weder die Dauer noch der Raum, aber er währt fort und ist gegenwärtig; er währt stets fort und ist überall gegenwärtig, er existiert stets und überall, er macht den Raum und die Dauer aus. Da jedes Teilchen des Raumes beständig existiert und jeder unteilbare Moment der Dauer *überall* fortwährt, so kann man nicht behaupten, daß derjenige, welcher der Herr und Verfertiger aller Dinge ist, nie und *nirgend* existiere. Jede Seele, welche er zu verschiedenen Zeiten, durch verschiedene Sinne und durch die Bewegung mehrere Organe denkt, ist stets eine und dieselbe unteilbare Person⁷⁸³. Es gibt aufeinander folgende Teile in der Dauer und nebeneinander stehende

⁷⁷⁹ vgl. HOFFMANN 1997, S. 52-53

⁷⁸⁰ HOFFMANN 1997, S. 52-53

⁷⁸¹ HOFFMANN 1997, S. 54

⁷⁸² vgl. VOLTAIRE 1997, S. 364

In NEWTON 2004 ist es als „§. 61. *Allgemeine Anmerkung.*“ ab der Seite 954 wiedergegeben.

⁷⁸³ An dieser Stelle (und im weiteren Verlauf) ist es sehr interessant, wie Newton das *bewusste Kern-Selbst* und *autobiographische Selbst* mit der Idee eines Gottes zu vereinbaren oder zumindest in eine Analogie zu setzen versucht. **Damit betont schon bereits Newton, dass wir Gott am besten mit der höchsten Bewusstseinsstufe erkennen können.**

Teile im Raume; es gibt aber nichts Ähnliches in dem, was die Person des Menschen ausmacht, oder in seinem denkenden Prinzip und noch viel weniger wird dergleichen in der denkenden Substanz Gottes stattfinden. Jeder Mensch, soweit er ein fühlendes Wesen ist, ist während seines ganzen Lebens und in allen verschiedenen Organen seiner Sinne ein und derselbe Mensch. Ebenso ist Gott überall und beständig ein und derselbe Gott. Er ist überall gegenwärtig und zwar nicht nur *virtuell*, sondern auch *substantiell*; denn man kann nicht wirken, wenn man nicht ist. Alles wird in ihm bewegt und ist in ihm enthalten, aber ohne wechselseitige Einwirkung; denn Gott erleidet nichts durch die Bewegung der Körper, und seine Allgegenwart läßt sie keinen Widerstand empfinden. Es ist klar, daß der höchste Gott notwendig existiere, und vermöge derselben Notwendigkeit existiert er *überall* und *zu jeder Zeit*.⁷⁸⁴ Und weiter unten schreibt Newton: „Dies hatte ich von Gott zu sagen, dessen Werke zu untersuchen die Aufgabe der Naturlehre ist.“⁷⁸⁵

Wenn wir *Gott* im wissenschaftlichen *Diskurs* kurz ausblenden und *möglichst vorurteilsfrei* die Physikgeschichte betrachten, dann können wir diesem *zeitverzögerten Dialog* zwischen Descartes und Newton womöglich jene Anerkennung gerecht werden lassen, die er verdient. Gehen wir heute davon aus, dass Newton durch sein Hauptwerk ***Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*** (unter anderem) auf die Schwächen von Descartes ***Principia Philosophiae*** hinweist, und in seiner Arbeit dazu Verbesserungsvorschläge gibt, dann können wir auch wenigstens hoffen, *dass Descartes Physik im Grenzfall der Newtonschen Physik ihre Gültigkeit bewahrt*.

Die Descartessche Physik als ein Grenzfall der Newtonschen Physik

Obwohl es genug Hinweise gibt, dass einige Elemente der Newtonschen Gesetze auch bei Descartes zu finden sind, bekommt die Descartessche Physik dennoch keine große Anerkennung. Wir werden später sehen, dass die Newtonsche Mechanik (durch die Einsteinsche Mechanik) schon vor über 100 Jahre *falsifiziert* wurde. Sie wurde mit anderen Worten durch die *Spezielle Relativitätstheorie* von Albert Einstein erweitert. *Doch trotz dessen würde es heutzutage keinen bedeutenden Wissenschaftler in den Sinn kommen, Newtons geniale Leistung herabzuwürdigen*. Und die große Frage dabei ist: Wieso eigentlich nicht? Wir wollen versuchen hierauf eine Antwort zu geben.

Es ist Großteils Karl Popper zu verdanken, der erklärte, wie man die Gültigkeitsgrenzen einer Theorie herausfinden kann. Dazu ist eine Erklärung der *Falsifikation* zwar sehr nützlich, wird aber jedoch sehr oft falsch interpretiert. Eine wissenschaftliche Theorie wird nämlich durch eine *besser* nicht *falsifiziert* oder *eliminiert*. (Nicht nur in der Wissenschaft, sondern allgemein kann die Vorstellung einer *Elimination* als Endzweck in einer Diskurskultur *verherrende* bzw. *unethische* Folgen haben.)⁷⁸⁶ Karl Popper betont: „[...] Ideologien, die Intoleranz predigen, verlieren ihren Anspruch auf Toleranz“⁷⁸⁷. *So werden wir natürlich in dieser Arbeit möglichst keine wissenschaftstheoretische Ideologie der Intoleranz tolerieren*.

⁷⁸⁴ NEWTON 2004, S. 956

⁷⁸⁵ NEWTON 2004, S. 956; vgl. dazu auch VOLTAIRE 1997, S. 364; Fußnote 17 und HOFFMANN 1997, S. 54

⁷⁸⁶ *Prinzipiell sollten Diskursteilnehmer deshalb eine Einstellung einnehmen, den anderen Diskursteilnehmern (möglichst) nicht zu schaden.*

⁷⁸⁷ POPPER 2012, S. 214

Wir möchten dem Leser weitere Stellen, wo Karl Popper sich offen zur Toleranz bekennt, nicht vorenthalten. So erklärt Popper nachdrücklich: „Da ich ein Rationalist bin, so will ich niemanden bekehren. Ich will auch nicht den Namen der Freiheit dazu mißbrauchen, irgend jemanden zu einem Rationalisten zu machen. Aber ich

Das bedeutet, statt davon zu sprechen, dass die Newtonsche Physik widerlegt wurde und somit falsch ist, werden wir sagen, dass wir nun ihre Gültigkeitsgrenzen kennen und sogar eine bessere Theorie haben, nämlich die spezielle Relativitätstheorie, die über diese Grenzen hinausgeht. Deshalb können wir sagen, dass die Newtonsche Mechanik in einem gewissen Rahmen – wo beispielsweise die Relativgeschwindigkeiten sehr klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit sind ($v_{\text{relativ}} \ll c$) – ihre Gültigkeit bewahrt!

Zu Newtons Zeit gab es dieses Verständnis vom Korrespondenzprinzip natürlich noch nicht, obwohl sie bei Newton selbst bereits teilweise vorhanden ist, da er erkennt, dass die Keplerschen Gesetze nur im Grenzfall gelten. Newton duelliert sich förmlich (aus seiner Sicht) mit den Cartesianern. Und ihm gelingt es aus dieser Perspektive schlussendlich Descartes zu falsifizieren.

Doch interessant ist, dass es seitdem noch nie einen Versuch gab, mit Hilfe des Korrespondenzprinzips zu zeigen, dass die Descartessche Physik als ein Grenzfall der Newtonschen Physik betrachtet werden kann. Und solange das nicht geschieht, wird wahrscheinlich die Mehrheit der Naturwissenschaftler die Descartessche Physik wohl nie zu würdigen wissen (und sie in den Schulbüchern womöglich auch in Zukunft ganz verschweigen!) Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit wenigstens der Versuch gestartet ein solches zu vollbringen.

Natürlich erwarten uns jede Menge an Schwierigkeiten, denn

- der Geschwindigkeitsbegriff von Descartes ist nicht mit dem von Newton zu vereinbaren, da Descartes (in der Mechanik) unter anderem die Richtung nicht miteinbezieht,
- der Begriff der Materie bzw. dessen Definition ist bei Descartes und Newton beinahe völlig verschieden,
- der Begriff *Kraft* von Descartes ist teilweise unklar,
- und von den unterschiedlichen Verständnissen von Raum und Zeit wollen wir erst gar nicht sprechen. Usw.

Doch diese gegensätzliche Vorstellungen, die einen *Dialog* (meistens) auszeichnen – beispielsweise was sowohl das Raum- und Zeitverständnis, als auch das Verständnis von Masse usw. –, sind aber auch zwischen der Newtonschen Physik und der Einsteinschen Physik (bzw. der Speziellen Relativitätstheorie) vorhanden. Und dennoch kann man die Newtonsche Theorie (, obwohl es so einen großen Paradigmenwechsel gibt⁷⁸⁸,) als einen Grenzfall der Speziellen Relativitätstheorie ansehen. Weshalb sollte es dann nicht auch möglich sein die Descartessche Mechanik als einen Grenzfall der Newtonschen Mechanik zu betrachten? (Und auch wenn womöglich irgendwelche Gründe dagegen sprechen, so versucht diese Arbeit wenigstens *einen* Grund zu suchen, welcher dafür spricht.)

möchte andere zum Widerspruch herausfordern; ich möchte, wenn möglich, andere dazu anregen, die Dinge in einem neuen Licht zu sehen, damit jeder in möglichst freier Meinungsbildung *seine* eigene Entscheidung treffen kann. Jeder Rationalist muß mit Kant sagen: Die Philosophie kann man nicht lehren – höchstens das Philosophieren; das heißt, die kritische Einstellung.“ POPPER 2012, S. 164-165

⁷⁸⁸ Selbst Kuhn, der den Paradigmenwechsel als erster in die wissenschaftstheoretische Diskussionsrunde miteinbezieht und von Revolutionen in den Naturwissenschaften spricht, geht auf das Korrespondenzprinzip ein. Bis zu welchem Grad er jedoch unsere Ansichten zu diesem Thema teilen würde, lassen wir am besten den Leser entscheiden. Wir verweisen auf KUHN 2012, S. 113-114.

Wir werden deswegen die philosophische Landschaft der Begrifflichen Diskussionen verlassen und uns ganz einfach auf *das quantitative Feld der Naturwissenschaften* begeben, sowie es Galilei, Descartes und Newton immer schon gewünscht haben.

Ein bescheidener Versuch die Descartesschen Gesetze in quantitativer Form wiederzugeben:

1. Descartessche Gesetz

Was besagt das *erste* Descartessche Gesetz – („*Ein jedes Ding behält von sich aus denselben Zustand bei, und daher fährt ein Ding, das sich einmal in Bewegung gesetzt hat, immer fort, sich zu bewegen.*“) – von einem quantitativen Standpunkt aus betrachtet?

Es besagt, dass sich der Impuls eines Körpers mit der Zeit nicht ändert: $\frac{\Delta p}{\Delta t} = 0$. Rein quantitativ betrachtet, ist dieses Gesetz mit dem ersten Gesetz von Newton ziemlich gleichwertig.

2. Descartessche Gesetz

Wie können wir das *zweite* Descartessche Gesetz – („*Jede Bewegung ist aus sich selbst heraus geradlinig, und deshalb tendiert alles, was sich kreisförmig bewegt, sich vom Mittelpunkt des Kreises zu entfernen, den es beschreibt.*“) – quantitativ interpretieren?

Wenn wir diesen Zwang, welcher auf den Körper ausgeübt wird, als $F = \text{Kraft}$ verstehen, welche ihn aus der sonst geradlinig verlaufenden Bahn ablenkt,⁷⁸⁹ so können wir sagen, dass die Kraft die Bewegung der Kugel ändert; oder in quantitativer Form ausgedrückt: $\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$. Auch das ist mit dem zweiten Newtonschen Gesetz quantitativ in Übereinstimmung.

3. Descartessche Gesetz

Wir konnten oben zeigen, dass der große quantitative Unterschied zwischen der Descartesschen und der Newtonschen Mechanik wohl nicht an den ersten beiden Gesetzen liegen kann. Deswegen können wir bereits schon vermuten, dass das letzte Gesetz von Descartes mit dem dritten Gesetz von Newton nicht ganz übereinstimmen dürfte. (Genau genommen müsste das dritte Descartessche Gesetz das enthalten, was wir heute unter dem dritten und dem vierten Newtonschen Gesetz verstehen.)

Doch können wir das *dritte* Gesetz von Descartes – („*Ein Körper verliert nichts von seiner Bewegung, wenn er auf einen anderen auftrifft, der eine größere Kraft besitzt; trifft er hingegen auf einen mit geringerer Kraft auf, verliert er gerade so viel Bewegung, wie er auf jenen überträgt.*“) – in quantitativer Form überhaupt wiedergeben?

⁷⁸⁹ Das ist auch nicht weithergeholt, da die Zeichnung in Descartes Buch auf eine Kraft hindeutet. Dort hält die Hand nämlich über ein Tuch eine Kugel fest. Das bedeutet: Sie übt eine Kraft auf die Kugel aus.

Oder mit anderen Worten: *Steckt in diesem Gesetz überhaupt eine logische Aussage, welche wir den Newtonschen Gesetzen gegenüberstellen können?*

Desmond M. Clarke hat diese Frage 1977 mit **Ja** beantwortet. Er macht darauf aufmerksam, dass in diesem Gesetz von Descartes zwei Theoreme versteckt sind.⁷⁹⁰ Diese wollen wir hier wiedergeben⁷⁹¹:

1. Teil des Gesetzes	Theorem I
„Ein Körper verliert nichts von seiner Bewegung, wenn er auf einen anderen auftrifft, der eine größere Kraft besitzt; [...]“	Wenn zwei Körper zusammenstoßen, dann wird derjenige Körper mit der größeren Bewegungskraft, seine <i>Dominanz</i> beibehalten.

2. Teil des Gesetzes	Theorem II
„[...] trifft er hingegen auf einen mit geringerer Kraft auf, verliert er gerade so viel Bewegung, wie er auf jenen überträgt.“	Wenn ein Körper <i>A</i> mit einem Körper <i>B</i> zusammenstößt, dann bleibt die Bewegung als Größe erhalten.

Die bedeutendere Frage ist: können wir diese Theoreme auch in eine *quantitative Form* übersetzen? Auch hier ist die Antwort von Desmond M. Clarke ein klares **Ja!**

Für das *Theorem I* ist eines ausschlaggebend⁷⁹²: Nehmen wir an ein Körper *A* trifft auf einen Körper *B* dessen Bewegungskraft kleiner ist. Nun darf unter keinen Umständen der Zusammenstoß so ablaufen, dass Körper *A* mehr als die Hälfte seiner Bewegungskraft verliert, denn ansonsten, würde es ja heißen, dass Körper *B* eine größere Kraft gehabt hätte, als Körper *A*, da er ihm die Hälfte seiner Bewegungskraft wegnahm.⁷⁹³ Somit können wir beide Theoreme in quantitativer Form wiedergeben⁷⁹⁴:

⁷⁹⁰ „Versteckt“ ist womöglich ein wenig übertrieben. Clarke selbst schreibt: „It is evident that Descartes has recourse to a specific interpretation of L3 when confronted with this choice, and he formulates this interpretation in the letter to Clerselier. If the force of one body can only predominate over that of another by losing more than half of its own force, then it is reflected instead with its quantity of motion unchanged. Once this corollary is added to L3 it is possible to derive the impact rules from the Cartesian laws of nature.“ CLARKE 1977, S. 64

⁷⁹¹ vgl. dazu CLARKE 1977, S. 60

⁷⁹² vgl. CLARKE 1977, S. 63

⁷⁹³ Schon bei Spinoza gibt es Interpretationen in diese Richtung. So schreibt er: „Zusatz. Aus diesen drei vorhergehenden Lehrsätzen erhellt, daß die Richtung eines Körpers zu ihrer Veränderung ebensoviel Kraft erfordert als die Veränderung seiner Bewegung. Hieraus erfolgt, daß ein Körper, der mehr als die Hälfte seiner Richtung und mehr als die Hälfte seiner Bewegung verliert, eine größere Veränderung erleidet als der, welcher seine ganze Richtung verliert.“ SPINOZA 1987, S. 85

⁷⁹⁴ Sarah Mirna hat den Autor dieser Arbeit darauf aufmerksam gemacht, dass es besser für das Verständnis wäre, wenn man die Reihenfolge der Theoreme ändern würde. Diesen sehr guten Tipp geben wir sehr gerne unseren Lesern weiter. (Da wir Clarkes Gedankengängen folgen, behalten wir jedoch in dieser Arbeit seine Reihenfolge bei.)

Theorie in Worten	Theorie in quantitativer Form
Theorem I: Wenn zwei Körper A und B zusammenstoßen, dann wird derjenige Körper mit der größeren Bewegungskraft seine Dominanz beibehalten. (Nehmen wir an der dominante Körper sei A .) ⁷⁹⁵	$m_A \cdot v_A' < \frac{1}{2} m_A \cdot v_A$ ist keine Lösung von Theorem II
Theorem II: Wenn ein Körper A mit einem Körper B zusammenstößt, dann bleibt die Bewegung als Größe erhalten.	$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v_A' + m_B \cdot v_B'$

Bevor wir unsere Untersuchungen fortsetzen, möchten wir noch an Hand eines Beispiels zeigen, dass man dadurch tatsächlich die Descartesschen Regeln ableiten kann.⁷⁹⁶ Nehmen wir die widersprüchlichste Regel von allen, nämlich die 4. Regel.

Diese besagt (in gekürzter Form)⁷⁹⁷:

Es gibt zwei Körper, nämlich *B* und *C*. Dabei ist vor dem Stoß Körper *C*, welcher größer ist als Körper *B*, in Ruhe. Nun wird der Körper *B* den Körper *C* nie in Bewegung setzen können, gleich welche Geschwindigkeit es hätte. Der Körper *B* wird am Körper *C* reflektiert werden und sich einfach in die Gegenrichtung bewegen.

So unlogisch dieses Gesetz auch klingen mag, es ist dennoch von den beiden Theoremen ableitbar. Um das zu zeigen, machen wir am besten eine Gegenprobe.

Nach *Theorem I* gilt:

$$m_C \cdot v_C + m_B \cdot v_B = m_C \cdot v_C' + m_B \cdot v_B' \quad | \quad v_C = 0$$

$$m_B \cdot v_B = m_C \cdot v_C' + m_B \cdot v_B' \quad \text{Gl. (8)}$$

Nehmen wir an, der Körper *B* würde nicht reflektiert werden, sondern einen Teil seiner Bewegungskraft an Körper *C* weitergeben, und beide würden sich nach dem Stoß in dieselbe Richtung bewegen, dann wäre:

$$v_C' = v_B' \quad \text{Gl. (9)}$$

So ändert sich unsere obige Gleichung (Gl. 8) zu

$$m_B \cdot v_B = m_C \cdot v_C' + m_B \cdot v_C' \quad \text{Gl. (10)}$$

Außerdem wissen wir, dass

$$m_C > m_B \quad \text{Gl. (11)}$$

⁷⁹⁵ Wobei $m_A \cdot v_A$ den Impuls vor dem Stoß angibt und $m_A \cdot v_A'$ den Impuls nach dem Stoß bezeichnet.

⁷⁹⁶ vgl. CLARKE 1977, S. 62

⁷⁹⁷ vgl. DESCARTES 2005, S. 153

gilt.

Dann erhalten wir für mit der Gl. (9) und Gl. (11) die Gleichung

$$m_B \cdot v_C' < m_C \cdot v_C' \quad \text{Gl. (12)}$$

Und aus den Gleichungen Gl. (9), Gl. (10), Gl. (12) erhalten wir schließlich⁷⁹⁸

$$m_B \cdot v_B' < \frac{1}{2} m_B \cdot v_B \quad \text{Gl. (13)}$$

Das widerspricht ja, wie wir wissen, dem *Theorem I* und daher muss sich der Körper *B* ganz einfach in die andere Richtung bewegen.

Wir wollen noch einmal zusammenfassen, was wir bis jetzt erreicht haben:

- Wir konnten die Descartesschen Gesetze in eine quantitative Form bringen, (was Descartes wohl sicher erfreut hätte.)

Descartessches Gesetz (in quantitativer Form)	
1. Gesetz	$\frac{\Delta p}{\Delta t} = 0$
2. Gesetz	$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$
3. Gesetz <ul style="list-style-type: none"> ➤ Theorem I ➤ Theorem II 	$m_A \cdot v_A' < \frac{1}{2} m_A \cdot v_A$ ist keine Lösung von Theorem II $m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v_A' + m_B \cdot v_B'$

Bevor wir jedoch unsere Untersuchung fortsetzen, inwiefern die Descartesschen Gesetze einen Grenzfall der Newtonschen Gesetze darstellen könnten, sollten wir uns zuerst mit dem Gültigkeitsbereich der Descartesschen Physik auseinandersetzen.

Unsere Frage lautet somit: Inwiefern können die Descartesschen Gesetze überhaupt eine Gültigkeit beanspruchen? Die Antwort ist ganz einfach: Wir gehen seine Stoßregeln eine nach dem Anderen durch, bis wir alle gültigen bzw. experimentell bestätigten Regeln bei einander haben.

Wenn wir die Stoßregeln als Stoßregeln für elastische Körper betrachten, so werden wir erkennen, dass wir alle Regeln, außer der ersten, *falsifizieren* dürfen. Das bedeutet:

⁷⁹⁸ Die Zwischenschritte wären:

$$\begin{aligned}
 m_B \cdot v_B &= m_C \cdot v_C' + m_B \cdot v_C' \\
 m_B \cdot v_B &= m_C \cdot v_B' + m_B \cdot v_B' \\
 m_B \cdot v_B &= (m_C + m_B) \cdot v_B' \\
 m_B \cdot v_B &> 2 \cdot m_B \cdot v_B' \\
 \frac{m_B \cdot v_B}{2} &> m_B \cdot v_B'
 \end{aligned}$$

Die Descartesschen Gesetze haben einen Gültigkeitsbereich im Rahmen der ersten Stoßregel.

Der Rahmen der Gültigkeit der Descartesschen Gesetze ist so gesehen zwar sehr klein, doch wenigstens vorhanden. Wir wollen aus diesem guten Grund die erste Stoßregel von Descartes wiedergeben:

„Erstens: Wenn diese zwei Körper, zum Beispiel B und C, völlig gleich wären und sich gleich rasch bewegten, nämlich B von rechts nach links, und C ihm entgegen von links nach rechts, dann würden sie, wenn sie aufeinander aufträfen, reflektiert werden und danach fortfahren, sich zu bewegen, B nach rechts und C nach links, wobei sie nichts von ihrer Geschwindigkeit verlören.“⁷⁹⁹

In quantitativer Form bedeutet das:

$$m_C = m_B$$

bzw.

$$m_C \cdot v_C = -m_B \cdot v_B$$

Das Minus ist notwendig, da sich die Körper in Gegenrichtungen bewegen. Wenn wir nun sagen, die Körper ändern ihren Impuls mit der Zeit, nämlich im Augenblick ihres Stoßes, dann können wir auch schreiben:

$$\frac{\Delta (m_C \cdot v_C)}{\Delta t} = - \frac{\Delta (m_B \cdot v_B)}{\Delta t}$$

bzw.

$$\frac{\Delta p_C}{\Delta t} = - \frac{\Delta p_B}{\Delta t}$$

oder noch besser:

$$F_C = -F_B$$

Womit wir bei dem *dritten* Newtonschen Gesetz wären, wenn wir nur den Betrag betrachten würden! Wir sehen also, dass sowohl die Descartesschen als auch die Newtonschen Gesetze das gleiche Ergebnis voraussagen! Und diese Voraussage wird auch in den Experimenten nicht falsifiziert.

Da genau genommen das *dritte* Newtonsche Gesetz eigentlich nichts anderes wiedergibt als die Gesamtimpulserhaltung, so dürfte es mit dem *Theorem II* gar keine Schwierigkeiten geben, solange wir vom Impuls als einer Größe sprechen. Die Schwierigkeit besteht darin, das *Theorem I* zu verstehen bzw. es einzugliedern. Das *Theorem I* dürfte wohl die Rolle des *vierten* Newtonschen Gesetzes übernehmen oder besser gesagt:

Das Descartessche *Theorem I* ist als Grenzfall des 4. Newtonschen Gesetzes zu verstehen.

Denn nach der ersten Stoßregel behalten beide Körper ihren Impuls:

$$m_A \cdot v_A = m_A \cdot v_A' \quad \text{und} \quad m_B \cdot v_B = m_B \cdot v_B'$$

⁷⁹⁹ DESCARTES 2005, S. 151

Da beide Körper gleich groß sind ($m_A = m_B$) gehorchen sie natürlich beide dem *Theorem I*:

$$m_A \cdot v_A' < \frac{1}{2} m_A \cdot v_A \quad \text{ist keine Lösung von Theorem II}$$

$$m_B \cdot v_B' < \frac{1}{2} m_B \cdot v_B \quad \text{ist keine Lösung von Theorem II}$$

Dieses *Theorem I* sagt aber zugleich aus, welche Richtung die Körper einschlagen dürfen und welche nicht.

Das bedeutet:

Im Grenzfall der Newtonschen Mechanik, nämlich im Falle, dass beide Körper m_A und m_B , die miteinander (im Sinne der Kontaktkräfte) wechselwirken, oder allgemeiner: Wenn die Kräfte, die gegenseitig aufeinander wirken, gleich groß sind ($\Delta F = -\Delta F$), dann geht die Newtonsche Physik in die Descartessche Physik über. Denn da bei dieser Wechselwirkung

$$m_A \cdot v_A' < m_A \cdot v_A \quad \text{bzw.} \quad m_B \cdot v_B' < m_B \cdot v_B$$

nach der Newtonschen Physik nicht erlaubt sind, so schließen auch die Newtonschen Gesetze das Verbot bzw. *Theorem I* von Descartes mit ein.

Dieser Grenzfall ist auch sehr einleuchtend, wenn wir uns das Beispiel mit dem Tuch und der Kugel von Descartes vor Augen halten. Wenn wir die Kugel (A) mit Hilfe eines Tuches (B), vom Weg abbringen können, dann gilt $\Delta F_{A \rightarrow B} = -\Delta F_{B \rightarrow A}$ bzw. $\Delta \text{Zentrifugalkraft} = -\Delta \text{Zentripetalkraft}$ und wenn wir dann anschließend wieder loslassen, dann bewegt sich die Kugel gleichförmig, geradlinig weiter – aufgrund des ersten (und des zweiten) Descartesschen Gesetzes. Und dies alles widerspricht quantitativ in keinster Weise den Newtonschen Gesetzen. Wir wollen deshalb den Grenzfall in Form einer Tabelle skizzieren:

Newtonsche Mechanik	Grenzfall	Descartessche Mechanik
$\frac{d\vec{p}}{dt} = \mathbf{0}$	$\Delta F_{A \rightarrow B} = -\Delta F_{B \rightarrow A}$	$\frac{\Delta p}{\Delta t} = 0$
$\frac{d\vec{p}}{dt} = F$		$\frac{\Delta p}{\Delta t} = F$
$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A}$		<ul style="list-style-type: none"> • Theorem I: $m_A \cdot v_A' < \frac{1}{2} m_A \cdot v_A$ Ist keine Lösung von Theorem II. • Theorem II: $m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v_A' + m_B \cdot v_B'$

So würden wir beide Voraussetzungen (V) für ein Korrespondenzprinzip erfüllen können:

1. $V_{Newton} > V_{Descartes}$
2. $\lim_{\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{12} \rightarrow \Delta F = -\Delta F} V_{Newton} = V_{Descartes}$

Statt dem Korrespondenzprinzip könnten wir aber auch sagen, dass was bei der Descartesschen Mechanik am meisten fehlt, ist das *Galileische Relativitätsprinzip*. Deshalb kommt bei Descartes das *Schwerpunktsystem* noch nicht zum Einsatz. Denn würde man alle Descartesschen Regeln, außer der ersten, für wahr halten, so könnte man sich jedesmal irgendein Inertialsystem mit einer bestimmten relativen Bewegung ausdenken, wo wenigstens eine dieser Regeln nicht gelten würde.

Daher fehlt bei Descartes nicht nur in den Prinzipien seiner Philosophie, sondern auch in den Prinzipien der Physik ein beträchtlicher Hinweis auf die Anwendung von *Theory of Mind* bzw. der *Perspektivenübernahme*.⁸⁰⁰

Das bedeutet aber zugleich, dass wir zwei große Wenden in der Physik erkennen können, welche intensiven Einsatz von *Theory of Mind* erforderten und uns zur Newtonschen Physik geführt haben:

- Galileische Wende

(*Galileisches Relativitätsprinzip* durch das Verständnis eines *Inertialsystems*.)

- Huygenssche Wende

(Das Benützen verschiedener Inertialsysteme, wegen dem Galileischen Relativitätsprinzip, für die Beschreibung quantitativer Stoßgesetze.)

Descartes hat sich, um es kurz darzustellen, dabei geschichtlich genau in der Mitte jener beiden Wenden befunden. Außerdem betrachtet er die Geschwindigkeit (in seiner Mechanik) nicht als eine gerichtete bzw. von Betrag und Richtung abhängige Größe. Deswegen ist auch das *vierte* Newtonsche Gesetz bei Descartes nicht wirklich vorhanden. Stattdessen gibt es das *Theorem I*. Dies soll in gewisser Weise gerade diese Rolle übernehmen. Und dies gelingt ihm jedoch nur dann, wenn gleich große Kräfte mit gleichen Massen aufeinander treffen.

⁸⁰⁰ vgl. dazu **Anhang V**.

Die Optik bei Newton⁸⁰¹

Es könnte natürlich einige Leser verwirren, dass in dieser Arbeit die berechnete Vermutung aufgestellt wird, dass Descartes mit seiner *Principia* Newton stark beeinflusste. Der Grund für diese mögliche Verstärkung könnte höchstwahrscheinlich darin liegen, dass die meisten Quellen ausdrücklich nur darauf hinweisen, dass Newton seine Erkenntnisse vor allem



Bild 11: Stephen Hawking (1942)

Kopernikus, Galilei und Kepler zu verdanken hätte. Meistens zitiert man dabei Newtons berühmten Satz: „Wenn ich weiter gesehen habe, dann deshalb, weil ich auf den Schultern von Riesen stand.“⁸⁰² Stephen Hawking (Bild 11)⁸⁰³, einer der begnadetsten und prominentesten Wissenschaftler unserer Zeit, kommentiert diese Zeilen mit folgenden Worten: „Häufig als Newtons Verbeugung vor den wissenschaftlichen Entdeckungen Kopernikus, Galilei und Kepler verstanden, wurde er zu einem berühmten Zitat der Wissenschaftsgeschichte. Tatsächlich hat Newton die Beiträge dieser Männer durchaus anerkannt, doch in seinem Brief an Hooke bezog er sich auf optische Theorien, speziell auf die Untersuchung der Farberscheinungen dünner Plättchen, ein Forschungsfeld, auf dem Hooke und René Descartes wichtige Beiträge geleistet hatten.“⁸⁰⁴ Diesen Worten folgend können wir davon ausgehen, dass Descartes Einfluss sogar bis in die Optik Newtons reicht.

⁸⁰¹ Die *Optik* (1704) von Newton besteht wie die *Principia* aus drei Büchern.

- Das erste Buch beschreibt (unter anderem) die experimentellen Entdeckungen Newtons rund um die Spektralfarben. (Diese Entdeckungen machte er bereits 1666. Im Vorwort schreibt Newton, dass er das erste Buch schon 1687 geschrieben hat. Das bedeutet kurz nach der Veröffentlichung der *Principia*. (vgl. OPTIK S. XIII))
- Das zweite Buch untersucht die Beugungserscheinungen. Auch ein Großteil dieser Arbeit wurde bereits im Jahre 1675 von Newton an Oldenburg (= Sekretär von der Royal Society) gesendet.
- Das dritte Buch beinhaltet unter anderem die sogenannten Fragen (Quarries) von Newton. Hier versucht Newton auf einige wichtige Fragen seiner Zeit aufmerksam zu machen oder gar selbst zu beantworten.

Die Jahre **1703-1705** waren für Newton sicher sehr bewegend. 1703 stirbt sein Kontrahent in der Optik Robert Hooke. Dieser warf Newton öfter – teilweise zu recht – Plagiat vor. Im gleichen Jahr wird Newton auch zum Präsidenten der Royal Society ernannt. So entschließt sich Newton, welcher Hooks Tod „abwartete“ 1704 die *Optik* zu veröffentlichen. (Er schreibt im Vorwort der ersten Auflage der *Optik*: „Um nicht in Streitigkeiten über diese Dinge verwickelt zu werden, habe ich den Druck bis jetzt verzögert und würde ihn noch weiter unterlassen haben, wenn ich nicht dem Drängen von Freunden nachgegeben hätte.“ NEWTON 1983, S. 3) (Im gleichen Jahr stirbt aber auch der große Philosoph und Freund von Newton John Locke.) 1705 sieht dann gar nicht mehr rosig aus: Diesmal wird ihm Leibniz, wegen der Infinitesimalrechnung, Plagiat vorwerfen. vgl. VOLTAIRE 1997, S. 378

⁸⁰² HAWKING 2004, S. 629

Um zu zeigen, wie Recht Hawking hat, möchten wir den Satz zitieren, mit welchem Apolin sein Schulbuch für die 6. Klasse einleitet: „ISAAC NEWTON, einer der größten Physiker, der jemals gelebt hat, soll einmal gesagt haben: „Wenn ich weiter als andere gesehen habe, so nur deshalb, weil ich auch den Schultern von Riesen stand.“ Er meinte damit Geistesriesen wie KOPERNIKUS, GALILEI oder KEPLER.“ APOLIN (6) 2008

⁸⁰³ BILD: STEPHEN HAWKING

⁸⁰⁴ HAWKING 2004, S. 629

Bereits gegen Ende des ersten Buches der *Principia* setzt sich Newton mit dem Inhalt seiner Optik auseinander, welche die Experimentalphysik in den Vordergrund stellt! Markus Fierz schreibt: „Newton hat die Kunst des systematischen Experimentierens erfunden und in dieser Arbeit dargestellt.“⁸⁰⁵ Auch wird Descartes in diesem Werk namentlich erwähnt.⁸⁰⁶

Über das zweite Buch der *Principia* teilt uns Fierz mit: „Newton ist der erste, der in seinen „Principia“ (1687) Lib. II. Sect. VII S. 354-372 eine mechanische Wellentheorie aufgestellt hat. Hier erörtert er genauer die Schwierigkeiten einer jeden Wellentheorie des Lichtes, die er schon in seinem Schreiben an *Oldenburg-Hooke* erwähnt hat. Die Wellentheorie kann nämlich nicht verständlich machen, dass man mit Hilfe einer Blende einen Lichtstrahl ausblenden kann. Es ist, wie wir heute sagen, die Beugung an der Blende, die es verunmöglicht. Wie die Figur S. 355 zeigt, hat er Öffnungen betrachtet, die kleiner sind als die Wellenlänge. Dann ist die Beugung in der Tat sehr stark. Daß die Beugung dagegen sehr schwach wird, wenn nur die Wellenlänge sehr klein gegen die Öffnung ist, das hat erst *Fresnel* mit Hilfe des Interferenzprinzips gezeigt. Dieses für die Wellenoptik fundamentale Prinzip, ist von *Thomas Young* 1801 entdeckt worden.“⁸⁰⁷ Außerdem kann Newton im zweiten Buch seine Hypothese, dass es ein Vakuum geben kann, weiter ausführen. Dazu will Newton natürlich auch zugleich zeigen, dass der Äther, wenn er im Universum überall verstreut wäre, eher die Planetenbewegung hemmen würde, als sie zu erklären. Das bedeutet: Newton versucht den Äther zu falsifizieren.

In der 28. Frage der *Optik* stellt er dann klar⁸⁰⁸, dass mit dem Wegfall des Äthers natürlich auch die Optik ganz anders zu interpretieren wäre: „Ein dichtes Fluidum kann nichts nützen zur Erklärung der Naturerscheinungen, da sich ohne ein solches die Bewegung der Planeten und Kometen weit besser erklären. Es dient nur, die Bewegungen dieser grossen Körper zu stören und zu zögern und das Wirken der Natur zu lähmen, und in den Poren der Körper die schwingenden Bewegungen ihrer Theilchen aufzuhalten, auf der die Wärme und die Wirksamkeit der Körper beruht. Wenn aber eine solche Flüssigkeit von keinem Nutzen ist und die Operationen der Natur hindert und schwächt, so ist kein Grund für deren Existenz vorhanden, und folglich muss sie verworfen werden. Damit ist auch die Hypothese beseitigt, dass das Licht in Druck oder Bewegung bestehe, die sich in solch einem Medium verbreiten.“⁸⁰⁹ Wir sehen, hier deutlich, dass Newton die Wellentheorie des Lichtes fallen lässt, obwohl er sich früher selbst damit stark auseinandersetzte. Damals beschäftigte er sich sogar mit

Tatsächlich steht im Brief: „Was Des-Cartes tat, war ein guter Schritt. Ihr habt viele verschiedene Aspekte hinzugefügt & vor allem die Farben dünner Plättchen bei Euren Überlegungen berücksichtigt. Wenn ich weiter gesehen habe, dann deshalb, weil ich auf den Schultern von Riesen stand.“ GLEICK 2004, S. 104
Diesem Brief ging unter anderem eine Diskussion voraus, wo Hooke Newtons Arbeiten zu Optik kritisierte und dieser wiederum Hooke vorwarf, er habe seine meisten Ideen von Descartes übernommen. (vgl. GLEICK 2004, S. 103)

⁸⁰⁵ NEWTON 1983 (Einleitung von Markus Fierz), S. XIV.

⁸⁰⁶ NEWTON 2004, S. 831-832

⁸⁰⁷ NEWTON 1983, S. 276, Fußnote 33

⁸⁰⁸ Mit dem Äther beschäftigt er sich insbesondere in den Fragen 21-24, 28; vgl. dazu VOLTAIRE 1997, S. 364, Fußnote 16

⁸⁰⁹ NEWTON 1983, S. 243

dem Interferenzprinzip und der Wellenlänge⁸¹⁰ des Lichtes, welche weder von Hook⁸¹¹ noch von Huygens in ihre Theorien einbezogen wurden.

Wir können daher im groben sagen: „Die Wellentheorie des Lichtes stammt von Chr. Huygens; die Periodizität und die erste Messung von Wellenläufen stammt von Newton.“⁸¹²

Das ist insofern ironisch, da in den Schulbüchern Newton und Huygens als Gegenspieler dargestellt werden, was zu einem Großteil natürlich auch stimmt. Doch, um die Gegenpositionen zu festigen schreibt man, dass Newton für das Licht nur das Teilchenmodell benützte und Huygens das Wellenmodell. Und das scheint so eben nicht zu stimmen!⁸¹³ *Newtons Leistungen zu Wellentheorie des Lichtes sollten besser gewürdigt werden.*⁸¹⁴

Es ist sogar so, dass er in der **Optik** gewissermaßen eingestehen muss, dass er ohne das Phänomen der periodischen Fortpflanzung des Lichtes die Interferenzerscheinungen bei den „*Newtonschen Ringen*“ nicht erklären kann. Markus Fierz erläutert: „*Hooke* hatte schon richtig erkannt, dass bei den Farben dünner Blättchen die Interferenz der an der Vorder- und Hinterfläche reflectirten Strahlen in Betracht komme; *Newton* musste mit den Aetherschwingungen zugleich diese Auffassung verwerfen, aber nun forderte die Corpusculartheorie gebieterisch eine andere Hypothese, daher legt *Newton* nun den Lichtstrahlen selbst jene periodisch wechselnde Disposition oder Neigung bei, bald reflectirt,

⁸¹⁰ So lässt er genau genommen, diese Untersuchungen nie fallen, sondern versucht sie mit seiner Teilchentheorie zu kombinieren. Er schreibt:

„Frage 13. Machen nicht verschiedene Arten von Lichtstrahlen Schwingungen von verschiedener Größe und erregen dadurch die Empfindung verschiedener Farben, etwa ebenso, wie die Schwingungen der Luft je nach ihrer verschiedenen Größe die Empfindung verschiedener Töne erregen? Erregen nicht besonders die brechbarsten Strahlen die kürzesten Schwingungen und rufen dadurch den Eindruck des Dunkelvioletts hervor, und die am wenigsten brechbaren die grössten Schwingungen, um den Eindruck des tiefen Roth zu machen, und die verschiedenen mittleren Strahlen Schwingungen von mittlerer Größe, um die Empfindung der verschiedenen Mittelfarben hervorzubringen?“ (NEWTON 1983, S. 228) Fierz erläutert dazu: „Diese Schwingungen der Lichtstrahlen sind nach *Newton* longitudinale Schwingungen in dem Strome der kleinen materiellen Lichtkörperchen, deren Auftreffen auf die Körper in dem innerhalb des reflectierenden oder brechenden Mediums gedachten Aether Vibrationen hervorruft oder auf der Netzhaut des Auges Schwingungen erregt, wofür ihm die Dauer des Lichteindrucks (Ende von Fr. 16) ein Beweis ist. S. 229 braucht er dann gelegentlich des Vergleichs mit Wasserwellen und Lichtschwingungen geradezu den Ausdruck: „Wellen von Vibrationen.““ NEWTON 1983, S. 276, Fußnote, 32

⁸¹¹ In seinem Exemplar des Werkes *Micrographia* (1665) von Hook notiert Newton: „Descartes mag sich zwar irren, doch das gilt auch für Mr. Hook“. GLEICK 2004, S. 91

⁸¹² GREINER 2002, S. 469

⁸¹³ Diese Tatsache ist genau genommen doppelt ironisch. Denn die Optik von Newton, die wir in dieser Arbeit benutzen, ist vom großen Didaktiker Roman U. Sexl (und Karl von Meyenn) selbst herausgegeben worden. Seine Verdienste in der Didaktik sind von unschätzbarem Wert.

Doch gerade im Schulbuch Sexl für die 7. Schulstufe werden Newton und Huygens auf der Seite 16-17 als Gegner vorgestellt. Dass Newton auch einiges zur Wellentheorie geleistet hat, wird dort nirgends erwähnt. Stattdessen werden auf der Seite 17 genau zwei Textpassagen von beiden Physikern angegeben, die betonen sollen, dass sie sich mit ihren Theorien ausschlossen. SEXL (7) 2012

⁸¹⁴ „Hook kennt weder das Interferenzprinzip, noch denkt er daran, die Farben mit Wellenlängen in Verbindung zu bringen. Dies tut aber *Newton* in einem langen Schreiben an *Oldenburg*, das für *Hooke* bestimmt war. [...] Hier legt er sehr klar die Analogie von Lichtwellen und Schallwellen dar.

Auch *Huygens* (*Traité de la Lumière*, 1690) kannte den Begriff der Wellenlänge nicht. Auch bei ihm sind die „Wellen“ de facto „Pulse“, von denen er ausdrücklich sagt, daß sie einander ganz ungleichmäßig folgen. Seine Theorie ist dieselbe, wie diejenige *Hamiltons*, also eine Formulierung der geometrischen Optik. Man kann sie aber insofern als Wellenoptik bezeichnen, als diese im Grenzfall verschwindender Wellenlänge in *Huygens-Hamiltonsche* Theorie übergeht.“ NEWTON 1983, S. 274, Fußnote 20

bald zurückgeworfen zu werden, die er Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchgangs nennt, [...]“⁸¹⁵.

*Deshalb ist es genau genommen in der **Optik**, im Gegensatz zu seiner **Principia**, auch nicht mehr ganz eindeutig, ob Newton an einen absolut leeren Raum oder an einen Äther glaubt.* In der **Optik** bejaht und verneint er abwechselnd den Äther (, zum Schluss verneint er ihn meist). Doch woher kommt dieser „schizophrene“ Denkweise bzw. Sinneswandlung, welche selbst Wellen schlägt? Historiker geben für das Vorgehen von Newton zwei verschiedene Erklärungen an:

1. Da Newton einige der Inhalte der **Optik** schon 1675 verfasst hatte (, also mehr als 10 Jahre vor dem Erscheinen seiner **Principia**,) zeigt Newton an diesen Stellen, dass er der Ätherhypothese immer noch sehr zugeneigt ist.⁸¹⁶
2. Oder Newton versucht nur zu zeigen, dass er zwar die Äthertheorie würdigt, (und damit hofft, dass weitere Streitereien vom Tisch sind), jedoch zum Schluss immer wieder möglichst objektiv gesehen zu zeigen versucht, dass es keinen Äther geben kann.⁸¹⁷

Beide Theorien sind vernünftig, und könnten zu verschiedenen Zeiten sogar beide eine Rolle in Newtons Denken gespielt haben.

Wir wollen nun aber eine dritte *Hypothese* (hinzufügend) vorstellen, weshalb Newton so agiert haben könnte (und zugleich versuchen sie mit Fakten versuchen zu belegen):

3. Newton schickt zwar im 1. Buch 8 Definitionen voraus⁸¹⁸, welche alle der geometrischen Optik entsprechen. Doch sieht man, dass das zweite und das dritte Buch immer mehr eine Wellentheorie verlangen. **Dies gipfelt einerseits in der nicht nummerierten Definition**⁸¹⁹ und

⁸¹⁵ NEWTON 1983, S. 275, Fußnote 24

⁸¹⁶ Diese Theorie stammt von S.G. *Poggendorf*. (vgl. NEWTON 1983, S. 277, Fußnote 35)

⁸¹⁷ Diese Theorie stammt von S.G. *Rosenberger*. (vgl. NEWTON 1983, S. 277, Fußnote 35)

Diese Theorie würde auch mit Descartes' Vorgehen gut übereinstimmen: Wir sahen schon bei Descartes, dass er bereits in seiner **Principia** sehr widersprüchliche Aussagen tätigte.

⁸¹⁸ NEWTON 1983, S. 5-7

⁸¹⁹ vgl. NEWTON 1983, S. 185

- In der ersten *unnummerierten Definition* im 1. Buch (der **Optik**) will Newton erklären, dass Lichtstrahlen genau genommen keine Farbe haben. „[...] Denn streng genommen sind die Strahlen nicht gefärbt; in ihnen liegt nichts, als eine gewisse Kraft und Fähigkeit, die Empfindung dieser oder jener Farbe zu erregen. Denn ebenso wie der Schall einer Glocke oder Saite oder eines anderen tönenden Körpers nichts Anderes ist, als eine zitternde Bewegung des Körpers und die sich von ihm ausbreitende Bewegung in der Luft und das Gefühl dieser Bewegung in unserem Empfindungsorgane in Form eines Schalles, so sind die Farben an den Objecten nichts Anderes, als ihre Fähigkeit, diese oder jene Strahlenart reichlicher zu reflectieren, als die anderen, und in den Strahlen nichts Anderes als ihre Fähigkeit, diese Bewegung bis in unser Empfindungsorgan zu verbreiten, und im letzteren die Empfindung dieser Bewegungen in Gestalt von Farben.“ NEWTON 1983, S. 81

Wir sehen sehr stark bereits in dieser Definition das Newton bei Erklärungen sich nicht scheut Analogien zwischen dem Licht und den Schallwellen zu tätigen. (Auch seine Suche nach der Harmonie zwischen den Farben und der Tönen begegnet uns in der **Optik** nicht selten. vgl. NEWTON 1983, S. 274, Fußnote 18)

- In der zweiten und somit letzten nicht nummerierten Definition wird es noch interessanter. Dort definiert Newton nämlich die Schwingungseigenschaften des Lichts.

Dass er diesen beiden Definitionen keine Nummern gibt, könnte drei mögliche Gründe haben, wobei in dieser Arbeit **die dritte** als plausibelste betrachtet wird:

1. Weil die Definitionen zu weit auseinander lagen, hat er sie nicht nummeriert. (Dieser Grund ist sehr unwahrscheinlich, denn er hätte die Definitionen auch ganz vorne in seine Arbeit geben und später auf diese nur hinweisen können.)

andererseits im gesamten Inhalt des dritten Buchs⁸²⁰ (- wenn wir die Fragen nicht berücksichtigen-), welcher sich dem Beugungsmuster widmet. Deswegen würde die dritte Hypothese lauten:

Man sieht somit in der **Optik** von Newton einen wahren Konflikt⁸²¹, wobei er einerseits den Inhalt der **Principia** zu verteidigen versucht und **andererseits aber einsehen muss, dass es einen Welle-Teilchen-Dualismus gibt.**

Dies zeigt auch deutlich sein Umgehen mit dem *Äther*. Denn Newton glaubt nicht an den Äther, und er wird daher den Äther aus Gründen der Vernunft betont verneinen. Denn er ist für die Himmelserscheinungen⁸²² aber auch für die Himmelsmechanik von keinerlei Bedeutung, wenn nicht sogar schädlich. Da er im Makrokosmos von keinerlei Nutzen ist (und Newton auch seine **Principia** verteidigen will) schreibt er **in der Frage 28**: „Ein dichtes Fluidum kann nichts nützen zur Erklärung der Naturerscheinungen, da sich ohne ein solches die Bewegung der Planeten und Kometen weit besser erklären. Es dient nur, die Bewegungen dieser grossen Körper zu stören und zu zögern und

2. Newton gibt diese Definition nur aus einem Grund an: Um Streitigkeiten aus dem Weg zu gehen. (Das würde aber nicht erklären, warum er beide Definitionen nicht nummeriert, denn die vorletzte Definition sah er sicher selbst als eine Tatsache an!)
3. Newton benötigt diese Definitionen, da er (im zweiten und dritten Buch der **Optik**) genug Experimente angibt, wo sie zum Einsatz kommt. Er gibt diesen Definitionen keine Nummer, weil im klar ist,
 - **das die eine Definition nur zeigen will das Licht zwar keine Farbe besitzt, doch diese Farben, die wir in unseren Sinnesorganen empfinden, mit physikalischen Eigenschaften des Lichtes zusammen hängen (Heute würden wir sagen: Energien).**
 - **Und die andere Definition zeigt, dass das Licht zwar keine Welle ist, sondern aus Teilchen besteht, doch diese Welleneigenschaften, die wir in unseren Experimenten wahrnehmen, mit physikalischen Eigenschaften des Lichtes zusammenhängen - heute würden wir sagen: Materiewellen.** Dabei ist Newton natürlich klar, dass diese Definition im Bereich der *geometrischen Optik* nicht mehr benötigt wird und daher nicht zu den anderen 8 Definitionen hinzugenommen werden muss. Für ihn ist somit von großer Bedeutung, die Definitionen von Teilchen nicht mit denen der Wellen zu vermischen. *Bei Newton ist ein ganz klarer Welle-Teilchen-Dualismus zu erkennen!*

Diese Bemühung von Newton die Definitionen der geometrischen Optik, nicht mit denen der Wellenoptik zu vermischen, *könnten* womöglich daran liegen, dass Newton bereits geahnt hat, dass die geometrische Optik im Grenzfall der Wellenoptik ihre Gültigkeit bewahrt. Und daher gibt er jene Definitionen die etwas mit der Wellenoptik gemein haben zusätzlich an.

⁸²⁰ Vgl. zum Beispiel Beobachtung: 1, 5, 6 und 7 (im dritten Buch der **Optik**).

⁸²¹ James Gleick erläutert: „Hooke rührte an einen schwachen Punkt in Newtons Lichttheorie. Bestand Licht aus Teilchen oder Wellen? In dieser Angelegenheit kam Newton zu keiner Entscheidung, wie auch noch viele Generationen nach ihm, bis Physiker des 20. Jahrhunderts das Paradoxon bezwangen, indem sie es einfach akzeptierten. Newton gab seine Unsicherheit offen zu und verschleierte sie zugleich. Er spielte ein gewagtes Spiel, gebrauchte den Begriff Hypothese mal so und mal so, versuchte zu unterscheiden zwischen dem, was er wußte, und dem, was anzunehmen er sich genötigt sah. Er setzte die Existenz eines Äthers voraus – geheimnisvoll, ja sogar spirituell -, weil er auf eine solche Hypothese vorerst nicht verzichten konnte.“ GLEICK 2004, S. 103-104

⁸²² „Aber vom Lichte bemerken wir niemals, dass es krumme Bahnen verfolgt, noch in den Schatten einbiegt. Fixsterne verschwinden beim Dazwischentreten eines Planeten, und ebenso die Stellen der Sonnenscheibe, vor denen Mond, Merkur oder Venus vorübergehen. Die sehr dicht an den Kanten eines Körpers vorbeigehenden Lichtstrahlen werden zwar durch die Einwirkung des Körpers ein wenig gebeugt, wie wir gesehen haben, aber diese Beugung erfolgt nicht nach dem Schatten hin, sondern von ihm weg und nur, wenn sie in allernächster Nähe am Körper vorübergehen; und sowie der Strahl am Körper vorbei ist, geht er in gerader Linie weiter.“ NEWTON 1983, S. 240 (3. Buch, Frage 28)

das Wirken der Natur zu lähmen, und in den Poren der Körper die schwingenden Bewegungen ihrer Theilchen aufzuhalten, auf der die Wärme und die Wirksamkeit der Körper beruht. Wenn aber eine solche Flüssigkeit von keinem Nutzen ist und die Operationen der Natur hindert und schwächt, so ist kein Grund für deren Existenz vorhanden, und folglich muss sie verworfen werden.^{823/824}

Doch sieht er natürlich auch ein, dass im Mikrokosmos die Welleneigenschaften des Lichtes benötigt werden. Obwohl er stets betont, dass man, um diese Eigenschaft des Lichtes zu beschreiben, nicht unbedingt den Äther benötigt⁸²⁵, und andererseits würdigt er diesen. (Das ist natürlich auch eine gute Rhetorikstrategie.) Dies bestätigt auch seinen Schlusssatz der 29. Frage: „Was ich in dieser Frage unter einem leeren Raume verstehe und unter Anziehung zwischen Lichtstrahlen und Glas oder Krystall, kann aus dem in der 18., 19. und 20. Frage Gesagten verstanden werden.“⁸²⁶ Das sind gerade jene Fragen über Äther, welche das Licht betreffen. (Deswegen erwähnt er die 21. Frage nicht. Dort geht es um den Äther und die Himmelsmechanik.) Diese folgen nämlich den Fragen 13-17, wo es um die Schwingungseigenschaften des Lichtes geht.

Für diese Denkweise von Newton würde womöglich auch die Entstehungsgeschichte der Fragen ein Zeugnis ablegen.⁸²⁷ Denn in der englischen Ausgabe der *Optik* (1704) sind die Fragen 1-16 bereits vorhanden.⁸²⁸ Überwiegend sind das die Fragen zur Beugung.⁸²⁹ Das ist auch verständlich, denn so

⁸²³ Dies versucht er auch durch Experimente quantitativ darzulegen. In der *Principia* (II, scet. VII, prop. XXXVIII, Coroll. IV.) verliert eine feste Kugel(, welche in etwa die Planeten darstellen soll,) in einem dichten Medium, „die Hälfte ihrer Geschwindigkeit bereits, bevor sie einen Weg von zwei Durchmessern zurückgelegt hat.“ NEWTON 1983 S. 277, Fußnote 39

Doch in der *Optik* ist er ein bißchen großzügiger und schreibt: „Eine feste Kugel, die sich in einem solchen Medium um die dreifache Länge ihres Durchmessers fortbewegte, würde schon die Hälfte ihrer Geschwindigkeit verlieren, und eine nicht feste, wie es die Planeten sind, würde noch eher verzögert werden.“ NEWTON 1983, S. 243 (3. Buch, Frage 28)

⁸²⁴ NEWTON 1983, S. 243

⁸²⁵ „Mir wenigstens scheint dies unerklärlich, wenn das Licht in nichts Anderem bestehen soll, als in einem durch den Aether fortgepflanzten Drucke oder Bewegung.

Ebenso schwierig ist es, auf Grund dieser Hypothese zu erklären, wie die Strahlen abwechselnd in Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges sein können, man müsste denn annehmen, es gäbe überall im Raume zwei vibrierende ätherische Medien, von denen das eine durch seine Schwingungen das Licht hervorbringt, während die Vibration des anderen schnellere sind und, so oft sie die des ersteren überholen, sie in jene Anwandlungen versetzen.“ NEWTON 1983, S. 240 (3. Buch, Frage 28)

⁸²⁶ NEWTON 1983, S. 247

Im Englischen schreibt er „may be understood“, was man mit „kann [...] verstanden werden“ übersetzt.

Newton könnte hier also eben auch (nur) auf den heuristischen Wert gedeutet haben? Vgl. S. 278, Fußnote 41

⁸²⁷ Für die Leser kann die Seite 276 (Fußnote 30) bei NEWTON 1983 und die Seite 47 bei VOLTAIRE 1997 eine sehr kurze Zusammenfassung geben.

Für diese Arbeit wurde (zur genauen Analyse) die Internetseite NEWTONPROJECT (I) herangezogen.

⁸²⁸ Obwohl die Fragen 8, 10, 11 und 16 viel kürzer sind. Diese Fragen wird Newton noch ergänzend erweitern. vgl. NEWTONPROJECT (II).

⁸²⁹ Zur Demonstration wollen wir hier die ersten vier Fragen wiedergeben:

„Query 1. Do not Bodies act upon Light at a distance, and by their action bend its rays, and is not this action (cæteris paribus) strongest at the least distance?

Qu. 2. Do not the rays which differ in refrangibility differ also in flexibility, and are they not by their different inflexions separated from one another, so as after separation to make the Colours in the three fringes <133> above described? And after what manner are they inflected to make those fringes?

Qu. 3. Are not the rays of Light in passing by the edges and sides of Bodies, bent several times backwards and forwards, with a motion like that of an Eel? And do not the three fringes of coloured Light above-mentioned, arise from three such bendings?

passen sie als ein Zusatz zu dem dritten Buch. Außerdem beschäftigen sich die Fragen mit der Lichtentstehung, dem Farbsehen usw. Doch von großem Interesse ist für uns die Frage 13. Denn hier schreibt Newton dem Licht eine schwingende Eigenschaft zu.⁸³⁰ Sowohl in der Frage 13 als auch in der Frage 14 zeigt Newton Analogien zwischen der Schwingungseigenschaft des Lichtes und den Schallwellen.⁸³¹ Diese Fragen wird er inhaltlich zur Gänze beibehalten!⁸³² (Das ist keine Selbstverständlichkeit. Newton macht nämlich von 1704 bis 1718 einige Änderungen zu den Fragen.)⁸³³ Inhaltlich ist uns somit in den Fragen 1-16, (den einst ursprünglichen Fragen!), eines ganz klar:

Newton interessiert sich in den Fragen eigentlich für die (fehlende) Antwort, weshalb Licht Welleneigenschaften hat.

Erst in der lateinischen Ausgabe (1706) kommen noch die Fragen 17-23 hinzu.⁸³⁴ Diese Fragen werden von den noch kommenden anderen Fragen nach hinten gedrängt, auch werden sie ein wenig geändert. Sie stellen heute die Fragen 25-31 dar. Hier wird gefragt, ob das Licht eine Art Polarisation besitzt oder noch andere Eigenschaften, die wir nicht kennen. Es wird natürlich auch teilweise der Äther kritisiert und die Gravitationskraft gelobt. Wir schließen daraus:

Newton interessiert bei diesen Fragen eigentlich, ob Licht noch andere Eigenschaften hat, welche wir nicht kennen. Und außerdem, ob der Äther in der Physik eine Rolle zu spielen hat.

Doch zum Schluss werden noch in der zweiten englischen Ausgabe mit Ergänzung (1717) die Fragen 17-24 eingeschoben. Diese setzen sich hauptsächlich mit dem Äther auseinander.

Newton sieht keinen Ausweg aus dem Welle-Teilchen-Dualismus und gönnt daher dem Äther einen Platz.

Qu. 4. Do not the rays of Light which fall upon Bodies, and are reflected or refracted, begin to bend before they arrive at the Bodies; and are they not reflected, refracted and inflected by one and the same Principle, acting variously in various circumstances?" NEWTONPROJECT (II)

⁸³⁰ vgl. NEWTON 1983, S. 228 und S. 276, Fußnote 32. (Ob Newton hier die Zahl 13 zufällig gewählt hat?)

⁸³¹ Auch diese Fragen wollen wir zur Demonstration hier wiedergeben:

„Qu.13. Do not several sort of rays make Vibrations of several bignesses, which according to their bignesses excite sensations of several Colours, much after the manner that the vibrations of the Air, according to their several bignesses excite sensations of several sounds? And particularly do not the most refrangible rays excite the shortest vibrations for making a sensation of deep violet, the least refrangible the largest for making a sensation of deep red, and the several intermediate sorts of rays, vibrations of several intermediate bignesses to make sensations of the several intermediate Colours?

Qu.14. May not the harmony and discord of Colours arise from the proportions of the vibrations propagated through the fibres of the optick Nerves into the Brain, as the harmony and discord of sounds arise from the proportions of the vibrations of the Air? For some Colours are agreeable, as those of Gold and Indico, and others disagree." NEWTONPROJECT (II)

⁸³² Genauigkeitshalber sollten wir angeben, dass Newton bei Frage 14 ein paar Wörter kürzt, welche den Inhalt aber gar nicht ändern. Denn statt:

„For some Colours, if they be view'd together, are agreeable to one another, as those of Gold and Indigo, and others disagree." (1704)

Heißt es später einfach:

„For some Colours are agreeable, as those of Gold and Indico, and others disagree." (1718)

vgl. NEWTONPROJECT (II) und NEWTONPROJECT (III)

⁸³³ Die Entwürfe sind zwar größtenteils in Englisch verfasst - er schreibt aber auch stellenweise in Latein oder Französisch. vgl. NEWTONPROJECT (IV)

⁸³⁴ vgl. NEWTONPROJECT (V)

Deutlicher wird es auch, wenn wir uns *nicht nur das Ende* der 29. Frage anschauen⁸³⁵, wo Newton auf den Äther verweist, sondern zugleich auch *den Beginn*: „Bestehen nicht die Lichtstrahlen aus sehr kleinen Körpern, die von den leuchtenden Substanzen ausgesandt werden? Denn solche Körper werden sich durch ein gleichförmiges Medium in geraden Linien fortbewegen, ohne in den Schatten auszubiegen, wie es eben die Natur der Lichtstrahlen ist.“⁸³⁶

Für Newton schließt sich hier somit ein Kreis! (Ein *hermeneutischer Zirkel*, wenn man so will.) Man könnte sogar sagen, die Fragen von Newton, welche in ihrer Formulierung den Descartesschen Zweifel bereits innehaben, gehen noch einen großen philosophischen Schritt weiter: ***Sie sind womöglich eine Dekonstruktion (im Derridaschen Sinne⁸³⁷): Newton versucht das Ausgeschlossene (die Wellentheorie) mit dem Ausgangsbegriff (Teilchentheorie) zusammenzubringen. Er will die Wellentheorie, Äthertheorie usw. nicht als Irrtum zu seiner Wahrheit der Lichtteilchen abgrenzen. Er versucht die Bedeutung des Ausgangsbegriffes um das Ausgeschlossene zu erweitern.***⁸³⁸ ***So entsteht eine neue Begrifflichkeit. Der naive Begriff des Welle-Teilchen-Dualismus, wenn man so will.*** Somit rundet Newton quasi sein Wissen philosophisch ab. In derselben Frage (29) schreibt er ja auch: „Wenn die Brechung durch eine Anziehung der Strahlen zu Stande kommt, dann muss der Sinus des Einfallswinkels gleich dem Sinus des Brechungswinkels sein, wie wir in den Prinzipien der Philosophie gezeigt haben: Und die Experimente bestätigen dieses Gesetz.“⁸³⁹ ***Interessant ist, dass Newton hier seiner Principia den gleichen Titel gibt, wie Descartes; nämlich Prinzipien der Philosophie.*** Ist das ein Versöhnungsangebot oder will hier Newton auf den Dialog hinweisen? Oder will er zeigen, wie wichtig diese Frage 29 für die *Principien der Philosophie* sein kann? Auf diese Fragen eine Antwort zu geben, ist aus heutigem Standpunkt nicht ganz so einfach. Er geht aber einen höchst *dialektischen Weg*⁸⁴⁰, wo Begriffe wahr und falsch zugleich sein können. Dieser Weg ist genau genommen weder logisch, noch naturwissenschaftlich. Natürlich ist es so, dass der Teilchenbegriff den Wellenbegriff ausschließt. Doch indem Newton diesen dialektischen Weg nimmt und dadurch dem Licht gerade beide Begriffe (Welle und Teilchen) zuspricht, hofft er auf eine neue Theorie zu kommen. Und bis man auf diese neue Theorie kommt, sollte man eben bei der Forschung auf beide Phänomene (Welle und Teilchen) im Blickwinkel behalten (und mit *beiden mathematischen Modellen* arbeiten). Diese Feststellung wollen wir unbedingt festhalten:

⁸³⁵ Hier können wir, nach unserer historischen Untersuchung hinweisen, dass das oben zitierte Ende der Frage 29 natürlich weder in der ersten englischen Ausgabe (1704) noch in der lateinischen Ausgabe (1706) vorhanden war. Sie wird erst in der zweiten Ausgabe (mit Ergänzung) (1718) eingefügt! vgl. NEWTONPROJECT (III) und NEWTONPROJECT (V)

⁸³⁶ NEWTON 1983, S. 244-245 (3. Buch, Frage 29)

⁸³⁷ Dekonstruktion ist eine Methode der Interpretation seit den 1980er Jahren.

⁸³⁸ vgl. SCHÜLERDUDEN PHILOSOPHIE 2002, S. 78

⁸³⁹ Frei übersetzt von Eren Simsek (und Sarah Mirna).

Im Original steht: „„If Refraction be perform'd by Attraction of the Rays, the Sines of Incidence must be to the Sines of Refraction in a given Proportion, as we shew'd in our Principles of Philosophy: And this Rule is true by Experience.“ NEWTONPROJECT (III)

Eine andere Übersetzungsmöglichkeit wäre: „Wenn die Brechung durch eine Anziehung der Strahlen zu Stande kommt, so muss der Sinus des Einfalls in einem gegebenen Verhältnisse zum Sinus der Brechung stehen, wie wir in den >>Principien der Philosophie<< [I, prop. XCIV] gezeigt haben; und die Erfahrung bestätigt dies Gesetz.“ NEWTON 1983, S. 245 (3. Buch, Frage 29)

⁸⁴⁰ Was darunter zu verstehen ist, kann man auch in knappen Erläuterungen auf GELDSETZER 2008, S. 184 nachschlagen.

Newton nimmt sich somit als erster der *Widersprüchlichkeit* der mikroskopischen Welt – aus der Perspektive der klassischen Physik betrachtet – an.

Diese *Widersprüchlichkeit* wird man auch später nicht mehr loswerden können. So schreibt Pietschmann: „Wenn wir unter „verstehen“ meinen, etwas widerspruchsfrei zu machen oder uns eine bildliche Vorstellung – anschaulich – zu erzeugen, dann ist die Quantenmechanik tatsächlich nicht zu verstehen. Ich will aber den Begriff „verstehen“ weiter fassen; wenn wir aus einem Gegenstand – z.B. der Quantenmechanik – alle Widersprüche, die wir eliminieren können, entfernt haben, aber bei denjenigen Widersprüchen, die dann noch übrig bleiben, erkannt haben, warum sie nicht zu eliminieren sind, und wir sie überdies handhaben können, dann haben wir diesen Gegenstand in einem weiteren Sinne auch „verstanden“. Auf Anschaulichkeit im klassischen Sinne müssen wir dann freilich verzichten!“⁸⁴¹

Doch bis zur Entwicklung der Quantenmechanik ist es ein sehr langer Weg, welcher nach Newtons *Optik* noch über 300 Jahre dauern wird. *So gesehen, hat Newton einfach zu dieser neuen Theorie – welche dann die Quantentheorie sein wird – mehr Fragen als Antworten, wie es auch verständlich ist.* (Das hat sich wahrscheinlich auch heute nicht geändert).

Das könnte auch der Grund sein, weshalb Newton in der 2. englischen Ausgabe (1718), im dritten Buch als Untertitel „I. Teil“ stehen lässt,⁸⁴² es aber nie einen II. Teil geben wird.⁸⁴³ In der lateinischen Ausgabe (1706) stand noch als Untertitel: „*Beobachtungen über die Beugung der Lichtstrahlen und die so erzeugten Farben.*“⁸⁴⁴

Wenn wir der in dieser Arbeit vorgeschlagenen 3. Hypothese eine gewisse Gültigkeit zusprechen – unter anderem auf Grund der oben geäußerten Interpretation der Texte Newtons – dann können wir zusammenfassend weitere zweierlei Hypothesen einräumen, welche von historischer Bedeutung wären:

⁸⁴¹ PIETSCHMANN QM S. VI

⁸⁴² vgl. NEWTONPROJECT (V)

⁸⁴³ vgl. auch NEWTON 1983, S. 276, Fußnote 30

Interessant hierzu ist auch, was er im vorletzten Absatz der letzten Frage (31) schreibt: „In diesem dritten Buche habe ich nur die Analysis von dem begonnen, was über das Licht und seine Wirkungen auf die Naturkörper noch zu entdecken übrig ist, habe verschiedene Fingerzeige gegeben und den Wissbegierigen diese Andeutungen zur Prüfung und zum Nachweise durch weitere Versuche und Beobachtungen überlassen.“ NEWTON 1983, S. 269, Fußnote 31

Wenn man die Analyse stets weiter betreibt, kommt man schließlich zu den allgemeinsten Ursachen, so nach Newton (vgl. NEWTON 1983, S. 269). Doch was er damit auch zugleich aussagt ist folgendes: **Ich kenne die allgemeinste Ursache nicht bzw. kann sie noch nicht ganz verstehen und kann bzw. werde sie daher synthetisch noch nicht beschreiben.** Denn „die Synthesis dagegen besteht darin, dass die entdeckten Ursachen als Principien angenommen werden, von denen ausgehend die Erscheinungen erklärt und die Erklärungen bewiesen werden.“ NEWTON 1983, S. 269

⁸⁴⁴ Im Original: „Observationes circa Inflexiones Radium Luminis, & Colores inde generatos.“ NEWTONPROJECT (V)

1. Newton kann man als den Begründer des Welle-Teilchen-Dualismus ansehen. (Er verwendet in seiner Beschreibung genau genommen eine vereinfachte Darstellung des Pfadintegrals.)⁸⁴⁵
2. Newton nimmt an, dass dieser Welle-Teilchen-Dualismus wohl nur auf den Mikrokosmos zu beschränken ist; und deshalb weder für seine Mechanik, noch für seine Himmelsmechanik von Bedeutung ist.⁸⁴⁶

So könnten wir das Hin- und Herwanken von Newton für den Äther als eine (noch unausgereifte bzw. primitive Form) von Korrespondenzprinzip ansehen (in einer Zeit, wo die Äthertheorie nicht zur Gänze von der speziellen Relativitätstheorie widerlegt und die Quantentheorie, weder mathematisch noch experimentell ausgereift war).

Und da es zur Zeit Newtons weder die *Quantentheorie* noch das *Korrespondenzprinzip* gab, konnte womöglich keiner Newtons Gedankengängen folgen. Wir möchten hier noch die Standpunkte von Descartes und Newton zusammenfassen, was den Äther betrifft:

Physikalische Hypothesen	Descartes	Newton
Äther	Ja!	Nein! <u>(Dennoch sind die Welleneigenschaften des Lichtes heuristisch da!)</u>

Und genau genommen fordert er die Welleneigenschaften nicht nur für das Licht – sondern wie über 300 Jahre später De Broglie (Bild 12)⁸⁴⁷ – für alle Teilchen. So beginnt er seine letzte Frage 31 mit den Sätzen: „Besitzen nicht die kleinen Partikeln der Körper gewisse Kräfte [Powers, Virtues or Forces], durch welche sie in die Ferne hin nicht nur auf die Lichtstrahlen einwirken, um sie zu reflektieren, zu

⁸⁴⁵ Dass ihm die Quanteneffekte am meisten zu schaffen machen, erkennt man auch daran, wie er sich über die Eigenschaft der Polarisation des Lichtes äußert: „Ich sage nicht, dass diese Kraft eine magnetische sei; sie scheint anderer Art zu sein; ich sage nur, was sie auch sein mag, dass es schwer zu begreifen ist, wie die Lichtstrahlen, wenn sie nicht aus Körperchen bestehen sollen, nach zwei Seiten hin eine dauernde Kraft besitzen können, die sie nach den anderen Seiten hin nicht haben, und zwar ohne Rücksicht auf ihre Lage im Raume oder in dem Medium, welches sie durchlaufen.“ (NEWTON 1983, S. 247); (Vergleich dazu auch wie Newton die Arbeiten von Huygens zu diesem Thema auf der Seite 240 beurteilt.)

Man könnte natürlich auch Hook oder Huygens diese Ehre erweisen. Die schon an ähnliche Konzepte, wie Wellenpakete dachten. Doch ist bei beiden ironischerweise gerade das Verständnis von Wellen(eigenschaften) noch nicht ausgereift. vgl. NEWTON 1983, Seite 274, Fußnote 20

⁸⁴⁶ Heute können wir auf Grund der *Theorie der Dekohärenz* Newtons Annahmen (weitgehend) bestätigen. Die *Dekohärenz* erklärt nämlich, dass auf Grund der Interaktionen beispielsweise eines Staubkorns mit der Umwelt, dessen Interferenz bzw. Beugungserscheinungen (nach einer sehr kurzen Zeit bzw. Dekohärenzzeit) *erlöschen*. (In der Fachsprache der Physik sagt man auch: Die Überlagerungseigenschaften in der makroskopischen Physik treten nicht mehr auf.)

So gelangen wir von der Quantenmechanik zum *klassischen Grenzfall*, wo die Newtonsche Physik wieder gilt.

⁸⁴⁷ BILD: LOUIS DE BROGLIE

brechen und zu beugen, sondern auch gegenseitig auf einander, wodurch sie einen grossen Theil der Naturerscheinungen hervorbringen?“⁸⁴⁸

Doch dabei wird es Newton natürlich nicht belassen. Wie wir oben sahen, stehen für Newton der Makro- und der Mikrokosmos schwer in einem Konflikt. Wie wohl jeder Physiker ist natürlich auch er geneigt, Hypothesen zu bilden, um diesen Konflikt zu beseitigen. Newton will somit in dieser letzten Frage natürlich die Lösung in einer Theorie darin sehen, welche eine neue Art der Gravitation⁸⁴⁹ anbietet, wodurch für ihn der Konflikt nach Herzenswunsch gelöst wäre:

„Denn es ist bekannt, dass die Körper durch die Anziehungen der Gravitation, des Magnetismus und der Elektrizität auf einander einwirken. Diese Beispiele, die uns Wesen und Lauf der Natur zeigen, machen es wahrscheinlich, dass es ausser den genannten noch andere anziehende Kräfte geben mag, denn die Natur behauptet immer Gleichförmigkeit und Uebereinstimmung mit sich selbst. Wie diese Anziehung bewerkstelligt werden mögen, will ich hier gar nicht untersuchen. Was ich Anziehung nenne, kann durch Impulse oder auf anderem, mir unbekanntem Wege zu Stande kommen. Ich brauche das Wort nur, um im allgemeinen irgend eine Kraft zu bezeichnen, durch welche die Körper gegen einander hinstreben, was auch die Ursache davon sein möge. Erst müssen wir aus den Naturerscheinungen lernen, welche Körper einander anziehen, und welches die Gesetze und die Eigenthümlichkeiten dieser Anziehung sind, ehe wir nach der Ursache fragen, durch welche die Anziehung bewirkt wird. Die Anziehung der Schwerkraft, des Magnetismus und der Elektrizität reichen bis in merkliche Entfernungen und sind in Folge dessen von aller Welts Augen beobachtet worden, aber es mag wohl andere geben, die nur bis in so kleine Entfernungen reichen, dass sie der Beobachtung bis jetzt entgangen sind; vielleicht reicht die elektrische Anziehung, selbst wenn sie nicht durch Reibung erregt ist, zu solchen kleinen Entfernungen.“⁸⁵⁰

Auch wünscht sich Newton – welcher das **Gesetz der Kräfte** vertritt –, wie teils oben erkennbar, wohl dabei eine Zusammenführung von Chemie und Physik⁸⁵¹. Sein Glaube an die Theorie der Anziehung wurde sicher auch durch den wichtigen Chemiker Robert Boyle bestärkt, den Newton sehr oft



Bild 12: Louis de Broglie
(1892-1987)

⁸⁴⁸ NEWTON 1983, S. 248 (3. Buch, Frage 31)

⁸⁴⁹ Der Versuch die molekularen Kräfte durch Analogien seiner Gravitationstheorie zu erklären, sind unter anderem im NEWTON 1983, S. 256-257 zu finden.

⁸⁵⁰ NEWTON 1983, S. 248-249 (3. Buch, Frage 31)

⁸⁵¹ Gerade in den Fragen 30 und 31 wird auf die Chemie eingegangen. Aber auch der Wunsch damit (Themen der) Biologie erklären zu wollen, lässt sich entnehmen: „Ist es nun nicht eine Folge der gegenseitigen Anziehung zwischen den Bestandtheilen, dass sie fest zusammenhängen, um diese Mineralien zu bilden, und dass das Harz [Bitumen] die anderen Bestandtheile des Schwefels, die ohne dasselbe gar nicht sublimieren würden, mit fortnimmt? Und dieselbe Frage kann man in Betreff fast aller gröberer Körper der Natur stellen. Denn alle Theile von Thieren und Pflanzen sind, wie die Analyse zeigt, aus flüchtigen und festen, flüssigen und derben Substanzen zusammengesetzt, und ebenso auch die Salze und Mineralien, soweit Chemiker bis jetzt im Stande gewesen sind, ihre Zusammensetzung zu untersuchen.“ NEWTON 1983, S. 255 (3. Buch, Frage 31)

Auf der nächsten Seite gibt er sogar eine Theorie über das Leben und den Tod. vgl. auch NEWTON 1983, S. 256-257

Nicht unerwähnt möchten wir an dieser Stelle auch lassen, dass Newton sich, wie man allgemein weiß, sehr stark für die (Al)chemie interessiert hat. vgl. NEWTONPROJECT (VI)

anführt⁸⁵² und der meint, dass eine „Aneinanderlagerung der sich anziehenden Theilchen verschiedener Körper“⁸⁵³ die Ursache einer chemischen Bindung wäre.

*Newton wäre so gesehen, wohl entzückt von der Quantenelektrodynamik (= QED). So schreibt Feynman in seinem Buch **QED. Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie** (1985): „Die Theorie beschreibt alle Phänomene der physikalischen Welt mit Ausnahme der Wirkung der Gravitation, die Sie auf Ihren Sitzen festhält (hier und jetzt handelt es sich um eine Mischung aus Schwerkraft und Höflichkeit, denke ich), sowie der radioaktiven Erscheinungen bei der Veränderung des Energiezustandes von Atomkernen. [...] Selbst die Biologen sind bestrebt, das Leben so weit wie irgend möglich mit Hilfe der Chemie zu deuten, und die der Chemie zugrunde liegende Theorie ist, wie schon gesagt, die Quantenelektrodynamik.“⁸⁵⁴*

Wir werden später sehen, wie nah Newtons und Feynmans Gedanken sind, obwohl dazwischen über 350 Jahre liegen.

Doch Newton konnte diese hoch komplizierte Theorie der QED natürlich nicht voraus ahnen und zog seinem Wunsch hinterher. Dieser Wunsch von Newton beinhaltet dabei nicht nur eine Optimierung der Naturvorstellungen – da er nach seiner Meinung nur das Mindeste voraussetzt – sondern versucht erneut zugleich auch Descartes vom Thron zu stoßen, so schreibt er:

„So ist sich die Natur immer gleich und einfach [in ihren Mitteln], indem sie alle die grossen Bewegungen der himmlischen Körper durch die zwischen ihnen herrschende Gravitation, ebenso wie fast alle die kleinen Bewegungen der Partikeln, durch gewisse andere, zwischen diesen Theilchen wirkende, anziehende und abstossende Kräfte hervorruft. Das Gesetz der Trägheit ist ein passives Princip, nach welchem die Körper in ihrer Bewegung oder Ruhe beharren, je nach der auf sie einwirkenden Kraft Bewegung empfangen und Widerstand leisten in dem Maasse, wie ihnen andere Körper widerstehen. Durch dieses Princip allein würde es niemals Bewegung in der Welt geben. Es war noch ein anderes Princip nothwendig, um die Körper in Bewegung zu setzen, und noch ein anderes, um sie in Bewegung zu erhalten. Denn aus der verschiedenen Art, wie sich zwei Bewegungen zusammensetzen, ist klar, dass nicht immer dieselbe Quantität von Bewegung in der Welt vorhanden ist.“⁸⁵⁵

Die Kritik von Newton ist einerseits gerechtfertigt, da wie wir wissen, dass Descartes mit seinem Bewegungserhaltungssatz nicht ganz Recht hatte, doch auch zugleich fehl am Platz, da Huygens bereits zeigen konnte, dass der Schwerpunkterhaltungssatz stets (und bei elastischen Stößen sogar auch die Erhaltung der kinetischen Energie) gilt. Newton wählt Beispiele für seine Erklärungen, wo wirklich die Bewegung des einen oder des anderen Körpers zwar weniger werden, doch erwähnt er erst gar nicht, dass auch in diesen Beispielen der Schwerpunkterhaltungssatz gilt.⁸⁵⁶ Newtons negative Einstellung zu den Erhaltungssätzen würde uns überraschen, wenn wir zugleich nicht wüssten, dass es bei Newton um das Ringen der Prinzipien geht. Er stellt somit das Beharrungsgesetz von Descartes als *passives Prinzip* hin und dem Gegenüber präsentiert er seine Theorie der Anziehung als *aktives Prinzip*.

⁸⁵² Den er beispielsweise namentlich in den Fragen 28 und 30 erwähnt.

⁸⁵³ zitiert nach NEWTON 1983, S. 278, Fußnote 42

⁸⁵⁴ FEYNMAN 2005, S. 18

⁸⁵⁵ NEWTON 1983, S. 263-264 (3. Buch, 31 Frage)

⁸⁵⁶ Die Beispiele sind auf den Seiten S. 264-265 NEWTON 1983 (3. Buch, 31 Frage) zu finden.

Newton will einfach seine Prinzipien für die Zukunft bewahrt wissen. Daher schreibt er (bereits auf der nächsten Seite): „Wenn drei gleiche runde Gefässe, das eine mit Wasser, das zweite mit Oel, das dritte mit geschmolzenem Pech gefüllt und die Flüssigkeiten umgeschüttelt werden, wie wenn man sie in wirbelnde Bewegung versetzen wollte, so wird das Pech durch seine Zähigkeit seine Bewegung rasch verlieren, das weniger zähe Oel wird sie länger, und das noch weniger zähe Wasser am längsten behalten, aber doch auch in kurzer Zeit verlieren. Darnach ist leicht einzusehen, dass, wenn es mehrere zusammenhängende Wirbel von Pech gäbe, jeder so gross, wie sie nach der Annahme mancher Naturforscher sich um die Sonne und die Fixsterne drehen, dass doch diese und alle ihre Theile durch ihre Zähigkeit und Steifheit einander ihre Bewegung mittheilen würden, bis sie alle zu vollkommener Ruhe unter einander kommen würden. Wirbel von Oel oder Wasser oder noch flüssiger Substanz könnten noch länger in Bewegung verbleiben, wenn aber diese Masse nicht jeglicher Zähigkeit und Reibung der Theilchen und Uebertragung der Bewegung entbehrt (was man nicht wohl annehmen kann), so wird die Bewegung beständig abnehmen. Da wir also sehen, dass die verschiedenen Bewegungen, die wir in der Welt vorfinden, in stetiger Abnahme begriffen sind, so liegt die Nothwendigkeit vor, sie durch thätige Principie zu erhalten und zu ergänzen, wie ein solches die Ursache der Schwerkraft ist, durch welche die Planeten und Kometen in der Bewegung auf ihren Bahnen erhalten werden und die Körper ihre grosse Fallgeschwindigkeit erreichen, ferner die Ursache der Gährung, welche das Herz und Blut der Thiere in immerwährender Bewegung und Wärme, das Erdinnere beständig warm, an manchen Stellen sogar sehr heiss erhält, durch welche die Körper brennen und leuchten, die Berge in Feuer entflammen, die Höhlen in der Erde aufgetrieben werden und die Sonne beständig auf's Heftigste glüht und leuchtet und mit ihrem Lichte Alles erwärmt. Denn wir treffen wenig Wärme in der Welt an, die nicht diesen activen Principien zu verdanken ist. Ohne sie würden die Körper der Erde, der Planeten und Kometen, der Sonne und Alles auf ihnen in Kälte erstarren und unthätige Massen werden, Verwesung und Zeugung, Vegetation und Leben würden aufhören, und Planeten und Kometen könnten nicht in ihren Bahnen verharren.“⁸⁵⁷

Diesen Zeilen folgt gleich Newtons Vorstellung von der Entstehung des Kosmos. Im Gegensatz zu Descartes verlangt Newton nun etwas Handfestes, nämlich den Massenerhaltungssatz und wie sollte es anders sein, seine *aktives Prinzip* damit das Universum funktioniert: „Damit also die Natur von beständiger Dauer sei, ist der Wandel der körperlichen Dinge ausschließlich in die verschiedenen Trennungen, neuen Vereinigungen und Bewegungen dieser permanenten Theilchen zu verlegen, da zusammengesetzte Körper dem Zerbrechen ausgesetzt sind, nicht etwa mitten durch die festen Theilchen, sondern da, wo diese an einander gelagert sind und sich nur in wenigen Punkten berühren.

Es scheint mir ferner, dass diese Partikeln nicht nur Trägheit besitzen und damit den aus dieser Kraft ganz natürlich entspringenden passiven Bewegungsgesetzen unterliegen, sondern dass sie auch von den activen Prinzipien, wie die Schwerkraft oder die Ursache der Gährung und der

⁸⁵⁷ NEWTON 1983, S. 265 (3. Buch, Frage 31)

Einige Jahrhunderte später wird man, nach der Entdeckung der Entropie, auch über den Wärmetod des Kosmos diskutieren. Und einige Argumente werden dem von Newton stark ähneln. H. Dieter Zeh schreibt: „Aus dem irreversiblen Anwachsen der Entropie schlossen Kelvin und Clausius, dass jegliche Energie sich im Laufe der Zeit in Wärme verwandeln und die Welt schließlich einen >>Wärmetod<< sterben muss, wodurch jede mechanische Bewegung zum Stillstand kommt. Einem ähnlichen Argument war schon Newton wegen der Existenz von Reibungskräften begegnet, ohne dass er deren thermodynamischen Hintergrund kannte. Er beantwortete ihn mit der Bemerkung, dass >>Gott die Welt gelegentlich wieder in Bewegung setzt<<, weshalb Leibniz ihn der Blasphemie zieh, da er Gott mit einem schlechten Uhrmacher vergleiche.“ ZEH 2005, S. 9

Cohäsion der Körper sind, bewegt werden. Diese Principien betrachte ich nicht als verborgene Qualitäten, die etwa aus der specifischen Gestalt der Dinge hervorgehen sollen, sondern als allgemeine Naturgesetze, nach denen die Dinge gebildet sind. Die Wahrheit dieser Principien wird uns aus den Erscheinungen deutlich, wenn auch ihre Ursachen bis jetzt noch nicht entdeckt sind; [...]"⁸⁵⁸

Auf der nächsten Seite setzt Newton natürlich noch eins drauf und kontert Descartes und natürlich auch Leibniz ohne sie namentlich zu erwähnen:

„Mit Hülfe dieser Prinzipien scheinen nun alle materiellen Dinge aus den erwähnten harten und festen Theilchen zusammengesetzt und bei der Schöpfung nach dem Plane eines intelligenten Wesens verschiedentlich angeordnet zu sein; denn ihm, der sie schuf, ziemte es auch, sie zu ordnen. Und wenn er dies gethan hat, so ist es unphilosophisch, nach einem anderen Ursprunge der Welt zu suchen oder zu behaupten, sie sei durch die blossen Natugesetze aus einem Chaos entstanden, wenn sie auch, einmal gebildet, nach diesem Gesetze lange Zeit fortbestehen kann. Denn während allerdings die Kometen sich in sehr excentrischen Bahnen aller möglichen Lagen bewegen, konnte doch niemals ein blinder Zufall bewirken, dass alle Planeten nach einer und derselben Richtung in concentrischen Kreisen gehen, einige unbeträchtliche Unregelmäßigkeiten ausgenommen, die von der gegenseitigen Wirkung der Kometen und Planeten auf einander herrühren und wohl so lange anwachsen werden, bis das ganze System einer Umbildung bedarf.“⁸⁵⁹

Unübersehbar oder besser unüberhörbar ist in diesen Zeilen der Ton bzw. der Puls Newtons religiöse Ader.⁸⁶⁰ Unten sei noch einmal das Prinzip ihrer Himmelsmechanik zusammengestellt:

Himmelsmechanik:	Wirbeltheorie	Anziehungskraft
Descartes	JA!	NEIN!
Newton	NEIN!	JA!

⁸⁵⁸ NEWTON 1983, S. 266 (3. Buch, Frage 31)

⁸⁵⁹ NEWTON 1983, S. 267

⁸⁶⁰ Einen Überblick über seine Schriften zur Religion bietet die Seite NEWTONPROJECT (VII)

Newton's Leistungen in der Optik

Über den Regenbogen schreibt Goethe in *Faust II* (1832):

„Der spiegelt ab das menschliche Bestreben.

Ihm sinne nach, und du begreifst genauer:

Am farbigen Abglanz haben wir das Leben.“⁸⁶¹

Newton lobt in seiner *Optik* – wo es um die Regenbogen geht – zuerst die Verdienste Antonius de Dominis, weil er einiges zum Verständnis des äußeren und inneren Regenbogens beitrug. Und anschließend erwähnt er Descartes; dieser hat nämlich die Erklärung „des äusseren Bogens noch verbessert. Da aber beide Gelehrte den wahren Ursprung der Farben nicht erkannten, ist es notwendig, diesen Gegenstand hier noch etwas weiter zu verfolgen.“⁸⁶², meint Newton. Aus all dem können wir sagen, dass diese farbigen Kreisbogen in all ihren Spektren, physikalisch (im klassischen Sinne) zur Gänze zum ersten Mal wohl von Newton verstanden wurden. Und genau über diesen großartigen Wissenschaftler, ist in Goethes Werk *Zur Farbenlehre* überraschenderweise folgendes zu lesen: „[...] wie ein so außerordentlicher Mann sich in einem solchen Grade irren, seinen Irrtum bis an sein Ende mit Neigung, Fleiß, Hartnäckigkeit, trotz aller äußeren und inneren Warnungen, bearbeiten und befestigen und so viel vorzügliche Menschen mit sich fortreißen können.“⁸⁶³ Aus diesen Zeilen ist erkennbar: *Newtons Beiträge zur Optik waren umstritten*. Ohne jedoch auf verschiedene Kritiken einzugehen, schauen wir uns gleich sein wichtigstes Experiment an, auf welches er beinahe seine ganze *Optik* aufbaut und das auch in der heutigen Wissenschaft eine große Anerkennung genießt.

Newton skizziert sein berühmtes Experiment in einem Brief an die Royal Society.⁸⁶⁴ Er bezeichnet dies als „Experimentum Crucis“⁸⁶⁵. Auch Popper bezeichnet mit dieser Beschreibung manche auserwählte Experimente – was wohl auf Bacon zurück geht – und erklärt: „Man beachte, daß ich unter einem experimentum crucis ein Experiment verstehe, das geeignet ist, eine Theorie (wenn möglich) zu widerlegen, und insbesondere eines, das geeignet ist, eine Entscheidung zwischen zwei konkurrierenden Theorien durch Widerlegung (zumindest) eines von ihnen herbeizuführen – ohne daß dadurch natürlich die andere bewiesen wird.“⁸⁶⁶

⁸⁶¹ GOETHE 1996, S. 6

⁸⁶² NEWTON 1983, S. 109

An dieser Stelle kann man Newton eine (wissenschaftliche) Zivilcourage zusprechen, denn „Antonio de Dominis war eines der berühmtesten Opfer der römischen Inquisition.“ (VOLTAIRE 1997, S. 160, Fußnote 17) Da später auch Galilei unter der gleichen Inquisition zu leiden hatte, schreibt Condorcet weiter: „Seien Sie also nicht erstaunt, wenn wir unter den berühmten Menschen aller Wissensbereiche, die in den letzten Jahrhunderten Italien Ehre gemacht haben, nicht einen einzigen Römer finden.“ (VOLTAIRE 1997, S. 161, Fußnote 17)

⁸⁶³ GOETHE (II) 1948

⁸⁶⁴ Dieser war am 6. Februar 1672 an den Sekräter der Royal Society Henry Oldenburg gerichtet. vgl. NEWTON 1983, S. XIII und Fußnote 2

⁸⁶⁵ In der *Optik* ist es der 6. Versuch im 1. Buch. Doch dort bezeichnet er das Experiment *nicht* mehr als *Experimentum Crucis*. vgl. dazu NEWTON 1983, S. 271, Fußnote 5

⁸⁶⁶ POPPER 2005, S. 265, Fußnote 42

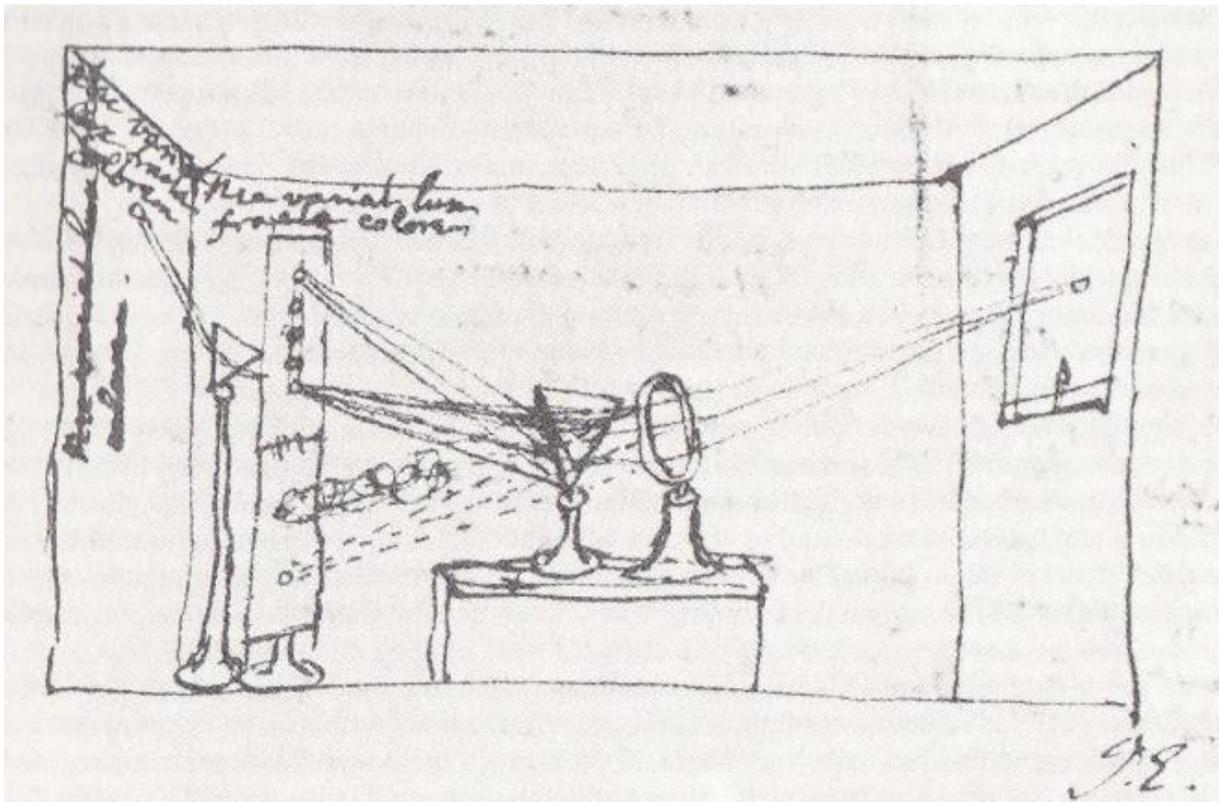


Abbildung 29, Quelle: NEWTON 1983, S. XII

Dieses Experiment wollen wir genauer untersuchen. Dazu geben wir die Stationen der Lichtstrahlen wieder:

- (1.) Das *weiße* Licht kommt von einer kleinen Öffnung aus dem Fenster (von der rechten Seite).
- (2.) Das *weiße* Licht wird durch eine Sammellinse gebündelt und trifft auf eine Leinwand.

Das ist der erste Teil des Experiments. Er ist klar und eigentlich ohne neue Erkenntnisse. Der zweite Teil des Experiments ist jedoch sensationell und kann wie folgt kurz erläutert werden:

1. Das *weiße* Licht kommt wieder von einer kleinen Öffnung aus dem Fenster.
2. Das *weiße* Licht wird durch eine Sammellinse (ein wenig) gebündelt.
3. Dieses gebündelte *weiße* Licht trifft auf ein (durchsichtiges) Prisma.
4. Das Prisma zerlegt das *weiße* Licht in die berühmten *Regenbogenfarben* bzw. *Spektralfarben*.
5. Die einzelnen *farbigen* Lichtstrahlen können an einem Schirm (bzw. auf einer Leinwand) beobachtet werden.
6. Oder, dort wo die einzelnen *farbigen* Lichtstrahlen auftreffen, kann auch eine Öffnung gemacht werden. Mit der Hilfe eines zweiten Prismas kann nun gezeigt werden, dass diese

Farben nicht mehr weiter zerlegbar sind. Sie sind, wenn man so will: „**Elementare**“
Grundbausteine.⁸⁶⁷

Darauf weist auch Newton hin! Wir können nämlich links oben im Bild lesen: „nec variat lux fracta colorem“ bzw. „das gebrochene Licht verändert nicht seine Farbe“⁸⁶⁸.

Obwohl dieses Experiment damals die besten bzw. genialsten Wissenschaftler auf dem Gebiet der Optik, wie Huygens und Hooke, (anscheinend) für zu kompliziert und schwer verständlich hielten⁸⁶⁹, werden wir uns dennoch mit den Erkenntnissen auseinandersetzen, die wir aus diesem Experiment gewinnen können.

Newtons Leistungen zum Teilchen- und zum Wellenmodell des Lichtes

Schon im Vorwort der 1. Auflage schreibt Newton: „Meine ganze Absicht bei Veröffentlichung dieser Blätter ist, meine Versuche mitzuteilen und die übrigen zu weiterer Untersuchung Anderen anheimzugeben.“⁸⁷⁰ Doch welche neue Errungenschaften kann er wirklich mitteilen? Es würde zu lange dauern, alle Verdienste Newtons zum Thema Optik aufzuzählen. Wir wollen daher nur kurze Streifzüge unternehmen.

Newton ist, wie bereits oben schon erwähnt, sicher einer der ersten Wissenschaftler, welche das große Rätsel um die (physikalischen) Farben lösen konnten. (Auch seine Farbenlehre stellt sicher ein solides Fundament in der Farbenphotographie da.)⁸⁷¹ Er konnte als Erster zeigen und erklären, dass ein Lichtstrahl aus mehreren Lichtteilchen besteht, wie man es aus dem „Experimentum Crucis“ entnehmen kann. Der weiße Lichtstrahl, zum Beispiel von der Sonne, besteht aus Lichtteilchen mit unterschiedlicher Energie und diese konnten mit der Hilfe eines Prismas in ein Spektrum aufgefächert werden. Newton schreibt über dieses leuchtende Farbband folgendes: „Das Bild oder Spectrum [...] war nun farbig, und zwar an dem weniger gebrochenen Ende roth, am stärker gebrochenen violett, dazwischen aber gelb, grün und blau. Dies stimmt mit dem ersten Satze überein, dass Licht von verschiedener Farbe auch verschiedene Brechbarkeit besitzt.“⁸⁷²

Um dieser Brechbarkeit oder allgemein um Erscheinungen in der Optik zu erklären, verwendet Newton das Teilchenmodell. Das ist insofern gar kein Problem, da es in der Tat ausreicht, die geometrische Optik mit dem Teilchenmodell zu erklären. Doch interessant ist, dass Newton eigentlich die Optik mit folgenden Sätzen beginnt: „Es ist nicht meine Absicht, in diesem Buche die Eigenschaften des Lichts durch Hypothesen zu erklären, sondern nur, sie anzugeben und durch Rechnung und Experimente zu bestätigen. Dazu will ich folgende Definitionen und Axiome

⁸⁶⁷ Mit *elementar* meinen wir nicht, dass die Lichtteilchen bzw. Photonen allgemein nicht mehr teilbar sind. Man kann natürlich ein Photon durch bestimmte Kristalle wieder in Photonenpaare teilen. (Beispielsweise kann man so verschränkte Photonen erzeugen.)

⁸⁶⁸ (Übersetzt von Eren Simsek)

⁸⁶⁹ vgl. NEWTON 1983 (Einleitung von Markus Fierz), S. XIII-XIV

⁸⁷⁰ NEWTON 1983, S. 4

⁸⁷¹ vgl. NEWTON 1983, S. 273, Fußnote 16

⁸⁷² NEWTON 1983, S. 23

Der erste Lehrsatz von Newton lautet: „Licht von verschiedener Farbe besitzt auch einen verschiedenen Grad von Brechbarkeit.“ NEWTON 1983, S. 15

Der zweite Lehrsatz von Newton lautet: „Das Licht der Sonne besteht aus Strahlen verschiedener Brechbarkeit.“ NEWTON 1983, S. 19

vorausschicken.⁸⁷³ Und wie die Ironie so will, ist gleich seine erste Definition natürlich die Hypothese, dass Licht aus Teilchen besteht. Wir wollen sie ohne weiteren Kommentar wiedergeben:

„1. **Definition.** Unter Lichtstrahlen verstehe ich die kleinsten Theilchen des Lichts und zwar sowohl nach einander in denselben Linien, als gleichzeitig in verschiedenen. Denn es ist klar, dass das Licht sowohl aus successiven, wie gleichzeitigen Theilchen besteht, da man an der nämlichen Stelle das in einem bestimmten Augenblicke ankommende Licht auffangen und gleichzeitig das nachkommende vorbeilassen kann, und ebenso kann man im nämlichen Augenblicke das Licht an einer Stelle auffangen und an einer andern vorbeilassen. Denn das aufgefangene Licht kann nicht dasselbe sein, wie das vorbeigelassene.“⁸⁷⁴

Mit einem einfachen Farbfilter kann man schon in den Schulen ganz leicht all dies zeigen, das Newton hier anführt.

Newtons Leistungen zum Wellenmodell des Lichtes

Doch dabei wird es Newton nicht bleiben lassen. **Das dritte Buch beginnt mit dem Namen Grimaldi.**⁸⁷⁵ Dies zu betonen ist gar nicht von Nachteil, denn 1665 erschien ein Buch von Grimaldi zur physikalischen Optik. In diesem Buch ist gegeben, dass Grimaldi nicht nur bereits die Spektralfarben kannte, sondern auch wusste, wie man sie mit einer (Konkav)linse wieder zu weißem Licht bündeln konnte. ***Doch viel interessanter ist, das Grimaldi eigentlich einer der Begründer der Wellentheorie des Lichtes ist!*** So machte schon Grimaldi Analogien zwischen den Spektralfarben und den Wellenlängen. Außerdem beschäftigte er sich mit Beugungserscheinungen.⁸⁷⁶ *Wir sehen deutlich, wie Newton hier einen Kreis zu schließen versucht, da er im 1. Buch zwar mit der Teilchentheorie des Lichtes beginnt, doch mit der Wellentheorie bzw. mit Welleneigenschaften des Lichtes abschließt.*

Das dritte Buch ist sehr interessant, denn hier stellt Newton Experimente zur

- ✓ Beugung an einem Hindernis (z.B.: am Haar),⁸⁷⁷
- ✓ Beugung an der Kante,⁸⁷⁸
- ✓ Beugung an einem (Einzel)spalt⁸⁷⁹

⁸⁷³ NEWTON 1983, S. 5

⁸⁷⁴ NEWTON 1983, S. 5

⁸⁷⁵ Francesco Maria Grimaldi (1618-1663).

Newton beginnt (im 3. Buch) schon mit dem Satz: „*Grimaldi* hat uns gelehrt, dass, wenn ein Strahl Sonnenlichts durch eine sehr kleine Oeffnung in ein dunkles Zimmer eindringt, die Schatten von Körpern, die man diesem Lichte aussetzt, breiter sind, als sie sein sollten, wenn die Lichtstrahlen in geraden Linien an den Körpern vorübergehen, und dass diese Schatten von drei parallelen Fransen, Bändern oder Linien farbigen Lichts begrenzt sind.“ NEWTON 1983, S. 209

⁸⁷⁶ vgl. GREINER 2002, S. 517-518

⁸⁷⁷ vgl. unter anderem die 1. Beobachtung NEWTON 1983, S. 209-210

⁸⁷⁸ Siehe 5. Beobachtung von Newton. NEWTON 1983, S. 214-215

⁸⁷⁹ Siehe unter anderem 6. und 7. Beobachtung. NEWTON 1983, S. 215-217

(In der 10. Beobachtung stellt Newton auch Messdaten der Beugungsmuster zu Verfügung. NEWTON 1983, S. 219-221

vor und versucht sogar verschiedenste Beugungs- bzw. Interferenzmuster zu messen.⁸⁸⁰ Noch interessanter ist es, dass er bei der Beugung (in der 11. bzw. letzten Beobachtung) am Haar verschieden farbiges Licht benutzte und feststellte, dass die Beugungsmuster „im Roth die grössten, die im Violett die kleinsten und die im Grün von mittlerer Grösse waren.“⁸⁸¹ Dabei kann man die Experimentierkunst von Newton in höchsten Tönen loben. Seine Daten sind überaus überzeugend:

Wenn wir beispielsweise Newtons Messdaten für die Dicke des Haares den „280 sten Theil eines Zolles“⁸⁸², für die Entfernung des Schirms vom Haar „6 Zoll“⁸⁸³, für die breite der 0. Maxima⁸⁸⁴ bei violetterm Licht „ $\frac{1}{46}$ Zoll“⁸⁸⁵ nehmen und mit der simplen Formel⁸⁸⁶

$$\sin \alpha \approx \frac{\text{Wellenlänge des (violetten) Lichtes}}{\text{Haarbreite}} \approx \frac{\lambda_{\text{violett}}}{10^{-4} \text{ m}}$$

eine Übersichtsrechnung durchführen, dann erhalten wir:

$$\sin \alpha \approx \frac{\lambda_{\text{violett}}}{10^{-4} \text{ m}} \quad | \div 10^{-4} \text{ m}$$

$$\sin \alpha \cdot 10^{-4} \text{ m} \approx \lambda_{\text{violett}} \quad | \sin \alpha \approx \alpha \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$2 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 10^{-4} \text{ m} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 200 \text{ nm (Nanometer)} \approx \lambda_{\text{violett}}$$

(In der Abbildung 30 wird unser Vorgehen in Bildern noch einmal dargestellt.)

⁸⁸⁰ Sehr schön ist unter anderem die 3. Beobachtung. Newton betrachtet die Interferenzmuster von einem Haar und macht eine Tabelle zu Intensitätsminima und –maxima. NEWTON 1983, S. 212-213

⁸⁸¹ NEWTON 1983, S. 221

⁸⁸² 1. Beobachtung, OPTIK S. 209

Ein Zoll beträgt $0,0254 \text{ m} \approx 0,03 \text{ m}$. Dann erhalten wir für $\frac{1}{280} \text{ Zoll} \approx \frac{0,03}{280} \text{ m} \approx 10^{-4} \text{ m}$.

(Ist zwar eher ein recht dickes Haar; aber dennoch eine sehr gute Schätzung!)

⁸⁸³ NEWTON 1983, S. 221 $6 \text{ Zoll} \approx 0,0254 \cdot 6 \text{ m} \approx 0,15 \text{ m}$

⁸⁸⁴ Es steht: „[...] fand ich die Entfernung zwischen dem mittelsten und hellsten Theile des ersten oder innersten Saumes auf einer Seite des Schattens und dem desselben Saumes auf der anderen Seite [...]“NEWTON 1983, S. 221

⁸⁸⁵ NEWTON 1983, S. 221

$$\frac{1}{46} \text{ Zoll} \approx \frac{0,03}{46} \text{ m} \approx 7 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

⁸⁸⁶ Für kleine Winkel gilt (wegen der Kleinwinkelnäherung) $\sin \alpha \approx \alpha$. So können wir schreiben:

$$\sin \alpha = \frac{\text{Gegenkathete des Winkels}}{\text{Hypothense}} = \frac{\text{halbe 0. Maximabreite}}{\text{Entfernung vom Haar zum Schirm}} = \frac{\frac{7 \cdot 10^{-4} \text{ m}}{2}}{0,15 \text{ m}} = \frac{3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}}{0,18 \text{ m}} \approx 2 \cdot 10^{-3} \approx \alpha$$

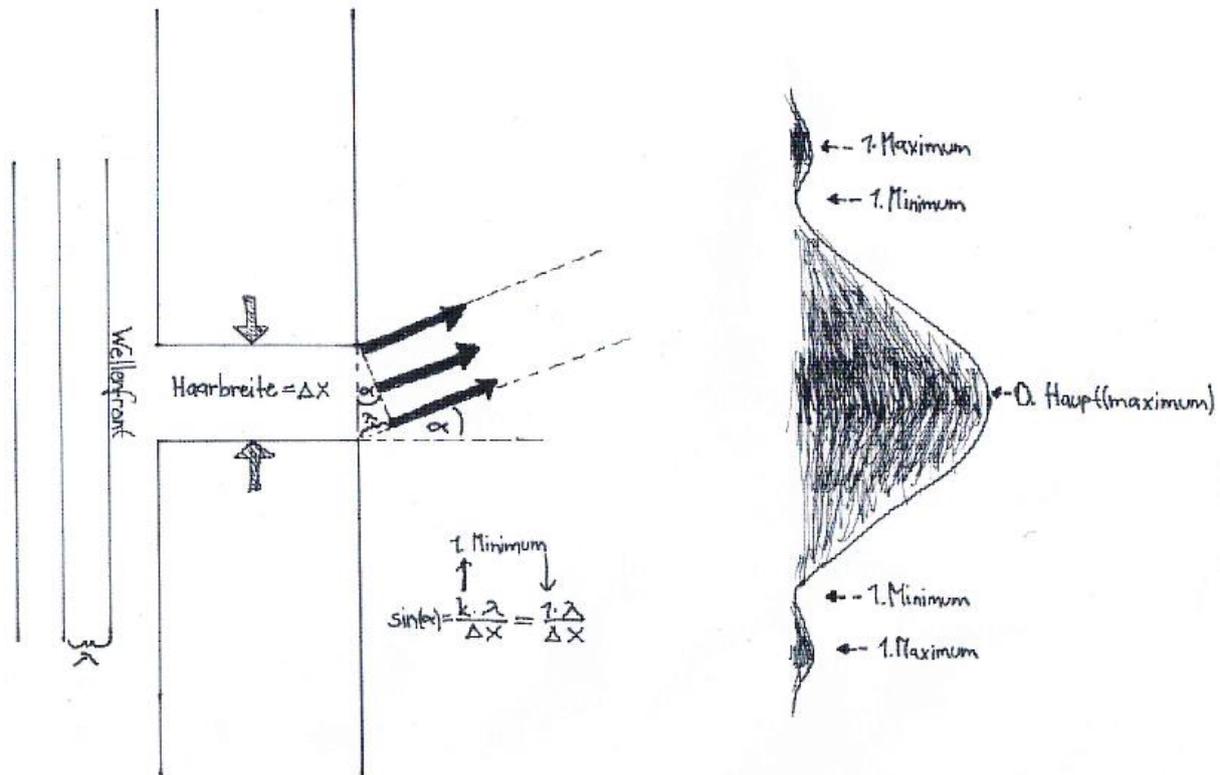


Abbildung 30

Heute wissen wir, dass die Wellenlänge des violetten Lichtes zwischen 380 bis 430 nm betragen kann. So gesehen ist es beeindruckend, wie nahe man mit den experimentellen Daten von Newtons Experiment Beugung am Haar (mit ganz einfachen Methoden) an die heutige Größenordnung der Messwerte heran kommen kann.⁸⁸⁷ *Doch sind diese Überlegungen nicht zu weit hergeholt? Hatte Newton überhaupt Interesse an einem Wellenmodell?*

Vom heutigen Standpunkt aus können wir sagen, dass Newton im Gegensatz zu Hooke das Interferenzprinzip klarer verstand und brachte sogar Farben mit Wellenlängen in Verbindung! *Und das in einer Zeit, wo auch Huygens den Begriff der Wellenlänge nicht einmal kannte.*⁸⁸⁸

Doch die Sensation geht weiter: **Newton versucht sogar selbst die Wellenlänge des Lichts mit Hilfe der Newtonschen (Interferenz)ringen zu messen!**

Newton schreibt: „Wenn die Strahlen, welche die an der Grenze von Gelb und Orange gelegenen Farben erzeugen, aus irgend einem Medium senkrecht in die Luft austreten, so betragen die Intervalle ihrer Anwandlerungen⁸⁸⁹ leichter Reflexion $\frac{1}{89000}$ Zoll, und ebenso gross sind die Intervalle ihrer Anwandlerungen leichten Durchganges.“⁸⁹⁰

⁸⁸⁷ Man hätte wohl auch durch die Messdaten der *Newtonschen Ringe*, einer nicht ganz einfachen Theorie und ein paar Rechenschritten zu den Wellenlängen gelangen können. vgl. NEWTON 1983, S. 274, Fußnote 18

⁸⁸⁸ vgl. NEWTON 1983, S. 274, Fußnote 20

⁸⁸⁹ „Newton entdeckte, daß einfarbiges Licht einen periodischen Vorgang darstellt. [...]

Dabei ist das Intervall der „Anwandlerungen“ das, was wir heute als halbe Wellenlänge bezeichnen. Er beobachtete sogar, daß die Intervalllängen λ_1 und λ_2 in verschiedenen Medien sich wie Sinus der Brechungswinkel verhalten, also: $\sin \alpha_1 / \sin \alpha_2 = \lambda_1 / \lambda_2$.“ GREINER 2002, S. 470-471

⁸⁹⁰ NEWTON 1983, S. 188 (2. Buch, 3. Teil)

Wie wir bereits wissen beträgt ein Zoll etwa $0,0254\text{ m} \approx 0,03\text{ m}$.

Für $\frac{1}{89000}$ Zoll erhalten wir daher $\frac{0,03}{89000}\text{ m} \approx 300 \cdot 10^{-9}\text{ m}$.

Da mit „Intervall ihrer Anwendung“ eine halbe Wellenlänge gemeint ist, bekommen wir für die ganze Wellenlänge:

$$2 \cdot 300 \cdot 10^{-9}\text{ m} = 600 \cdot 10^{-9}\text{ m} \approx$$

Wellenlänge der Grenze zwischen gelbem und orangem Licht.

Aus heutiger Sicht wissen wir, dass die Grenze zwischen der gelben und der orangen Farbe im Bereich von $560 \cdot 10^{-9}\text{ m} - 580 \cdot 10^{-9}\text{ m}$ liegt. Man benötigt hier wohl kaum zu betonen, dass die Schätzungen von Newton, welche über 300 Hundert Jahre zurückliegen, sehr präzise sind. Doch das ist keine neue Nachricht! Unten ist eine über Hundert Jahre alte Tabelle wiedergegeben, welche Newtons Messwerte mit denen der damaligen Messwerte von Wellenlängen vergleicht. (Diese Messwerte dürften sich wohl auch in unserer Zeit kaum verändert haben.)

	Wellenlänge	
	nach NEWTON berechnet	ungef. richtiger Werth
Aeusserstes Roth	645	760
Grenze von Roth und Orange	596	647
„ „ Orange und Gelb	571	587
„ „ Gelb und Grün	532	536
„ „ Grün und Blau	492	492
„ „ Blau und Indigo	453	454
„ „ Indigo und Violett	439	426
Aeusserstes Violett	406	393

Abbildung 31: WINKELMANN, S. 549

Wie man sieht, waren die Werte von Newton sehr gut und wurden mehr als hundert Jahre lang durch keine genaueren ersetzt. Selbst Fresnel hat sich noch an diese orientiert (, obwohl er natürlich vermutete, dass die Werte für Rot ein bißchen zu niedrig waren.)⁸⁹¹

⁸⁹¹ WINKELMANN, S. 549-550.

Weshalb Newton die Wellenlänge von Rot so klein angab, wird teilweise näher erläutert in NEWTON 1893, S. 274, Fußnote 18

Doch wenn Newton „offensichtlich die Wellenlänge des Lichtes gemessen“⁸⁹² hat, wie es auch Walter Greiner erklärt, weshalb führt man dann Newton stets nur als Pionier des Teilchenmodells des Lichtes an? Dafür können wir mindestens zwei Gründe aufzählen:

1. Newton konnte sich nicht mit dem Begriff des Äthers anfreunden. Sein Verständnis vom leeren Raum, das ein Gegenpart zu Descartes', Hooks, Leibniz und Huygens Vorstellung war, machte den Äther, das Medium, welches Licht zur Ausbreitung benötigen würde, unnötig. (Die weitere Geschichte der Physik wird zeigen, dass er damit Recht behalten sollte.)
2. Außerdem versuchte Newton stets die Erklärungen die Prinzipien der Naturgesetze stets auf ein Minimum zu führen. In der Optik bedeutete das, dass er die Wellentheorie des Lichtes, zu welcher er sogar einiges selber geleistet hat, prinzipiell ablehnte.⁸⁹³ Doch auch er konnte natürlich gewissenhaft die Welleneigenschaften des Lichtes, wie die Beugung und Interferenz nicht leugnen.

Das Problem bzw. den Widerspruch zwischen der geometrischen Optik und der Wellenoptik, welchen Newton damals hatte, kann man eigentlich in der modernen Naturwissenschaft durch das Verständnis eines Korrespondenzprinzips zur Gänze auflösen. Dies wollen wir uns natürlich genauer anschauen.

Newtons Unverständnis des Korrespondenzprinzips in der Optik

Wie kann das Korrespondenzprinzip den alten Widerspruch zwischen der geometrischen bzw. Strahlenoptik und der Wellenoptik lösen? Die Antwort wollen wir in zwei Schritten bei der Untersuchung eines Einzelspaltes darlegen⁸⁹⁴:

1. *Die Wellenoptik kann alle Phänomene des Lichtes erklären.* Oder mit anderen Worten: Das *Huygenssche Prinzip* kann sowohl die Reflexion, die Brechung als auch die Beugungs- und Interferenzerscheinungen des Lichtes erklären.

Dabei treten Interferenzerscheinungen nur dann auf,

- ✓ wenn der Spalt bzw. das Hindernis⁸⁹⁵ nur ein wenig größer ist wie die Wellenlänge des Lichtes:

$$\text{Breite} > \text{Wellenlänge} \quad \text{bzw.} \quad b > \lambda.$$

- ✓ Ist jedoch der Spalt bzw. das Hindernis gleich groß oder kleiner als die Wellenlänge des jeweiligen Lichtes:

⁸⁹² GREINER 2002, S. 471

⁸⁹³ „Newton, der auch die Möglichkeit einer mechanischen Wellentheorie des Lichtes in Erwägung gezogen hatte, meinte, daß weder mit dieser noch mit der mechanischen Korpuskeltheorie alle optischen Erscheinungen zu erklären seien. Daher verwarf er die Wellentheorie und ließ die mit der Korpuskeltheorie nicht zu beantwortenden Fragen offen.“ VOLTAIRE 1997, S. 55

⁸⁹⁴ vgl. dazu WAGNER/REISCHL/STEINER 2010, S. 424-428

⁸⁹⁵ Dabei besagt das *Babinetsche Prinzip*, dass wenn ein Spalt oder ein Hindernis gleich groß sind, dann erzeugen sie dieselben Beugungs- bzw. Interferenzerscheinungen.

$$\text{Breite} \leq \text{Wellenlänge} \quad \text{bzw.} \quad b \leq \lambda,$$

dann ist die Beugung derart stark, dass wir gar keine Interferenzmuster mehr sehen können.

Diese Grenze ist ganz einfach zu zeigen. Sobald das Hindernis oder der Spalt so klein wird, wie die Wellenlänge des Lichtes, dann wird das Intensitätsminimum 1. Ordnung bereits um 90° gebeugt wird. Das sagt uns die Formel (für die Intensitätsminima beim Einzelspalt)⁸⁹⁶:

$$\sin\alpha = k \cdot \frac{\lambda}{b}$$

Für die 1. Ordnung haben wir für $k = 1$, außerdem nehmen wir eben an, dass $\lambda = b$ und erhalten für unsere Gleichung

$$\sin\alpha = 1 \cdot 1 = 1$$

Und wie wir sicher wissen ist nur $\sin 90^\circ = 1$.

2. Wenn die Hindernisse oder Spalten viel größer sind als die Wellenlänge des jeweiligen Lichtes,

$$\text{Breite} \gg \text{Wellenlänge} \quad \text{bzw.} \quad b \gg \lambda,$$

dann kommt es zu keinen Beugungserscheinungen mehr.

Auch das zeigt uns die Formel

$$\sin\alpha = k \cdot \frac{\lambda}{b}$$

Es ist einleuchtend, dass das Hauptmaximum (= 0. Ordnung) genau so breit ist, bis es links und rechts an die Intensitätsminima 1. Ordnung anstößt. Das bedeutet die Breite des Hauptmaximums können wir beschreiben als

$$\text{Breite des Hauptmaximums} = 2 \cdot k \cdot \frac{\lambda}{b},$$

wobei wir $k = 1$ einzusetzen haben.

Wenn die Wellenlänge nun gegenüber der Breite des Hindernisses bzw. Spaltes sehr klein ist, so geht der Bruch auf der rechten Seite gegen 0:

$$\text{wenn } b \gg \lambda, \quad \text{dann } \frac{\lambda}{b} \rightarrow 0$$

⁸⁹⁶ Für die Ordnungen des Intensitätsmaximas hätten wir dann die Formel:

$$\sin\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{b},$$

Beim Doppelspalt sind die Formeln genau anders herum. Die Formel für das Intensitätsmaximum, welche wir beim Einzelspalt benutzen, wird beim Doppelspalt fürs Intensitätsminimum benutzt usw. Dabei wird aber unter b nicht die Spaltbreite, sondern der Spaltabstand verstanden.

Dann erhalten wir aber für

$$\text{Breite des Hauptmaximums} = \sin\alpha = 0$$

Und da wir wissen, dass $\sin(0) = 0$, erhalten wir $\alpha = 0$.

Das heißt: Die Breite des Hauptmaximums wird 0, oder mit anderen Worten *unendlich* schmal.

Und das ist ganz genau das, was die Strahlenoptik bzw. die *geometrische* Optik von uns verlangt – beispielsweise, wenn sich das Licht durch (große) Öffnungen bewegt –, nämlich eine *geradlinige* Ausbreitung. Im Grenzfall $b \gg \lambda$ können wir also getrost die geometrische Optik benutzen.

Natürlich verschwinden bzw. fallen dabei auch alle Intensitätsmaxima auf die 0. Ordnung zusammen. Denn, wenn wir für die Intensitätsmaxima (beim Einzelspalt) die Formel

$$\sin\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{b}$$

benutzen, dann können wir für k einsetzen was wir wollen und erhalten dennoch 0° für die Ausbreitungsrichtung.

An Hand dieses Beispiel können wir sogleich die beiden Bedingungen für ein Korrespondenzprinzip erfüllen:

1. Die Menge der Voraussagen des Wellenmodells sind größer als die Menge der Voraussagen der geometrischen bzw. Strahlenoptik: $V_B > V_A$.
2. Die Wellenoptik geht bei Hindernissen bzw. Spalten, welche viel größer sind als die jeweilige Wellenlänge des Lichtes, in geometrische bzw. Strahlenoptik über: $\lim_{b \gg \lambda} V_B = V_A$

Und genau genommen sieht man diese zwei Bedingungen auch bei Newton erfüllt:

1. Er zeigt durch hinzufügen seiner letzten Definition, dass man die geometrische Optik durch periodische Elemente der Wellenoptik zu erweitern hat.
2. Und Newton erkennt, dass die Wellenoptik bei makroskopischen Objekten – wie beispielsweise bei Hindernissen – keine Rolle spielt.

Newton konnte sich zwar des Korrespondenzprinzips nicht bedienen, welches wir gerade erläutert haben. Dennoch sind seine Schritte vom theoretischen Gesichtspunkt aus sehr sauber gewählt, da sie die Bedingungen des Korrespondenzprinzips erfüllen. Seine Schritte sind sogar derart folgerichtig für die damalige Zeit, dass Walter Greiner schreibt: „Es ist bemerkenswert, daß sich die vollständige Klärung der *Wellennatur* und der *Periodizität* des Lichtes über fast 150 Jahre von 1675 bis ungefähr

1820 erstreckte. Man brauchte sehr lang, um einzusehen, daß Wellennatur und Periodizität zusammen gehören.⁸⁹⁷

Dabei wird uns aber eines ganz deutlich: Newton hatte kein großes Problem die Grenzen zwischen der Wellenoptik und der geometrischen Optik zu ziehen. Er führte bei jenen Experimenten, wo die Beugungserscheinungen auftauchten, die Welleneigenschaften wieder ein.

Das Problem, welches Newton hatte, war: Das Nicht-ziehen-können einer Grenze zwischen dem Teilchen und dem Wellenmodell! Also das Nicht-falsifizieren-können einer dieser Hypothesen. Wodurch er den Widerspruch (Welle-Teilchen-Dualismus) in seine Lehre der Optik aufnimmt.

Deshalb hat man besonders als Leser des 3. Buchs von **Optik** heute das Gefühl, als ob Newton es geahnt hätte, dass sich aus dieser Unstimmigkeit zwischen seiner Korpuskulartheorie und dem experimentell nachweisbaren Interferenzmuster, welches auf eine Wellentheorie hinweist, eine ganz neue Theorie ergeben wird.

So schreibt er nämlich als eine Überleitung von seinen Beobachtungen der Interferenzmuster hin zu den 31 Fragen, welche seine **Optik** dann abschließen, folgendes:

„Als ich diese Beobachtungen anstellte, war es meine Absicht, die meisten von ihnen mit noch grösserer Sorgfalt und Genauigkeit zu wiederholen und noch einige neue anzustellen, um die Art und Weise zu bestimmen, wie die Lichtstrahlen beim Vorübergange an den Körper gebeugt werden, wenn sie die Farbensäume mit den dunklen Linien dazwischen bilden. Aber damals wurde ich unterbrochen und jetzt kann ich nicht daran denken, diese Untersuchungen wieder vorzunehmen. Weil ich nun diesen Theil meiner Arbeit unvollendet gelassen habe, so will ich damit schliessen, nur einige Fragen⁸⁹⁸ vorzulegen, damit Andere den Gegenstand weiter untersuchen.“⁸⁹⁹

Diese Zeilen Newtons zeigen, dass er versucht sich mit Hilfe der Theory of Mind, in einen objektiven Wissenschaftler hinein zu versetzen, welche dieses Problem auch in Zukunft bemerken und genauer untersuchen werden (können). Sein Werk über die Optik ist deshalb mehr eine Botschaft und weniger eine Überzeugungsarbeit. Es ist ein Aufruf, dass hier ein Konflikt auf eine Aufklärung wartet.

Dieser *innere Konflikt* Newtons, der entsteht, weil er für die Erklärung der Phänomene der Optik, sowohl die *Wellenlänge* des Lichts (bzw. dessen *periodische Eigenschaft*), als auch den Teilchenbegriff für seine Beschreibungen benutzen muss, wird besonders in folgendem Absatz

⁸⁹⁷ GREINER 2002, S. 470

⁸⁹⁸ Schon die ersten beiden Fragen zeigen, dass die Auflösung dieses Problems sehr am Herzen liegt:

„Frage 1. Wirken nicht die Körper schon aus einiger Entfernung auf das Licht und beugen dadurch seine Strahlen? Und ist nicht, unter sonst gleichen Umständen, diese Einwirkung bei der kleinsten Entfernung am stärksten?

Frage 2. Sind nicht die Strahlen von verschiedener Brechbarkeit auch verschieden beugbar, und werden sie nicht durch ihre verschiedene Beugung so von einander getrennt, dass sie die Farben der oben beschriebenen Säume hervorrufen? Und in welcher Weise werden sie gebeugt, um diese Farbensäume zu bilden?“ NEWTON 1983, S. 223

⁸⁹⁹ NEWTON 1983, S. 223

Bereits im Vorwort der ersten Auflage schreibt er: „Auch den Inhalt des 3. Buchs habe ich noch unvollendet gelassen, da ich nicht alle über diesen Gegenstand beabsichtigten Versuche angestellt, noch auch einige der wirklich ausgeführten wiederholt habe, nachdem ich über die obwaltenden Umstände zu befriedigender Klarheit gelangt war. Meine ganze Absicht bei Veröffentlichung dieser Blätter ist, meine Versuche mitzutheilen und die übrigen zu weiterer Untersuchung Anderen anheimzugeben.“ NEWTON 1983, S. 4

deutlich: „Ich untersuche hier nicht, worin dieses Verhalten oder diese Disposition besteht, ob in einer kreisförmigen oder einer schwingenden Bewegung des Strahles oder des Mediums, oder worin sonst. Wer nicht gewillt ist, irgend einer neuen Entdeckung zuzustimmen, ausser wenn er sie durch eine Hypothese zu erklären vermag, möge vorläufig annehmen, dass ebenso, wie auf Wasser fallende Steine dasselbe in Wellenbewegung versetzen und alle Körper durch Stösse Schwingungen in der Luft erregen, ebenso die Lichtstrahlen, die auf eine brechende oder reflectierende Fläche fallen, in dem brechenden oder reflectirenden Medium Schwingungen hervorrufen [...]. Ob aber diese Hypothese richtig oder falsch ist, will ich hier gar nicht untersuchen; ich begnüge mich einfach, gefunden zu haben, dass die Lichtstrahlen durch irgend eine Ursache, welches es auch sei, in zahlreichen, wechselnden Aufeinanderfolgen die Fähigkeit oder die Neigung erhalten [are disposed], reflectiert oder gebrochen zu werden.“⁹⁰⁰

*Hier schließt sich – wie wir mehrmals in dieser Arbeit betont haben – somit für Newton wieder ein Kreis! Zusammenfassend können wir wiederholen: Gleich zu Beginn gibt Newton eben seine Definitionen. So steht unter „1. Definition. Unter Lichtstrahlen verstehe ich die kleinsten Theilchen des Lichts, [...]“⁹⁰¹ Dieser werden noch 7 weitere Definitionen folgen, so dass es zu Beginn *insgesamt 8 Definitionen* bereit stehen. Dann erst *nach 180 Seiten* später finden wir dann **die letzte Definition**, der er keine Nummer geben will. Sie geht folgendermaßen: „Die periodisch wiederkehrende Disposition eines Strahles, reflectiert zu werden, will ich Anwendung leichter Reflexion nennen, die wiederholt eintretende Disposition, durchgelassen zu werden, Anwendung leichten Durchganges, und den Zwischenraum zwischen einer Wiederkehr und der nächstfolgenden das Intervall der Anwendungen.“⁹⁰²*

*Wir können deutlich erkennen, dass Newton versucht mit der **ersten** und der **letzten Definition** sowohl die Teilcheneigenschaft als auch die Welleneigenschaft des Lichtes miteinander in Einklang zu bringen.*⁹⁰³ Newton kommt sogar dem Wesen der Pfadintegralmethode von Feynman sehr nahe – wenn wir von ein paar seiner Fehlschätzungen absehen.

Der Vergleich Newtons Optik mit der Optik anderer Naturwissenschaftler seiner Zeit.

Newton als einen Pionier der Quantentheorie darzustellen ist natürlich sehr spekulativ, obwohl eben, wie oben gezeigt, man einige seiner Textstellen in diese Richtung interpretieren könnte. Er selbst stellte insbesondere die Frage, ob man nicht alles, somit auch die Optik, mit dem Prinzip der Anziehung und Abstoßung erklären könnte – auch wenn sie unterschiedlich stark und weit wirkten. So erklärt Newton (indirekt) natürlich die *Anziehung und Abstoßung* der Körper zum *universellen Prinzip*. Mit ihr kann er bereits das Fallen der Körper, das Entstehen von Ebbe und Flut, die Planetenbahnen usw. erklären.⁹⁰⁴ Nun denkt er sich, ob damit nicht auch die Reflexion, die Brechung oder gar die Beugung beschreibbar wären.⁹⁰⁵ (Einen guten Grund dafür sieht Newton zu recht darin,

⁹⁰⁰ NEWTON 1983, S. 184-185 (2. Buch, Pro. XII)

⁹⁰¹ NEWTON 1983, S. 5

⁹⁰² NEWTON 1983, S. 185

⁹⁰³ Der Einfluss von Hooke auf Newton spielt dabei natürlich eine außerordentlich bedeutsame Rolle. vgl. NEWTON 1983, S. 275, Fußnote 24

⁹⁰⁴ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 54

⁹⁰⁵ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 54

dass das Licht mit Körpern ohnehin wechselwirkt.⁹⁰⁶) *Historisch gesehen haben unter anderem Voltaire diese Überlegungen von Newton als bewiesen angesehen und erklärten es zu einem universellen Prinzip. (Gerade diese Verteidigung und Interpretation Newtons seitens Voltaire könnte der Grund gewesen sein, dass man Newtons Schritte in Richtung Welle-Teilchen-Dualismus später völlig übersah.)* So schreibt Voltaire: „Es geht nicht nur darum, die Ursache der Brechung, sondern die Ursache aller dieser unterschiedlichen Brechungen zu kennen. Hier haben die Philosophen alle Hypothesen aufgestellt und sich geirrt.“

Schließlich hat *Newton* als einziger die wirkliche Ursache gefunden, die gesucht wurde. Seine Entdeckung verdient ganz sicher die Beachtung aller Jahrhunderte. Denn es handelt sich hier nicht nur um eine dem Licht eigentümliche Eigenschaft, obwohl das schon viel gewesen wäre. Wir werden sehen, daß sich diese Eigenschaft auf alle Körper der Natur bezieht.⁹⁰⁷ Nach Voltaire hat Newton somit „*ein neues Princip entdeckt und bewiesen, das alle Bewegungen in der Natur bestimmt*“⁹⁰⁸, nämlich die Anziehung.⁹⁰⁹

Voltaire (und auch Newton) haben hier nicht Recht behalten – im Gegenteil. In den kommenden Jahrhunderten konnte man immer mehr experimentelle Beläge für die Wellentheorie finden – auch eine bessere mathematische Beschreibung entwickeln. (*Wir werden sogar sehen, dass diese Maxwellschen Wellengleichungen des Lichtes auch dann gelten, während die spezielle Relativitätstheorie deutlich zeigen konnte, dass die Newtonsche Mechanik nicht ganz stimmt.*)

Seine eigenen aber auch die Experimente von anderen bewahren Newton davor, zu große Fehler in der Optik zu vermeiden. Descartes Annahme, die Lichtausbreitung wäre instantan (bzw. unendlich schnell), hatte Romer bereits 30 Jahre vor der Erscheinung der **Optik** von Newton widerlegt.⁹¹⁰

⁹⁰⁶ Bei den Fragen 4 und 5 in der Optik ist das deutlich herauszulesen:

„Frage 4. Fangen nicht die Lichtstrahlen, welche auf die Körper fallen und reflectirt oder gebrochen werden, schon vor ihrem Auftreten an, gebeugt zu werden, und erfolgt eine und dieselbe Kraft, die nur unter verschiedenen Umständen sich verschieden äussert?“

Frage 5. Wirken nicht die Körper und das Licht gegenseitig auf einander ein, d.h. wirken nicht die Körper auf das Licht, indem sie es aussenden, zurückwerfen, brechen und beugen, und das Licht auf die Körper, indem es sie erwärmt und ihre Theilchen in diejenige vibrierende Bewegung versetzt, in der die Wärme besteht?“ NEWTON 1983, S. 223-224; vgl. dazu VOLTAIRE 1997, S. 54

⁹⁰⁷ VOLTAIRE S. 151

Auf der Seite 62 (VOLTAIRE 1997) können wir lesen: „Voltaire suchte nach einer vollständigen Erklärung der Welt und glaubte, sie in der Newtonschen Physik gefunden zu haben.“

⁹⁰⁸ zitiert nach VOLTAIRE 1997, S. 54; Vgl. auch VOLTAIRE 1997, S. 158

⁹⁰⁹ vgl. VOLTAIRE 1997, S. 54, 152.

Wichtig ist – und das wird von den meisten Lesern übersehen – dass weder Newton noch Voltaire meinen, dass hier die bekannte Gravitationskraft gilt. Der Gedankengang ist wohl eher der, dass man weiß, dass Massen sich anziehen, und auch Magnete sich anziehen; wieso sollte es dann nicht auch so sein, dass alle Erscheinungen in der Natur von diesem Phänomen betroffen sind. Beispielsweise schreibt Voltaire: „Wir werden bald zeigen, daß es eine offensichtliche Anziehung zwischen der Sonne und den Planeten, ein gegenseitiges Streben aller Körper zueinander, gibt. Wir wollen jedoch schon hier vorweg sagen, daß diese Anziehung, durch die sich die Planeten um unsere Sonne bewegen, keinesfalls im gleichen Verhältnis wie die Anziehung der kleinen Körper, die sich berühren, wirkt. Wahrscheinlich handelt es sich dabei sogar um Anziehung absolut anderer Art.“ VOLTAIRE 1997, S. 154

⁹¹⁰ Newton schreibt: „Die Mathematiker betrachten gewöhnlich die Lichtstrahlen als Linien, die von leuchtenden Körper bis zum erleuchteten reichen, und die Refraction solcher Strahlen als Biegung oder Brechung dieser Linien bei ihrem Uebergange aus einem Medium in ein anderes. In dieser Weise mögen wohl Strahlen und Brechung aufgefasst werden können, wenn die Ausbreitung des Lichts eine augenblickliche ist. Aber aus der Vergleichung der Zeiten bei den Verfinsterungen der Jupitertrabanten ergibt sich ein Grund dafür, dass die Ausbreitung des Lichts Zeit erfordert, indem es von der Sonne bis zur Erde etwa 7 Minuten

Dadurch wurde diese Vorstellung von Descartes natürlich zu recht aufgegeben. **Doch dort wo noch experimentelle Daten fehlten, folgt Newton Descartes' Irrtümern – nämlich, dass das Licht in einem dichteren Medium schneller unterwegs ist.**

Wir wollen an dieser Stelle noch kurz die unterschiedlichen Modelle des Lichtes dieser genialen Physiker jener Zeit in Form einer Tabelle wiedergeben:

Theorie des Lichtes	Descartes	Fermat	Newton	Huygens
Licht als Teilchen	NEIN!	--	JA! (Aber teilweise mit Welleneigenschaften.)	NEIN!
Licht als Welle	JEIN!	--	NEIN! ⁹¹¹	JA!
Farben ⁹¹²	Entsteht durch die Drehung bzw. Spin der Körper des Äthers. ⁹¹³		Von der „Brechbarkeit“ abhängig.	
Optimierungsprinzip ⁹¹⁴	NEIN!	JA!	JEIN!	--

braucht; deshalb habe ich für gut befunden, Lichtstrahlen und Brechungen so allgemein zu definieren, dass sie auf das Licht in jedem Falle passen.“ NEWTON 1983, S. 5-6 (1. Buch, 2. Definition)

⁹¹¹ Newton schreibt dazu: „Wenn das Licht nur in Druck ohne thatsächliche Bewegung bestünde, so könnte es die Körper, von denen es zurückgeworfen oder gebrochen wird, nicht durch Erregung [ihrer Theilchen] erwärmen. Wenn es eine im Augenblick durch alle Entfernungen fortgepflanzte Bewegung wäre, so würde jeden Augenblick in jedem leuchtenden Theilchen eine unendliche grosse Kraft erforderlich sein, diese Bewegung zu erzeugen. Wenn es in einem Druck oder einer Bewegung bestünde, die sich zeitlich oder augenblicklich fortpflanzten, so müsst es nach dem Schatten umbiegen; denn Druck oder Bewegung können sich in einem Fluidum nicht in geraden Linien an einem Hinderniss, welches einen Theil dieser Bewegung aufhält, vorüber bewegen, ohne in das ruhende Medium hinter dem Hindernisse gebeugt und ausgebreitet zu werden.“ NEWTON 1983, S. 239 Weiter schreibt er: „Auch die Wellen, Stösse und Schwingungen der Luft, die den Schall bilden, werden offenbar gebeugt, wenn auch nicht so stark wie Wasserwellen. Denn eine Glocke oder eine Kanone hört man hinter einem Hügel, der den tönenden Körper nicht erblicken lässt, und Töne verbreiten sich ebenso leicht in krummen, wie in geraden Pfeifen. Aber vom Lichte bemerken wir niemals, dass es krumme Bahnen verfolgt, noch in den Schatten einbiegt.“ NEWTON 1983, S. 239

⁹¹² Voltaire bringt Descartes und Newtons Sichtweisen gut auf den Punkt: „Da Descartes also nicht ahnen konnte, daß die Farben von der Brechbarkeit der Strahlen abhängen, daß jeder Strahl in sich eine Grundfarbe enthält, daß die unterschiedliche Anziehung dieser Strahlen ihre Brechbarkeit ausmacht und die Ablenkung bewirkt, die die verschiedenen Winkel bilden, überließ er sich seinem Erfindergeist, um die Farben des Regenbogens zu erklären. Er benutzte hier die imaginäre Drehung der Kügelchen und das Streben zur Drehung und lieferte damit ein Zeugnis für sein Genie, aber auch das Zeugnis eines Irrtums. So stellte er sich zur Erklärung der Systole und der Diastole des Herzens eine Bewegung und eine Anordnung dieses Organs vor, deren Fehlerhaftigkeit von allen Anatomen erkannt wurde. Descartes wäre der größte Philosoph der Erde gewesen, wenn er weniger erfunden hätte.“ VOLTAIRE 1997, S. 164-165

⁹¹³ „[...] ich habe in diesen Büchern aufgezeigt, daß das, wodurch wir das Licht wahrnehmen, nur auf dem Stoß der Materie des zweiten Elementes beruht, die sich, wie ich gesagt habe, aus vielen kleinen Kugeln zusammensetzt, die sich untereinander berühren. Wir können ferner zwei Bewegungen dieser Kugeln wahrnehmen, eine, durch die sie geradlinig auf unsere Augen zukommen, was uns nur das Gefühl des Lichtes vermittelt, und die andere, durch die sie sich gleichzeitig um ihre Mittelpunkte drehen. Wenn sie sich viel weniger schnell drehen, als sie sich geradlinig bewegen, dann erscheint uns der Körper, von dem sie kommen blau, und wenn sie sich viel schneller drehen, erscheint er uns rot.“ DESCARTES 1969, S. 166-167; vgl. dazu auch VOLTAIRE 1997, S. 155

⁹¹⁴ Schon Kepler schreibt: „Die Natur liebt die Einfachheit, sie liebt die Einheit. Nichts ist in ihr je untätig oder überflüssig; ja nicht selten wird ein Ding von ihr zu vielerlei Wirkungen ausersehen“. BIALAS 2004, S. 102

Kritik an Newtons Optik

Voltaire schreibt: „Der Ausdruck "Brechbarkeit" wurde ebenso beanstandet wie der Ausdruck "Anziehung", "Gravitation". Aber was liegt schon am Ausdruck, wenn er nur eine Wahrheit ausdrückt.“⁹¹⁵ Wir wollen uns nun diese *Wahrheit* genauer ansehen.

Newton hat mit seinen Entdeckungen der Spektralfarben natürlich auch das Snellius-(Descartessche)-Gesetz besser bzw. genauer interpretieren können. Er schreibt: „Die neueren Schriftsteller über Optik lehren, dass die Sinus des Einfalls zu den Sinus der Brechung in gegebenem Verhältnisse stehen, wie im 5. Axiom auseinandergesetzt wurde, und einige, die dieses Verhältniss mit Instrumenten zur Messung der Brechung oder durch sonstige Versuche geprüft haben, sagen, sie hätten dieses Verhältniss ganz genau gefunden. Das sie aber die verschiedene Brechbarkeit der verschiedenen Strahlen nicht kennen und meinen, sie würden sämtlich nach einem und demselben Verhältnisse gebrochen, so ist anzunehmen, dass sie ihre Messungen nur auf die mittleren Strahlen des gebrochenen Lichts erstreckt haben, so dass wir aus ihren Messungen nur schliessen können, dass die Strahlen, die einen mittleren Grad von Brechbarkeit besitzen, d.h. die ohne die übrigen grün erscheinen, nach einem gegebenen Verhältnis der Sinus gebrochen werden. Deshalb haben wir jetzt zu zeigen, dass ähnliche gegebene Verhältnisse bei den übrigen herrschen. Es ist ja sehr glaublich, dass sich die so verhält, da die Natur immer gleichförmige Gesetze beobachtet, aber dennoch ist ein experimenteller Nachweis wünschenswerth. Einen solchen Beweis werden wir haben, wenn wir zeigen können, dass die Sinus der Brechung der verschiedenen brechbaren Strahlen zu einander in gegebenem Verhältnisse stehen, wenn die zugehörigen Sinus des Einfalls einander gleich sind.“⁹¹⁶ So kann er das Snellius-(Descartessche)-Gesetz genauer bestätigen.⁹¹⁷

Seltsam ist, dass Newton meint, dass die Brechungseigenschaften der Lichtstrahlen unabhängig von der Substanz der Prismen ist, was nicht wirklich Sinn macht. (Man machte ihn aufgrund von Experimenten mit anderen Prismen darauf aufmerksam⁹¹⁸; doch er gab nicht nach.) So meint er: „Uebrigens verursachte weder die verschiedene Grösse der Oeffnung im Fensterladen, noch die verschiedene Dicke des Prismas an der Stelle, wo die Strahlen hindurchgingen, noch aus eine verschiedene Neigung des Prismas gegen den Horizont merkliche Aenderungen in der Länge des Bildes. Ebenso wenig die verschiedene Substanz, aus der das Prisma bestand; denn in einem Gefässe aus geschliffenen, in Gestalt eines Prismas zusammengekitteten Glasplatten, welches mit Wasser gefüllt wurde, trat derselbe Erfolg des Experiments hinsichtlich der Stärke der Brechung ein.“⁹¹⁹ (Leonhard Euler, der an eine longitudinale Wellentheorie des Lichts glaubt, wird Newton dann später widerlegen.)⁹²⁰

⁹¹⁵ VOLTAIRE 1997, S. 157

⁹¹⁶ NEWTON 1983, S. 51

⁹¹⁷ Newton schreibt: „Wenn also das Verhältniss des Sinus des Einfalls zum Sinus der Brechung in einem Falle für irgend eine Strahlenart gefunden ist, so ist es auch in allen anderen Fällen bekannt; [...]“ NEWTON 1983, S. 55

⁹¹⁸ „Newton hatte, wie aus den angegebenen Dimensionen seines Spectrums hervorgeht, sicherlich immer Prismen von sehr gutem, stark zerstreuem Glase und ist beharrlich bei der Meinung geblieben, dass das Brechungs- und Dispersionsvermögen von der Substanz des Prismas unabhängig sei, selbst als ihm *Gervase Lucas* in Lüttich, dessen Prismen von geringerem Glase waren, entgegnete das Spectrum sei nur dreimal so lang als breit (vgl. *Oldenburgs* Brief an *Boyle* vom 13. März 1666). Dadurch entging *Newton* die Entdeckung der Achromasie.“ NEWTON 1983, S. 271, Fußnote 4

⁹¹⁹ NEWTON 1983, S. 21-22

⁹²⁰ vgl. GREINER 2002, S. 519

Würde Newton dem Pfad von Fermat folgen, wäre ihm dieses Urteil wohl allgemein erspart geblieben. Doch es ist ersichtlich, dass Newton vom Fermatschen Prinzip gar keinen Gebrauch macht. *So bleibt er auf den physikalisch unrichtigen Spuren von Descartes und Hooke und glaubt auch, dass die Lichtstrahlen in dichteren Medien schneller werden.* Diese Sichtweise wird zum ersten Mal gerade in jenem Kapitel deutlich, wo er das Snellius-(Descartessche)-Gesetz zu behandeln versucht.⁹²¹ Später (im dritten Teil des zweiten Buchs) schreibt er: „Wenn das Licht in den Körpern schneller ist, als im leeren Raume, und zwar im Verhältniss der die Brechung der Körper messenden Sinus, so sind die das Licht reflectierenden und brechenden Kräfte der Körper den Dichten derselben nahezu proportional, mit Ausnahme von der fettigen⁹²² und schwefeligen Körper, welche stärker brechen, als andere von gleicher Dichte.“⁹²³

Newton könnte also, wenn er wollte, natürlich hier auf die Methode von Fermat zurückgreifen, um auf das Snellius-Fermatsche-Gesetz zu kommen. Doch er tut es nicht.

Da Newton die Wellenlänge des Lichtes als solches nicht anerkennt, kann er den Zusammenhang von der Wellenlänge des Lichtes und der Brechung – der Fachbegriff dafür ist Dispersion – gar nicht erkennen. (Genau genommen ist das Charakteristische für die Entstehung der Spektralfarben nicht die Wellenlänge, sondern eigentlich die Frequenz $f = \frac{c}{\lambda}$, da sowohl die Ausbreitungsgeschwindigkeit als auch die Wellenlänge des Lichts beim Übergang in ein anderes Medium sich ändert – die Frequenz im normal Fall dagegen nicht. Wir wollen hier nicht jedoch weiter darauf eingehen.)⁹²⁴

So macht es bei Newton sogar den Anschein, als ob das **rote Licht**⁹²⁵, gegenüber dem **blauen Licht**⁹²⁶ *stärker bzw. kräftiger* wäre, da es nicht so leicht *bricht*. Denn über die Brechung schreibt Newton: „*Brechbarkeit* der Lichtstrahlen ist ihre Fähigkeit, beim Uebergange aus einem durchsichtigen Körper oder Medium in ein anderes gebrochen oder von ihrem Wege abgelenkt zu werden. Grössere oder geringere Brechbarkeit ist ihre Fähigkeit, bei gleichem Auftreffen auf das nämliche Medium mehr oder weniger von ihrem Wege abgelenkt zu werden.“⁹²⁷ Oder um einiges deutlicher schreibt er in der Frage 29, wobei er versucht die Welleneigenschaft des Lichts, geschickt umzudeuten: „Um alle Verschiedenheiten in den Farben und den Graden der Brechbarkeit hervorzubringen, ist nichts weiter erforderlich, als [die Annahme], dass die Lichtstrahlen aus Körperchen von verschiedener Grösse bestehen, von denen die kleinsten das Violett erzeugen, die schwächste und dunkelste der Farben, welche auch am leichtesten durch brechende Flächen vom geradlinigen Wege abgelenkt wird, und von denen die übrigen in dem Maasse, wie sie grösser und grösser werden, die stärkeren und leuchtenderen Farben, Blau, Grün, Gelb und Roth bilden und immer schwerer abgelenkt werden. Um die Lichtstrahlen in die Anwandlungen leichter Reflexion und leichten Durchganges zu versetzen, ist

⁹²¹ vgl. NEWTON 1983, S. 54

Schon in der *Principia* steht: „die Geschwindigkeit des Körpers vor dem Eintritte verhält sich zu der nach dem Austritte, wie der Sinus des Austrittswinkels zum Sinus des Einfallswinkels“. zitiert nach NEWTON 1983, S. 272, Fußnote 7

⁹²² Mit „fettigem Körper“ meint er beispielsweise den Diamanten. So schreibt er: „[...] und die des Diamants, der wahrscheinlich eine fettige Substanz in geronnenem Zustande ist, [...]“NEWTON 1983, S. 180

⁹²³ NEWTON 1983, S. 177

⁹²⁴ vgl. SEXL (7) 2012, S. 31-32

⁹²⁵ Das rote Licht hat in etwa eine Frequenz von 460-400 THz. (bzw. ca. eine Wellenlänge von 650-750 nm).

⁹²⁶ Das blaue Licht hat in etwa eine Frequenz von 715-610 THz (bzw. ca. eine Wellenlänge von 420-490 nm).

⁹²⁷ NEWTON 1983, S. 5; vgl. auch NEWTON 1983, S. 181 und NEWTON 1983, S. 224

Bei Voltaire ist es noch deutlicher zu lesen: „Der Strahl, der die geringste Kraft zur Fortsetzung seines Weges, die geringste Stabilität, die geringste Substanz aufweist, weicht in der Luft stärker von der Senkrechten des Prisma ab.“ VOLTAIRE 1997, S. 156

nichts weiter erforderlich, als dass sie kleine Körper sind, welche da, wo sie auftreten, durch ihre anziehenden oder durch sonstige Kräfte Schwingungen erregen, welche schneller fortschreiten, als die Strahlen, sie allmählich überholen und sie zu grösserer und geringerer Geschwindigkeit antreiben und sie dadurch in jene Anwandlungen versetzen.“⁹²⁸ Man erkennt hier deutlich, dass Newton die **Gesetz der Kräfte** in der Optik anwendet. *Heute wissen wir, dass das rote Licht aufgrund der Brechung, wie Fermat es wohl sagen würde, sich schneller als der blaue Lichtstrahl durch das Medium (z.B. Glas) bewegt.* Betrachten wir das Ganze dann aus der Sicht der Wellentheorie der Optik, dann gehen wir selbstverständlich davon aus, **dass die Frequenz direkt proportional zur Energie der Lichtstrahlen ist. Deshalb ist auch die Energie des blauen Lichtes *beinahe* doppelt so groß, wie die des roten.** Durch Experimente kann man auch zeigen, dass das blaue Lichtteilchen in der Tat mehr Energie besitzt als das rote. *Newtons Ansichten über die Stärke der Lichtteilchen können insofern keine Gültigkeit beanspruchen.*

Wir möchten unsere Erkenntnis in einer Tabelle wiedergeben:

Eigenschaften des Lichts bei der Brechung:	Descartes (und Hooke)	Fermat	Newton
Im dichteren Medium ist das Licht schneller.	JA!	<u>Nein!</u> (Hat sich experimentell bewährt.)	JA!
Die Lichtstrahlen, welche am wenigsten gebrochen werden, sind in diesem Medium schneller unterwegs.	--	<u>JA!</u> (Hat sich experimentell bewährt.)	JEIN!
Die Lichtstrahlen, welche am wenigsten brechen, haben am meisten „Stärke“.	--	--	JA!

In den obigen Zeilen von Newton sieht man auch, dass sich seine Hypothese geändert hat. Da natürlich damals jede experimentelle Feststellung fehlt, glaubt Newton in seiner **Optik** zuerst noch, dass diese Schwingungen, auf irgendeine Weise den Lichtteilchen mitgegeben wurden. Einige Seiten weiter schreibt er, wie wir lesen konnten, dass die Schwingungen dem Licht womöglich vorausgehen.⁹²⁹

Zusammenfassend können wir sagen, dass Newton aufgrund noch fehlender experimenteller Methode und theoretischer Erkenntnisse einige Welleneigenschaften des Lichts nicht kennen bzw. wissen konnte. (Man sagt auch oft, dass sich gerade wegen Newton die Entwicklung der Wellentheorie hinauszögerte.⁹³⁰ „Erst nach 1800 wurde die Wellentheorie des Lichtes weiter vorangetrieben.“⁹³¹) Die größten Errungenschaften möchten wir kurz auflisten⁹³²:

- ❖ Thomas Young erklärt die *Interferenzerscheinungen* mit Hilfe von *periodischen Wellen*. (1801)

⁹²⁸ VOLTAIRE 1997, S. 246 (3. Buch, Frage 29)

⁹²⁹ vgl. dazu VOLTAIRE 1997, S. 276-277, Fußnote 34

⁹³⁰ vgl. GREINER 2002, S. 470-471

⁹³¹ vgl. GREINER 2002, S. 471

⁹³² vgl. GREINER 2002, S. 471-472

- ❖ Augustin Jean Fresnel (1788-1827) konnte mit dem *Huygensschen Prinzip* die *Beugungs- und Interferenzerscheinungen* erklären. (Auch Fraunhofer trug einiges dazu bei!)
- ❖ Etienne-Louis Malus (1775-1812) entdeckt – wie Newton bereits vermutete – *Polarisationseigenschaften* des Lichtes. (1808)
- ❖ Fresnel entdeckt, dass das Licht nicht die Eigenschaften einer longitudinalen Welle, sondern die einer *transversalen Welle* besitzt (etwa 1821).⁹³³ (Bei ihm steht jedoch die Schwingungsebene senkrecht auf die Polarisationsebene. Erst bei Franz Ernst Neumann (1798-1895) fallen *Schwingungs-* und *Polarisationsebene* zusammen.)
- ❖ Michael Faraday (1791-1867) vermutet, dass das Licht die Eigenschaften einer *elektromagnetischen Welle* hat. James Clerk Maxwell (1831-1879) baut darauf eine gut mathematisch formulierte Theorie auf (, welche man auch als die *Gründung der Feldphysik* betrachten kann) und Heinrich Hertz (1857-1894) kann es dann auch schließlich experimentell bestätigen.⁹³⁴
- ❖ Die Wissenschaftler erkennen, dass die *elektromagnetische Welle nicht mechanisch* zu begreifen ist. Man hört (nach und nach) auf Lichtwellen als mechanische Ätherwellen zu beschreiben.

Ob Newton mit dem Fortschritt, den wir heute allgemein in Physik erreicht haben, zufrieden wäre, lässt sich schwer sagen, denn er schreibt die Aufgabe der Naturphilosophie sei „die Ursachen aus ihren Wirkungen abzuleiten, bis die wahre erste Ursache erreicht ist, die sicherlich keine mechanische ist, und nicht nur den Mechanismus der Welt zu entwickeln, sondern hauptsächlich Fragen zu lösen, wie die folgenden:

*Was erfüllt die von Materie fast leeren Räume, und woher kommt es, dass Sonne und Planeten einander anziehen, ohne dass eine dichte Materie sich zwischen ihnen befindet? Woher kommt es, dass die Natur nichts vergebens thut, und woher rührt all die Ordnung und Schönheit der Welt? [...]*⁹³⁵

Die offene Antwort von Newton auf alle diese Fragen lautet: „Und da dies Alles so wohl eingerichtet ist, *wird es nicht aus den Naturerscheinungen offenbar, dass es ein unkörperliches, lebendiges, intelligentes und allgegenwärtiges Wesen geben muss, welches im unendlichen Raume, gleichsam seinem Empfindungsorgane, alle Dinge in ihrem Innersten durchschaut und sie in unmittelbarer Gegenwart völlig begreift, Dinge, von denen in unser kleines Empfindungsorgan durch die Sinne nur die Bilder geleitet und von dem, was in uns empfindet und denkt, geschaut und betrachtet werden?* Und wenn uns auch jeder richtige, in dieser Philosophie gethane Schritt nicht unmittelbar zur Erkenntnis der ersten Ursache führt, bringt er uns doch dieser Erkenntniss näher und ist deshalb hoch zu schätzen.“⁹³⁶

Schon bei Aristoteles ist die *erste Ursache* das Hauptargument für Gott.⁹³⁷ Newton übernimmt sozusagen dessen Gedanken, dass Gott die Bewegung erzeugt (, ohne jedoch selbst in Bewegung zu

⁹³³ vgl. auch GREINER 2002, S. 469 und WINKELMANN, S. 557

⁹³⁴ vgl. auch GREINER 2002, S. 469

⁹³⁵ NEWTON 1983, S. 244

⁹³⁶ NEWTON 1983, S. 244

⁹³⁷ vgl. RUSSELL 1988, S. 187 f.

sein). Er nimmt somit im (zeitverzögerten) Dialog eine Gegenposition zu Descartes ein, der meint, die Bewegung sei im Universum stets konstant. Wir könnten an dieser Stelle natürlich sagen, diese philosophische Auseinandersetzungen betreffen nicht direkt die Physik, sondern die **Metaphysik**. Dennoch möchten wir uns kurz, schon wegen der gesunden Neugierde, auf diese Bühne „*hinter die Physik*“⁹³⁸ begeben.

⁹³⁸ Die Wörter *metá* und *phýsis* kommen aus dem griechischen und können mit „hinter“ und „Natur“ (bzw. „Physik“) übersetzt werden.

Die Götter der (klassischen) Physik

Schon bei Shakespear, dessen 450. *Geburtsjahr* wir heuer feiern, steht:

„Du, Natur, bist meine Gottheit;

Nur deinen Gesetzen gehorchen meine Dienste.“⁹³⁹

Mit diesen Zeilen (, die Shakespear seiner Figur Edmund in den Mund legt,) wird die Welt *neutralisiert* bzw. **objektiviert**. So gelingt es dem großen Meister der Tragödien, die Leser (mit ihrer Theory of Mind) in alle Figuren hineinzusetzen. Das *Gute* und das *Böse* wird relativiert⁹⁴⁰, an Hand der verschiedenen Perspektiven. So spricht es der Prinz Hamlet deutlich aus: „[...] denn an sich ist nichts weder gut noch böse, das Denken macht es erst dazu.“⁹⁴¹ Eine Erläuterung finden wir bei Spinoza: „Ein Ding für sich betrachtet, heißt weder *gut* noch *böse*, sondern nur in Rücksicht auf ein anderes, dem es hilft, das, was es liebt, zu erlangen oder umgekehrt; deshalb kann ein und dieselbe Sache je nach verschiedenen Rücksichten gut und böse genannt werden.“⁹⁴²

Das bedeutet das *objektive* Denken bzw. Verstehen wertet eigentlich prinzipiell *nicht in qualitativen Kategorien* sondern in *quantitativen*. Um die Natur objektiv zu begreifen, dürfen wir sie deswegen nicht als *gut* oder *böse* verurteilen, sondern nur mit den Methoden der Mathematik. So schreibt bereits Galilei (über Wahrheiten, die der menschliche Intellekt vollkommen begreifen kann): „Dahin gehören die rein mathematischen Erkenntnisse; nämlich die Geometrie und die Arithmetik. Freilich erkennt der göttliche Geist unendlich viel mehr mathematische Wahrheiten, denn er erkennt sie alle. Die Erkenntnisse der wenigen aber, welche der menschliche Geist begriffen, kommt meiner Meinung an objektiver Gewißheit der göttlichen Erkenntnis gleich; denn sie gelangt bis zur Einsicht ihrer Notwendigkeit, und eine höhere Stufe der Gewißheit kann es wohl nicht geben.“⁹⁴³ (Er betont an verschiedenen Stellen seines Buches, dass er mit dieser Ansicht mehr Platon folgt als Aristoteles.)⁹⁴⁴

Dennoch wird Gott von verschiedenen Wissenschaftlern (in der Geschichte der Physik) unterschiedlich thematisiert. Ist das aber nicht mehr eine Aufgabe der Theologie, als die der Naturwissenschaften?

Feuerbach schreibt bekanntlich, „daß das *Geheimnis der Theologie die Anthropologie* ist“⁹⁴⁵. Vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus gesehen, kann man dieser Sichtweise wohl schwer etwas

⁹³⁹ (Frei übersetzt von Eren Simsek. Eine *ähnliche* Übersetzung befindet sich auch im HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 49)

Im Original heißt es:

„Thou, nature, art my goddess; to thy law
My services are bound.“ SHAKESPEAR, 1. Aufzug, 2. Szene,

A. C. Bradley schreibt „*König Lear* ist immer wieder als Shakespeares größtes Werk, als das beste seiner Stücke beschrieben worden, als die Tragödie, in der sich seine zahlreichen Fähigkeiten am stärksten entfalten. [...]“ SHAKESPEAR 2003, auf der Rückseite des Buches.

⁹⁴⁰ König Lear spricht es am deutlichsten aus:

„Kein Mensch ist sündig; keiner, sag ich, keiner.“ SHAKESPEAR 2003, S. 89, 4. Aufzug, 6. Szene

⁹⁴¹ Hamlet, 2. Aufzug, 2. Szene (SHAKESPEAR 1999, S. 42)

⁹⁴² SPINOZA 1987, S. 124

⁹⁴³ GALILEI 1891, S. 108

⁹⁴⁴ vgl. GALILEI 1891, S. 11, 215

⁹⁴⁵ FEUERBACH 2011, S. 10; vgl. auch FEUERBACH 2011, S. 23

Er schreibt an einer anderen Stelle: „Als ein Spezimen dieser Philosophie nun, welche nicht die Substanz Spinozas, nicht das Ich Kants und Fichtes, nicht die absolute Identität Schellings, nicht den absoluten Geist

entgegen halten.⁹⁴⁶ Schließlich betrachtet Feuerbach selbst seine Schrift als „eine *empirisch- oder historisch-philosophische Analyse*“⁹⁴⁷. Er will somit die Theologie oder eben die Vorstellung von Gott nicht einfach als „eine Illusion, eine Selbsttäuschung des Menschen“⁹⁴⁸ darstellen, sondern in gewissem Sinne den Nutzen für den Menschen er- bzw. hinterfragen. (So hoffen auch wir in dieser Arbeit, dass wir mit seinen Ideen und Methoden zur *Meta-Physik* bzw. „*Hinter die Physik*“ gelangen können.) Zuerst ist es natürlich wichtig die Frage zu stellen:

Was hat die Religion für eine Bedeutung?

Feuerbach schreibt: „ Die Religion beruht auf dem *wesentlichen Unterschiede* des Menschen vom Tiere – die Tiere haben *keine* Religion.“⁹⁴⁹ Damit meint Feuerbach eigentlich, dass Tiere kein *Bewußtsein im strengen Sinne* haben. „Bewußtsein im strengsten Sinne ist nur da, wo einem Wesen seine *Gattung*, sein *Wesenheit* Gegenstand ist.“⁹⁵⁰ *Da wir bereits besprochen haben, dass es in der Tat Experimente gibt, die zeigen, dass manche Tierarten sich selbst als Gegenstand wahrnehmen und damit ein Ichbewusstsein haben, könnten wir womöglich sagen, dass Feuerbachs Vermutungen hier wohl überholt sind.* Natürlich ist das *Bewußtsein im strengen Sinne* bei Tieren nicht so ausgeprägt, wie beim Menschen, doch es ist da.⁹⁵¹ Denn auch die *Theory of Mind* spricht Feuerbach alleine dem Menschen zu: „Der Mensch ist sich selbst zugleich Ich und Du; er kann sich selbst an die Stelle des andern setzen, eben deswegen, weil ihm seine Gattung, sein Wesen, nicht nur seine Individualität

Hegels, kurz, kein abstraktes, nur gedachtes oder eingebildetes, sondern ein *wirkliches* oder vielmehr das allerwirklichste Wesen, das wahre *Ens realissimum*: *den Menschen*, also das positivste *Realprinzip* zu ihrem Prinzip hat, [...]“ FEUERBACH 2011, S. 21

(Wie der Titel seines Werkes *Das Wesen des Christentums* (1841) preisgibt, dreht sich seine Analyse selbstverständlich um das Christentum. So schreibt er selbst: „Mein hauptsächlichster Gegenstand ist das Christentum, ist die Religion, wie sie *unmittelbares Objekt, unmittelbares Wesen des Menschen* ist.“ FEUERBACH 2011, S. 31

Nun könnte man natürlich einwenden, dass Feuerbachs Analysen und Thesen, wenn, dann nur bzw. vor allem für das Christentum zutreffen können. In dieser Arbeit wird natürlich davon ausgegangen, dass sie in gewisser Weise eine allgemeine Gültigkeit (für alle Religionen) besitzt. Doch auch wenn dem nicht so wäre, würde es für diese Arbeit nichts daran ändern, da die klassischen Physiker, welche wir behandeln, sich, wenn, dann ausschließlich zum Christentum bekannten.)

⁹⁴⁶ Feuerbach schreibt: „Ich bin nichts als ein *geistiger Naturforscher*, [...]“ FEUERBACH 2011, S. 20

⁹⁴⁷ FEUERBACH 2011, S. 18

⁹⁴⁸ FEUERBACH 2011, S. 10

⁹⁴⁹ FEUERBACH 2011, S. 37

⁹⁵⁰ FEUERBACH 2011, S. 37

⁹⁵¹ Feuerbach gibt als Beispiel, dass der Mensch sogar „*mit sich selbst*“ spricht. (vgl. FEUERBACH 2011, S. 38)

(Feuerbach schreibt sogar: „Auch der Dialog der Philosophie ist in Wahrheit nur ein Monolog der Vernunft: der Gedanke spricht nur zum Gedanken.“ FEUERBACH 2011, S. 47)

Ob Tiere das auch tun, könnte natürlich experimentell überprüft werden.

Doch, dass das, was uns Menschen von Tieren unterscheidet, in der Sprachanwendung liegt, ist sogar bei Karl Popper ganz stark vorzufinden. Er schreibt: „Jede Tiersprache – wenn nicht gar jedes Tierverhalten – hat, wie Karl Bühler hervorgehoben hat, eine *expressive* (oder symptomatische) und eine *kommunikative* (oder signalisierende) Funktion. Die menschliche Sprache andererseits hat daneben einige weitere Funktionen, die charakteristisch sind und sie zu einer >>Sprache<< im engeren und wichtigeren Sinn des Wortes machen. Bühler machte auf die grundlegende *deskriptive* Funktion der menschlichen Sprache aufmerksam, und ich habe später hervorgehoben, daß es weitere Funktionen gibt (etwa die *präskriptive*, *beratende* usw.), deren wichtigste und charakteristische für den Menschen die *argumentative* Funktion ist. (Professor Alf Ross hebt hervor, daß dem noch viele weitere Funktionen hinzugefügt werden können, zum Beispiel die des Befehls, Bittens oder Versprechens.)“ POPPER 2012, S. 75

Wir haben jedoch an einer anderen Stelle dieser Arbeit bereits betont, dass einige Annahmen Karl Poppers von der heutigen Wissenschaft bereits falsifiziert wurden.

Gegenstand ist.“⁹⁵² Auch das ist eigentlich eben bei manchen Tierarten bereits gegeben. Doch geht Feuerbach überdies hinaus und schreibt: „Aber die Religion ist das Bewußtsein des Unendlichen; [...]“⁹⁵³ bzw. „*Bewußtsein* im strengen oder eigentlichen Sinne und *Bewußtsein des Unendlichen ist untrennbar; beschränktes Bewußtsein ist kein Bewußtsein; das Bewußtsein ist wesentlich allumfassender, unendlicher Natur. Das Bewußtsein des Unendlichen ist nichts andres als das Bewußtsein von der Unendlichkeit des Bewußtseins. Oder: im Bewußtsein des Unendlichen ist dem Bewußtsein die Unendlichkeit des eigenen Wesens Gegenstand.*“⁹⁵⁴

Ob sich nun die Tiere die Unendlichkeit ihres eigenen Wesens vorstellen können oder nicht, wollen wir hier nicht weiter untersuchen. Unsere Frage ist vielmehr:

Wie ist der Zusammenhang des Menschen mit der Religion?

Die Religion „zieht die Kräfte, Eigenschaften, Wesensbestimmungen des Menschen vom Menschen ab und vergöttert sie als selbstständige Wesen – gleichgültig ob sie nun, wie im Polytheismus, jede einzeln für sich zu einem Wesen macht, oder, wie im Monotheismus, alle in *ein* Wesen zusammenfaßt [...]“⁹⁵⁵ So können wir schnell eine Antwort finden, was die Religion darstellen könnte: „Die Religion ist der Traum des menschlichen Geistes.“⁹⁵⁶ Wir könnten genauso auch sagen die Religion hat die Aufgabe den Menschen zu *idealisieren*.

Wir wollen hier versuchen an Hand weniger Punkte zu skizzieren, wie Feuerbach *womöglich* die Entwicklung des Menschen in Wechselwirkung mit der Religion gemeint haben *könnte*⁹⁵⁷:

1. Als Kind entwickelt man bereits *Ichbewußtsein* und *Theory of Mind*.
 - ✓ Das Kind kann sich selbst im Spiegel erkennen und in andere hineinversetzen.
2. Für ein Kind wird der Mensch bzw. der Erwachsene zum Ideal.
 - ✓ Das Kind ahmt Erwachsene nach und macht sie so zum Vorbild. Es will somit die sorgende Rolle der Eltern übernehmen und äußert schon Berufswünsche, etc.
3. Als Erwachsener kann man natürlich auch andere Erwachsene idealisieren und hat daher weiterhin den Menschen als Vorbild. Wenn ein Vorbild, sei es nun ein anderer Mensch oder

⁹⁵² FEUERBACH 2011, S. 38

⁹⁵³ FEUERBACH 2011, S. 38

⁹⁵⁴ FEUERBACH 2011, S. 39

⁹⁵⁵ FEUERBACH 2011, S. 41, Fußnote 3

⁹⁵⁶ FEUERBACH 2011, S. 26

⁹⁵⁷ So in die Richtung könnte man Feuerbachs Äußerungen interpretieren, wenn er schreibt: „die Religion ist das *erste* und *zwar indirekte Selbstbewußtsein* des Menschen. Die Religion geht daher überall der Philosophie voran, wie in der Geschichte der Menschheit, so auch in der Geschichte der Einzelnen. Der Mensch verlegt sein Wesen zuerst *außer sich*, ehe er es in sich findet. Das eigne Wesen ist ihm zuerst als ein andres Wesen Gegenstand. Die Religion ist das *kindliche Wesen* der Menschheit; aber das Kind sieht sein Wesen, den Menschen außer sich – als Kind ist der Mensch sich als ein anderer Mensch Gegenstand. Der geschichtliche Fortgang in den Religionen besteht deswegen darin, daß das, was der früheren Religion für etwas Objektives galt, jetzt als etwas Subjektives, d.h. was *als Gott* angeschaut und angebetet wurde, jetzt als etwas *Menschliches* erkannt wird.“ FEUERBACH 2011, S. 53

einfach eine abstrakte Vorstellung, zur Gänze idealisiert wird, bzw. wenn das Bild immer abstrakter wird, beginnt die Vergötterung.

Nun wollen wir aber zur nächsten Frage übergehen:

Wie ist Gott zu verstehen?

Feuerbach antwortet: „Gott ist das *offenbare* Innere, das *ausgesprochne* Selbst des Menschen; die Religion die feierliche Enthüllung der verborgenen Schätze des Menschen, das Eingeständnis seiner innersten Gedanken, das *öffentliche Bekenntnis seiner Liebesgeheimnisse*.“⁹⁵⁸

Die Liebesgeheimnisse eines Naturwissenschaftlers ist dabei wohl seine Grenzen bzw. seinen Horizont zu erweitern, oder mit anderen Worten: einfach alle Schranken loszuwerden. Darauf weist bereits Kant hin, wenn er schreibt: „Im Grunde können wir uns Gott nicht anders denken, als wenn wir *alles Reale, was wir bei uns selbst antreffen, ohne alle Schranken* ihm beilegen.“⁹⁵⁹

Doch Feuerbach kann dies noch konkretisieren: „*Das göttliche Wesen ist nichts andres als das menschliche Wesen oder besser: das Wesen des Menschen, abgesondert von den Schranken des individuellen, d.h. wirklichen, leiblichen Menschen, vergegenständlicht, d.h. angeschaut und verehrt als ein andres, von ihm unterschiednes, eignes Wesen* – alle *Bestimmungen* des göttlichen Wesens sind darum Bestimmungen des menschlichen Wesens.“⁹⁶⁰

Doch bevor wir fortfahren, wollen wir noch kurz auf etwas hinweisen, nämlich, dass es verschiedene Perspektiven gibt, um Feuerbachs Worte zu interpretieren:

Ob nun das Ideal bzw. Gott als das einzig reale zu verstehen ist, und wir uns erst durch den Gedanken an ihn verwirklichen können oder ob wir uns verwirklichen wollen, und uns daher Gott als angestrebtes, aber nie erreichbares Ideal ausdenken, darüber kann schwer entschieden werden.

Allein aus naturwissenschaftlicher Perspektive – und dies scheint auch die Perspektive von Feuerbach zu sein – ist das letztere sicher vorzuziehen, da nur der Mensch allein (mit seinen Idealen) in Beziehung zur Welt der Gegenstand seiner naturwissenschaftlichen Untersuchungen sein kann.

Feuerbach verweist auch selbst, dass seine Vorstellungen von Gott bereits (teilweise) bei anderen Philosophen zu finden sind. So schreibt beispielsweise auch Leibniz: „Die *Vollkommenheiten Gottes* sind die *Vollkommenheiten unsrer Seelen*, allein er besitzt sie unumschränkt . . . Wir besitzen einiges Vermögen, einige Erkenntnis, einige Güte, allein dieses alles ist in Gott vollkommen.“⁹⁶¹

Wir wollen hier noch einmal zusammenfassen, was wir bis jetzt in der Hand haben: Der Mensch betet in der Religion sein eigenes Wesen an, ohne dass es ihm bewusst ist. So kann die Entwicklung der Religion sich in nichts anderes zeigen, als in welcher Form die Menschen sich selbst angebetet haben. In den früheren Religionen war es der Götzendienst, in den moderneren Religionen die Idealisierung menschlicher Eigenschaften.⁹⁶²

⁹⁵⁸ FEUERBACH 2011, S. 53

⁹⁵⁹ zitiert nach FEUERBACH 2011, S. 87

⁹⁶⁰ FEUERBACH 2011, S. 54-55

⁹⁶¹ zitiert nach FEUERBACH 2011, S. 55

⁹⁶² vgl. FEUERBACH 2011, S. 53-54; (vgl. dazu auch FEUERBACH 2011, S. 70)

Die Vorstellung Gottes in Descartes', Newtons und Maupertuis' Physik; oder mit anderen Worten: Die Metaphysik Descartes', Newtons und Maupertuis'.⁹⁶³

Inwiefern spielt die Analyse von Feuerbach für die Physik (oder allgemeiner für die Naturwissenschaften eine Rolle)?

Feuerbach erklärt, dass der Mensch erst durch das Auseinandersetzen mit einem Gegenstand zu Selbstbewußtsein gelangt. Der Gegenstand, den er behandelt offenbart somit zugleich sein Wesen bzw. „sein *wahres, objektives* Ich.“⁹⁶⁴ So rufen der Mond, die Sonne und natürlich die Sterne dem Menschen „Erkenne dich selbst“⁹⁶⁵ zu, erklärt er. Und daher ist eben alles, was der Mensch wahrnimmt, und wie er es wahrnimmt „ein Zeugnis seines eignen Wesens.“⁹⁶⁶ Und das „*absolute Wesen*, der Gott des Menschen ist *sein eignes Wesen*. Die Macht des *Gegenstandes* über ihn ist daher die *Macht seines eignen Wesens*.“⁹⁶⁷ Das bedeutet für einen Naturwissenschaftler:

Die Gesetze der Natur sind Gesetze deines Gottes⁹⁶⁸ bzw. die Gesetze welche du findest, werden Parallelen aufweisen zu dem Gott, an den du glaubst.⁹⁶⁹

Oder wie Feuerbach es auf den Punkt bringt: „So ist dem Menschen in Gott *nur seine eigene Tätigkeit Gegenstand*.“⁹⁷⁰

Es dürfte nicht schwer fallen, diese Interpretation anzuerkennen. So schreiben auch Renate Wahsner und Horst-Heino v. Borzeszkowski sehr treffend: „Es ist gewiß nicht gleichgültig, ob man Gott die Atome schaffen oder den erkennenden Menschen die Voraussetzungen seiner Theorie bestimmen läßt, aber man kann auch nicht übersehen, daß Gott eine Rolle zugeordnet wurde, die *die Physik als theoretische Naturwissenschaft ermöglichte*.“⁹⁷¹

Es ist also nicht zu übersehen, dass die Vorstellung von Gott für die theoretische Physik von großer Bedeutung und unter Umständen auch von großer Hilfe war. Die Gründe dafür wollen wir hier nun ganz kurz diskutieren und teilweise analysieren. Wieder ziehen wir Feuerbachs Interpretation vor: „*Gottes Wesen ist das vergegenständlichte Wesen der Phantasie. Gott ist ein sinnliches Wesen, aber abgesondert von den Schranken der Sinnlichkeit – das unbeschränkte sinnliche Wesen. Aber was ist die Phantasie? – die schrankenlose, die unbeschränkte Sinnlichkeit. Gott ist die ewige Existenz, d.h. die immerwährende, die Existenz zu allen Zeiten; Gott ist die allgegenwärtige Existenz, d.h. die*

⁹⁶³ Diese Perspektive erklärt auch, weshalb Voltaire seine Schrift **Die Metaphysik des Neuton** (1740) mit dem Kapitel „Über Gott“ beginnt. (vgl. dazu VOLTAIRE 1997, S. VII, 4, 253)

⁹⁶⁴ FEUERBACH 2011, S. 42

⁹⁶⁵ FEUERBACH 2011, S. 42

⁹⁶⁶ FEUERBACH 2011, S. 42

⁹⁶⁷ FEUERBACH 2011, S. 43

⁹⁶⁸ vgl. dazu FEUERBACH 2011, S. 58, 81, 82

⁹⁶⁹ Feuerbach schreibt: „*Das Bewußtsein Gottes ist das Selbstbewußtsein des Menschen, die Erkenntnis Gottes die Selbsterkenntnis des Menschen. Aus seinem Gotte erkennst du den Menschen, und wiederum aus dem Menschen seinen Gott; beides ist eins.*“ FEUERBACH 2011, S. 53

Und wo anders: „*Ich kann gar nicht wissen, ob Gott etwas andres an sich oder für sich ist, als er für mich ist; wie er für mich ist, so ist er alles für mich. Für mich liegt eben in diesen Bestimmungen, unter welchen er für mich ist, sein Ansichselbstsein, sein Wesen selbst; er ist für mich so, wie er für mich nur immer sein kann.*“

FEUERBACH 2011, S. 57

⁹⁷⁰ FEUERBACH 2011, S. 77

⁹⁷¹ VOLTAIRE 1997, S. 53

Existenz *an allen Orten*; Gott ist das *allwissende* Wesen, d.h. das Wesen, dem *alles Einzelne, alles Sinnliche* ohne Unterschied, ohne Zeit und Ortsbeschränkung Gegenstand ist.⁹⁷²

So ist es die Aufgabe des Theoretischen Physikers mit Hilfe der *Theory of Mind*, sich in diesen Gegenstand (bzw. Gott) hineinzusetzen. Um auf Gesetze zu kommen, die an

- jedem Ort bzw. überall,
- zu jeder Zeit bzw. ewig und
- für alle Körper oder besser für alle Ereignisse gelten.⁹⁷³

Denn wir können behaupten bzw. sagen: „In der göttlichen Allwissenheit erhebt sich der Mensch über die Schranken seines Wissens; in der göttlichen Allgegenwart über die Schranken seines Lokalstandpunkts, in der göttlichen Ewigkeit über die Schranken seiner Zeit.“⁹⁷⁴

Der Theoretiker wird in seiner neuen Vorstellung bzw. Rolle so zu einem Schöpfer. Er erschafft ein neues Modell von der Welt, eine neue Theorie.⁹⁷⁵ (Auch Karl Popper meint: „Das menschliche Selbstbewußtsein gründet sich unter anderem auf eine Anzahl höchst abstrakter *Theorien*.“⁹⁷⁶)

Dass der Weg zu einer neuen Theorie über die Kreativität geht und nicht einfach logisch ableitbar ist, darauf hat schon Einstein hingewiesen: „Höchste Aufgabe des Physikers ist also das Aufsuchen jener allgemeinsten elementaren Gesetze, aus denen durch reine Deduktion das Weltbild zu gewinnen ist. Zu diesen elementaren Gesetzen *führt kein logischer Weg*...“⁹⁷⁷.

Pietschmann erklärt dies folgendermaßen: „Zu echter Theorienbildung bedarf es also mehr als bloßer Anpassung von Parametern einer mathematischen Beschreibung an die Messdaten. Es muss zunächst eine theoretische Idee vorliegen, nach der mathematische Beschreibung geformt werden kann. Solche Ideen können weder aus den Experimenten (im Wege der Induktion) abstrahiert

⁹⁷² FEUERBACH 2011, S. 324

⁹⁷³ Feuerbach erläutert: „Ich fühle als eine Schranke mein nur an den örtlichen Standpunkt, an die sinnliche Erfahrung gebundenes Wissen; was ich als Schranke fühle, hebe ich in der Phantasie auf, die meinen Gefühlen freien Spielraum gewährt. Die Negation durch die Phantasie ist die Position der Allwissenheit als einer göttlichen Macht und Wesenheit. Aber gleichwohl ist zwischen der Allwissenheit und meinem Wissen nur ein quantitativer Unterschied; die *Qualität* des Wissens ist dieselbe.“ FEUERBACH 2011, S. 325

⁹⁷⁴ FEUERBACH 2011, S. 326

Genau genommen sind wohl Feuerbachs Zeilen hier in einer ganz anderen Verwendung zu verstehen. Feuerbach möchte mehr darauf hinweisen, dass eigentlich der Mensch gerade wegen der Gottesvorstellung das Interesse an der Wissenschaft verliert. Das wird klar, wenn man die Zeilen davor liest: „Darum hat auch der Religiöse kein Bedürfnis der Bildung in sich. Warum hatten die Hebräer keine Kunst, keine Wissenschaft, wie die Griechen? weil sie kein Bedürfnis darnach hatten. Und warum hatten sie kein Bedürfnis? Jehova ersetzte ihnen dieses Bedürfnis. In der göttlichen [...]“ FEUERBACH 2011, S. 326

⁹⁷⁵ „Der *Begriff der Tätigkeit*, des Menschens, Schaffens ist an und für sich ein *göttlicher Begriff*; [...]“ FEUERBACH 2011, S. 327

Hierzu passend auch Newtons Zeilen auf der vorletzten Seite seiner *Principia*: „Man sagt allegorisch: Gott sieht, hört, redet, lacht, liebt, haßt, wünscht, gibt, nimmt an, freut sich, zürnt, kämpft, arbeitet, baut, konstruiert, weil alles dasjenige, was man von Gott sagt, von irgendeiner Vergleichung mit menschlichen Dingen entnommen ist. Diese Vergleichungen, wenn sie auch sehr unvollkommen sind, geben indessen doch eine schwache Vorstellung von ihm.

Dies hatte ich von Gott zu sagen, dessen Werke zu untersuchen die Aufgabe der Naturlehre ist.“ NEWTON 2004, S. 957

⁹⁷⁶ POPPER 2012, S. 80

⁹⁷⁷ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 39

werden, noch können sie auf experimentelle Erkenntnisse verzichten! Sie werden meist „Prinzip“ genannt, [...]“.⁹⁷⁸ Diese *theoretischen Ideen* bzw. *Prinzipien* wollen wir uns aus der Nähe ansehen.

Das göttliche in der modernen Physik: Die Prinzipien

Die Prinzipien in der modernen Physik könnten natürlich, wie jede andere theoretische Idee, *falsifiziert* werden. Sie haben jedoch ihren Gültigkeitsbereich bis jetzt gut verteidigt. Diese Prinzipien wollen wir Ihnen vorstellen⁹⁷⁹:

- ❖ **Das Prinzip der Universalität**
- ❖ **Das Prinzip der Invarianz**
- ❖ **Das Prinzip der Erhaltungssätze**
- ❖ **Das Prinzip der Ökonomie**

Das Prinzip der Universalität⁹⁸⁰

Der Theoretiker hat natürlich das Ideal, dass es bei all den unterschiedlichen Phänomenen Gemeinsamkeiten gibt. (Dabei ist ihm die Analogie von großem Nutzen.)⁹⁸¹ Durch die Theory of Mind weiß der Theoretiker, dass es notwendig ist verschiedene Perspektiven zu übernehmen. Man könnte sogar sagen: Je mehr Perspektiven, desto genauer kann ein Gegenstand betrachtet werden. Natürlich ist der Wunsch des Theoretikers die **absolute bzw. alles überblickende Perspektive**, nämlich die **göttliche**.⁹⁸² So eine **absolute Perspektive** verlangt selbstverständlich auch ein **absolutes Naturgesetz, welches für alle (möglichen) Perspektiven ihre Gültigkeit beibehält**.

⁹⁷⁸ PIETSCHMANN 2007, S. 142

⁹⁷⁹ Diese Prinzipien sind sehr stark an die Prinzipien von Pietschmann angelehnt. vgl. dazu PIETSCHMANN 2007, S. 147

Wir haben unter anderem das Prinzip „zweikomponentige Neutrinos“ (, welche Pietschmann auch mit hinein nimmt,) ausgelassen. Pietschmann schreibt selbst: „Es ist sofort klar, dass diese Prinzipie nicht alle von gleicher Allgemeingültigkeit sein können. So wird etwa das „zweikomponentige Neutrino“ nur für solche Theorien als Prinzip gelten können, die sich überhaupt mit der Physik der Neutrinos befassen.“ PIETSCHMANN 2007, S. 147

⁹⁸⁰ vgl. dazu auch PIETSCHMANN 2007, S. 148-149

⁹⁸¹ Pietschmann schreibt: „Dass die *Analogie* keine verlässlichen Schlüsse liefert, wird wohl kaum bestritten. Trotzdem spielt gerade sie eine wichtige Rolle im Erkenntnisprozess der Naturwissenschaft. Denn – wie Albert Einstein sagte – zu den Prinzipien (zu den allgemeinsten elementaren Gesetzen) führt kein logischer Weg! Daher hilft beim Erschließen eines Weges ins physikalische Neuland in den meisten Fällen die Analogie zu Bekannten.“ PIETSCHMANN 2007, S. 41

⁹⁸² Dass diese Aussage nicht weit hergeholt ist, erkennt man schon an Hand der Idee des *Laplaceschen Dämons*. Laplace behauptete, dass dieser *theoretische* Dämon, wenn er zu einem bestimmten Zeitpunkt die Orte und die Geschwindigkeiten aller Körper im Universum kenne, dann das Gesamtgeschehen im Universum (für alle Zeiten) berechnen könne. (Diese Geisteshaltung wurde durch den *Determinismus* der Newtonschen Physik ermöglicht. In der Quantentheorie, wo der *Zufall* (in Form von Gesetzen) herrscht, geht es dem *Laplaceschen Dämon* natürlich an den Kragen.)

vgl. dazu PIETSCHMANN 2007, S. 113, 117-118

An ein solches Gesetz glaubte vor allem Faraday, der „als einer der größten Experimentalphysiker aller Zeiten“ „gilt“⁹⁸³. Adolf E. Haas schreibt: „[...] Es war die besonders durch Faraday ausgebildete Hypothese, dass alle physikalischen Phänomene einen gemeinsamen Ursprung hätten, dass daher alle Kräfte in der Natur nur die verschiedenen Erscheinungsformen einer einzigen großen Allkraft ... seien.“⁹⁸⁴ Diese bejahende Einstellung zum *Prinzip der Universalität* von Faraday, welche bereits auch bei Oersted zu finden ist, bezeichnete man als *Dynamismus*.⁹⁸⁵ Unter dem Begriff *Allkraft* so etwas wie der Energieerhaltungssatz zu verstehen, lässt sich auch aus den Worten von Faraday herauslesen: „Allein niemals . . . finde eine Schöpfung von Kraft statt, eine Erzeugung von Kraft, ohne entsprechende Erschöpfung von etwas, ihr Nahrung Gebendes.“⁹⁸⁶ Dass Faraday Recht hatte, und die Energieerhaltung in der Tat ein wichtiges Prinzip darstellt, werden wir später unten behandeln.

Doch so nützlich ihm das Ideal der Universalität auch war - denn schließlich gelang es ihm durch die elektromagnetische Induktion, die er erfand, den Magnetismus in Elektrizität umzuwandeln⁹⁸⁷ - so versicherte sie ihm natürlich keineswegs den stetigen Erfolg. Seine Versuche scheiterten die Gravitation in andere Kräfte umzuwandeln. Trotz dessen schreibt Faraday: „Hier enden für jetzt meine Versuche, ihre Resultate sind negativ. Sie erschüttern aber das starke Gefühl in mir nicht, daß eine Beziehung zwischen Schwerkraft und Elektrizität vorhanden ist, obgleich die Experimente bis jetzt nicht bewiesen haben, daß es so ist.“⁹⁸⁸

Ähnlich gelang es auch 100 Jahre später Einstein nicht die Gravitation und die Elektrodynamik durch eine vereinheitlichte Theorie wiederzugeben.⁹⁸⁹ Schon Newton selbst träumte sicher davon die Gravitation, (die Elektrizität) und den Magnetismus unter einen Hut zu erbringen.⁹⁹⁰ Doch genauso wie Einstein und Faraday leistete auch bereits er einen wesentlichen Beitrag unter dem Prinzip der Universalität,⁹⁹¹ wodurch eine größere Menge von Phänomenen mit wenigen Gesetzen erklärt werden konnten. Doch weshalb sind solche allumfassenden Gesetze von Bedeutung?

Es dürfte einsichtig sein, dass je unbeschränkter die Theorie ist bzw. je größer ihr Gültigkeitsbereich ist, desto besser bzw. göttlicher wird die Theorie sein. Das zeigt sich auch daran, dass Physiker, welche zu solchen universellen Gesetzen kommen können, beinahe vergöttert werden oder anders gesagt: *Sie werden zu großen Vorbildern in den Naturwissenschaften.* So ist es kein Wunder, dass

⁹⁸³ HOFFMANN 1997, S. 82

⁹⁸⁴ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 149

⁹⁸⁵ Greiner berichtet: „1812 vertrat Oersted in seinem Werk „Ansichten der chemischen Naturgesetze“ eindeutig den Standpunkt des Dynamismus. Oersted hielt es für eine „Beschränkung des Gesichtskreises“, wenn man nicht nach dem Vorbilde Ritters Galvanismus, Elektrizität, Magnetismus, Licht und Wärme als „verschiedene Tätigkeitsformen der allgemeinen Naturkräfte“ betrachte. Oersted erwartete also eine Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus.“ GREINER 2002, S. 481

⁹⁸⁶ zitiert nach GREINER 2002, S. 488

⁹⁸⁷ vgl. GREINER 2002, S. 487

⁹⁸⁸ zitiert nach GREINER 2002, S. 488

⁹⁸⁹ vgl. GREINER 2002, S. 488

Die Theorie der Gravitation mit der Elektrodynamik zu vereinen gelang erst später durch die Kaluza-Klein-Theorie. Inwiefern diese Theorie zufriedenstellend ist oder nicht, können wir in dieser Arbeit leider nicht näher untersuchen.

(Auf der Ebene der Quantentheorie ist die Suche noch nicht abgeschlossen. Eine mögliche Lösung zur Quantengravitation könnte die Wheeler-DeWitt-Gleichung bieten.)

⁹⁹⁰ vgl. dazu NEWTON 1983, (Frage 31), S. 248-249

⁹⁹¹ Pietschmann erklärt: „Das Einheitsprinzip geht auf Newton zurück, der als Erster in einer umfassenden Theorie der Gravitation zwei bis dahin völlig verschiedene Phänomene – die Planetenbewegung und den Fall im Schwerfeld der Erde – einheitlich erfasste.“ PIETSCHMANN 2007, S. 148

Newtons Theorie derart hochgeschätzt und gewürdigt wurde. Beispielsweise schreibt Newtons Zeitgenosse und Dichter Alexander Pope die Zeilen:

„Die Natur und die Naturgesetze lagen versteckt in der Nacht;
Da sprach Gott: „Es werde Newton!“ Und hat damit das Licht zur Erde gebracht!“⁹⁹²

Oder noch besser zeigen es *ironischer Weise*⁹⁹³ die Zeilen des berühmten Naturwissenschaftlers Edmond Halleys, der die erste Ausgabe der *Principia* mit folgenden Lobeshymnen über Newton einleitet:

„[...]
Was die Gedanken von vielen Gelehrten einstmals so quälte,
Was vergeblich die Schulen zu lautstarkem Streite verführte,
Wir nun durchschau'n es, Mathematik vertreibt uns die Wolken.
Irrtum aus Unkenntnis fürchtet von jetzt an keiner der Zweifler,
Bis zu der Götter Wohnungen kannst Du gelangen, der größte
Genius erlaubt es Dir, die Gipfel des Himmels zu stürmen.

[...]
Jetzt erst erlauben die Götter uns als Gäste den Eintritt,
Kann man des hohen Himmelsgewölbes Gesetze erforschen,
Jetzt sind die Rätsel der Erde zugänglich, wie auch die feste
Ordnung der Dinge, das Unerforschte vergangener Zeiten.

Ihr, die jetzt mit Freuden den göttlichen Nektar genießen,
Feiert mit mir den großen Mann, der dies uns gelehrt hat,
NEWTON, der die geschlossene Büchse der Wahrheiten öffnet.
Ganz mit dem Herzen ist Phoebus bei ihm, dem Liebling der Musen,
Seinem Verstande bescherte er göttliche Stärke, und sich den
Göttern noch weiter zu nähern, vermag von den Sterblichen keiner.“⁹⁹⁴

⁹⁹² Frei übersetzt von Eren Simsek.

Im Original heißt es:

„Nature and Natur's Laws were hid in night,
God said, „Let NEWTON be,“ and all was light.“ NEWTON (I)

Es gibt aber anscheinend auch andere Varianten, so ist bei Stephen Hawking zu lesen:

„Nature and Nature's laws lay hid in night:

God said, „Let Newton be! and all was light.“ (HAWKING 2004, S. 636. Dort auf dieser Seite findet man auch – in der Fußnote 1 – eine *andere* Übersetzung.)

⁹⁹³ Die Ironie dabei ist, dass Halley angeblich ein Ungläubiger bzw. Atheist war. vgl. dazu HEUSER 2005, S. 161-162

⁹⁹⁴ NEWTON (II), S. 1-2

Dass diese Verehrung Newtons kein Einzelfall ist, möchten wir kurz noch an ein paar Beispielen demonstrieren. Zum Beispiel sieht sich Voltaire (an einem Brief an Maupertuis) „auf die neue Newtonsche Religion getauft“. Und bezeichnet Newton anschließend als einen Apostel. (vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 113) Newton wird natürlich zuletzt auch auf seinem Grabschrift „nahezu göttlicher Geisteskraft“ zugesprochen (vgl. HEUSER 2005, S. 9).

Wir geben unten eine Tabelle wieder, welche eine allmähliche Vereinheitlichung der physikalischen Theorien darstellt. Jede dieser Vereinheitlichungen kann man sich als eine Stufe vorstellen, auf dem Weg bzw. der Suche zu einer *universellen Theorie*.⁹⁹⁵

Vereinheitlichte Gebiete	Vereinheitlichende Theorie	Theoretischer Physiker
Mechanik und die Himmelsmechanik	<i>(Newtonsche) Mechanik und die Gravitationstheorie</i>	Isaac Newton
Elektrizität und Magnetismus	<i>Maxwellsche Theorie des Elektromagnetismus</i>	James Clerk Maxwell
Mechanik und Wärmelehre	<i>(Statistische) Thermodynamik</i>	Ludwig Boltzmann (und James C. Maxwell)
Kinematik von Mechanik und Elektrodynamik	<i>Spezielle Relativitätstheorie (SRT)</i>	Albert Einstein
(Unterschiedene Kräfte der Physik und der Chemie)	<i>Quantenmechanik (QM)</i>	Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Max Planck, (usw.)
Spezielle Relativitätstheorie und die Gravitationstheorie	<i>Allgemeine Relativitätstheorie (ART)</i>	Albert Einstein
Spezielle Relativitätstheorie und die Quantenmechanik	<i>Diracsche Quantenelektrodynamik</i>	Paul Dirac
Maxwellsche Theorie des Elektromagnetismus und die Quantenmechanik bzw. die Physik und die Chemie	<i>Quantenelektrodynamik (QED)</i>	Richard P. Feynman, Julian Schwinger und Shin'ichiro Tomonaga
Quantenelektrodynamik und die Schwache Wechselwirkung	<i>Elektroschwache Wechselwirkung</i>	Sheldon Glashow, Abdus Salam, Steven Weinberg
Elektroschwache Wechselwirkung und die Starke Wechselwirkung (QCD)	<i>Grand Unified Theory bzw. Große vereinheitlichende Theorie (GUT)</i>	<u>Wurde noch von niemandem entdeckt bzw. experimentel bewährt!</u>
Große vereinheitlichende Theorie (GUT) und die allgemeine Relativitätstheorie (ART)	<i>Theory of Everything bzw. Theorie von Allem (TOE)</i>	<u>Wurde noch von niemandem entdeckt!</u>

Das Prinzip der Invarianz bzw. der Symmetrie⁹⁹⁶

Damit wir aber überhaupt zu einer absoluten bzw. alles überblickenden Perspektive gelangen, ist es wichtig nur solche Naturgesetze zu entdecken oder wenigstens anzuerkennen, welche gleich bzw. stets dieselben bleiben, wenn wir es von einer Perspektive in eine andere Perspektive transformieren. Insofern hat Einstein vollkommen Recht, wenn er schreibt, dass „die ganze

⁹⁹⁵ Einige Elemente dieser Tabelle sind auch bei Pietschmann zu finden. vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 148

⁹⁹⁶ vgl. dazu PIETSCHMANN 2007, S. 152-153

Naturwissenschaft nichts weiter als eine Verfeinerung unseres alltäglichen Denkens⁹⁹⁷ darstellt. In der Physik ist unter der Perspektive das Bezugssystem (BS) bzw. das Koordinatensystem (KS) zu verstehen. Dabei bedeutet also das Invarianzprinzip, das Gleichbleiben der Naturgesetze beim transformieren von einem Koordinatensystem in ein anderes. Nur so ist die Bedingung erfüllt, zu Gesetzen zu gelangen, die eine absolute bzw. alles überblickende Perspektive erlauben. Das bedeutet, da wir von verschiedenen Perspektiven ausgehen, können bzw. sollten die Gesetze zwar für jede Perspektive ihre Gültigkeit bewahren aber in abstraktem Sinne von der Wahl der Perspektive auch zugleich unabhängig sein. So bringt es Pietschmann auf den Punkt, wenn er schreibt: „Das Koordinatensystem ist zugleich notwendig und irrelevant! So könnte man das Invarianzprinzip auch formulieren.“⁹⁹⁸

Was hat das nun mit der Symmetrie zu tun? Symmetrie ist bzw. ein Ding ist symmetrisch, wenn ich etwas darauf anwende und „es nach der Anwendung genauso aussieht wie vorher. Zum Beispiel ist eine symmetrische Vase von solcher Art, dass sie, wenn wir sie spiegeln oder sie umdrehen, genauso aussieht wie vorher.“⁹⁹⁹ Wenn wir das Wort „anwenden“ gegen den Begriff „transformieren“ austauschen, so dürfte uns klar sein, dass Symmetrie und Invarianz in der Physik dieselbe Bedeutung haben. Pietschmann schreibt: „Eine Symmetrie kann daher auch als Invarianz bezüglich gewisser Transformationen dargestellt werden.“¹⁰⁰⁰ Die Symmetrie führt uns also zur Invarianz und diese wiederum zu den Erhaltungssätzen, welche wir uns gleich ansehen möchten.

Das Prinzip der Erhaltungssätze¹⁰⁰¹

Im Leben lautet wahrscheinlich eine der wichtigsten Fragen: Worauf können wir uns verlassen? Dabei kann die Antwort indirekt lauten: Auf etwas was beständig ist bzw. erhalten bleibt! Ein Theologe würde wahrscheinlich sagen, dass Gott (und in gewissem Sinne die Seele des Menschen) erhalten bleibt. Und in der Physik sind es wohl die Erhaltungssätze. (Ganz Besonders der Energieerhaltungssatz.)

Pietschmann schreibt daher zurecht: „Die Beschreibung von Veränderungen beruht unter anderem auf einem Trick: Die Naturwissenschaft fragt nach dem, was bei allem Wandel unverändert bleibt, nach den Erhaltungsgrößen. Man hat den Satz von der Erhaltung der Energie (auch „Energieprinzip“ genannt) mit Recht als den wichtigsten Satz der Physik bezeichnet. Beim Versuch, ein Phänomen zu erklären, fragt der Physiker daher zunächst nach den relevanten Erhaltungsgrößen. Dabei gibt es nicht nur ganz universelle, wie das Energieprinzip, sondern unter Umständen solche, die nur für ein spezielles Problem gelten.“¹⁰⁰²

Außerdem weist Pietschmann auf noch etwas Wichtiges hin: „Zunächst ist von Erhaltungssätzen gleiches zu sagen wie von allen Aussagen der Naturwissenschaft: Streng genommen sind sie nirgends gültig. Denn sie beziehen sich jeweils auf „abgeschlossene Systeme“, die es exakt nicht geben kann. Gemäß der Methode genügt es jedoch, entweder die „Durchlässigkeit“ des Systems unter die

⁹⁹⁷ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 152

⁹⁹⁸ PIETSCHMANN 2007, S. 153

⁹⁹⁹ FEYNMAN (I) 2007, S. 746

¹⁰⁰⁰ PIETSCHMANN 2007, S. 151

¹⁰⁰¹ vgl. dazu PIETSCHMANN 2007, S. 153-154

¹⁰⁰² PIETSCHMANN 2007, S. 153

gewünschte Fehlergenauigkeit zu drücken oder durch entsprechende Korrekturen auf ein abgeschlossenes System zu extrapolieren.“¹⁰⁰³

Wir sehen somit, dass auch der Erhaltungssatz ein abstrahierter Begriff ist. Er ist ein Ideal für ein abgeschlossenes System. Wenn wir uns also denken, dass im gesamten Universum die Energieerhalten bleibt, so denken wir uns das Universum als ein *abgeschlossenes System*. *Nur ein solches System gewährleistet auch eine absolute bzw. alles überblickende Perspektive. Denn nur wenn es abgeschlossen ist, kann man es überblicken.*

Das Prinzip der Ökonomie¹⁰⁰⁴

Der Begriff Ökonomie setzt sich aus zwei altgriechischen Begriffen: oikos = das Haus, nomos = Gesetz zusammen. Wir könnten, wenn wir uns am Wortstamm orientieren, statt *Ökonomie* auch sagen: „*Das Gesetz des Hauses*“; oder noch besser „*Hauswirtschaft*“. *Doch was hat „das Gesetz des Hauses“ mit Gott zu tun oder noch fraglicher mit Physik?*

Eine Stelle von Feuerbach gibt hier womöglich eine Antwort: „Solange dem Menschen das Prädikat eines bloßen Naturmenschen zukommt, so lange ist auch sein Gott ein bloßer Naturgott. Wo sich der Mensch in Häuser, da schließt er auch seine Götter in Tempel ein. Der Tempel ist nur eine Erscheinung von dem Werte, welchen der Mensch auf schöne Gebäude legt. Die Tempel zu Ehren der Religion sind in Wahrheit Tempel zu *Ehren der Baukunst*. Mit der Erhebung des Menschen aus dem Zustande der Roheit und Wildheit zur Kultur, mit der Unterscheidung zwischen dem, was sich für den Menschen schickt und nicht schickt, entsteht auch gleichzeitig der Unterschied zwischen dem, *was sich für Gott schickt* und *nicht schickt*. Gott ist der Begriff der Majestät, der höchsten Würde, das religiöse Gefühl das höchste Schicklichkeitsgefühl.“¹⁰⁰⁵

Bei den Prinzipien der Universalität, der Invarianz und der Erhaltungssätze ist die Abstraktion sehr stark gelungen. *Doch in diesem letzten „Prinzip der Ökonomie“ ist noch ganz deutlich zu erkennen, dass Gott das Ideal des Menschen darzustellen versucht. Ein jeder Mensch oder besser jedes Lebewesen ist wohl gewollt bei möglichst geringem Einsatz, zu möglichst großem Nutzen zu gelangen.* (Es ist sogar möglich eine Handlung ethisch nach dem „Prinzip der Nützlichkeit“ zu

¹⁰⁰³ PIETSCHMANN 2007, S. 154

¹⁰⁰⁴ vgl. dazu auch PIETSCHMANN 2007, S. 157-161

¹⁰⁰⁵ FEUERBACH 2011, S. 63-64

bewerten.)¹⁰⁰⁶ So ist natürlich des Menschen sehnlichster Wunsch oder sein Ideal ein Gott, welcher rational, wirtschaftlich bzw. sparsam denkt.¹⁰⁰⁷

Dieser Wunsch spiegelt sich natürlich auch in den Gesetzen wieder, die man in der Physik benützt. *Denn man nimmt natürlich auch nur jene Naturgesetze, die effizient sind.* Beispielsweise lässt man mehr oder minder die komplizierten Theorien aus, wenn man auch eine leichtere bzw. einfachere Theorie finden kann, welche die Phänomene erklären können. Der berühmte Philosoph und Theologe Wilhelm Ockham (1285-1349), der auch in Oxford lehrte (und später unter anderem auf Leibniz und Kant wirkte)¹⁰⁰⁸, sprach dieses Ökonomieprinzip sehr deutlich aus: „Es ist unnütz, etwas, mit mehr zu tun, was auch mit weniger getan werden kann“¹⁰⁰⁹. Dieses Ökonomieprinzip von Ockham bezeichnet man auch als „*Ockhams Rasiermesser*“.¹⁰¹⁰ Wenn wir uns *Ockhams Rasiermesser* zu wörtlich vorstellen, bedeutet das, dass man mit diesem *Prinzip*, schon ohne Experimente betätigen zu müssen, gewisse Theorien *wegschneiden* bzw. „*falsifizieren*“ kann.

Doch dieses Prinzip ist nicht nur für die Falsifikation von Theorien von Nutzen, sondern macht zugleich auch verständlich, weshalb wir das Korrespondenzprinzip benötigen, worauf selten bis nie hingewiesen wird.

Nach „Ockhams Rasiermesser“ sollten natürlich alle Theorien, die sich in einem gewissen Rahmen bewährt haben, zugleich auch die einfachsten gewesen sein. Da eine neuere Theorie einen größeren

¹⁰⁰⁶ „Prinzip der Nützlichkeit“ wird von den „Utilitaristen“ (lat. utilis = nützlich) vertreten. (vgl. SCHÜLER DUDEN PHILOSOPHIE 2002, S. 403)

Man kann Utilitarismus auch in zwei Bereiche unterteilen:

- Individualutilitarismus und
- Sozialutilitarismus.

Beim *Individualutilitarismus*, welcher beispielsweise von Epikur vertreten wurde, sollte der Einzelne seine Handlungen so auswählen, dass sie dem eigenen Wohl am meisten nützt.

Beim *Sozialutilitarismus*, welches unter anderem von Jeremy Bentham vertreten wurde, müssen die Handlungen des Einzelnen so gewählt werden, dass sie der Gruppe am meisten nützen (, wobei Jeremy Bentham eher vom „größtmöglichen Glück für die größtmögliche Zahl“ spricht). (SCHÜLER DUDEN PHILOSOPHIE 2002, S. 278 und 403)

Es ist natürlich ganz klar, dass man sowohl für den Individualutilitarismus als auch den Sozialutilitarismus Ichbewußtsein bzw. Theorie of Mind benötigt, da man die Folgen seiner Taten, für einen selbst oder für die Gesellschaft, im Voraus erkennen bzw. einschätzen können sollte.

Die Lehre von „Utilitarismus“ hat natürlich Vor- und Nachteile. Mehr darüber kann man unter anderem bei PFEIFER 2009, S. 59-60 in Erfahrung bringen. Eine gute und knappe Kritik gibt es natürlich auch bei RUSSELL 1988, S. 782-790

Wenn wir in dieser Arbeit jedoch schreiben, dass man eine Handlung nach dem „Prinzip der Nützlichkeit“ bewerten kann, dann meinen wir eigentlich nicht den „Utilitarismus“ direkt. Unter „Handlung“ verstehen wir vielmehr eine „Theorienbildung“. So könnte womöglich unser „Prinzip der Nützlichkeit“ (für die Moral) eigentlich so lauten: Bei einer „Theorienbildung“ sollte stets versucht werden, die Nachteile der früheren Theorien zu minimieren.

¹⁰⁰⁷ Dante schreibt:

„Alles Überflüssige
mißfällt Gott und der Natur.

Alles, was Gott und der Natur

mißfällt, ist schlecht.“ zitiert nach HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 31

¹⁰⁰⁸ vgl. SCHÜLER DUDEN PHILOSOPHIE 2002, S. 279-280

¹⁰⁰⁹ zitiert nach SCHÜLER DUDEN PHILOSOPHIE 2002, S. 280

¹⁰¹⁰ vgl. SCHÜLER DUDEN PHILOSOPHIE 2002, S. 280

Gültigkeitsbereich bzw. Rahmen beanspruchen darf als die ältere, ist sie natürlich auch ein bißchen komplizierter als die alte Theorie, da sie inhaltlich mehr zu fassen hatt. **Wenn wir nun ökonomisch denken, wie Ockham, so sind wir sehr am Korrespondenzprinzip interessiert.** Denn das Korrespondenzprinzip sagt uns, unter welchen Rahmenbedingungen wir mit gutem Gewissen die ältere, nämlich die einfachere Theorie benützen können. Wenn wir also Theorien als Werkzeuge betrachten, dann können wir sagen, dass uns das Korrespondenzprinzip zeigen kann, welches Werkzeug am besten geeignet ist, um ein Problem *effizient* zu lösen.

Doch nicht nur in der Theorienbildung hat das Ökonomiegesetz einen starken Einfluss. Es kann auch dirigieren, wie die Gesetze überhaupt auszusehen haben.

So schreibt Pietschmann, der unter dem Ökonomieprinzip „das Prinzip der Einfachheit“ versteht: „Für das Prinzip der Einfachheit gilt Ähnliches wie für die Erhaltungssätze: Es hat auch eine innerphysikalische, inhaltliche Komponente. Damit meine ich die so genannten „Minimalprinzipie“ der Physik. Sie sagen aus, dass unter allen denkmöglichen Vorgängen die jeweils tatsächlich auftretenden dem Extremwert einer zugeordneten Messgröße entsprechen (zum Beispiel „kleinste Wirkung“). Die Klammer zwischen vorausgesetzten Denkkategorien und gewonnenen Erkenntnissen (Naturgesetze) wird deutlich, wenn wir uns erinnern, dass Minimalprinzipie philosophisch interpretiert worden sind und sogar als Gottesbeweis dienen mussten.“¹⁰¹¹

So schreibt Maupertuis, welchem bekanntlich das „Prinzip der kleinsten Wirkung“ zugeschrieben wird: „Dies ist das Prinzip der geringsten Größe der Wirkung: ein Prinzip, so weise, so würdig des höchsten Wesens, ein Prinzip, an das die Natur so beständig gebunden erscheint, dass sie es nicht nur bei allen ihren Veränderungen beachtet, sondern dass sie dazu neigt, es selbst in ihrem Beharren zu beachten.“¹⁰¹²

Durch das *Prinzip der kleinsten Wirkung* bzw. das *Ökonomieprinzip* ändert sich natürlich auch das Verständnis der Kausalität. Max Planck (Bild 13)¹⁰¹³ sagt dazu in seinem „Vortrag zum Thema „Religion und Naturwissenschaft““¹⁰¹⁴: „In der Tat, durch das Wirkungsprinzip wird in den Begriff der Ursächlichkeit ein ganz neuer Gedanke eingeführt: zu der Causa efficiens, der Ursache, welche aus der Gegenwart in die Zukunft wirkt und die späteren Zustände als bedingt durch die früheren erscheinen lässt, gesellt sich die Causa finalis, welche umgekehrt die Zukunft, nämlich ein bestimmt angestrebtes Ziel, zur Voraussetzung macht und daraus den Verlauf der Vorgänge ableitet, welche zu diesen Ziele hinführen.“¹⁰¹⁵

¹⁰¹¹ PIETSCHMANN 2007, S. 160

¹⁰¹² zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 160

¹⁰¹³ BILD: MAX PLANCK

¹⁰¹⁴ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 160

¹⁰¹⁵ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 161

Und dieses Ziel ist, wie wir schon besprochen haben, dass die Natur *sparsam* ist, dass die Gesetze *effizient* sind, und dass Gott *rational* ist bzw. nur *nützliche* Dinge hervorbringt. Nützlich schon in dem Sinne, dass die Welt auf das Beste, nämlich nach dem besten Plan entworfen ist.

Der Mensch würdigt durch das Ökonomieprinzip in gewissem Sinne so auch das *Gute*. Denn Theorien sind genau genommen deshalb da, damit wir die Probleme verstehen und sie als Erkenntnisgewinn einbinden. Die Theorien sind da – so könnte man kurz zusammenfassend sagen – um „*Gutes*“ zu bewirken. (Schließlich werden „*schlechte Theorien*“ ja auch *falsifiziert*.) Mit dem glauben an eine neue Theorie ist also stark auch der Glaube an das Gute verbunden.¹⁰¹⁶ Unser Plan ist es sozusagen mit der neuen Theorie die Welt auch ein wenig zu verbessern. (*Und sei es nur die innerliche Welt des Unverständnisses.*) *Wir heben durch eine neue Theorie (und die sich daraus ergebende Praxis bzw. Handlung) die Probleme in der Realität auf. Der Wunsch nach einer besseren Theorie ist deswegen analog zu dem Wunsch nach einer besseren Welterfassung und Weltauffassung.* Wir bringen sozusagen durch die Theorie das „*Gute*“ in die Welt. Insofern ist es dann auch verständlich, wenn Augustinus sagt: „*Wir sind, weil Gott gut ist.*“¹⁰¹⁷ Wenn nämlich Gott nicht gut wäre, dann könnten wir, durch das was uns bzw. unsere höchste Denkfähigkeit, nämlich durch die Theory of Mind, ausmacht nicht auf Theorien kommen, die uns nützen. Nützliche Theorien sind uns somit in gewisser Hinsicht „*gegeben*“ – nämlich vom höchsten „*abstraktem Gegenstand bzw. Wesen*“. Aus diesem Grund empfinden wir deshalb in gewisser Weise das Auffinden nutzvoller Theorien als eine Gabe. ***In diesem Sinne sind die (Natur)wissenschaftler auch ethisch tolerierbare Propheten, da sie nicht nur an sich selbst zweifeln, sondern ihre Prophezeiungen (bzw. Hypothesen) über die Wirklichkeit zur (wissenschaftlichen) Diskussion freigeben.***



Bild 13: Max Planck
(1858-1947)

Für das *Ökonomieprinzip* dürfen wir dabei Max Borns Worte nicht aus dem Blick verlieren, nämlich:

„Nicht die Natur ist ökonomisch, sondern die Naturwissenschaft.“¹⁰¹⁸

Die Götter der klassischen Physik und die modernen Prinzipien im Vergleich

¹⁰¹⁶ Emil Strauss schreibt: „Die Identität des Wahren und Schönen oder vielmehr das gemeinsame Aufgehen dieser Ideen in der Idee des Guten ist in erster Linie eine platonische Lehre. [...] Aber auch Aristoteles betont die Identität des Schönen und Guten, indem ersteres das objektiv Gute im Verhältnis zu dem auffassenden Subjekte bezeichnet.“ GALILEI 1891, S. 520, Fußnote 32; vgl. dazu auch S. 139

Diese philosophischen Sichtweisen widersprechen nicht unbedingt der modernen Erkenntnistheorie, wenn man sie etwas abwandelt. Beispielsweise schreibt Karl Popper: „*Wir können die Bevorzugung gewisser Theorien rechtfertigen, im Lichte ihrer Bewährung, d.h. des momentanen Standes der kritischen Diskussion der konkurrierenden Theorien unter dem Gesichtspunkt ihrer Wahrheitsnähe.*“ POPPER 2005, S. 270; vgl. dazu auch S. XXXIII

¹⁰¹⁷ zitiert nach FEUERBACH 2011, S. 183

¹⁰¹⁸ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 161

Das Prinzip der Universalität

Locke schreibt: „Universalität kommt jedoch nicht den Dingen selbst zu, denn die Dinge sind in ihrer Existenz sämtlich einzeln; selbst diejenigen Wörter und Ideen sind es, die ihrer Bedeutung nach allgemein sind. Wenn wir somit die Einzeldinge beiseite lassen, so sind die Generalia, die übrigbleiben, nur Schöpfungen, die von uns selbst stammen. Ihr allgemeiner Charakter besteht in nichts anderem als in der ihnen vom Verstande verliehenen Fähigkeit, viele Einzelheiten zu bezeichnen oder zu vertreten. Denn ihre Bedeutung ist nichts weiter als eine Beziehung, die der menschliche Geist ihnen beigelegt hat.“¹⁰¹⁹ Der Schluss, ob wirklich *wir* der Natur eine Einheit zu Grunde legen, oder die Natur sie immer schon hatte, und wir nach und nach diese entdecken, sei dem Leser überlassen. Gewiss ist, dass Descartes, Newton¹⁰²⁰ und Maupertuis nach Gesetzen suchten, die im Stande sein sollten, alle Phänomene in der Welt zu erklären.

- Descartes sah dabei seinen **Bewegungserhaltungssatz** dafür am besten geeignet;
- Newton setzte besonders auf das **aktive Prinzip** (der **Anziehung** bzw. der **Abstoßungskraft**) und
- Maupertuis auf sein **Prinzip der kleinsten Wirkung**.

Da alle drei glaubten, darin auch einen Gottesbeweis zu sehen, können wir auch sagen, dass sie von einem Gott ausgingen, der universelle Gesetze beschloss.

Das bedeutet: Das Prinzip der Universalität war bei allen dreien vorhanden.

Das Prinzip der Invarianz

Wir haben in dieser Arbeit versucht immer wieder darauf hinzuweisen, dass Descartes bei der Theorienbildung wenig bis gar keinen Nutzen aus der *Theory of Mind* bzw. dem *Perspektivenwechsel* bezieht. Beispielsweise wechselt er bei den Stoßgesetzen nicht, wie Huygens nach ihm, auf verschiedene Bezugssysteme. (Erst durch die Benützung verschiedene Bezugssysteme kann es schließlich Huygens gelingen, den Schwerpunkt als ein Inertialsystem zu betrachten und somit den Schwerpunkterhaltungssatz aufzustellen.)

Newton ist, so könnte man sagen, genau wie Huygens sicher ein Meister der *Theory of Mind* bzw. des *Perspektivenwechsels* in der Physik. *Seine Gesetze sind genau so definiert, dass sie in allen Inertialsystemen dieselbe Form haben.*

Maupertuis hat natürlich von Huygens und Newtons Methoden gewusst. Für die mathematische Demonstration seines Ökonomieprinzips verwendet er sogar (unter anderem) die Stoßgesetze von Huygens. Somit bewahrt das *Prinzip von Maupertuis* in der Tat unter jeder Perspektive seine Gültigkeit und wird der *Theory of Mind* gerecht. Wir können uns daher auch notieren:

¹⁰¹⁹ zitiert nach VOLTAIRE 1997, S. 71-72, Fußnote 232

¹⁰²⁰ Dafür bekannt ist beispielsweise Newtons Ausspruch: „[...] denn die Natur behauptet immer Gleichförmigkeit und Uebereinstimmung mit sich selbst.“ NEWTON 1983, S. 249 (Frage 31.); vgl. dazu auch VOLTAIRE 1997, S. 52-53

Das Prinzip der Erhaltungssätze

Wir konnten schon bereits zu Beginn auf die Interpretation eingehen, dass Gott das Ideal des Menschen darstellen könnte. Das bedeutet: Gott ist der Mensch, ohne die menschlichen Schranken. Feuerbach schreibt deshalb: „Unsre positiven, wesenhaften Eigenschaften, unsre Realitäten sind also die Realitäten Gottes, aber in uns sind sie *mit*, in Gott *ohne* Schranken. Aber wer zieht denn von den Realitäten die Schranken ab, wer tut sie weg? der Verstand. Was ist demnach das ohne alle Schranken gedachte Wesen anders, als das Wesen des alle Schranken weglassenden, wegdenkenden Verstandes? *Wie du Gott denkst, so denkst du selbst* – das Maß deines Gottes ist das Maß deines Verstandes. Denkst du Gott beschränkt, so ist dein Verstand beschränkt; denkst du Gott unbeschränkt, so ist auch dein Verstand nicht beschränkt. Denkst du dir z.B. Gott als ein körperliches Wesen, so ist die Körperlichkeit die Grenze, die Schranke deines Verstandes, du kannst dir nichts denken ohne Körper; sprichst du dagegen Gott die Körperlichkeit ab, so bekräftigst und bestätigst du damit die Freiheit deines Verstandes von der Schranke der Körperlichkeit.“¹⁰²¹

So gesehen kann es für einen Theoretischen Physiker natürlich auch die Bestimmung der Körper nicht das Höchste sein. Das Höchste sollte abstrakt und universell wie möglich sein. Etwas was alles verbindet und nicht verloren geht. In der Physik sind das wohl die Erhaltungssätze. Ganz besonders der Energieerhaltungssatz. Feynman schreibt darüber: „Es gibt ein Faktum, oder wenn Sie wollen ein Gesetz, das alle Naturphänomene beherrscht, welche bis heute bekannt sind. Es gibt keine bekannte Ausnahme zu diesem Gesetz – soweit wir wissen, ist es exakt. Dieses Gesetz wird die *Energieerhaltung* genannt. Es sagt, dass es eine gewisse Größe gibt, welche wir Energie nennen, die sich bei den vielfachen Änderungen, die in der Natur vor sich gehen, nicht ändert. Das ist eine sehr abstrakte Idee, weil es ein mathematisches Prinzip ist; es besagt, dass eine numerische Größe existiert, die sich nicht ändert, wenn sich etwas ereignet. Es ist nicht die Beschreibung eines Mechanismus oder von irgendetwas Konkretem; es ist eine seltsame Sache, dass wir eine Zahl berechnen können, und wenn wir fertig sind mit der Beobachtung der Natur auf dem Wege durch ihre Tricks und die Zahl wiederum berechnen, ist sie die gleiche.“¹⁰²² Wir wollen versuchen das Wesen dieser abstrakten Idee, für ein besseres Verständnis, zusammenzufassen¹⁰²³:

In einem abgeschlossenem System, welches wir als den „*objektiven Wissenschaftler*“ bezeichnet haben, bleibt

1. die Summe der Gesamtenergie konstant: $E_1 + E_2 + \dots = E_{\text{Gesamt}} = \text{konstant}$. Das bedeutet, sie kann *weder erzeugt noch vernichtet* werden.
2. Doch sie kann in andere Energieformen *umgewandelt* werden.

¹⁰²¹ FEUERBACH 2011, S. 87-88

¹⁰²² FEYNMAN (I) 2007, S. 45

¹⁰²³ vgl. dazu „Da dies eine abstrakte Idee ist, [...]“, FEYNMAN (I) 2007, S. 45f.; und DUDEN SCHULWISSEN, S. 360, 371

Den Energieerhaltungssatz, so wie wir ihn heute verstehen, gibt es zu Zeiten Newtons (nur *teilweise* – im heutigen universellen Sinne) überhaupt nicht.¹⁰²⁴ *Doch gibt es schon zu dieser Zeit starke Tendenzen, welche großen Denker sich eher für die Erhaltungssätze allgemein einsetzen und welche nicht.*

Descartes, (Huygens) und Leibniz sind die großen Philosophen und Physiker, die sich im 17. und im 18. Jhd. (wohl am meisten) für die Erhaltungssätze einsetzen. Descartes und Leibniz sind zur Gänze gewillt, diese zu einem festen Prinzip in der Physik zu machen. Schon Descartes betont, dass er unter seinem Bewegungserhaltungssatz etwas **Universelles** versteht.¹⁰²⁵

Auch sind die Erhaltungssätze für sie, so könnte man zugespitzt sagen, das Abbild Gottes in den Gesetzen der Natur. So heißt es schließlich bei Descartes: „*Gott ist oberste Ursache der Bewegung und erhält im Universum ständig dieselbe Quantität von Bewegung aufrecht.*“¹⁰²⁶

Hier macht Descartes zwei sehr schlaue Schachzüge.

1. Er betrachtet Gott als eine „*oberste Ursache*“. Dasein Gottes wird somit dadurch „*bewiesen*“, dass die Welt aus sich selbst heraus funktioniert. Er schreibt weiter: „Es ist für uns auch einsichtig, daß eine Vollkommenheit Gottes darin besteht, daß er auf eine äußerst beständige und unveränderliche Weise wirkt, so daß wir ihm, abgesehen von jenen Veränderungen, deren uns eine evidente Erfahrung oder eine göttliche Offenbarung versichert, und von denen wir erfassen oder glauben, daß sie ohne jegliche Veränderung im Schöpfer vonstatten gehen, nur solche Werke zu sprechen dürfen, die nicht geringste Unbeständigkeit in ihm verraten. Deshalb ist es mit der Vernunft sehr gut vereinbar, daß wir allein deshalb, weil Gott, als er sie zuerst erschaffen hat, die Stücke der Materie auf verschiedenste Weisen bewegt hat, und die Gesamtheit dieser Materie ja bereits auf dieselbe Weise und aus eben demselben Grund heraus erhält, aus dem heraus er sie zuerst erschaffen hat, annehmen, daß er auch beständig ebendasselbe Maß an Bewegung in dieser Materie aufrecht erhält.“¹⁰²⁷
2. Da die Welt auf Grund seines Erhaltungssatzes als Modell selbstständig funktioniert, kann Descartes später zeigen, dass man sogar prinzipiell auslassen kann, dass Gott der Materie die Bewegung am Anfang mitgegeben hat. Somit zeigt er, dass seine „*oberste Ursache*“ nicht die „*erste Ursache*“ zu sein braucht, so wie es Aristoteles und später auch Newton annehmen.

Wir können Descartes' Position auch kurz so zusammenfassen: Descartes wird als ein rationaler Philosoph eingestuft. Wenn wir dabei Feuerbachs Worte „*Gott ist, was der Verstand als das Höchste*

¹⁰²⁴ Natürlich wusste man seit bzw. durch Huygens, dass es kinetische Energie gab, doch diese blieb schon bei unelastischen Stößen nicht mehr erhalten.

¹⁰²⁵ „Eine solche Auffassung der Natur der Bewegung veranlaßt die Betrachtung ihrer Ursache. Diese Ursache ist zweifach, nämlich zunächst eine universale und oberste, die die allgemeine Ursache aller in der Welt stattfindender Bewegung ist, und sodann eine besondere, aufgrund derer es geschieht, daß einzelne Abteilungen der Materie, die sich zuvor nicht bewegt haben, Bewegung erlangen. Was nun die allgemeiner Ursache anbelangt, so erscheint es mir als offensichtlich, daß sie nichts anderes ist als Gott selbst, der die Materie zugleich mit der Bewegung und der Ruhe am Anfang geschaffen hat, und außerdem allein durch seinen gewöhnlichen Eingriff ebendieselbe Quantität der Bewegung und Ruhe, die er damals in die Welt hineingesetzt hat, aufrecht erhält.“ DESCARTES 2005, S. 137 (II/36)

¹⁰²⁶ DESCARTES 2005, S. 137 (II/36)

¹⁰²⁷ DESCARTES 2005, S. 137-139 (II/36)

denkt.¹⁰²⁸, vor Augen halten, dann ist es nicht überraschend, dass Descartes' Gott alles so berechnet bzw. programmiert hat – durch seinen Erhaltungssatz – dass alles ohne einen Eingriff von selbst immer fortlaufen kann. **So ist Descartes rational, sein Gott ist rational und vor allem die Welt rational aus sich selbst erklärbar.**

Für Newton dagegen scheint Gott noch eine tief religiöse Position zu haben. John Locke, ein großer Philosoph und guter Freund von Newton, bezeugt, dass Newtons theologisches Wissen (beispielsweise über die Bibel) wohl beinahe konkurrenzlos war.¹⁰²⁹ In gewisser Weise war auch die Physik für Newton eine Betrachtung Gottes.¹⁰³⁰ Harro Heuser spricht es deutlich aus: „Er war der Physiker Gottes – und wollte es sein.“¹⁰³¹ **Newton nimmt mit seiner Physik und sogleich mit seiner Gottesvorstellung, wie sehr oft betont, die Gegenposition zu Descartes ein.**¹⁰³² (Wir können dazu bei Heuser lesen: „Der große Geisteskampf des ausgehenden 17. und beginnenden 18. Jahrhunderts ist der Kampf zwischen Descartes' *mechanischer* und Newtons *nichtmechanischer* Denkweise. Den Sieg hat Newton davongetragen, den Voltaire begeistert als „Zerstörer des cartesianischen Systems“ feiert.

Die Wege der Forschung sind unerforschlich. Heute ist die Welt nicht mehr ein cartesianisches Billardspiel, wo Kugeln gegen Kugeln stoßen, sondern ein Wabern und Wallen von Kräften, und diese Kräfte sind wie Schwaden aus Newtons Schwarzer Küche.“¹⁰³³)

Doch bei Newton ist Gott, wenn man es sehr stark karikieren würde: ein *Lückenbüßer*. Er verwendet Gott in seiner *Principia*, dort wo die Gültigkeiten der Mechanik ihre Grenzen finden. *Dadurch kann Newton natürlich den Spieß umdrehen.* Leibniz kritisiert Newton heftig, dass ein allwissender Gott wohl schwer eine Welt erbauen würde, die nicht von selbst funktioniere. Insofern ist natürlich Newtons Argument bzw. Gottesbeweis, dass die Grenzen der Physik eine Art Zeugnis Gottes darstellen, sehr schwach. Gott „kompensiert sowohl Grenzen der Newtonschen physikalischen Theorie als auch Grenzen der Physik überhaupt. Was jeweils zutrifft, ist unbestimmt, aus genanntem Grunde. *Aber nie – abgesehen von seinen, theologischen Schriften – führt er Gott ein, wo nicht ein ernsthaftes physikalisches Problem vorliegt.* Gott wird zur physikbegrenzenden Bedingung.“¹⁰³⁴

¹⁰²⁸ FEUERBACH 2011, S. 87

¹⁰²⁹ vgl. GREINER 2002, S. 509

¹⁰³⁰ vgl. GREINER 2002, S. 509

¹⁰³¹ HEUSER 2005, S. 10

¹⁰³² vgl. dazu auch HEUSER 2005, S. 156-157

¹⁰³³ HEUSER 2005, S. 11

¹⁰³⁴ VOLTAIRE 1997, S. 52

Newton besitzt außerdem ein herrschendes, bestrafendes Gemüt.¹⁰³⁵ So ist auch sein Gott herrschend.¹⁰³⁶ So schreibt Newton: „Die Herrschaft eines geistigen Wesens ist es, was Gott ausmacht; [...] Er ist ewig und unendlich, allmächtig und allwissend, d.h. er währt von Ewigkeit zu Ewigkeit, von Unendlichkeit zu Unendlichkeit, er regiert alles, er kennt alles, was ist oder was sein kann. Er ist weder die Ewigkeit noch die Unendlichkeit, aber er ist ewig und unendlich; er ist weder die Dauer noch der Raum, aber er währt fort und ist gegenwärtig; er währt stets fort und ist überall gegenwärtig, er existiert stets und überall, er macht den Raum und die Dauer aus.“¹⁰³⁷

Für Newton ist daher die Welt nicht zur Gänze rational und aus sich selbst erklärbar. Schließlich schreibt er: „Und doch dürfen wir die Welt nicht als den Körper Gottes und ihre Theile als Theile von Gott betrachten. Er ist ein einheitliches Wesen ohne Organe, Glieder oder Theile, und Jenes sind seine Kreaturen, ihm unterworfen und seinem Willen dienend; [...] Und da der Raum bis in das Unendliche theilbar ist und die Materie sich nicht nothwendig an jeder Stelle des Raumes befindet, so muss auch zugegeben werden, dass Gott auch Theile der Materie von verschiedener Größe und Gestalt, in verschiedenen Verhältnissen zum ganzen Raume und vielleicht von verschiedenen Dichtigkeiten und Kräften zu erschaffen vermag und dadurch die Naturgesetze verändern und an verschiedenen Orten des Weltalls Welten verschiedener Art erschaffen kann. Ich sehe in alle Dem nicht den geringsten Widerspruch.“¹⁰³⁸

Deswegen sind auch die Kräfte zu definieren, die in verschiedenen Situationen auf die Körper wirken und sie sozusagen zwingen ihre Richtung oder Geschwindigkeit zu ändern. Nicht die Erhaltungssätze sind ausschlaggebend, sondern *die Aktion* und *die Reaktion* der Körper. *So können wir sagen:*

Der Gott von Newton ist ein herrschender Gott. Die Naturgesetze reichen nicht aus. Gott hat in die Welt einzugreifen.¹⁰³⁹ (Eine klare Gegenposition zu Descartes' Ansichten.)

Bei Newton spielt zwar die Massenerhaltung¹⁰⁴⁰ und die Kontinuitätsgleichung eine wesentliche Rolle, doch sind die Erhaltungssätze für ihn nicht von prinzipieller Bedeutung. Und wenn sie von

¹⁰³⁵ Diese Charaktereigenschaften von Newton werden wohl am besten in seiner Funktion als Direktor der Königlichen Münze (ab 1700) sichtbar. James Gleick berichtet über die Vorgangsweise Newtons: „Bei der Jagd auf Kipper und Falschmünzer appellierte er an lang angestauten puritanischen Zorn und tief verankerte Rechtschaffenheit. Falschmünzerei war ein Kapitalverbrechen, galt als Hochverrat. Jane Housden und Mary Pitman zum Beispiel wurden verurteilt (jedoch begnadigt), nachdem sie mit Prägwerkzeugen erwischt worden waren und bei einem Fluchtversuch ein Päckchen mit Falschgeld in die Themse hatten fallen lassen. Gegen solche Begnadigungen erhob Newton häufig Einspruch. Falschmünzerei war oft schwer nachzuweisen; Newton ließ sich zum Friedensrichter ernennen und überwachte die Gerichtverfahren bis hin zum Galgen. William Chaloner beispielsweise hatte nicht nur seine eigenen Guineas geprägt, sondern versucht, seine Spuren zu verwischen, indem er die Münze beschuldigte, selbst Falschgeld herzustellen. Newton, der ein Netzwerk von Agenten und Gefängnisinformanten unterhielt, sorgte dafür, daß der Mann gehängt wurde.“ GLEICK 2004, S. 171

¹⁰³⁶ „Wir kennen ihn nur durch seine Eigenschaften und Attribute, durch die höchst weise und vorzügliche Einrichtung aller Dinge und durch ihre Endursachen; wir bewundern ihn wegen seiner Vollkommenheiten, wir verehren und beten ihn an wegen seiner Herrschaft. Wir als Untertanen beten ihn an, denn Gott ohne Vorsehung, ohne Herrschaft und ohne Endursachen ist nichts anderes als die Bestimmung (*Fatum*) und die Natur.“ NEWTON 2004, S. 957

¹⁰³⁷ NEWTON 2004, S. 956

¹⁰³⁸ NEWTON 1983, S. 268-269

¹⁰³⁹ vgl. dazu HEUSER 2005, S. 65-66

¹⁰⁴⁰ Weshalb der Massenerhaltungssatz für Newton von solcher Bedeutung war, können Renate Wahsner und Horst-Heino v. Borzeszkowski zusammenfassend wiedergeben: „Ihre Unveränderlichkeit ermöglicht, daß es in

prinzipieller Bedeutung wären, dann stellen sie eher ein „passives Prinzip“ da. Für Newton ist es daher gerade ein Gottesbeweis, dass die Erhaltungssätze nicht für immer gelten.

*Maupertuis dürfte in Sachen Organisation ein gutes Verständnis gehabt haben; dies bezeugt zumindest seine berufliche Laufbahn. Schließlich leistet er Dienste in einer Armee, leitet später Expeditionen und führt als Präsident sogar die Preußische Akademie. (Dass er sich später auch mit der Biologie beschäftigte, also mit Organismen, soll hier nur kurz erwähnt werden.)¹⁰⁴¹ **Sowie Maupertuis sich mit Organisationen auseinandersetzte, so organisierte natürlich auch sein Gott die Welt. Dieser Schöpfer legt der Natur sogleich die beste systematische Struktur bei, nämlich das Prinzip der Ökonomie.**¹⁰⁴² Auch Maupertuis dürfte erfreut gewesen sein, dass die Erhaltungssätze, zum Beispiel die kinetische Energie von Huygens, nicht für inelastische Stöße ausreichen; sein Prinzip dagegen schon. Wir können daher sagen:*

Descartes(, Huygens) und Leibniz sind von Prinzip der Erhaltungssätze überzeugt. Newton und (Maupertuis) nicht.

Das Prinzip der Ökonomie

Bereits Kepler zeigt Interesse an einem *Ökonomieprinzip*. Dagegen deutet Descartes' Diskussion mit Fermat darauf hin, dass Descartes die Ökonomie wohl eher weniger als ein (physikalisches) Prinzip verstand. Fermat gelingt es später mit diesem Prinzip eine Theorie der geometrischen Optik zu begründen. Diesen geometrischen Beweis von Fermat scheint Newton nicht ganz ernst genommen zu haben. So können wir sagen, dass das Ökonomieprinzip in seinen physikalischen Systemen nicht unbedingt als Prinzip eine Rolle spielt. Auch sein Gott hat schließlich die Welt nicht optimal erschaffen, sondern muss sie daher immer wieder von neuem in Bewegung setzen. Dafür erntet Newton natürlich genug Kritik von Leibniz. *Denn (Fermat), Leibniz und Maupertuis sind wohl die Philosophen und Physiker schlechthin, die sich für dieses Prinzip einsetzen.* Auch sind es ihre Götter, welche die Welt auf die beste mögliche Art und Weise gemacht haben.

Wegen dieser Vorstellung wird Voltaire sowohl Leibniz als auch Maupertuis mit Spott und Hohn überhäufen. (In seiner Schrift **Akakika** (1752) kritisiert er Maupertuis und in seinem Meisterwerk **Candid** (1759) die Philosophie von Leibniz.) Wir wollen hier kurz versuchen die wesentliche Kritik von Voltaire zu erfassen, welche bereits Schopenhauer würdigte.¹⁰⁴³ Dazu genügt es womöglich, wenn

der Natur Wiederholbares und damit Gesetzmäßiges gibt. Daß sie allen Erscheinungen, wie verschieden diese auch seien, zugrunde liegen, garantiert die Einheit der Natur.“ VOLTAIRE 1997, S. 53

Wir werden sehen, dass die spezielle Relativitätstheorie von Einstein dem (klassischen) Massenerhaltungssatz eine Gültigkeitsgrenze zuweisen wird.

¹⁰⁴¹ vgl. dazu MAUPERTUIS (BIOGRAPHIE I) und MAUPERTUIS (BIOGRAPHIE II)

¹⁰⁴² Maupertuis erklärt: „*Welche Befriedigung für den menschlichen Geist gewähren diese Gesetze, die sowohl das Bewegungsprinzip als auch das Prinzip des Ruhe für alle Körper im Universum enthalten. Wenn er sie betrachtet, so findet er einen Existenzbeweis für ihn, der die Welt regiert.*“ zitiert nach HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 32

Stefan Hildebrandt und Anthony Tromba kommentieren Maupertuis' Interpretation folgendermaßen: „Was brachte Maupertuis auf den Gedanken, die Natur verfare stets mit minimalem Aufwand an Aktion (Wirkung)? War dies nicht eher ein Prinzip guten Haushaltens unseres Schöpfers statt einer Grundlage für die exakten Wissenschaften? In der Tat wurde hier ein moralisches Prinzip der calvinistischen Tradition in die Physik aufgenommen.“ HILDEBRANDT/TROMBA 1996, S. 33

¹⁰⁴³ VOLTAIRE 2006 (Siehe die Rückseite der Reclam-Ausgabe.)

wir uns nur das Ende des Buches **Candid** genauer anschauen. Dort steht: „[...] Pangloß sagte bisweilen zu Candid: >>Alle Begebenheiten in dieser besten aller möglichen Welten sind miteinander verkettet; denn wenn Sie nicht durch wuchtige Fußstritte in den Hintern um Ihrer Liebe zu Fräulein Kunigunde willen aus einem schönen Schlosse hinausgeworfen worden wären, wenn Sie nicht zu Fuß durch ganz Amerika gelaufen wären, wenn Sie den Baron nicht einen mächtigen Degenstich versetzt, wenn Sie nicht alle Ihre Widder aus dem schönen Lande Eldorado eingebüßt hätten, so würden Sie hier kein Zitronat und keine Pistazien essen.<< - >>Wohlgesprochen<<, erwiderte Candid, >>allein es gilt, unseren Garten zu bebauen.<<“¹⁰⁴⁴

Wenn wir uns an Max Borns Worte erinnern: „Nicht die Natur ist ökonomisch, sondern die Naturwissenschaft.“¹⁰⁴⁵, können wir den letzten Satz von Cadid auf folgender Weise interpretieren: **Das ist die beste aller Welten, weil man sie verbessern kann.**¹⁰⁴⁶

Wenn nun *Theorien* bzw. *Ideen* ihren Nutzen darin haben, die Welt zu verbessern, und wir Gott als die *absolute Idee* bzw. *Theorie* in der Naturwissenschaft begreifen – sei es nun entsprungen aus dem Wunsch nach einem besseren Weg bzw. absoluten Plan in eine bessere Welt, oder einfach aus dem Glauben, dass wir durch Gott etwas in die reale Welt durch schöpferische Leistung herein holen können, um sie zu verbessern – können wir auch Voltaires Appell verstehen: „Wenn Gott nicht existierte, müßte man ihn erfinden.“¹⁰⁴⁷

Zusammenfassung der klassischen Götter

Wir wollen nun in einer Tabelle wiedergeben, welche *Physiker*, welche *Prinzipien* vertreten haben.

Physiker	Das Prinzip der Universalität	Das Prinzip der Invarianz	Das Prinzip der Erhaltungssätze	Das Prinzip der Ökonomie
Descartes	JA!	NEIN!	JA!	NEIN!
Newton	JA!	JA!	NEIN!	NEIN!
Mauertuis	JA!	JA!	(NEIN!)	JA!

¹⁰⁴⁴ VOLTAIRE 2006, S. 105

¹⁰⁴⁵ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 161

¹⁰⁴⁶ „Garten zu bebauen“ von Voltaire könnte man in diesem Sinne „paradiesisch“ auffassen. Das würde bedeuten: Wir können auch hier versuchen uns einen Garten bzw. ein Paradies zu erbauen. Diese Perspektive können wir auch in den Zeilen seines Gedichtes *Le désastre de Lisbonne* erblicken:

„Dereinst wird alles gut, das hoffen wir:

Doch Täuschung ists, daß jetzt schon alles gut sei.“ VOLTAIRE 2006, S. 114

¹⁰⁴⁷ zitiert nach WEISCHEDEL 1989, S. 188

Voltaire scheint diesen Appell hauptsächlich für ein politisches Verständnis geäußert zu haben. Das bedeutet an Herrscher und Völker. Beide sollen in seinem Sinne an einen Gott glauben, damit sie sich fürchten böse Handlungen zu begehen und dazu tendieren gute Handlungen zu tätigen. Da der Gott böse Handlungen bestraft und gute Handlungen belohnt.

Auch Feuerbach schreibt: „Gott ist das *in* mir, *mit* mir, *durch* mich, *auf* mich, *für* mich handelnde Wesen, das Prinzip *meines* Heils, meiner guten Gesinnungen und Handlungen, folglich mein eignes gutes Prinzip und Wesen -, dies ist der Akt der religiösen Attraktionskraft.“ (FEUERBACH 2011, S. 78)

Interessanter Weise sehen wir, dass die Perspektive von Maupertuis als einzige drei der vier Prinzipien erfüllt. Genau genommen widersprechen aber natürlich auch „das Prinzip der kleinsten Wirkung“ oder besser „das Prinzip der stationären Wirkung“ und die Erhaltungssätze einander nicht.

Wir wollen nun im nächsten Kapitel zeigen, dass all die Prinzipien miteinander gut vereinbar sind. Es gibt nämlich ein Theorem, das das bezeugt. Dieses Theorem wird als *Noether-Theorem* bezeichnet.

(Wir haben in diesem Kapitel bis jetzt das „göttliche“ meist nur in Beziehung mit der theoretischen Physik in Verbindung gebracht. Nun stellt sich natürlich die Frage: Ist an der experimentellen Natur nichts „göttliches“ gegeben? Diesem Thema widmen wir uns im **Anhang VI.**)

Das Noether – Theorem

≈ Theorem über die Prinzipien der Physik

~ Theorem über die (klassischen) Götter der Physik

(Wir versuchen das Noether-Theorem im **Anhang VII** so einfach wie möglich zu erklären. Für die, die in der mathematischen Physik nicht sehr bewandert sind, dürfte sich ein kurzer Blick sicher lohnen.)

Kepler: „für Gott liegen in der ganzen Körperwelt körperliche Gesetze (*leges corporis*), Zahlen und Verhältnisse vor, und zwar höchst erlesene und auf das beste geordnete Gesetze ... Wir wollen über das Himmlische und Unkörperliche nicht mehr zu erforschen suchen, als uns Gott offenbart hat. Das liegt innerhalb des Fassungsvermögens des menschlichen Geistes, das wollte uns Gott erkennen lassen, als er uns nach seinem Ebenbild erschuf, damit wir Anteil bekämen an seinen eigenen Gedanken.“¹⁰⁴⁸ Dass die Natur ein Ebenbild Gottes bzw. göttlichen Charakters darstellt, ist eines der obersten Prinzipien Keplers.¹⁰⁴⁹ Umso spannender ist es zu versuchen dieses Bild durch die moderne theoretische Physik nachzuzeichnen. Doch was sind *Prinzipien* eigentlich, worüber in dieser Arbeit die ganze Zeit gesprochen wird?

Cassirer bringt die Bedeutung der Prinzipien auf den Punkt, wenn er schreibt: „Läßt man diese *Funktion* der Ordnung und Gliederung außer acht, so fällt jedes Prinzip ins Leere. Es hat seinen Grund nicht in sich selbst; es muß seine Wahrheit und Sicherheit von dem erwarten, was es begründet.“¹⁰⁵⁰

In diesem Kapitel werden wir versuchen zu zeigen, dass verschiedene *Prinzipien* (der Physik) miteinander gut vereinbar sind. Es gibt sozusagen eine „*Funktion* der Ordnung“ bzw. ein *Theorem*, welches die Prinzipien, die wir bis jetzt gelernt haben, zu gliedern im Stande ist. Dieses Theorem, wie der Titel dieses Kapitels betont, wird als Noether-Theorem bezeichnet. Das Theorem verbindet die Prinzipien von Descartes (bzw. Leibniz), Newton und Maupertuis miteinander. Daher wollen wir es als das „**Theorem über die Prinzipien der Physik**“ bezeichnen.¹⁰⁵¹ Da aber die Prinzipien analog zu den *Göttern der Physik* stehen, so nennen wir es doch gleich das „**Theorem über die (klassischen) Götter der Physik**“.

Den Ausdruck „*Theorem über die (klassischen) Götter der Physik*“ kann man womöglich als sehr weit hergeholt betrachten.¹⁰⁵² Doch die Bezeichnung das „*Theorem über die Prinzipien der Physik*“ werden

¹⁰⁴⁸ zitiert nach BIALAS 2004, S. 63

¹⁰⁴⁹ vgl. dazu BIALAS 2004, S. 100

¹⁰⁵⁰ zitiert nach BORZESZKOWSKI 1998, S. 25

¹⁰⁵¹ So ist es keine Überraschung, dass das Buch *Emmy Noether's Wonderful Theorem* (2011) im Kapitel *Emmy Noether's Elegant Theorem* mit dem Abschnitt 5.1. beginnt, welches den Titel „Extremal + Invariance = Noether's Theorem“ trägt. vgl. NEUENSCHWANDER 2011, S. 72

¹⁰⁵² Dass aber sowohl das Verständnis der Wissenschaft, als auch das der Religion zumindest einige Analogien aufweisen, scheint einigen Naturwissenschaftlern nicht entgangen zu sein. Der begnadete Physiker Carl Friedrich von Weizsäcker schreibt:

wohl die wenigsten verneinen. Nach dem Ableben von Emmy Noether (Bild 14)¹⁰⁵³ schreibt Albert Einstein (über ihre Leistung) in der *New York Times* (1935): „Reine Mathematik ist in ihrer Art, die Poesie der logischen Ideen. Man sucht dabei nach den allgemeinen Methoden, die es erlauben Zusammenhänge in einfache, logische und einheitliche Form in einer größtmöglichen formalen Beziehung unterzubringen. In diesem Bestreben in Richtung logischer Schönheit wurden notwendigerweise spirituelle Formeln entdeckt, für ein tieferes Eindringen in die Gesetze der Natur.“¹⁰⁵⁴



Bild 14: Emmy Noether (1882-1935)

Sehen wir uns doch dieses hochgelobte Theorem an. ***Dieses besagt, dass jede kontinuierliche Symmetrie bzw. Invarianz zu einer Erhaltungsgröße führt.***¹⁰⁵⁵ Und dabei kommt natürlich auch das Maupertuissche Prinzip zum vollen Einsatz. Man bezeichnet es zwar nicht als das „Maupertuissche Prinzip“, sondern als das „Hamiltonsche Prinzip“, doch ist der Inhalt beider Prinzipien gleichwertig. Wir wollen den Inhalt des Noether-Theorems in drei Schritten beschreiben¹⁰⁵⁶:

- (1.) Wenn das „Prinzip der (kleinsten oder besser der) stationären Wirkung“ W bzw. das „Hamiltonsche Prinzip“,
- (2.) bei unendlich kleinen Transformationen gleich bleibt bzw. wenn eine Symmetrie $W' = W$ gegeben ist,
- (3.) dann gelangen wir zu den Erhaltungsgrößen; z.B.: zum Energieerhaltungssatz, Impulserhaltungssatz usw.

„Die Wissenschaft scheint irgendwie das Wesen und das Schicksal unserer Zeit auszudrücken. Ich versuche, diesen Gedanken in zwei Thesen zu fassen, die eine nicht ganz übliche Terminologie benutzen. Die Thesen lauten:

1. Der Glaube an die Wissenschaft spielt die Rolle der herrschenden Religion unserer Zeit.
2. Man kann die Bedeutung der Wissenschaft für unsere Zeit, wenigstens heute, nur in Begriffen erläutern, die eine Zweideutigkeit ausdrücken.

Man kann die beiden Thesen nur gemeinsam verstehen.“ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 18

¹⁰⁵³ BILD: EMMY NOETHER

¹⁰⁵⁴ (Frei übersetzt von Eren Simsek.) Im Original lautet es: „Pure mathematics is, in its way, the poetry of logical ideas. One seeks the most general ideas of operation which will bring together in simple, logical and unified form the largest possible circle of formal relationships. In this effort toward logical beauty spiritual formulas are discovered necessary for the deeper penetration into the laws of nature.“ EINSTEIN (NEW YORK TIMES); vgl. NEUENSCHWANDER 2011, S. 72

¹⁰⁵⁵ FLIEßBACH (NOETHER-THEOREM), S. 14

Wir wollen hier auch gleich festhalten wo es nicht einsetzbar ist:

- Das Noether-Theorem gilt nicht bei diskreten Symmetrien. Zum Beispiel ist die Raumspiegelung eine diskrete Symmetrie.
- Mit Hilfe des Noether-Theorems können wir von den Symmetrien auf die Erhaltungssätze folgern, aber nicht umgekehrt.

¹⁰⁵⁶ vgl. NEUENSCHWANDER 2011, S. 73

Die drei Stadien wollen wir gleich an Hand des Energieerhaltungssatzes demonstrieren. Da wir wissen, dass sich die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems sich unter dem Einfluss der Zeit nicht verändert, werden wir das Konzept sicher sehr schnell begreifen.

(1.) Wir starten mit dem *Hamiltonschen Prinzip*

$$W = \int_{t_1}^{t_2} L(t, x, v) dt = \text{Extremum}$$

(2.) Wenn nun $L = L(x, v)$, auf welches unter dem Integral angewendet wird, nicht explizit von der Zeit t abhängt, dann ist die Lagrange-Funktion ($= L$) und deswegen auch das Hamiltonsche Prinzip ($= W$) unverändert gegenüber der Transformation (bzw. Zeittranslation = Zeitverschiebung)

$$t \rightarrow t' = t + \varepsilon$$

(Wobei ε ein kontinuierlicher Parameter ist.)

(3.) Und wir erhalten den Energieerhaltungssatz: $E_{kin.} + E_{pot.} = E_{Ges.}$

Eine etwas detailliertere Ausarbeitung dieser Stadien ist möchten wir hier auch noch kurz anbieten.¹⁰⁵⁷ (Der Leser kann diesen Abschnitt über den mathematischen Zugang natürlich überspringen.)

Wir wollen das *Noether-Theorem* hier in acht Schritten festhalten und zeigen dabei, wie man vom *Hamiltonschen Prinzip* zu einer *Erhaltungsgröße* gelangt. Dabei werden wir die mathematischen Zwischenschritte auslassen. Und die mathematische Schreibweise ganz vereinfacht darzustellen versuchen.¹⁰⁵⁸

1. Als Ausgangspunkt haben wir das Hamiltonsche Prinzip:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = 2 \cdot \int_{t_1}^{t_2} E_{kin.} \cdot dt = 0 \quad \text{Gl. (14)}$$

2. Dabei hängen die „Transformationen der Koordinaten und der Zeit“ „von einem kontinuierlichen Parameter ε “ ab. (Wenn dieser Parameter Null ist ($\varepsilon = 0$), dann handelt es sich um eine identische Transformation. Oder anders ausgedrückt: Es hat sich während der *Transformation* nichts geändert.)

$$x'(t) = x(t) + \varepsilon \cdot a$$

$$t' = t + \varepsilon \cdot b$$

3. Natürlich entstehen aus den Transformationen neue bzw. andere Funktionen

$$x'(t') = x(t) + \varepsilon \cdot a$$

¹⁰⁵⁷ Dieser Zugang und die Beispiele sind genau genommen eine bescheidene Zusammenfassung zu Torsten Fließbachs Erläuterungen. Um das Original zu studieren vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 121-125.

¹⁰⁵⁸ Für interessierte Leser sei hier Torsten Fließbachs Buch FLIEßBACH (I) 2007, S. 121-129 empfohlen.

$$t'(t) = t + \varepsilon \cdot b$$

Was sind a und b eigentlich für Funktionen? Wir wollen es an Hand eines Beispiels kurz zu erläutern versuchen:

Wenn wir beispielsweise nur eine Zeittranslation haben $t' = t + \varepsilon$, dann bekommen wir für $a = 0$ und $b = 1$.

$$x'(t) = x(t) + \varepsilon \cdot 0$$

$$t' = t + \varepsilon \cdot 1$$

Dadurch bleibt die alte Bahn zugleich auch die neue Bahn $x'(t') = x(t)$. Die Bahn hat sich somit nicht geändert. Und das ist eben genau das, was man sich für die Beschreibung einer Zeittranslation wünscht. Dabei zeigt t' , dass wir eine neue Variable bzw. Zeit haben. In unserem Beispiel der Zeittranslation hat sich also die Zeit verändert. Damit sind alle Bedingungen erfüllt, die wir uns unter einer reinen Zeittranslation auch wünschen würden.

4. Nun wünschen wir uns Symmetrien – hier kommt also schon eine *abstrakte Form von Theory of Mind* ins Spiel – nämlich, dass für das Wirkungsintegral $W' = W$ gilt. Beispielsweise wünschen wir uns, dass die Bahn eines Körpers keine Veränderungen erleidet, auch wenn sie transformiert wird. (Wir wollen also, dass die Funktion invariant unter einer Transformation ist!)

$$\int_{t_1}^{t_2} L(x', v', t') \cdot dt' = \int_{t_1}^{t_2} L(x, v, t) \cdot dt \quad \text{Gl. (15)}$$

5. Für die in Gl. (15) erwünschte Forderung können wir auch eine Bedingung (*Invarianzbedingung*) herleiten:

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = 0 \quad \text{Gl. (16)}$$

$\varepsilon = 0$ am Fuße der eckigen Klammer bedeutet, dass man hier die Lagrangefunktion nimmt, welche nach ε differenziert wurde.

(Dabei haben wir für $\frac{dt'}{dt} = 1 + \varepsilon \frac{db}{dt}$ und für $v' = v + \varepsilon \frac{da}{dt} - \varepsilon \cdot v \cdot \frac{db}{dt}$.)

6. Mit Hilfe der Gleichung Gl. (16) versuchen wir anschließend eine Erhaltungsgröße (*Erhaltungsgröße = EG* (t, x, v)) abzuleiten. (Dazu benutzen wir natürlich die Euler-Lagrange-Gleichung). Unser Ergebnis lautet schließlich:

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b \right] \quad \text{Gl. (17)}$$

7. Durch die Gl. (16) wissen wir auch, dass die linke Seite der Gleichung Null ist, wodurch wir zu unserem Erhaltungssatz gelangen können:

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b \right] \quad | \quad \frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = 0$$

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b \right] = 0 = \text{konst.}$$

$\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b = konst. = EG$	Gl. (18)
--	---

8. Nun dürfte uns klar sein, dass das Noether-Theorem gerade diesen Zusammenhang zwischen dem *Extremal* Gl. (14), der *Symmetrie* (bzw. *Invarianz*) Gl. (15) und den *Erhaltungsgrößen* Gl. (18) stellen kann:

$[W' = W] \quad \rightarrow \quad \text{Noether - Theorem} \quad \rightarrow \quad [EG = konst.]$
$\text{Symmetrie} \quad \rightarrow \quad \text{Noether - Theorem} \quad \rightarrow \quad \text{Erhaltungssätze}$

Wir wollen hier noch den Energieerhaltungssatz und den Impulserhaltungssatz als Beispiel für ein besseres Verständnis anführen:

1. Der Energieerhaltungssatz

Wir nehmen an, dass L nicht eigens von t abhängt: $L = L(x, v)$. Die Transformationen dafür sind, (wie im 3. Schritt) bereits besprochen

$$x' = x \quad (\text{weil } a = 0)$$

$$t' = t + \varepsilon \quad (\text{weil } b = 1)$$

Wir erhalten somit folgende Zusammenhänge

$$x'(t') = x(t),$$

$$\frac{dt'}{dt} = 1 \quad \text{und}$$

$$\frac{dq'}{dt'} = \frac{dq}{dt}$$

Diese Zusammenhänge setzen wir nun in die Invarianzbedingung (5. Schritt) ein und erkennen ganz klar die Symmetrie ($W' = W$):

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = \frac{d}{d\varepsilon} L(x, v) = 0$$

Nun wollen wir natürlich auch auf die Erhaltungsgröße schließen und nehmen die Gleichung Gl. (18) (aus dem 7. Schritt) und setzen $a = 0$ und $b = 1$ ein:

$$\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b = konst. = EG \quad | \quad a = 0 \quad | \quad b = 1$$

$$L - \frac{\partial L}{\partial v} v = konst. = EG$$

Was ist das für eine Erhaltungsgröße? Wir wissen $L = E_{kin.} - E_{pot.}$ und $\frac{\partial L}{\partial v} v = 2 \cdot E_{kin.}$

So erhalten wir als Erhaltungsgröße die Gesamtenergie $E_{Ges.}$ des abgeschlossenen Systems:

$$L - \frac{\partial L}{\partial v} v = 0 = \text{konst.} = EG \quad | \quad L = E_{kin.} - E_{pot.} \quad | \quad \frac{\partial L}{\partial v} v = 2 \cdot E_{kin.}$$

$$E_{kin.} - E_{pot.} - 2 \cdot E_{kin.} = -E_{pot.} - E_{kin.} = EG \quad | \cdot (-1)$$

$$E_{kin.} + E_{pot.} = -EG = E_{Ges.}$$

2. Der Impulserhaltungssatz

Diesmal wollen wir annehmen, dass L nicht von einer bestimmten Koordinate $x_{bestimmt}$ abhängig ist. Die Transformationen dafür sind, wie (im 3. Schritt) bereits besprochen

$$x' = x + \varepsilon \cdot a \quad (\text{weil } a = 1 \text{ für } x_{bestimmt})$$

$$t' = t \quad (\text{weil } b = 0)$$

Daraus ergeben sich folgende Zusammenhänge

$$\frac{dx_{bestimmt}'}{dt'} = \frac{dx_{bestimmt}}{dt}$$

Diesen Zusammenhang setzen wir nun in die Invarianzbedingung (bzw. in Schritt 5) ein und erkennen die Symmetrie ($W' = W$):

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = \frac{d}{d\varepsilon} L(x, v, t) = 0$$

(Dabei haben wir natürlich unseren Wunsch $\frac{\partial L}{\partial x_{bestimmt}} = 0$ mit einbezogen.)

Wir wollen schließlich auch auf die Erhaltungsgröße schließen und nehmen die Gleichung aus dem 7. Schritt und setzen $a = 1$ für $x_{bestimmt}$ und $b = 0$ ein:

$$\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b = \text{konst.} = EG \quad | \quad b = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial v} a = 0 = \text{konst.} = EG \quad | \quad a = 1 \text{ für } x_{bestimmt}$$

$$\frac{\partial L}{\partial v_{bestimmt}} \cdot 1 = \frac{\partial L}{\partial v_{bestimmt}} = p_{bestimmt} = \text{konst.} = EG$$

Wir erkennen somit, dass unsere Erhaltungsgröße der Impuls ist. Der Impuls bleibt somit entlang dieser bestimmten Koordinate erhalten. Auf diesem Wege bekommen wir alle Erhaltungssätze, die wir in dieser Arbeit besprochen haben. Nach diesem kurzen Ausflug kehren wir wieder zu unserer Arbeit zurückkehren und versuchen noch eine Stufe höher zu steigen.

Das (erweiterte) Noether-Theorem und Theory of Mind

Bis jetzt ist in unseren Untersuchungen nirgends das Symbol δ aufgetreten¹⁰⁵⁹, deswegen können wir das Noether-Theorem erwartungsgemäß noch erweitern und wollen es daher als das „erweiterte Noether-Theorem“¹⁰⁶⁰ bezeichnen. Wie sieht dieses „erweiterte Noether-Theorem“ aus?

Wir sind beim Noether-Theorem von einer Symmetrie $W' = W$ ausgegangen. Die Bewegungsgleichungen sind aber auch gleichwertig zu $\delta W = 0$. Deswegen können wir für die Symmetrie auch eine schwächere Forderung $\delta W = \delta W'$ stellen.

Das *erweiterte Noether-Theorem* besagt folgendes:

- (1.) Wenn das „Prinzip der (kleinsten oder besser der) stationären Wirkung“ δW bzw. das „Hamiltonsche Prinzip“,
- (2.) bei unendlich kleinen Transformationen gleich bleibt bzw. wenn eine Symmetrie $\delta W' = \delta W$ gegeben ist,
- (3.) dann gelangen wir zu den Erhaltungsgrößen, z.B.: zum Energieerhaltungssatz, Impulserhaltungssatz usw.

Wir haben uns beim Noether-Theorem bereits Beispiele für Erhaltungsgrößen angesehen. *Interessant sind natürlich aber auch die Transformationen selbst.* Wir wissen zum Beispiel, dass alle Bewegungsgleichungen unter der Galileitransformation gleich bleiben bzw. invariant sind. Man nennt sie deshalb auch *Galileiinvariant*. Wir können somit auch durch die Benützung der Galileitransformation zu einem Erhaltungssatz gelangen. Wir wollen hier gleich auch ein Beispiel geben:

- (1.) Wenn wir also das *Hamiltonsche Prinzip* nehmen $\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L(t, x, v) dt = \text{Extremum}$,
- (2.) noch dazu eine *Symmetrie* bzw. *Invarianz* fordern $\delta W' = \delta W$ und dabei die Galileitransformationen $x' = x + \varepsilon \cdot t$ (wobei ε ein kontinuierlicher Parameter ist), $y' = y$, $z' = z$, $t' = t$ benützen,
- (3.) dann kommen wir zum *Schwerpunkterhaltungssatz*.

Da wir bereits von der Galileitransformation wissen, dass es einen sehr starken Zusammenhang zwischen dem Begriff der Symmetrie bzw. Invarianz und der *Theory of Mind* bzw. dem Perspektivenwechsel gibt, können wir eigentlich auch sagen:

Das **Noether-Theorem** stellt eine formelle Struktur da, wie die **Theory of Mind (in abstrakter Form)** mit den **Erhaltungssätzen** zusammenhängt!

Oder, um es in einem konkreten Beispiel wieder zu geben:

¹⁰⁵⁹ Die Bedeutung dieses Symbols wird im **Anhang VII** kurz erläutert.

¹⁰⁶⁰ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 125

- ✚ Das **Noether-Theorem** zeigt in mathematischer Form,
- ✚ dass aus **Theory of Mind** bzw. **Perspektivenwechsel**,
- ✚ wie beispielsweise aus der **Gleichberechtigung aller Inertialsysteme**,
- ✚ die **Erhaltung der (3) Schwerpunktkoordinaten** folgt.¹⁰⁶¹

Somit hätten wir auch die (Galilei)-Huygensche-Wende aus dem Noether-Theorem folgern können.

Bevor wir in unserer Arbeit fortfahren, möchten wir noch die mathematischen Zusammenhänge besser darstellen.¹⁰⁶² (Der Leser kann diesen Teil natürlich gerne überspringen.)

Wir wollen auch das erweiterte *Noether-Theorem* in acht Schritten darstellen und zeigen dabei wie man vom *Hamiltonschen Prinzip* zu einer *Erhaltungsgröße* gelangt. Dabei gilt es ganz besonders auf den 5. Schritt zu achten. Wir werden wieder die mathematischen Zwischenschritte auslassen. Und versuchen die mathematische Schreibweise ganz vereinfacht darzustellen.¹⁰⁶³

1. Als Ausgangspunkt haben wir das Hamiltonsche Prinzip:

$$\delta W = \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = 2 \cdot \delta \int_{t_1}^{t_2} E_{kin.} \cdot dt = 0 \quad \text{Gl. (19)}$$

2. Dabei hängen die „Transformationen der Koordinaten und der Zeit“ „von einem kontinuierlichen Parameter ε “ ab. (Wenn dieser Parameter Null ist ($\varepsilon = 0$), dann ist es eine identische Transformation. Oder anders ausgedrückt: Es hat sich nichts geändert.)

$$x'(t) = x(t) + \varepsilon \cdot a$$

$$t' = t + \varepsilon \cdot b$$

3. Natürlich entstehen aus den Transformationen neue Funktionen

$$x'(t') = x(t) + \varepsilon \cdot a$$

$$t'(t) = t + \varepsilon \cdot b$$

Was sind a und b eigentlich für Funktionen? Wir wollen hier nicht darauf eingehen und werden versuchen es daher an Hand eines Beispiels kurz zu erläutern, welche Rolle diese Funktionen einnehmen können: Wenn wir beispielsweise nur eine Zeittranslation haben $t' = t + \varepsilon$, dann bekommen wir für $a = 0$ und $b = 1$.

$$x'(t) = x(t) + \varepsilon \cdot 0$$

$$t' = t + \varepsilon \cdot 1$$

¹⁰⁶¹ vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 154-155

¹⁰⁶² Dieser Zugang und das Beispiel sind genau genommen eine bescheidene Zusammenfassung zu Torsten Fließbachs Erläuterungen. Um das Original zu studieren vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 125-127.

¹⁰⁶³ Für interessierte Leser sei hier Torsten Fließbachs Buch FLIEßBACH (I) 2007, S. 125-126 empfohlen.

Dadurch bleibt die alte Bahn zugleich auch die neue Bahn $x'(t') = x(t)$. Die Bahn hat sich somit nicht geändert. Und das ist eben genau das, was man sich für die Beschreibung einer Zeittranslation wünscht. t' zeigt hingegen, dass wir eine neue Variable bzw. Zeit haben; damit hat sich die Zeit verändert.

4. Nun wünschen wir uns Symmetrien, nämlich, dass für das Wirkungsintegral $\delta W' = \delta W$ gilt: Beispielsweise wünschen wir uns, dass die Bahn eines Körpers keine Veränderungen erleidet, auch wenn sie transformiert wird. (Wir wollen also dass die Funktion invariant unter einer Transformation ist!)

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L(x', v', t') \cdot dt' = \delta \int_{t_1}^{t_2} L(x, v, t) \cdot dt \quad \text{Gl. (20)}$$

5. Für die (im 4. Schritt) erwünschte Forderung können wir auch eine Bedingung (Invarianzbedingung) herleiten:

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = \frac{d}{dt} f(x, t)$$

$\varepsilon = 0$ am Fuße der eckigen Klammer bedeutet, dass man hier die Lagrangefunktion nimmt, welche nach ε differenziert wurde.

(Dabei haben wir für $\frac{dt'}{dt} = 1 + \varepsilon \frac{da}{dt}$ und für $v' = v + \varepsilon \frac{db}{dt} - \varepsilon \cdot v \cdot \frac{db}{dt}$.)

$f(x, t)$ stellt in dieser Gleichung irgendeine Funktion der Koordinaten und der Zeit da.

Doch weshalb ist sie hier nach der totalen Zeit abgeleitet? Man kann allgemein zu L die totale Zeitableitung irgendeiner Funktion $\frac{d}{dt} f(x, t)$ addieren und die Bewegungsgleichungen sind dennoch dieselben.

Das bedeutet, wenn wir also $L' = L + \frac{d}{dt} f(x, t)$ haben, dann bekommen wir einerseits $\delta W' \int_{t_1}^{t_2} L' \cdot dt$ und andererseits $\delta W \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt$. Nachdem wir $\delta W'$ ausgerechnet haben, erkennen wir aber, dass $\delta W' = \delta W$ gilt. Deswegen setzen wir die totale Zeitableitung irgendeiner Funktion $\frac{d}{dt} f(x, t)$ mit $\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0}$ gleich, denn das ist eben gerade die Bedingung wodurch sich die Bewegungsgleichungen nicht ändern. Wir können die Formel selbstverständlich noch umformen und erhalten

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} - \frac{d}{dt} f(x, t) = 0 \quad \text{Gl. (21)}$$

6. Mit Hilfe der Gl. (21) versuchen wir anschließend eine Erhaltungsgröße *Erhaltungsgröße* = $EG(t, x, v)$ abzuleiten. (Dazu benutzen wir natürlich die Euler-Lagrange-Gleichung). Unser Ergebnis lautet schließlich:

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} - \frac{d}{dt} f(x, t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b \right] - \frac{d}{dt} f(x, t) \quad \text{Gl. (22)}$$

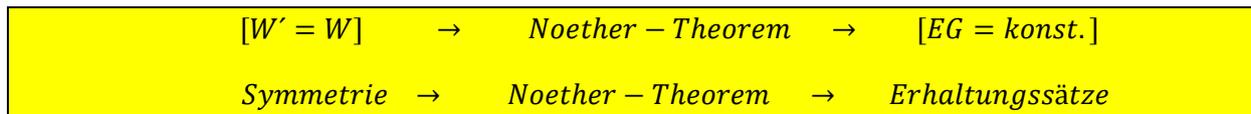
7. Durch die Gl. (21) wissen wir, dass die linke Seite der Gleichung Null ist, wodurch wir zu unserem Erhaltungssatz gelangen können:

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} - \frac{d}{dt} f(x, t) = \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b \right]$$

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b \right] - \frac{d}{dt} f(x, t) = 0 = \text{konst.}$$

$$\frac{\partial L}{\partial v} a + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v} v \right) b - f(x, t) = \text{konst.} = EG \quad \text{Gl. (23)}$$

8. Nun dürfte uns klar sein, dass das Noether-Theorem gerade diesen Zusammenhang zwischen dem *Extremal* Gl. (19), der *Symmetrie* (bzw. *Invarianz*) Gl. (20) und den *Erhaltungsgrößen* Gl. (23) stellen kann:



Wir wollen hier noch den Schwerpunkterhaltungssatz als ein Beispiel für ein besseres Verständnis anführen:

1. Der Schwerpunkterhaltungssatz

Wir werden zu einem Körper wieder die dazu gehörende Erhaltungsgröße suchen. Dabei beschränken wir die Richtung der Bewegung nur auf eine Dimension bzw. auf die x – Achse. Wir verwenden dazu gleich eine bestimmte Transformation, nämlich die Galileitransformation. Diese hat in der Physik eine ganz besondere Stellung, denn die Bewegungsgleichungen der klassischen Physik bleiben bekanntlich unter den Galileitransformationen gleich. Aus diesem Grund sagt man auch, dass die Bewegungsgleichungen Galileiinvariant sind.

Wir wollen die Galileitransformation für uns nun in folgender Form – dabei haben wir v durch ε ersetzt und auf der linken Seite auch gleich den Wert der Funktionen a und b wiedergegeben – nieder schreiben:

$$x' = x + \varepsilon \cdot t \quad \text{dabei haben wir für} \quad a_x = t$$

$$y' = y \quad \text{dabei haben wir für} \quad a_y = 0$$

$$z' = z \quad \text{dabei haben wir für} \quad a_z = 0$$

$$t' = t \quad \text{dabei haben wir für} \quad b = 0$$

Für ein abgeschlossenes System haben wir die uns bekannte Langrangefunktion

$$L = E_{kin.} - E_{pot.}$$

Außerdem verwenden wir noch die folgenden Beziehungen, die nur ausdrücken, dass wir die Transformation in Richtung der x – Achse ausführen:

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x} + \varepsilon = v_x + \varepsilon$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{y} = v_y$$

$$\frac{dz}{dt} = \dot{z} = v_z$$

$$\frac{dt'}{dt} = 1$$

Nun werden wir uns an die Invarianzbedingung (5. Schritt) herantasten. Wir nehmen zuerst die linke Seite von dieser Gleichung und erhalten

$$\frac{d}{d\varepsilon} \left[L(x', v', t') \cdot \frac{dt'}{dt} \right]_{\varepsilon=0} = \frac{\partial L}{\partial v_x} = m \cdot v_x = \frac{d}{dt} \cdot m \cdot x_x$$

Jetzt können wir sehr schön auch die rechte Seite der Gleichung bestimmen

$$\frac{d}{dt} f(x, t) = \frac{d}{dt} \cdot m \cdot x_x \quad | \cdot dt$$

$$f(x, t) = m \cdot x_x$$

Zum Schluss setzen wir unsere Ergebnisse in die Gleichung im 7. Schritt ein, um zu unserer Erhaltungsgröße zu gelangen.

$$\frac{\partial L}{\partial v_x} a_x + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v_x} v_x \right) b - f(x, t) = konst. = EG \quad | a_x = t \quad | b = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial v_x} \cdot t + \left(L - \frac{\partial L}{\partial v_x} v_x \right) \cdot 0 - f(x, t) = \frac{\partial L}{\partial v_x} \cdot t - f(x, t) \quad | \frac{\partial L}{\partial v_x} = m \cdot v_x = \frac{d}{dt} \cdot m \cdot x_x$$

$$\frac{d}{dt} \cdot m \cdot x_x \cdot t - f(x, t) \quad | f(x, t) = m \cdot x_x$$

$$\frac{d}{dt} \cdot m \cdot x_x \cdot t - m \cdot x_x = konst.$$

Doch um es deutlicher zu machen, formen wir noch um

$$m \cdot \frac{d}{dt} x_x \cdot t - m \cdot x_x = konst. \quad | m \cdot \frac{d}{dt} x_x = p_x$$

$$p_x \cdot t - m \cdot x_x = konst. \quad | \div m$$

$$\frac{p_x}{m} \cdot t - m \cdot x_x = \frac{p_x}{m} \cdot t - x_x = konst.$$

Nehmen wir für den Anfangsort $x_x = 0$, können wir sehen dass der Impuls bzw. die Geschwindigkeit konstant bleibt

$$\frac{p_x}{m} \cdot t - x_x = konstant. \quad | x_x = 0$$

$$\frac{p_x}{m} \cdot t = konstant$$

Diesen Impuls des Körpers können wir natürlich auch als den Schwerpunktimpuls betrachten. Der Körper bewegt sich somit *geradlinig*, weiter.

Das Noether – Theorem

≈ das Kosmologische Prinzip

~ die (göttliche) Theory of Mind

Zu Beginn dieser Arbeit konnten wir lesen, dass Platon betont, dass der erste Philosoph Thales (in Gedanken versunken) den Sternenhimmel beobachtete. Womöglich möchte Platon dabei zeigen, dass der Mensch nach höheren Standpunkten bzw. Perspektiven sucht.¹⁰⁶⁴ Wir möchten schließlich unseren Blickwinkel ausweiten, in unserem Standpunkt aufsteigen und somit unseren Horizont bzw. unsere Perspektive vergrößern.¹⁰⁶⁵ Heute können wir durch die Sattelitenaufnahmen sogar die Erde überblicken usw. Doch all dies war nicht immer schon selbstverständlich. Dass wir den Anspruch erheben, unsere Perspektive (und somit auch unseren Standpunkt) im Kosmos frei wählen zu dürfen, um alles besser begreifen zu können, verdanken wir Großteils einer bestimmten Person¹⁰⁶⁶, der eine bekannte *Wende* in unserem Bewusstsein ansteuerte. Friedrich Kaulbach schreibt in seinem Buch **Philosophie des Perspektivismus** (1990) dazu: „Zu diesem Anspruch gehört bei Kopernikus die Forderung nach einer Perspektive, in welcher der Kosmos das Bild optimaler Überschaubarkeit, Einfachheit und Berechenbarkeit bietet. Diese Forderung erhebt das wissenschaftliche Bewußtsein unter der Voraussetzung, daß es die *Freiheit* der Wahl des Standpunktes der optischen Beobachtung habe, in dessen Perspektive der Anspruch auf die genannten Charaktere der Welt erfüllt werden kann.“

Es ist für das gedankliche Weltverhalten des Ptolemäus kennzeichnend, daß er nicht auf den Gedanken kommt, der für die >Revolution der Denkart< des Kopernikus maßgebend ist. Ptolemäus übernimmt unreflektiert und in Fraglosigkeit den Stand für sein beobachtendes Auge, auf den ihn die Natur hingeworfen hat: es ist der Stand der Erde und die demgemäße Perspektive. Kopernikus befreit sich zu der Erkenntnis, daß diese Perspektive eine unter unendlich vielen möglichen anderen ist, zwischen denen die Wahl freisteht. Die Wahl ist frei, muß aber in motivierter Weise geschehen: sie ist der Logik des Anspruchs verpflichtet, den die neuzeitliche Weltattitüde des Naturforschers an eine rational überschaubare, auf möglichst einfache Theorien zu bringende Welt erhebt.

Daraus resultiert, daß an der Revolution des Denkens, die sich bei Kopernikus ereignet hat, zwei Schritte zu unterscheiden sind, durch welche sich die kopernikanische Wendung vollzieht. Der eine radikale Schritt ist derjenige des Übergangs des Denkens zum Stand der Freiheit der Wahl von

¹⁰⁶⁴ Davon zeugt auch das berühmteste Beispiel Platons, nämlich das Höhlengleichnis. vgl. dazu KAULBACH 1990, S. 2

¹⁰⁶⁵ vgl. dazu KAULBACH 1990, S. 3

¹⁰⁶⁶ Nicht unerwähnt soll hier natürlich auch der Name Aristarch von Samos bleiben, der um 270 v. Chr. lebte und das Geozentrische Weltbild schon etwa 1500 Jahre vor Kopernikus vertrat. vgl. dazu auch GALILEI 1891, S. 543, Fußnote 152

(Wie sehr beispielsweise Galilei Kopernikus hochschätzt, zeigen die folgenden Zeilen: „Da dieser Schriftsteller ein so kühnes Unternehmen zu Ende führt wie das, die neuen Sterne vom Firmament bis in die elementare Sphäre hinabzuziehen, so ist er oder wenigstens verdient sein Name unter diesen rühmlich verewigt zu werden.“ GALILEI 1891, S. 262)

Perspektiven überhaupt. Durch den dazu komplementären zweiten Schritt entscheidet sich das erkennende Subjekt für eine der vielen möglichen Perspektiven, deren Welt dieses sich durch den ersten Schritt eröffnet hat. Diese Entscheidung wird durch die Notwendigkeit motiviert, eine Perspektive des Deutens der Welt zu finden und zu wählen, in welcher sich diese in einer Weise darstellt, welche den Erkenntniswillen des Subjekts zu befriedigen vermag. Befriedigung bedeutet für das Subjekt; es findet in der durch diese Perspektive erschlossenen Welt eine Bestätigung seiner Welterwartung. Diese Perspektive wird von dem erkennenden Subjekt als >sinnvoll< erfahren, weil sie eine Theorie über die Welt möglich macht, welche den vom Subjekt seiner Weltstellung gemäßen Ansprüchen und Erwartungen an ein Wissen über die Welt gemäß ist und ihnen einen >Sinn< gibt. Kopernikus hat demgemäß durch seine Tat sowohl einen Schritt der Befreiung des Blickes auf die unendliche Vielheit möglicher Weltperspektiven wie auch einen solchen der freien Wahl einer solchen Perspektive getan, [...]"¹⁰⁶⁷

Etwas physikalischer sind die Äußerungen von Paul A. Tipler und Ralph A. Llewellyn über Kopernikus (Bild 15)¹⁰⁶⁸: „Die kopernikanische Theorie griff fundamental und dramatisch in das Denken der Menschen ein. Uns interessiert daran vor allem die Tatsache, dass Kopernikus die Lage der Erde nicht als in irgendeiner Weise ausgezeichnet betrachtete. Somit können die Gesetze der Physik, die auf der Erde entdeckt werden, gleichermaßen auf jeden Punkt im Raum, den man als Mittelpunkt annimmt, angewendet werden. Man erhält unabhängig vom Koordinatenursprung stets dieselben Gleichungen. Diese Invarianz der Gleichungen, die die physikalischen Gesetze repräsentieren, bezeichnen wir als *Relativität*.“¹⁰⁶⁹

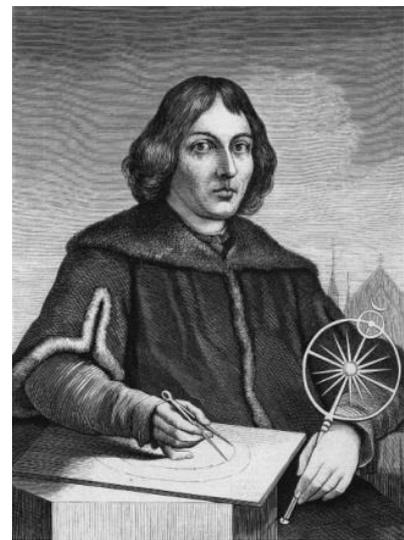


Bild 15: Nikolaus Kopernikus (1473-1543)

Wir fassen an dieser Stelle kurz zusammen:

- ❖ Kopernikus stellt die Hypothese auf, dass man zwischen verschiedenen Perspektiven bzw. Bezugssystemen wählen darf.
- ❖ Die Hypothese, dass sich die Erde entlang einer Bahn bewegt, geht wiederum voraus, dass der Raum im gesamten Universum dieselbe Struktur besitzt, so dass weder ein Ort noch eine Richtung ausgezeichnet ist. (In der Fachsprache der Physik könnten wir auch sagen, dass wir die *Homogenität* und die *Isotropie* des Raumes voraussetzen.) Außerdem gehen wir natürlich davon aus, dass sich auch die Zeit überall im Universum gleichmäßig (und kontinuierlich bzw. ohne Sprünge) aneinander reiht. (Mit anderen Worten, wir setzen auch die *Homogenität* der Zeit voraus.)
- ❖ Bezugssysteme, die diese Hypothese erfüllen sind – nach dem Galileischen Relativitätsprinzip – Inertialsysteme. In Ihnen sind die Naturgesetze stets dieselben.

Da wir die Naturgesetze in Form von **Gesetzen der Erhaltung** betrachten können, drängt sich hier natürlich die Frage, ob nicht die Beschaffenheit von **Raum** und die **Zeit** mit denen der Erhaltungssätze

¹⁰⁶⁷ KAULBACH 1990, S. 5-6

¹⁰⁶⁸ BILD: NIKOLAUS KOPERNIKUS

¹⁰⁶⁹ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 3

eng verbunden sind. Dass dem so ist, kann man durch die Anwendung des Noether-Theorems folgern. Ohne (mathematischen) Beweis wollen wir die zehn klassischen Erhaltungsgrößen, welche aus den Symmetrie- bzw. Invarianzeigenschaften der physikalischen Raum-Zeit folgen, in einer Tabelle wiedergeben¹⁰⁷⁰:

Beschaffenheit der Raum-Zeit	Art der Symmetrie bzw. Invarianz	Erhaltungsgröße
Homogenität des Raumes	Translationsinvarianz	Erhaltung der 3 Impulskomponenten
Isotropie des Raumes	Rotationsinvarianz	Erhaltung der 3 Drehimpulskomponenten
Homogenität der Zeit	Translationsinvarianz der Zeit	Erhaltung der Energie
Gleichberechtigung aller Inertialsysteme	Galileiinvarianz	Erhaltung der 3 Schwerpunktkoordinaten

Diese „philosophische These“¹⁰⁷¹, dass der Kosmos homogen und isotrop ist, bezeichnet man als das **Kosmologische Prinzip**:

„Dem kosmologischen Prinzip zufolge hat das Weltall zu jedem beliebigen Zeitpunkt überall die gleichen physikalischen Eigenschaften und sieht von jedem Standort aus in allen Richtungen gleich aus (Homogenität, Isotropie).“¹⁰⁷²

Wir wollen hier noch kurz betonen, dass das kosmologische Prinzip nicht nur *räumliche*, sondern eben auch *zeitliche* Aussagen tätigt. Wir nehmen somit *prinzipiell* an, dass an jedem Punkt des Universums die Zeit *homogen* verläuft. Diese Annahme für den Gang der Zeit gilt nicht nur für das *kosmologische Prinzip*, sondern würde auch *prinzipiell* für das *vollkommene kosmologische Prinzip* gelten. Beim *vollkommen kosmologischen Prinzip* geht man von einem statischen bzw. von einem zeitlich unveränderlichen Universum aus. Dabei geht es also aber um die Entwicklung des Universums und nicht um die Zeit selbst. Beispielsweise vertrat Albert Einstein einige Zeit diese philosophische These des vollkommen kosmologischen Prinzips.¹⁰⁷³ Dieses Prinzip steht aber mit den Beobachtungen nicht im Einklang. Wir fassen zusammen:

¹⁰⁷⁰ vgl. dazu PIETSCHMANN 2007, S. 154-155

¹⁰⁷¹ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 860

¹⁰⁷² TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 878

¹⁰⁷³ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 862

1. Damit die Erhaltungssätze bzw. Naturgesetze gelten, zeigt das Noether-Theorem, dass
 - ✓ der **Raum homogen** und **isotrop** ist und
 - ✓ dass die **Zeit homogen** ist.
2. Wenn wir nun den Kosmos verstehen wollen, sollten wir von einem idealisierten Bild ausgehen, dass das ganze Weltall *räumlich homogen und isotrop*, und *zeitlich homogen* ist, damit die Naturgesetze überall gelten.
3. Dieses idealisierte Bild kann uns sowohl zu einem *kosmologischen Prinzip* führen, als auch zu einem *vollkommen kosmologischem Prinzip*. Doch schon aus der reinen Annahme, dass das Universum sich evolutionär entwickeln soll, bleibt nur das *kosmologische Prinzip* übrig. Auch moderne Daten bzw. Messungen können belegen, dass das *vollkommen kosmologische Prinzip* falsifiziert wurde.¹⁰⁷⁴

Nun möchten wir natürlich mehr über das kosmologische Prinzip in Erfahrung bringen. Um zu verstehen, wie wichtig dieses Prinzip ist, wollen wir einem Kosmologen das Wort übergeben. Andrew Liddle beginnt sein Buch **Einführung in die moderne Kosmologie** (2003) mit folgenden Sätzen: „Die moderne Kosmologie stützt sich auf die Grundannahme, dass unser Platz im Universum in keiner Weise ausgezeichnet ist. Diese Annahme nennt man das *kosmologische Prinzip*, es beruht auf einer ebenso ungewöhnlichen wie einfachen Idee. Es ist schon faszinierend, wenn man bedenkt, dass man für einen Großteil der menschlichen Zivilisationsgeschichte geglaubt hat, der Mensch befände sich generell an einer sehr besonderen Stelle des Universums, nämlich in dessen Zentrum.“¹⁰⁷⁵

So gesehen ist es keine große Überraschung, dass man das *kosmologische Prinzip* manchmal auch als *Kopernikanisches Prinzip* bezeichnet.¹⁰⁷⁶ Doch was für ein Bild gibt uns das *kosmologische Prinzip* genau? Das *kosmologische Prinzip* „besagt, dass das Universum für jeden Beobachter unabhängig von seinem Standpunkt mehr oder weniger gleich aussieht.“¹⁰⁷⁷ Oder etwas genauer:

Das ***kosmologische Prinzip*** sagt aus, dass kein Beobachter bzw. kein Punkt im Universum gegenüber einem anderen ausgezeichnet ist.

Uns entgeht hier natürlich nicht, dass große Parallelen zwischen dem *kosmologischen Prinzip* und dem *Galileischen Relativitätsprinzip* herrschen müssten. **Und zu beiden führt der Weg allein durch die Theory of Mind bzw. den Perspektivenwechsel.**

Wir können aus dem bisher Gesagten aber zugleich auf Folgendes schließen:

¹⁰⁷⁴ Um nur ein Beispiel an dieser Stelle zu nennen: 2011 erhielten Saul Perlmutter, Brian Schmidt und Adam Riess den Nobelpreis „für die Entdeckung der beschleunigten Expansion des Universum durch die Beobachtungen weit entfernter Supernovae“. vgl. NOBELPREIS 2011, und (Wikipedia)

¹⁰⁷⁵ LIDDLE 2009, S. 1

¹⁰⁷⁶ vgl. LIDDLE 2009, S. 2

¹⁰⁷⁷ LIDDLE 2009, S. 2

Das **kosmologische Prinzip** besagt, dass wir **Theory of Mind** bzw. **Perspektivenwechsel** unbedingt benötigen, um uns *ein Bild* vom Kosmos machen zu können.

Das ist auch ganz klar verständlich, denn, wenn wir uns den ganzen Kosmos vorstellen wollen, dann müssen wir alle Schranken loswerden. Nur so können wir die Rollen von allen Beobachtern annehmen, um zu einem „**absoluten bzw. alles überblickenden Beobachter**“ werden. Den *Status* dieses Beobachters wollen wir als „**göttlicher bzw. neutraler Beobachter**“ bezeichnen. Natürlich ist das ein zu *idealisiertes Bild*! Aber wir haben schon darauf hingewiesen, dass wir immer von einem idealen Bild auszugehen haben.

Das *kosmologische Prinzip* kann man gut rechtfertigen, wenn man sich etwa eine Million galaxiengroße Bereiche im Universum ansieht.¹⁰⁷⁸ (Quantitativ spricht Liddle „von etlichen Megaparsec“¹⁰⁷⁹. Tipler und Llewellyn beispielsweise notieren: „Rotverschiebungskarten [...], die sich bis auf Entfernungen von $4 \cdot 10^9$ Lj erstrecken, lassen tatsächlich Homogenität und Isotropie im statistischen Sinne erkennen.“¹⁰⁸⁰) Ab da ist dieses Prinzip *ideal* (für eine Anwendung). Doch für präzisere Betrachtungen ist es nicht mehr geeignet. „Das kosmologische Prinzip ist daher eine Eigenschaft des globalen Universums, die der Anwendung auf lokale Phänomene nicht standhält.“¹⁰⁸¹

Das heißt wenn wir das *Korrespondenzprinzip* hierauf anwenden, könnten wir sagen:

Im Grenzfall millionenfach galaktischer Größen behält das *kosmologische Prinzip* seine Gültigkeit.

Durch das *kosmologische Prinzip* können wir also den *göttlichen bzw. neutralen Blick* benützen, damit wir zu Gesetzen und Modellen gelangen können, die für jeden Punkt des Universums gleich sind.

Nur mit dem **kosmologischen Prinzip** bzw. dem „*göttlichen Blick*“ erhalten wir eine **universelle Perspektive** und können es uns erlauben eine Entstehungsgeschichte des Kosmos bzw. der Universums zu verstehen. Die modernste Theorie, welche die Entstehung von unserem Kosmos erklärt, ist die Urknalltheorie. Und das „kosmologische Prinzip stellt die Basis für die Urknall-Kosmologie dar.“¹⁰⁸² Liddle schreibt: „Zu allererst ist zu bedenken, dass das kosmologische Prinzip das Fundament für unsere Überlegungen bildet. Kein Punkt im Universum ist ausgezeichnet! Hätte der Urknall an einer bestimmten Stelle stattgefunden, dann wäre diese Stelle sehr wohl etwas Besonderes gewesen, was im Widerspruch zum kosmologischen Prinzip stehen würde. Vielmehr sind Raum und Zeit selbst im Augenblick des Urknalls erst entstanden (anders als bei einer normalen Explosion, bei der Materie durch den bereits bestehenden Raum fliegt). Betrachten wir irgendeinen Punkt im heutigen Universum und verfolgen seine Geschichte zurück in der Zeit, so gelangen wir an einen Punkt der Explosion, und in diesem Sinne passierte der Urknall überall.“¹⁰⁸³

¹⁰⁷⁸ vgl. LIDDLE 2009, S. 2

¹⁰⁷⁹ LIDDLE 2009, S. 24

¹⁰⁸⁰ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 860

¹⁰⁸¹ LIDDLE 2009, S. 2

¹⁰⁸² LIDDLE 2009, S. 2

¹⁰⁸³ LIDDLE 2009, S. 35

Natürlich sind *Prinzipien* bzw. *Theorien* nur so gut, wie sie experimentell *bewährt* werden. Wir wollen hier zwei Beispiele¹⁰⁸⁴ besprechen, die die Urknalltheorie unterstützen:

1. Ganz gut im Einklang mit dem Urknallmodell ist die kosmische (Mikrowellen)-Hintergrundstrahlung. Diese kosmische Strahlung kommt nicht nur von allen Bereichen des Universums, sondern hat überall in etwa stets die gleiche Intensität.¹⁰⁸⁵ Das ist selbstverständlich ein guter Hinweis für das kosmologische Prinzip.
2. Sie haben womöglich irgendwann von dem berühmten *Hubble-Gesetz* gehört. Dieses Gesetz hat die Form¹⁰⁸⁶

$$\vec{v} = H \cdot \vec{x}.$$

Diese Formel sagt eigentlich nur aus, dass es für *jeden Beobachter* im Universum so aussieht, als ob sich alles im Universum – zum Beispiel eine Galaxie - von ihm wegbewegen würde. Dabei ist diese Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien, wie es auch aus der Formel entnehmbar ist, proportional zu dem Abstand zwischen jenem Beobachter und jener Galaxie¹⁰⁸⁷: $\vec{v} \sim \vec{x}$.

Der Grund für die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien gegenüber den anderen ist die Expansion des Universums. Liddle erklärt: „Kurzum, das Universum sieht trotz Expansion von jeder Stelle aus gleich aus, unabhängig davon in welche Galaxie wir uns hineinphantasieren. Eine bekannte Analogie dazu ist ein Rosinenkuchenteig, der gebacken wird, oder das Aufblasen eines gepunkteten Luftballons. Während der Kuchenteig im Ofen aufgeht (oder der Luftballon aufgeblasen wird), streben die Rosinen (oder die Punkte) auseinander. Von jeder Rosine (jedem Punkt) aus gesehen, scheint es, dass sich die anderen fortbewegen, je schneller desto größer die Entfernung. Da sich alles von jedem entfernt, können wir daraus schließen, dass sich alles in der fernen Vergangenheit einmal sehr nah beieinander befand. Das stimmt tatsächlich: Geht man nur weit genug in die Vergangenheit zurück, kommt alles wieder zusammen. Die anfängliche Explosion nennt man den *Urknall* und ein von dieser Explosion ausgehendes Modell der Evolution des Universums nennt man *Urknall-Kosmologie*.“¹⁰⁸⁸

Außerdem erläutert Liddle: „Der Nachweis der Gleichmäßigkeit des Universums auf den größten Beobachtungsskalen rechtfertigt die Anwendung des kosmologischen Prinzips. Daher ist man davon überzeugt, dass unser großräumiges Universum zwei wichtige Eigenschaften besitzt: *Homogenität* und *Isotropie*. Homogenität bedeutet in diesem Zusammenhang, dass das Universum überall gleich aussieht, während die Isotropie besagt, dass das Universum in allen Richtungen gleich aussieht. Das eine bedingt nicht automatisch das andere. Ein Beispiel zur Klärung: Ein Universum mit einem einheitlichen Magnetfeld ist zwar homogen, da alle Punkte gleich sind, doch ist es nicht isotrop, da

¹⁰⁸⁴ Das kosmologische Prinzip wird beispielsweise auch von der Häufigkeit (der leichten) Elemente im Universum bestätigt. Wir wollen in dieser Arbeit aber nicht darauf eingehen und verweisen auf LIDDLE 2009, S. 101-108

¹⁰⁸⁵ Liddle schreibt: „Außerdem ist die erstaunliche Temperaturkonstanz aus verschiedenen Himmelsrichtungen der beste Beweis dafür, dass das kosmologische Prinzip zutrifft und zu Recht als eines der Fundamente der Kosmologie gilt. Tatsächlich konnten vor kurzem winzige Variationen der Intensität, in der Größenordnung von einem Hunderttausendstel, der aus verschiedenen Richtungen kommenden Mikrowellen festgestellt werden. Diese Variationen sollten direkt aus der Phase der Strukturbildung im Universum stammen. Dieses faszinierende Thema markiert einen gewaltigen Umbruch in der Kosmologie [...]“ LIDDLE 2009, S. 8-9

¹⁰⁸⁶ Mit \vec{v} ist hier die Fluchtgeschwindigkeit der Galaxien relativ zu anderen Galaxien gemeint.

H ist die *Hubble-Konstante*. Und \vec{x} gibt den Abstand(vektor) zwischen den Galaxien an.

¹⁰⁸⁷ vgl. LIDDLE 2009, S. 12

¹⁰⁸⁸ LIDDLE 2009, S. 13

die Richtungen entlang der Feldlinien von den Richtungen senkrecht zu den Feldlinien unterschieden werden können. Ein anderes Beispiel: Eine kugelsymmetrische Verteilung ist vom Zentrum aus betrachtet zwar isotrop, aber nicht notwendigerweise auch homogen. Wenn wir aber fordern, dass eine Verteilung, von *jedem* Punkt aus betrachtet, isotrop sein soll, dann muss sie auch gleichzeitig homogen sein. Wie ich schon erwähnte, ist das kosmologische Prinzip keine exakte Wissenschaft und unser Universum ist daher auch nicht exakt homogen und isotrop. Tatsächlich ist das Studium der Abweichung von der Homogenität eines der wichtigsten Forschungsthemen der Kosmologie.“¹⁰⁸⁹

Somit ist unsere Betrachtung der klassischen Physik im Grunde abgeschlossen. Wir möchten jedoch eine kurze Einleitung zu *Gruppen* geben. Dieses mathematisch, theoretische Gerüst der Physik wird uns später, wenn wir das Kapitel *Moderne Physik* behandeln, einen tieferen Blick in die Strukturen der *Naturgesetze*, aber auch der *Theory of Mind* gewähren.

¹⁰⁸⁹ LITTLE 2009, S. 10

Die Galilei-Gruppe

In den nächsten Kapiteln, werden wir in ganz knapper Form die *neuen* bzw. *modernen Prinzipien der Physik* besprechen. Dabei wird es für uns von großem Nutzen sein, wenn wir die Galileitransformation ein wenig genauer untersuchen bzw. studieren.

Da die Galileitransformation als eine „Umformung“ zwischen den Inertialsystemen stets *gleich bleibt* bzw. *symmetrisch* ist, bildet sie natürlich eine Gruppe. Diese Gruppe bezeichnen wir als eine **Galilei-Gruppe** $G(\vec{v})$. Die Verknüpfung ist dabei „das Nacheinanderausführen von Transformationen“¹⁰⁹⁰. Wir wollen hier nun die **Gruppeneigenschaft der Galileitransformation** wiedergeben¹⁰⁹¹:

1. Abgeschlossenheit:

Wenn wir zwei Galilei-Transformationen miteinander verknüpfen, dann erhalten wir wieder eine Galilei-Transformation.

$$\begin{aligned}\vec{v}_1, \vec{v}_2 &\in G \\ G(\vec{v}_1) \circ G(\vec{v}_2) &= G(\vec{v}_3) \\ \vec{v}_3 &\in G\end{aligned}$$

Physikalische Erläuterung:

Die Galileitransformation von IS zu IS'' ist gleichwertig mit dem nacheinander Ausführen zweier Galileitransformationen von IS nach IS' und von IS' nach IS''.

Mathematische Erläuterung:

Es gelten folgende drei Galileitransformationen:

$$IS \text{ nach } IS' \rightarrow \vec{x}' = \vec{x} - \vec{v}_1 t$$

$$IS' \text{ nach } IS'' \rightarrow \vec{x}'' = \vec{x}' - \vec{v}_2 t'$$

$$IS \text{ nach } IS'' \rightarrow \vec{x}'' = \vec{x} - \vec{v}_3 t, \text{ wobei } \vec{v}_3 = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Ob diese drei Aussagen stimmen, wollen wir nun überprüfen und leiten die dritte mit Hilfe der ersten beiden ab.

$$\vec{x}'' = \vec{x}' - \vec{v}_2 t' \quad | \quad \vec{x}' = \vec{x} - \vec{v}_1 t$$

$$\vec{x}'' = \vec{x} - \vec{v}_1 t - \vec{v}_2 t' \quad | \quad t = t'$$

$$\vec{x}'' = \vec{x} - (\vec{v}_1 + \vec{v}_2) \cdot t \quad | \quad \vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v}_3$$

$$\vec{x}'' = \vec{x} - \vec{v}_3 t$$

¹⁰⁹⁰ CASSING, S. 18

¹⁰⁹¹ vgl. dazu GREINER (I) 2003, S. 363 – 367

Walter Greiner geht eigentlich auf die Lorentzgruppe ein. Doch sind die (meisten) Gedanken natürlich auf die Galileigruppe übertragbar.

2. Assoziativität:

Da die Addition der (relativen) Geschwindigkeiten assoziativ ist, so ist auch die Galilei-Transformationen assoziativ.¹⁰⁹²

$$(G(\vec{v}_1) \circ G(\vec{v}_2)) \circ G(\vec{v}_3) = G(\vec{v}_1) \circ (G(\vec{v}_2) \circ G(\vec{v}_3))$$

Physikalische Erläuterung: Da es nicht auf die Additionsfolge der (relativen) Geschwindigkeiten drauf ankommt, so kommt es bei der Galileitransformation logischerweise auch nicht auf die Reihenfolge der Galileitransformation an.

Mathematische Erläuterung:

Es gelten folgende drei Galileitransformationen:

$$IS \text{ nach } IS' \rightarrow \vec{x}' = \vec{x} - \vec{v}_1 t$$

$$IS' \text{ nach } IS'' \rightarrow \vec{x}'' = \vec{x}' - \vec{v}_2 t'$$

$$IS'' \text{ nach } IS''' \rightarrow \vec{x}''' = \vec{x}'' - \vec{v}_3 t, \text{ wobei } \vec{v}_3 = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

$$IS''' \text{ nach } IS'''' \rightarrow \vec{x}'''' = \vec{x}''' - \vec{v}_4 t \text{ wobei } \vec{v}_4 = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3$$

$$\vec{v}_4 = (\vec{v}_1 + \vec{v}_2) + \vec{v}_3$$

$$\vec{v}_4 = \vec{v}_1 + (\vec{v}_2 + \vec{v}_3)$$

$$\vec{v}_4 = \vec{v}_4$$

3. Neutrales Element:

Das neutrale Element wird durch die identische Transformation $\vec{v} = \vec{0}$ beschrieben.¹⁰⁹³

Physikalische Erläuterung:

Wenn das Inertialsystem IS sich zu IS' relativ mit der Geschwindigkeit $\vec{v} = \vec{0}$ fortbewegt, dann zeigt die Galileitransformation, dass es sich bei IS und IS' um das gleiche Inertialsystem handelt.

$$G(\vec{v}_0) \circ G(\vec{v}_2) = G(\vec{v}_2) \circ G(\vec{v}_0) = G(\vec{v}_2)$$

Mathematische Erläuterung:

Es gilt folgende Galileitransformation:

$$IS \text{ nach } IS' \rightarrow \vec{x}' = \vec{x} - \vec{v}_1 t \quad \text{mit} \quad \vec{v} = \vec{0}$$

¹⁰⁹² CASSING, S. 18

¹⁰⁹³ CASSING, S. 18

$$\vec{x}' = \vec{x} - \vec{v}_1 t \quad | \quad \vec{v} = \vec{0}$$

$$\vec{x}' = \vec{x} - \vec{0}t = \vec{x}$$

4. Inverses Element:

Es gibt zu jeder Galilei-Transformation G , welche durch die Relativgeschwindigkeit \vec{v} zwischen den beobachteten Inertialsysteme gekennzeichnet wird, auch eine inverse Galilei-Transformation G^{-1} , die durch die Relativgeschwindigkeit $-\vec{v}$ gekennzeichnet ist.¹⁰⁹⁴

$$G^{-1}(\vec{v}) = G(-\vec{v}).$$

Physikalische Erläuterung:

Da es sich zwischen zwei verschiedenen Inertialsystemen (IS und IS') um eine konstante Relativgeschwindigkeit handelt, ist beispielsweise ihre Größe gleich – egal von welchem Inertialsystem aus wir das andere Inertialsystem betrachten. *Doch ihr Vorzeichen ändert sich!* Wenn wir also von einem Inertialsystem in ein anderes wechseln, sollten wir die inverse Geschwindigkeit verwenden. Das hängt natürlich mit den Koordinaten zusammen. Da wir das inverse KS' betrachten, nehmen wir deshalb auch die inverse Galileitransformation.

mathematische Erläuterung:

$$x = x' + v \cdot t', \quad \text{inverse Galileitransformation:} \quad x' = x - v \cdot t,$$

Physikalisch mathematischer Zusammenhang zu allgemeiner Galileitransformation:

Genau genommen haben wir eigentlich nur die *spezielle Galileitransformation* besprochen. Natürlich könnte es sein, dass das Koordinaten- bzw. Inertialsystem IS' um einen konstanten Vektor (\vec{a}) verschoben ist. Oder es könnte auch sein, dass IS' gegenüber IS relativ um einen konstanten Winkel gedreht ist¹⁰⁹⁵ („ein gedrehtes IS ist ein IS“¹⁰⁹⁶). Inertialsysteme könnten auch verschiedene Zeitnullpunkte haben. (Sie könnten ihre Uhren auch anders eingestellt haben.) Das bedeutet wir sollten auch eine konstante (relative) Zeitverschiebung (τ) einbeziehen können. Um das alles noch zu behandeln, benötigen wir logischerweise eine allgemeinere Galileitransformation¹⁰⁹⁷

$$\vec{x}' = D \cdot \vec{x} - \vec{a} - \vec{v} \cdot t$$

$$t' = t - \tau$$

¹⁰⁹⁴ vgl. CASSING, S. 18

¹⁰⁹⁵ „Eine solche Drehung wird durch die orthogonale Transformation [...] beschrieben.“ FLIEßBACH (I) 2007, S. 33

¹⁰⁹⁶ Fließbach S. 33

Wenn ein Bezugssystem sich mit der Zeit natürlich immer weiter drehen würde, dann wäre es selbstverständlich auch kein IS mehr. vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 33

¹⁰⁹⁷ vgl. dazu auch FLIEßBACH (I) 2007, S. 34

Die Buchstaben haben folgende Bedeutung:

- D eine Drehung (= orthogonale Transformation),
- \vec{v} die Relativgeschwindigkeit,
- \vec{a} eine konstante räumliche, relative Verschiebung und
- τ eine konstante relative, zeitliche Verschiebung.

Dabei sind die Funktionen Element folgender Mengen¹⁰⁹⁸

$$\vec{x} = (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$$

$$\vec{x}' = (x', y', z') \in \mathbb{R}^3$$

$$\vec{a}, \vec{v} \in \mathbb{R}^3$$

$$D \in SO(3)$$

$$t, t', \tau \in \mathbb{R}$$

Die allgemeine Galileitransformation bietet, wie wir sehen können jede Menge Möglichkeiten. Sie hängt dabei von 10 Parametern ab bzw. von 10 Größen.¹⁰⁹⁹ Deswegen können wir auch sagen: die Galileitransformation „bildet eine zehnpametrische Gruppe“¹¹⁰⁰. Unten in der Tabelle ist der Zusammenhang wiedergegeben.¹¹⁰¹

Objekt	freie Parameter
$\vec{v} \in \mathbb{R}^3$	3 (für die spezielle Galileitransformation)
$\vec{a} \in \mathbb{R}^3$	3 (für die Verschiebung im Raum)
$D \in SO(3)$	3 (für die Drehung um die Achse: 2 Parameter für die Achse und 1 für den Drehwinkel)
$\tau \in \mathbb{R}$	1 (für die Zeitverschiebung)

Wir wollen noch den Zusammenhang zwischen der speziellen Galileitransformation und der allgemeinen Galileitransformation darstellen und es dann dabei belassen.

Wenn wir folgende vier Bedingungen annehmen

- die Inertialsysteme sind zueinander in keinsten Weise relativ gedreht oder mit anderen Worten: wir nehmen für D die Identität,
- die Inertialsysteme haben zueinander keine relative, konstante räumliche Verschiebung bzw. $\vec{a} = 0$,

¹⁰⁹⁸ vgl. DIDAKTIK DER SRT, S. 10

¹⁰⁹⁹ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 34

¹¹⁰⁰ DIDAKTIK DER SRT, S. 10

¹¹⁰¹ vgl. die Tabelle auf DIDAKTIK DER SRT, S. 10

- die Inertialsysteme haben zueinander keine relative, konstante zeitliche Verschiebung $\tau = 0$ und
- die Relativgeschwindigkeit der Inertialsysteme S und S' findet nur entlang der x -Achse ($\vec{v} = \begin{pmatrix} v \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$) statt,

dann gelangen wir wieder von der allgemeinen Galileitransformation zu der speziellen Galileitransformation:

$$\vec{x}' = D \cdot \vec{x} - \vec{a} - \vec{v} \cdot t \quad | \quad D = 1 \quad | \quad \vec{a} = 0 \quad | \quad \vec{v} = \begin{pmatrix} v \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$t' = t + \tau \quad | \quad \tau = 0$$

$$\vec{x}' = \vec{x} - \vec{v} \cdot t$$

$$t' = t$$

Oder wenn wir es in Komponenten aufschreiben:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} v \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot t$$

$$t' = t$$

Die Kritik an der Galilei-Gruppe

Natürlich kann man strenggenommen auch die Galilei-Transformation nicht herleiten. *Sie ist postuliert.* Das bedeutet, sie ist eine Theorie und somit auch falsifizierbar. Irgendwann, vielleicht mit der Erbauung großer Schiffe – wie sie beispielsweise Galilei für seine Gedankenexperimente verwendet –, konnte man entdecken, dass die physikalischen Gesetze in ruhenden oder in sich konstant geradlinig und gleichförmig bewegenden Schiffen genau gleich erscheinen. So versuchte man natürlich eine Beschreibungsmethode zu finden, mit der man die verschiedenen Inertialsysteme miteinander vergleichen konnte. Diese Beschreibungs- bzw. Umformungsmethode ist natürlich, wie jede Hypothese, zu überprüfen und bei neuen Kenntnissen zu erweitern.

Nach der Mechanik hatte unter anderem die Elektrodynamik ihre große Blütezeit. Doch stieß man bei ihr auf ein Problem:

Die Grundgleichungen der Elektrodynamik (= Maxwellgleichungen) waren nicht invariant unter der Galileitransformation. (Denn die Lichtgeschwindigkeit war nach den Maxwellgleichungen für alle IS stets die gleiche. Und das verletzte natürlich die Geschwindigkeitsaddition im Sinne der Galileischen Transformation!)

Da man auf das *Galileische Relativitätsprinzip* natürlich nicht verzichten wollte, hatte man zwei Möglichkeiten:

- *Die Maxwellgleichungen sind nicht von grundlegender Bedeutung!* Dieses Argument fand deshalb sehr viele Befürworter, da die Elektrodynamik das Licht rein als eine Welle behandelte. (Man hatte den Teilchenaspekt des Lichtes, für den Newton stets kämpfte und vor allem seine Ideen zu Welle-Teilchen-Dualismus nicht weiter verfolgt.) Wenn man aber das Licht als eine „wirkliche“ sich fortpflanzende Welle ansieht, dann ist man geneigt sich ein wellentragendes Medium dazu zu denken. (Bei Wasserwellen zum Beispiel das Wasser, bei Schallwellen zum Beispiel die Luft usw.) Dann ist aber das IS, in welchem das Medium ruht, bevorzugt. Wenn wir beispielsweise von Schallgeschwindigkeit sprechen, dann meinen wir eigentlich die Ausbreitungsgeschwindigkeit im IS des Mediums.¹¹⁰² „Maxwell selbst nahm die Existenz eines Mediums an, in dem sich Licht ausbreitet; dieses postulierte Medium wird Äther genannt. Die Maxwellgleichungen sollten dann nur in dem IS gelten, das relativ zum Äther ruht.“¹¹⁰³
- *Die Maxwellgleichungen sind grundlegender als die klassischen Gesetze der Physik und daher in allen IS gültig.* Man muss daher als Zusatz annehmen, dass die Lichtgeschwindigkeit für alle IS dieselbe ist. „Dann kann die Galileitransformation aber nicht die richtige Transformation zwischen verschiedenen IS sein.“¹¹⁰⁴

Diese bedeutende Frage kann nicht philosophisch durch reines Denken entschieden werden. Es muss ein Experiment bewerkstelligt werden, welches dann eine der zwei Möglichkeiten falsifizieren kann. Michelson und Morley erdachten sich ein Experiment, wo sie versuchten die unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeiten zu messen, da sie dachten, die Erde würde sich relativ zum Äther bewegen. Sie scheiterten! Sie konnten keine unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeiten messen. Damit wurde die erste Möglichkeit falsifiziert.

Einstein ergänzt deshalb noch ein *Prinzip* neben dem **Galileischem Relativitätsprinzip**, nämlich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle IS und erweitert die Galileitransformation so, dass sie beide **Prinzipien** (oder auch Postulate genannt,) erfüllt. Man nennt diese erweiterte Transformation die *Lorentztransformation*. Diese *kleinen Änderungen* bzw. *Ergänzungen* veränderten unser ganzes Weltbild über Raum und Zeit, wie wir später sehen werden.

Das bedeutet natürlich nicht, dass die Galilei-Transformationen nun gar keine Gültigkeit mehr besitzt. Mit Hilfe des Korrespondenzprinzips können wir eine Brücke schlagen von der *Lorentztransformation* zur *Galileitransformation*, oder wenn man so will, von der *Einsteinschen Physik* zur *Newtonschen Physik*. Denn die Newtonschen Naturgesetze behalten im Grenzfall kleiner Geschwindigkeiten ($v \ll c$) ihre Gültigkeit.¹¹⁰⁵

¹¹⁰² vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 38

¹¹⁰³ FLIEßBACH (I) 2007, S. 38

¹¹⁰⁴ FLIEßBACH (I) 2007, S. 38

¹¹⁰⁵ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 39

Die Prinzipien der modernen Physik

Wir wollen ganz kurz die **Relativistische Mechanik** (= die Spezielle Relativitätstheorie) und die **Quantenmechanik** (=die Quantentheorie) besprechen, welche die **Grundpfeiler** unserer **Modernen Physik** darstellen.

Dabei werden wir versuchen folgende Fragen zu beantworten:

1. Spielt *Theory of Mind* – wie schon in der klassischen Physik – auch in der *Modernen Physik* eine *prinzipielle Rolle*?
2. Gibt es *Widersprüche* zwischen den Prinzipien der *modernen Physik* und den *Prinzipien* von *Descartes* und *Newton*?
3. Welche sind die *Götter der modernen Physik*?

Die Einsteinsche Mechanik (= Spezielle Relativitätstheorie)

Die *klassische* (bzw. die Newtonsche) *Mechanik* ist eine Theorie wie jede andere (gute bzw. brauchbare Theorie) auch. Daher untersteht sie natürlich den zwei **Prinzipien der Naturwissenschaft**:

1. die **Bildung** einer **Perspektive** bzw. **Hypothese** und
2. die **Überprüfung** jener **Hypothese**.

(Und natürlich auch dem **Korrespondenzprinzip**.)

So konnten wir, nachdem wir die Descartessche Mechanik *falsifiziert* hatten auch in doppeltem Sinne zeigen, weshalb die Newtonsche Mechanik eine bessere Theorie darstellt:

1. Sie kann physikalische Phänomene bzw. Ereignisse erklären bzw. voraussagen, was der Descartesschen Physik versagt blieb.
2. Durch das Korrespondenzprinzip konnten wir zeigen, dass die Descartessche Mechanik als ein Grenzfall der Newtonschen Mechanik betrachtbar ist.

Nun wurde die Newtonsche Mechanik um den Beginn des 20. Jahrhunderts herum auch *falsifiziert*. Prinzipiell dürfte Newton damit wohl wenig Probleme haben, da er selber schreibt: „Denn die beste und sicherste Methode des Philosophierens (d.h. Physik zu betreiben – d. V.) scheint darin zu bestehen, zuerst fleißig die Eigenschaften der Dinge zu untersuchen und sie durch Experimente zu stabilisieren und dann nach Hypothesen zu suchen, um sie zu erklären. Denn Hypothesen sollten nur gut sein, um die Eigenschaften der Dinge zu erklären, und nicht, um zu versuchen, sie vorher festzusetzen, sofern sie nicht eine Hilfe für die Experimente sind.“¹¹⁰⁶

Experimente, wie das berühmte Michelson-Morley-Interferometer (1887), konnten die Newtonsche Mechanik falsifizieren. Sie wurde später von der Relativitätstheorie (= Einsteinsche Mechanik) abgelöst. (Die Newtonsche Mechanik darf aber ihre Gültigkeit für Geschwindigkeiten, die sehr klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit sind ($v \ll c$) natürlich beibehalten.)

Für einen besseren Vergleich wollen wir nun die Prinzipien der Newtonschen Mechanik etwas kürzer zusammenfassen:

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Das <i>Galileische Relativitätsprinzip</i> gilt: „Alle Inertialsysteme sind gleichwertig“ bzw. „alle grundlegenden physikalischen Gesetze in allen IS“¹¹⁰⁷ haben dieselbe Form.2. Die Newtonschen Gesetze „gelten in allen Inertialsystemen“¹¹⁰⁸. |
|---|

Dabei können wir die Galileitransformationen benutzen, wenn wir von einem Inertialsystem in ein anderes gelangen wollen.

¹¹⁰⁶ zitiert nach VOLTAIRE 1997, S. 38

¹¹⁰⁷ FLIEßBACH (I) 2007, S. 289

¹¹⁰⁸ FLIEßBACH (I) 2007, S. 289

Die Prinzipien der Einsteinschen Mechanik

Nun wollen wir uns die *Prinzipien* der Einsteinschen Mechanik genauer anschauen. Wir konnten bereits zeigen, dass das *Galileische Relativitätsprinzip* die *Theory of Mind* bzw. den *Perspektivenwechsel* in der Physik widerspiegelt. Da der Perspektivenwechsel unsere höchste Geistesstufe ausmacht, so wollen wir ungern darauf verzichten. Das zweite Prinzip der Einsteinschen Mechanik betrifft die moderne Erkenntnis, dass die Lichtgeschwindigkeit bzw. die Grenzggeschwindigkeit von allen Inertialsystemen aus betrachtet dieselbe ist. So gesehen ist es nicht überraschend, wenn Einstein (**Bild 16**)¹¹⁰⁹ in seiner revolutionären Arbeit **Zur Elektrodynamik bewegter Körper** (1905) schreibt:

„Die folgenden Überlegungen stützen sich auf das Relativitätsprinzip und auf das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, welche beiden Prinzipien wir folgendermaßen definieren.

1. Die Gesetze, nach denen sich die Zustände der physikalischen Systeme ändern, sind unabhängig davon, auf welches von zwei relativ zueinander in gleichförmiger Translationsbewegung befindlichen Koordinatensystemen diese Zustandsänderungen bezogen werden.
2. Jeder Lichtstrahl bewegt sich im „ruhenden“ Koordinatensystem mit der bestimmten Geschwindigkeit V , unabhängig davon, ob dieser Lichtstrahl von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert ist.“¹¹¹⁰



Bild 16: Alber Einstein (1879-1955)

Banesh Hoffmann schreibt über diese Grundlagen der Einsteinschen Mechanik: „Ein besonderer Reiz des Einsteinschen Prinzipienpaares liegt darin, daß diese Prinzipien einzeln zwar ganz harmlos aussehen, miteinander verbunden aber zu dem theoretischen Sprengstoff wurden, der die Grundlagen der Naturwissenschaften erschütterte.“¹¹¹¹ Doch bevor wir zu den überraschenden Phänomenen der Einsteinschen Mechanik übergehen, wollen wir die Prinzipien in eine andere Form bringen und sie anschließend besprechen.

¹¹⁰⁹ BILD: ALBERT EINSTEIN

¹¹¹⁰ EINSTEIN (08. / 1905), S. 895

Genau genommen sind diese Prinzipien (indirekt) 1904 schon bei Poincaré und auch bei Lorentz zu finden. Banesh Hoffmann schreibt: „Im Jahre 1904 sprach Poincaré sogar von einem *Relativitätsprinzip*, und er vermutete, es müsse eine neue Mechanik geben, in der sich kein Körper schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegen könnte.“ HOFFMANN 1997, S. 108

Lorentz schreibt im gleichen Jahr dann auch eine Arbeit mit dem Titel „*Elektromagnetische Erscheinungen in einem System, das sich mit beliebiger, die des Lichtes nicht erreichender Geschwindigkeit bewegt.*“ HOFFMANN 1997, S. 108

Hier ist es sicher interessant festzustellen, dass Albert Einstein in seiner Arbeit im Jahre 1905 keiner von beiden erwähnt.

¹¹¹¹ HOFFMANN 1997, S. 117

Einstein geht von zwei Prinzipien aus:

1. Das *Galileische Relativitätsprinzip* gilt: „Alle Inertialsysteme sind gleichwertig“ bzw. „alle grundlegenden physikalischen Gesetze in allen IS“¹¹¹² haben dieselbe Form.
2. Das Licht pflanzt sich in jedem Inertialsystem mit der Grenz- bzw. Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum ($c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$) fort. Und ist somit unabhängig von der (relativen) Bewegungen der Lichtquelle und des Beobachters.¹¹¹³

Das zweite Prinzip war und ist natürlich nicht mit der Newtonschen Mechanik vereinbar. Newton wusste zwar, dass die Lichtgeschwindigkeit begrenzt war und man konnte schon damals einen ziemlich guten Wert dafür angeben, doch dass sie für alle Beobachter bzw. Inertialsysteme den gleichen Wert hat, damit konnte man schwer rechnen. Selbstverständlich verliert auch die Galileitransformation ihre Gültigkeit für die Einsteinsche Mechanik. Das bedeutet wir benötigen nicht nur bessere Gesetze, sondern auch eine bessere Transformation. Besser in dem Sinne, dass sie (erstens) mehr erklärt, als die ältere (und zweitens, dass sie die ältere miteinschließt).

¹¹¹² FLIEßBACH (I) 2007, S. 289

¹¹¹³ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 290 und TIPLER/MOSCA 2009, S. 13

Die Optik vor der Einsteinschen Mechanik (= SRT)

Wir sahen, dass Newtons zweites Werk, nämlich *Optik*, noch sehr viele Fragen offen ließ. Gab es nun diesen Äther und hatte das Licht doch Welleneigenschaften?

Die Vermutungen von Huygens, dass das Licht eine Welle ist, griff zu Beginn 19. Jahrhundert Thomas Young wieder auf. Er machte vor allem auf die Interferenzerscheinungen aufmerksam.¹¹¹⁴ Obwohl man Youngs Überlegungen bzw. der Wellentheorie des Lichts immer noch sehr skeptisch gegenüber stand, setzte sich die Wellentheorie in relativ kurzer Zeit durch. Wesentlich trug Fresnel mit seinen Experimenten (etwa 1815) dazu bei. Dadurch konnten einige bedeutende Probleme in der Physik eine Antwort bekommen.

- Brechen die Lichtstrahlen beispielsweise aus der Luft ins Wasser weil sie, wie Newton meinte, nahe der Wasseroberfläche beschleunigt werden? Dann müssten sie sich, so Newtons Theorie, im Wasser schneller bewegen als in der Luft.
- Oder sind die Lichtstrahlen eigentlich nur Wellen, die beim Übergang in ein dichteres Medium verlangsamt werden? Durch diese Abbremsung der „zuerst eintauchenden Teile der Wellenfront“¹¹¹⁵ kann eine Brechung sehr gut erklärt werden.

Durch Experimente konnte man Newtons Annahme *falsifizieren*. (Diese Experimente räumten natürlich auch zugleich der Theorie von Fermat eine gewisse Gültigkeit ein.) Außerdem betrachtete(n) (sowohl) Huygens (als auch Newton) die Lichtwelle als eine Analogie zu Schallwellen. Doch auf Grund der Polarisierungseigenschaft des Lichtes kam man schnell drauf, dass das Licht nur eine Transversalwelle sein kann.¹¹¹⁶ Da sich die Wellentheorie allmählich durchsetzte, fragte man natürlich nach dem Medium, in dem es sich fortpflanzt. Man ging also von einer Theorie des Lichtes aus, welche das Licht als eine Transversalwelle interpretierte. Außerdem wusste man, dass das Licht eine sehr hohe Geschwindigkeit erreichte. So gesehen, müsste der Äther eigentlich ein sehr elastischer Stoff sein, so dass sich die Lichtwellen sehr schnell fortpflanzen. Natürlich tauchte damit ein allbekanntes Problem auf: Denn Newton konnte einen Äther bereits falsifizieren, da ein solcher Stoff selbstverständlich die Planetenbahnen beeinflussen würde. Doch man achtete auf diese *Kleinigkeiten* nicht mehr.

Man stellte sich den Äther im ganzen Universum verteilt vor und überlegte sich, ob man nicht die relative Bewegung der Erde zum Äther irgendwie messen könnte. So würde man die Erdbewegung gegenüber dem absoluten (mit dem Äther ausgefüllten) Raum messen, was womöglich auch Newton geschmeichelt hätte. Erste gute Überlegungen gaben an, dass sich an dem Brechungsindex etwas ändern müsste, je nach dem in welche Richtung man beispielsweise das Prisma drehte. Denn mit der Relativbewegung der Erde gegenüber dem Äther müsste es doch auch eine Relativbewegung gegenüber dem Licht geben, da sich das Licht genau in diesem Äther fortpflanzen sollte. Und je nach der Bewegung des Prismas gegenüber der Umlaufgeschwindigkeit der Erde müsste das Licht doch im Prisma ganz anders brechen. Doch konnten die Vermutungen sie experimentell nicht *bewähren*.¹¹¹⁷ Eine spätere, experimentelle Vorstellung war, direkt die relative Bewegung der Erde gegenüber dem Äther zu messen. Dies wollen wir mit einem einfachen analogen Beispiel erklären.¹¹¹⁸ Nehmen wir an,

¹¹¹⁴ vgl. HOFFMANN 1997, S. 65

¹¹¹⁵ HOFFMANN 1997, S. 67

¹¹¹⁶ vgl. HOFFMANN 1997, S. 69-72

¹¹¹⁷ vgl. HOFFMANN 1997, S. 76-77

¹¹¹⁸ Dieses Beispiel wurde zur Gänze von Banesh Hoffmann übernommen. vgl. HOFFMANN 1997, S. 74-75

wir sitzen in einem Boot auf einem sehr großen See und haben keinerlei Orientierungspunkte. Nun wollen wir wissen wie schnell wir unterwegs sind. (Wir nehmen an – um das Beispiel einfach zu gestalten –, dass sich das Boot nur vorwärts bewegt). Natürlich ist das auch zugleich die Geschwindigkeit, mit der wir über den ruhenden See fahren. Haben wir zwei Steine auf dem Boot, dann würde sich folgender, experimenteller Trick anbieten – siehe dazu auch die Abbildung 32¹¹¹⁹:

1. Sie schmeißen bei Steine zur gleichen Zeit im gleichen Abstand in Richtung des Buges und des Heckes aus dem Schiff ins Wasser.
2. Diese Steine erzeugen kreisförmige Transversalwellen im Wasser.
3. Wir messen die Geschwindigkeiten der Wellenausbreitung.
4. Nehmen wir an, die Welle, welche von vorne kommt hat eine Geschwindigkeit von $11 \left[\frac{km}{h} \right]$ und die von hinten $9 \left[\frac{km}{h} \right]$.
5. Nun können wir uns erstens ausrechnen, wie schnell sich die Wasserwellen allgemein fortbewegen: $\left(\frac{9+11}{2} \right) \left[\frac{km}{h} \right] = 10 \left[\frac{km}{h} \right]$
6. Wenn die Wellengeschwindigkeit $10 \left[\frac{km}{h} \right]$ beträgt und wir aber die hintere Welle nur mit $9 \left[\frac{km}{h} \right]$ messen, dann sind wir mit $1 \left[\frac{km}{h} \right]$ unterwegs.

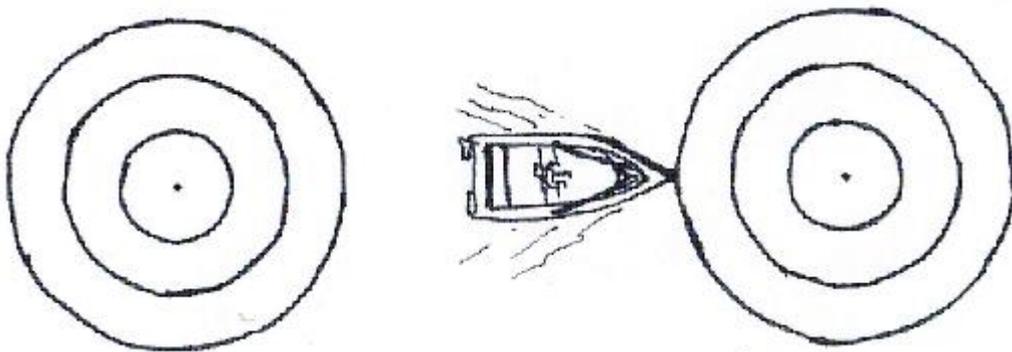


Abbildung 32

Wenn wir nun den See durch den Äther, das Boot durch die Erde und die Wasserwellen durch die Lichtwellen ersetzen, ist uns sicher klar, wie man in etwa zu einer relativen Bewegung der Erde gegenüber dem Äther kommen könnte, wenn man Lichtgeschwindigkeiten aus verschiedenen Richtungen miteinander vergleicht. Überraschend war, dass man keine Relativbewegung der Erde gegenüber dem Äther messen konnte. Dieses Ergebnis, so könnte man sagen, war der größte Wegbereiter für die Relativitätstheorie von Einstein.

¹¹¹⁹ vgl. HOFFMANN 1997, S. 75

Die Einsteinsche Mechanik und die Optik

Interessant ist jedoch, dass es zu jener Zeit nicht nur die Newtonsche Mechanik gab, welche die Mechanik und die Himmelsmechanik mit einander vereinen konnte, sondern auch die Maxwellgleichungen, welche die Optik, die Elektrizität und den Magnetismus zusammenführte. Diese Maxwellgleichungen, welche das Licht als eine *elektromagnetische Welle* beschrieb, erfüllte alle Prinzipien, die Einstein später aufstellte¹¹²⁰:

1. Die Maxwellgleichungen erfüllen das *Galileische Relativitätsprinzip*.
2. In der Maxwellgleichung pflanzt sich das Licht in jedem Inertialsystem mit der Grenz- bzw. Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum ($c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$) fort. Und ist somit unabhängig von der (relativen) Bewegung der Lichtquelle und der Beobachter.¹¹²¹

Doch bevor Einstein in seiner berühmten Arbeit **Zur Elektrodynamik bewegter Körper** (1905) seine Prinzipien aufstellte, war dies nicht wirklich klar. Die Maxwellgleichungen beschrieben das Licht nicht mehr als ein Teilchen, sondern als eine elektromagnetische Welle. *Das war natürlich nicht im Sinne von Newton*. Doch man konnte damit all die Phänomene, mit denen sich bereits Newton auseinandersetzt, nämlich die Reflexion, die Brechung, die Beugung und die Interferenz aber auch die Polarisation des Lichtes sehr gut erklären. Durch die Polarisation des Lichtes nahm man an, dass das Licht eine Transversalwelle¹¹²² ist, ähnlich wie Seilwellen oder Wasserwellen. Licht als eine mechanische Welle brauchte natürlich auch ein Medium indem es sich ausbreiten konnte. (Allgemein sind ja mechanische Wellen nichts anderes als Druckschwankungen in anderen Medien.¹¹²³) Da das Licht sich durch das Weltall fortpflanzen kann, sollte der Kosmos durch dieses Medium erfüllt sein. Man nannte dieses Medium, wie bereits bei Descartes, Huygens und Hook einfach nur *Äther*. Dieser sollte nicht nur die Fortpflanzung des Lichtes erklären, sondern noch dazu in der Lage sein, sowohl die Schwerkraft als auch die Wärme weiter zu leiten. Damit konnte man natürlich die Gravitation wieder mechanisch verstehen und somit den stärksten Kritikpunkt an der Gravitationstheorie wieder loswerden. Doch wir wissen, dass Newton über all das bereits nachdachte. Aber er kam zu dem Schluss, dass wenn unser Universum wirklich von Äther ausgefüllt wäre, dann es auf Grund der starken Reibung wohl die Planeten sehr schnell zum Stillstand führen würde. In der Tat müsste der Äther beinahe widersprüchliche Eigenschaften haben:

1. Einerseits müsste der Äther ein sehr dichtes Medium sein, damit sich die Lichtwellen derart schnell ausbreiten können.
2. Andererseits aber auch ein sehr dünnes Medium, damit es die Planetenbewegungen mit seiner Reibung nicht abbremst.

Bei diesen zwei Ausgangspunkten, dürfte es wohl ziemlich deutlich gewesen sein, dass entweder der Äther eine sehr exotische Materie darstellte oder einfach das Licht nicht mehr als eine mechanische Welle zu betrachten wäre. Unter diesen Bedingungen war es sicher das kleinere Übel den Äther indirekt zu beweisen. Genau genommen wollte man den Ätherwind messen bzw. die absolute Geschwindigkeit der Erde, mit der er sich durch das Äther bewegt. Um genau das festzustellen baute

¹¹²⁰ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 291

¹¹²¹ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 290 und TIPLER/MOSCA 2009, S. 13

¹¹²² Transversalwelle bedeutet, dass die Schwingungsrichtung und die Ausbreitungsrichtung senkrecht zueinander verlaufen. vgl. DUDEN SCHULWISSEN, S. 140

¹¹²³ DUDEN SCHULWISSEN, S. 145

Michelson ein Interferometer. Dieses Gerät sollte in der Lage sein zu zeigen, dass wenn es einen Äther gibt, dann die Lichtstrahlen, die sich parallel zur Umlaufbahnbewegung der Erde bewegen, länger benötigen, als senkrecht dazu. Doch die Ergebnisse zeigten, dass sich das Licht in alle Richtungen gleich schnell ausbreitet. **Somit war der klassische Äther widerlegt bzw. die klassische Ätherhypothese war somit falsifiziert!**

Doch damit blieb eigentlich genau der Widerspruch den auch Newton zur seiner Zeit nicht lösen konnte erhalten: Wieso kann man das Licht mit dem Wellenmodell erklären, wenn ein dazugehöriges Trägermedium den Beobachtungen völlig widerspricht?

Dieser Widerspruch wird erst mit der Quantenmechanik gelöst werden. Doch wir wollen nun nicht zu weit vorgehen.

Obwohl die klassische Ätherhypothese natürlich auch nur eine Theorie war, hatte wohl beinahe niemand damit gerechnet, dass sie falsifiziert werden würde. Maxwell selbst ging natürlich auch nicht davon aus, dass das Licht für jeden Beobachter, unabhängig von seiner Relativgeschwindigkeit oder der Lichtquelle stets dieselbe ist. Er glaubte womöglich, wie man es auch von anderen Wellen her kannte, dass seine Gleichungen in einem bevorzugtem Inertialsystem gelten, nämlich in jenem System, wo das wellentragende Medium bzw. der Äther ruht. Doch da es diesen Äther nicht gab, war sie nun für jedes Inertialsystem tauglich. Diese beiden Tatsachen, dass wir keinen klassischen Äther benötigen und dass die Maxwellgleichungen in allen Inertialsystemen gelten, verdanken wir Einstein.

In seiner Arbeit **Zur Elektrodynamik bewegter Körper** benützt er die Theory of Mind bzw. den Perspektivenwechsel, um zu zeigen, dass die Maxwellgleichungen in allen Inertialsystemen gleichwertig sind.

Wenn man so will war Einstein einer der großen Meister der Theory of Mind bzw. des Perspektivenwechsels.

In dieser Arbeit werden wir uns ein analoges – aber einfacheres – Beispiel erdenken, welches Einsteins Grundidee widerspiegelt. (Einstein selbst wäre mit der Wahl unseres Beispiels höchstwahrscheinlich zufrieden gewesen, da er bereits mit fünf Jahren vom Kompass fasziniert war.¹¹²⁴)

Sie kennen bestimmt das Experiment von Oersted aus dem Jahre 1820. Oersted glaubte stets an die Universalität der Naturkräfte und konnte in seinem Experiment zeigen, dass ein stromdurchflossener Leiter, einen parallel zu ihm ausgerichtete Kompassnadel ablenken kann. Somit gelang eine Verknüpfung zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus. **Nun fehlt bei dem Experiment von Oersted etwas wesentliches, nämlich die Interpretation mit Hilfe von Theory of Mind bzw. Perspektivenwechsel. Dies gelang erst Jahrhunderte später Albert Einstein.** Genau diese neue Erkenntnis wollen wir mit einem Gedankenexperiment genauer untersuchen.¹¹²⁵

Wir nehmen zu Beginn jene Perspektive bzw. Inertialsystem ein, wie in Abbildung 33 dargestellt, wo sowohl der Leiter als auch die Kompassnadel ruht.

¹¹²⁴ vgl. HOFFMANN 1997, S. 111-112

¹¹²⁵ Grundlegende Ideen dazu sind auch in KINNEBROCK, S. 36-38 zu finden.

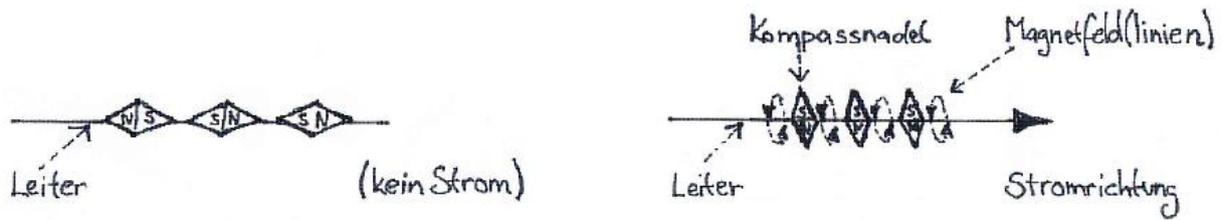


Abbildung 33

Somit haben wir *die Perspektive von Oersted*:

1. Zuerst haben wir einen neutralen Leiter.
2. Zu dem Leiter ist parallel eine Kompassnadel aufgestellt.
3. Nun schicken wir Strom durch diesen Leiter.
4. Ein stromdurchflossener Leiter wird von einem Magnetfeld umgeben.
5. Dieses Magnetfeld wirkt auf die Kompassnadel und dreht sie senkrecht in Richtung des Stromflusses. Oder mit anderen Worten: Ein stromdurchflossener Leiter bewirkt in seiner Umgebung eine magnetische Kraft.

Dies ist das berühmte Oersted Experiment und dessen Perspektive. Doch Einsteins Arbeit lautet ja bekanntlich: **Zur Elektrodynamik bewegter Körper**. Das bedeutet Einstein nimmt bei diesem Experiment die Perspektive bzw. das Inertialsystem des Elektrons ein. Das Experiment sieht von Einsteins Perspektive nun folgendermaßen aus (- siehe dazu auch die sehr vereinfacht dargestellte Abbildung 34 -):

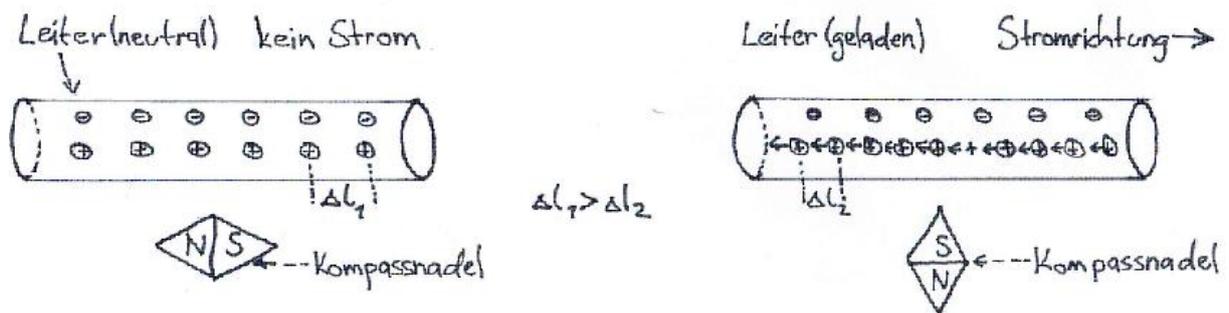


Abbildung 34

1. Wir merken, dass es von uns (den Elektronen bzw. negativen Ladungen) genauso viele in dem Leiter gibt, wie von den anderen Teilchen (den Protonen bzw. den positiven Ladungen). Gemeinsam stellen wir die Atome dar. Diese Atome sind gleichmäßig im ganzen Leiter verteilt. (Und von Außen betrachtet ist der Leiter deswegen auch neutral).
2. Nun passiert etwas – Spannung wird angelegt – und wir (die Elektronen) werden aus den Atomen herausgerissen.
3. Wir nehmen eine Relativbewegung zwischen uns (der negativen Ladung) und den anderen (den positiv geladenen Ionen) wahr.

4. Für uns Elektronen sieht es so aus, als ob sich die Ionen bzw. die positiven Ladungen an uns vorbei bewegen würden. Der Abstand zwischen den Ionen scheint kleiner zu sein, als der Abstand zwischen den Elektronen. Daher nehmen wir an, dass es mehr Ionen im Leiter geben muss als Elektronen. Der Leiter sieht aus unserer Sicht bzw. der Sicht der Elektronen so aus, als ob sie eine positive elektrische Ladung besitzen würden. Dieses elektrische Feld übt eine Kraft auf die Kompassnadel und bewegt ihre Pole in Richtung des Leiters.

Wir sehen also folgendes:

- ✓ Aus der Perspektive von Oersted gibt es ein magnetisches Feld aber kein elektrisches.
- ✓ Und aus der Perspektive von Einstein gibt es ein elektrisches Feld aber kein magnetisches Feld.

Da Einstein aber natürlich die Perspektive von Oersted bereits kannte, bemerkte er, dass das Magnetfeld und das elektrische Feld perspektivenabhängige Erscheinungsformen desselben Naturphänomens sind. Insofern sind die Maxwellgleichungen, welche die Elektromagnetische Wechselwirkung beschreiben nicht nur gültig für alle Inertialsysteme, sondern sind auch mit der Einsteinschen Mechanik bzw. der Relativitätstheorie vereinbar bzw. konsistent. Beispielsweise lernt man in der Schule mit Sicherheit die Lorentz-Kraft¹¹²⁶:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = Q \cdot [(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})]$$

Diese Formel beschreibt welche Kraft auf eine Ladung – zum Beispiel auf ein Elektron – wirkt, wenn es sich mit einer gewissen Geschwindigkeit \vec{v} durch ein elektrisches oder magnetisches Feld bewegt. *Die Lorentz-Kraft bleibt natürlich auch in der speziellen Relativitätstheorie genau gleich.*¹¹²⁷ (Es ist wohl eine der größten Ironien in der Physikgeschichte, dass Lorentz, welcher die Lorentz-Kraft entdeckte, auch die Transformation der speziellen Relativitätstheorie (= SRT) total richtig bereits vor Einstein veröffentlichte. Doch die richtige Interpretation gelang erst Einstein.)

Das bedeutet die Relativitätstheorie von Einstein kann sowohl die Mechanik als auch die Elektrodynamik miteinander verbinden. Doch wir müssen dazu natürlich noch die klassische Mechanik umändern.¹¹²⁸ Wir haben nämlich im Punkt 4 folgendes verlangt:

¹¹²⁶ Q = Ladung

\vec{E} = Elektrische Feldstärke

\vec{B} = magnetische Flussdichte

\times = Vektor – bzw. Kreuzprodukt

¹¹²⁷ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 132

¹¹²⁸ Einstein schreibt: „Trotz aller dieser schönen Erfolge war der Stand der Theorie doch nicht voll befriedigend, und zwar aus folgendem Grunde. Die klassische Mechanik, von der doch nicht bezweifelt werden konnte, daß sie mit großer Näherung gilt, lehrt die Gleichwertigkeit aller Inertialsysteme (bzw. Inertialräume) für die Formulierung der Naturgesetze (Invarianz der Naturgesetze in bezug auf den Übergang von einem Inertialsystem auf ein anderes.) Die elektromagnetischen und optischen *Experimente* lehrten dasselbe mit erheblicher Genauigkeit. Aber das Fundament der elektromagnetischen *Theorie* lehrte die Bevorzugung eines besonderen Inertialsystems, nämlich das des ruhenden Lichtäthers. Diese Auffassung des theoretischen

„Für uns Elektronen sieht es so aus, als ob sich die Ionen bzw. die positiven Ladungen an uns vorbei bewegen würden. Der Abstand zwischen den Ionen scheint kleiner zu sein, als der Abstand zwischen den Elektronen.“

Das bedeutet in bewegten Systemen müssten Längen verkürzt erscheinen. Um das besser zu verstehen, weshalb in bewegten Systemen die Längen verkürzt *aussehen*, werden wir versuchen die Kinematik bzw. die Lehre von der Bewegung auf den Prinzipien von Einstein aufzubauen. Doch vorher wollen wir noch ganz kurz die Stellung von *Theory of Mind* in der *Einsteinschen Mechanik* genauer besprechen.

Die (Einsteinschen) Prinzipien und die (Grenzen der) Theory of Mind

Wir konnten hoffentlich schon zeigen, dass die *Theory of Mind* die *höchste Stufe des kognitiven Prozesses* darstellt. Auch konnten wir zeigen, welche bedeutende Rolle die *Theory of Mind* in der *klassischen Mechanik* gespielt hat. *Wenn wir nun die Rolle der Theory of Mind in der Physik betrachten, dann zeichnet die Einsteinsche Mechanik den Beginn der modernen Physik:*¹¹²⁹

Denn in der modernen Physik werden – durch das Verlassen der Alltagserfahrungen – der Theory of Mind bzw. dem Perspektivenwechsel (zum ersten Mal in der Naturwissenschaft) Grenzen gesetzt.¹¹³⁰

Oder anders formuliert:

Die Moderne Physik beginnt genau dort, wo der Theory of Mind bzw. der Perspektivenwechsel Grenzen gesetzt werden.

Wir wollen uns die Prinzipien von Einstein noch einmal anschauen:

Fundamentes war gar zu unbefriedigend. Gab es keine Modifikation des letzteren, welche – wie die klassische Mechanik – der Gleichwertigkeit der Inertialsysteme (spezielle Relativitätsprinzip) gerecht wird?

Die Antwort auf diese Frage ist die spezielle Relativitätstheorie. Diese übernimmt von der MAXWELL-LORENTZschen Theorie die Voraussetzung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum. Um diese mit der Gleichwertigkeit der Inertialsysteme (spezielles Relativitätsprinzip) in Einklang zu bringen, muß der absolute Charakter der Gleichzeitigkeit aufgegeben werden; außerdem folgen die LORENTZ-Transformationen für die Zeit und die Raum-Koordinaten für den Übergang von einem Inertialsystem zu einem anderen.“
EINSTEIN 1969, S. 119

¹¹²⁹ Es gibt auch Wissenschaftler, welche die Einsteinsche Mechanik noch der klassischen Mechanik zuordnen. In dieser Arbeit wird eine andere Zuordnung angestrebt. Dadurch wollen wir einen tieferen Sinn in die Physik einbringen.

¹¹³⁰ Bereits bei Feynman ist schon zu lesen: „Unsere Naturwissenschaft stellt erhebliche Anforderungen an das Vorstellungsvermögen. Das erforderliche Maß an Vorstellungskraft geht weit über das früherer Zeiten hinaus. Moderne Ideen sind sehr viel schwerer vorstellbar.“ FEYNMAN (II) 2007, S. 380

1. Das *Galileische Relativitätsprinzip* gilt: „Alle Inertialsysteme sind gleichwertig“¹¹³¹ bzw. „alle grundlegenden physikalischen Gesetze in allen IS“¹¹³² haben dieselbe Form.
2. Das Licht pflanzt sich in jedem Inertialsystem mit der Grenz- bzw. Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum ($c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$) fort. Und ist somit unabhängig von der (relativen) Bewegung der Lichtquelle und der Beobachter.¹¹³³

Theory of Mind und das *erste Prinzip*

Dass das *erste Prinzip* mit der Benützung der *Theory of Mind* im Einklang steht, dürfte uns wohl allen einleuchten.

Theory of Mind und das *zweite Prinzip*

Das zweite Prinzip besagt auf den ersten Blick nicht mehr, als dass die Licht- bzw. die Grenzgeschwindigkeit für jeden Beobachter gleich erscheint. Was ist aber nun für den Beobachter, welcher sich mit dem Licht bewegt bzw. mit der Grenzgeschwindigkeit fliegt? Wir könnten nun sagen: Auf diese Frage hat die spezielle Relativitätstheorie keine Antwort...Doch das würde am wesentlichen Punkt vorbeigehen, denn die spezielle Relativitätstheorie hat sehr wohl eine Antwort:

Die *Theory of Mind* verliert bei *Lichtgeschwindigkeit* ihre *Gültigkeit* bzw. die spezielle Relativitätstheorie erlaubt keine Perspektive (bzw. Inertialsystem), die mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs ist!

Das ist, wenn man so will, die erste Falsifikation der Theory of Mind (in der Physik)!

¹¹³¹ FLIEßBACH (I) 2007, S. 289

¹¹³² FLIEßBACH (I) 2007, S. 289

¹¹³³ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 290 und TIPLER/MOSCA 2009, S. 13

Die Einsteinsche Mechanik und Theory of Mind

Wir haben bereits auf der vorigen Seite gesehen, dass Einstein für seine Relativitätstheorie auch *Theory of Mind* verwendet. Man könnte sogar sagen, dass die Schönheit seiner Theorie erst durch die Benützung der *Theory of Mind* in der Elektrodynamik so richtig zur Geltung kommt und ihr eigentlich **prinzipiell** zu Grunde liegt. (Insofern ist es womöglich beinahe ironisch, dass Einstein gerade im Todesjahr von Maxwell (1879) auf die Welt gekommen ist.¹¹³⁴)

Nun haben wir bereits in der Newtonschen Mechanik gezeigt, dass die Newtonschen Gesetze durch die Galileitransformation unverändert bleiben und somit dem Galileischem Relativitätsprinzip bzw. der *Theory of Mind* genügen. Wir wissen aber auch, dass die Newtonsche Mechanik nicht richtig sein kann, sondern nur im Grenzfall gilt. So kann selbstverständlich auch die Galileitransformation nicht korrekt sein. Wir wollen das an einem einfachen Beispiel verdeutlichen.

Die spezielle Galileitransformation haben wir bereits besprochen:

spezielle Galilei Transformation

IS'		IS
$x' = x - v \cdot t$		$x = x' + v \cdot t'$
$y' = y$	↔	$y = y'$
$z' = z$	inverse Trans.	$z = z'$
$t' = t$		$t = t'$

Wir nehmen an, dass sich IS' mit der relativen Geschwindigkeit v am IS vorbei bewegt. Dabei nehmen wir einfachheitshalber an, dass bei $t = t' = 0$ die Koordinatenursprünge zusammenfallen. Nun sehen wir im IS einen Lichtstrahl entlang der x-Achse fortbewegen und beschreiben das Ereignis folgendermaßen:

$$x = c \cdot t$$

Anschließend geben wir diese Information an IS' weiter. Dieses benützt ebenfalls die Galileitransformation und erhält

$$x' = x - v \cdot t \quad | \quad x = c \cdot t$$

$$x' = c \cdot t - v \cdot t = (c - v) \cdot t \quad | \quad t = t'$$

$$(c - v) \cdot t = (c - v) \cdot t'$$

Wenn wir dieses Ergebnis ernst nehmen würden, dann würde sich das Licht im IS' mit der Geschwindigkeit $c - v$ bewegen. *Das wäre aber langsamer als die Lichtgeschwindigkeit und widerspricht dem 2. Einsteinschen Prinzip.* Feynman erklärt: „Der Hauptunterschied zwischen der Relativität von Einstein und der von Newton ist, daß die Transformationsgesetze, welche die

¹¹³⁴ HOFFMANN 1997, S. 110

Koordinaten und Zeiten zwischen relativ bewegten Systemen verknüpfen, unterschiedlich sind.“¹¹³⁵
 Und auch Einstein betont: „Der ganze Inhalt der speziellen Relativitätstheorie ist in dem Postulat eingeschlossen: Die Naturgesetze sind invariant in bezug auf die LORENTZ-Transformationen. Das Wichtige dieser Forderung liegt darin, daß sie die möglichen Naturgesetze in bestimmter Weise einschränkt.“¹¹³⁶

Wenn wir also versuchen würden genau jene Transformation zu finden, welche beide Prinzipien von Einstein erfüllen soll, dann müssten wir nach Einsteins Aussage bei der Lorentz-Transformation landen. (Die *Lorentz-Transformation* könnten wir eigentlich auch zum Beispiel als *Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation* bezeichnen, worauf wir später eingehen werden.)

Da wir unsere *Prinzipien* bereits kennen, wollen zu dieser Transformation durch rein mathematische Methoden gelangen. (Der an mathematischen Details nicht interessierte Leser, kann diese Abschnitte natürlich gerne auslassen und gleich auf der Seite 277 wieder einsteigen.)

1. Mathematische Herleitung der (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation¹¹³⁷

Wir wissen, dass wir im Grenzfall – wenn wir die Geschwindigkeiten betrachten, welche sehr viel kleiner sind als die Lichtgeschwindigkeit – zur Newtonschen Mechanik bzw. zu den Galileitransformationen gelangen sollten. Wir gehen daher gleich von der Galileitransformation aus und fügen noch einen Faktor γ hinzu, dessen Zusammensetzung wir noch heraus zu finden versuchen. Die Gleichung hat sodann die folgende Form

$$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t').$$

Dabei betrachten wir γ als eine konstante. (Eine kurze Dimensionsanalyse¹¹³⁸ zeigt, dass sie eigentlich auch dimensionslos sein müsste. Oder mit anderen Worten: Dieser Faktor drückt zum Schluss irgendeine (reelle) Zahl aus.) Außerdem können wir davon ausgehen, dass dieser Faktor γ von der relativen Geschwindigkeit v zwischen den Inertialsystemen als auch von der Grenz- bzw. Lichtgeschwindigkeit c abhängen kann, aber natürlich nicht von den Koordinaten. Wir wollen hier sogleich die inverse Transformation wiedergeben

$$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t).$$

Wir betrachten nun einen Lichtstrahl, der im Ursprung von IS zur Zeit $t = 0$ startet. Nehmen wir an, dass bei diesem Start IS' am gleichen Ort wie IS ist, weswegen der Lichtstrahl auch im IS' um $t' = 0$ startet. Da wir aufgrund der Einsteinschen Prinzipien wissen, dass die Geschwindigkeit des Lichtstrahls in allen Inertialsystemen gleich sein muss, können wir für x die Strecke $x = c \cdot t$ und für x' die Strecke $x' = c \cdot t'$ einsetzen. Daraus erhalten wir¹¹³⁹:

$$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t') \qquad | \quad x = c \cdot t \quad | \quad x' = c \cdot t'$$

¹¹³⁵ FEYMAN (I) 2007, S. 229

¹¹³⁶ EINSTEIN 1969, S. 119

¹¹³⁷ Einen Weg, wie man die Lorentz-Transformation herleiten kann, gibt auch Einstein in EINSTEIN 1969 auf den Seiten 91-94.

¹¹³⁸ $x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t') \rightarrow \text{Weg} = \text{Zahl} \cdot (\text{Weg} + \text{Weg})$

¹¹³⁹ vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 1159

$$c \cdot t = \gamma \cdot (c \cdot t' + v \cdot t') = \gamma \cdot (c + v) \cdot t' \quad \text{Gl. (24)}$$

und

$$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t) \quad | \quad x' = c \cdot t' \quad | \quad x = c \cdot t$$

$$c \cdot t' = \gamma \cdot (c \cdot t - v \cdot t) = \gamma(c - v) \cdot t \quad \text{Gl. (25)}$$

Wir wollen nun die Gl. (24) nach t umformen – wobei wir den mittleren Teil nicht mehr benötigen:

$$c \cdot t = \gamma \cdot (c + v) \cdot t' \quad | \quad \div c$$

$$t = \frac{\gamma \cdot (c+v) \cdot t'}{c}$$

und setzen sie in die Gl. (25) ein:

$$c \cdot t' = \gamma(c - v) \cdot t \quad | \quad t = \frac{\gamma \cdot (c+v) \cdot t'}{c}$$

$$c \cdot t' = \gamma \cdot (c - v) \cdot \frac{\gamma \cdot (c+v) \cdot t'}{c} \quad | \quad \gamma \cdot \gamma = \gamma^2 \quad | \quad (c - v) \cdot (c + v) = c^2 - v^2$$

$$c \cdot t' = \frac{\gamma^2 \cdot (c^2 - v^2) \cdot t'}{c} \quad | \quad \cdot c \quad | \quad \div t'$$

$$c^2 \cdot t' = \gamma^2 \cdot (c^2 - v^2) \cdot t' = \gamma^2 \cdot (c^2 - v^2) \quad | \quad \div (c^2 - v^2)$$

$$\frac{c^2}{(c^2 - v^2)} = \gamma^2 \quad | \quad \text{Wir Formen die linke Seite um.}$$

$$\frac{\frac{c^2}{c^2}}{\frac{c^2 - v^2}{c^2}} = \frac{\frac{c^2}{c^2}}{\frac{c^2}{c^2} - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \gamma^2 \quad | \quad \sqrt{\quad}$$

Und wir erhalten den Inhalt unseres γ Faktors¹¹⁴⁰ als

$$\frac{\sqrt{1}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma$$

¹¹⁴⁰ In der Originalarbeit von Einstein ist dieser γ Faktor eigentlich der β Faktor. Er ist auf der S. 900 als $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \beta$ gegeben, wobei V hier Lichtgeschwindigkeit bedeutet. (vgl. EINSTEIN (08. / 1905))

Es ist üblich, dass man für $\frac{v}{c} = \beta$ verwendet, damit die Formel übersichtlicher wird. Das wollen auch wir so übernehmen und schreiben

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma \quad \left| \frac{v}{c} = \beta \right.$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \gamma$$

Wir können nun die Transformation für die Einsteinsche Physik (nur teilweise) wiedergeben.

Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation

IS'		IS
$x' = \frac{(x-v \cdot t)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$		$x = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$
	inverse Trans. ↔ inverse	
$y' = y$	Trans.	$y = y'$
$z' = z$		$z = z'$
?		?

Wir sehen, für die Zeit haben wir noch nichts eingetragen. Diese haben wir schließlich noch nicht besprochen. Da wir nicht wie Newton prinzipiell von einer absoluten Zeit ausgehen wollen, schauen wir uns sogleich auch die Zeittransformationen an. Die Prozedur dabei ist ganz einfach.

Mathematische Herleitung der Zeittransformation:

Wir setzen x in x' ein und formen es nach t um.

$$x' = \frac{(x-v \cdot t)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{v \cdot t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \left| x = \frac{(x'+v \cdot t')}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right.$$

$$x' = \frac{\frac{(x'+v \cdot t')}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{v \cdot t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x'+v \cdot t'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{v \cdot t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \left| - \frac{-v \cdot t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right.$$

$$x' + \frac{v \cdot t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x'+v \cdot t'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \left| \text{Wir bringen die Gleichung auf einen gemeinsamen Nenner.} \right.$$

$$\frac{x' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{x' + v \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad | \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\frac{x' \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{1 - \frac{v^2}{c^2}} + \frac{v \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{x' + v \cdot t'}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{\left(x' - \frac{v^2}{c^2} x' + v \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{x' + v \cdot t'}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad | \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$\frac{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \cdot \left(x' - \frac{v^2}{c^2} x' + v \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{(x' + v \cdot t') \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$x' - \frac{v^2}{c^2} x' + v \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = x' + v \cdot t' \quad | - x' \quad | + \frac{v^2}{c^2} x'$$

$$v \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = x' + v \cdot t' - x' + \frac{v^2}{c^2} x' \quad | \div v$$

$$\frac{v \cdot t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{v} = \frac{x' + v \cdot t' - x' + \frac{v^2}{c^2} x'}{v} = t' + \frac{v \cdot x'}{c^2} \quad | \div \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Wir wollen es noch einmal schön heraus schreiben

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{bzw.} \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{oder} \quad t = \gamma \cdot \left(t' + \frac{v}{c^2} x'\right)$$

Mit diesem Wissen können wir nun unsere Tabelle vervollständigen.

(Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation		
IS'		IS
$x' = \frac{(x - v \cdot t)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$		$x = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
$y' = y$	\leftrightarrow	$y = y'$
$z' = z$	inverse Trans.	$z = z'$
$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$		$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

Oder *etwas* übersichtlicher:

(Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation		
IS'		IS
$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t)$		$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t')$
$y' = y$	\leftrightarrow	$y = y'$
$z' = z$	inverse Trans.	$z = z'$
$t' = \gamma \cdot (t - \frac{v}{c^2}x)$		$t = \gamma \cdot (t' + \frac{v}{c^2}x')$

Die Bedeutung dieser Transformation erklärt Einstein folgendermaßen: „Kurz formuliert: Die allgemeinen Naturgesetze sind kovariant bezüglich LORENTZ-Transformation.

Es ist dies eine bestimmte mathematische Bedingung, welche die Relativitätstheorie einem Naturgesetz vorschreibt; dadurch wird sie zu einem wertvollen heuristischen Hilfsmittel beim Aufsuchen der allgemeinen Naturgesetze. Würde ein allgemeines Naturgesetz aufgefunden, welches jener Bedingung nicht entspricht, so wäre mindestens eine der beiden Grundvoraussetzungen der Theorie widerlegt.“¹¹⁴¹ Oder um den Begriffe der *Symmetrie* klar hervorzuheben, zitieren wir gerne noch Tarassow: „Die Symmetrie der physikalischen Gesetze beim Übergang zwischen zwei Inertialsystemen drückt sich darin aus, daß die jeweiligen Gesetze beschreibenden mathematischen Formeln in der Form unverändert bleiben, wenn x , y , und z entsprechend der Lorentz-Transformation durch x' , y' und z' ersetzt werden. Mit anderen Worten, die mathematischen Ausdrücke der physikalischen Gesetze müssen *bezüglich Lorentz-Transformation symmetrisch* sein.“¹¹⁴²

¹¹⁴¹ EINSTEIN 1969, S. 37

¹¹⁴² TARASSOW 1993, S. 100

Nun sollten wir auch die Frage klären, weshalb wir die Transformation als *Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformationen* bezeichnen.¹¹⁴³ Auf wen die Priorität zurückgeht, ist nämlich nicht so unkompliziert. Als Lorentz 1892 seine Überlegungen zu den Transformationen veröffentlichte, wusste er nicht, dass bereits Fitzgerald diese Jahre zuvor entdeckt hatte. (Er erfuhr erst ein paar Jahre später davon.) Lorentz blieb aber fair und fragte später Fitzgerald, ob jener seine Arbeit vor ihm bereits veröffentlicht hatte. Dieser antwortete mit *nein*. Trotz dessen erwähnte Lorentz stets, dass Fitzgerald diese Ideen vor ihm hatte. Das interessante an dem Ganzen ist jedoch, dass erst im Jahre 1967 der amerikanische Wissenschaftler Stephen Brush herausfand, dass die Ideen von Fitzgerald in der Zeitschrift *Science* im Jahre 1889 veröffentlicht wurden.¹¹⁴⁴ Obwohl Fitzgerald die Arbeit selber an die *Science* schickte, wusste er leider davon nichts; denn da diese Zeitschrift aus finanziellen Gründen für einige Zeit ihr Erscheinen einstellte, dachte er, dass seine Arbeit nicht veröffentlicht wurde.¹¹⁴⁵ Aus diesem Grund schreibt man nicht selten Fitzgerald-Lorentz-Transformation. Da jedoch Lorentz sich viel mehr für die Transformation einsetzte und einiges zur Maxwell'schen Theorie leistete, setzte sich wahrscheinlich die Bezeichnung Lorentz-Transformation durch.¹¹⁴⁶ Aus Gründen der Fairness möchten wir, dass auch Fitzgeralds Name in dieser Arbeit nicht unerwähnt bleibt. Sollten wir genau genommen auch Einstein eine ganz besondere Priorität zu schreiben, wenn doch die Transformationen über 15 Jahre vor seiner Arbeit (1905) erschien? Interessant ist, dass Einstein in seiner Arbeit **Zur Elektrodynamik bewegter Körper** weder Fitzgerald noch Lorentz erwähnt, obwohl er die Transformationen benützt.¹¹⁴⁷ Feynman beispielsweise schreibt über Einstein: Er „folgte einer ursprünglich durch Poincaré gemachten Empfehlung und schlug vor, daß alle *physikalischen Gesetze* von solcher Art sein sollten, daß sie *unter einer Lorentz-Transformation unverändert bleiben*.“¹¹⁴⁸ Wir könnten natürlich diskutieren, ob es nicht besser gewesen wäre, wenn er sie wenigstens kurz in einer Fußnote erwähnt hätte, doch wollen wir uns stattdessen eines bewusst machen:

*Obwohl die Transformation von Einstein **mathematisch** genau dieselbe ist, welche auch Fitzgerald und Lorentz benützten, bedeutet sie **physikalisch** ganz etwas anderes.*

Fitzgerald und Lorentz interpretierten die Gleichung folgendermaßen: Sie dachten, wenn ein Inertialsystem sich bewegt, dann wird es in Richtung der Bewegung mechanisch zusammengedrückt bzw. kontrahiert. Dieses Zusammendrücken wäre natürlich von der Geschwindigkeit des Inertialsystems des Körpers abhängig und wäre im normalen Alltag gar nicht bemerkbar. Nach dieser Theorie würde die Erde, auf Grund ihrer Bahngeschwindigkeit nur um sechs Zentimeter zusammengedrückt werden. Doch bei sehr hohen Geschwindigkeiten bzw. bei Geschwindigkeiten,

¹¹⁴³ Einstein selbst bezeichnete die *Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation* einfach als *Lorentz-Transformation*. vgl. dazu unter anderem EINSTEIN 1969, S. 29-30

¹¹⁴⁴ Banesh Hoffmann schreibt sogar: „Diese mathematische Transformation war bereits 1898 von dem englischen Physiker Joseph Larmor angewandt worden, und noch früher, im Jahre 1887, hatte der deutsche Physiker W. Voigt von einer sehr ähnlichen Transformation Gebrauch gemacht.“ Banesh Hoffmann HOFFMANN 1997, S. 109

Auf alle diese Wissenschaftler wollen wir in dieser Arbeit nicht näher eingehen. (Doch wir wollen sie natürlich auch nicht unerwähnt lassen.)

¹¹⁴⁵ vgl. HOFFMANN 1997, S. 102

Banesh Hoffmann schreibt sogar unmissverständlich: „Die Priorität gebührte also Fitzgerald; das Verdienst von Lorentz war es, die Kontraktionshypothese energisch weiterzuverfolgen.“ Banesh Hoffmann S. 102

¹¹⁴⁶ Dass man die Transformation als Lorentz-Transformation bezeichnet, geht wohl vor allem auf Poincaré (1905) zurück. vgl. HOFFMANN 1997, S. 108

¹¹⁴⁷ Für „wertvolle Anregung“ dankt Albert Einstein ganz zum Schluss nur seinem Freund M. Besso. vgl. EINSTEIN (08. / 1905), S. 921

¹¹⁴⁸ FEYNMAN (I) 2007, S. 212

die der Lichtgeschwindigkeit nahe kommen, würde ein Inertialsystem bzw. ein Körper zur Gänze „zerquetscht“ werden bzw. es hätte die Länge null.¹¹⁴⁹ Diese „mechanische Zerquetschungstheorie“, welche man als *Kontraktionstheorie* bezeichnete, konnte erklären, weshalb das Michelson-Morley-Experiment keinen Ätherwind messen konnte.

So gesehen, war Einstein eigentlich der erste, der einen Paradigmenwechsel vollzug. Einstein nahm nicht mehr an, dass die Erklärung „rein mechanisch“ ist. Seine Ideen sind viel abstrakter. (*In gewissem Sinne gibt es hier Analogien zwischen dem Verständnis von Descartes und Lorentz; und dem von Newton und Einstein.*) Die Relativitätstheorie bzw. die Einsteinsche Mechanik nimmt an, dass sich die Raum- und Zeitintervalle von bewegten Inertialsystemen beispielsweise aus einem dazu relativ ruhenden Inertialsystemen aus betrachtet, ändern. Doch wenn wir im bewegten Inertialsystem Platz nehmen würden, so könnten wir keine Änderungen feststellen. Einstein gibt auch ein nettes Beispiel: „Ein starrer Körper, welcher in ruhendem Zustande ausgemessen die Gestalt einer Kugel hat, hat also in bewegtem Zustande – vom ruhenden System aus betrachtet – die Gestalt eines Rotationsellipsoides [...]“¹¹⁵⁰. Insofern können wir selbstverständlich sagen, dass Albert Einstein die Transformationen in einem neuen Licht entdeckt hat; und seine Mechanik ist es, welche alle Probleme auch schließlich zur damaligen Zeit endgültig lösen konnte. So gesehen wäre es sicher nicht abwegig von einer Einstein-Transformation zu sprechen. Denn genau diese wird in der Relativitätstheorie bzw. der Einsteinschen Mechanik auch benützt! Nun hat diese Transformation die gleiche mathematische Struktur, wie die von Fitzgerald und Lorentz. Man könnte auch sagen: Sie hatten die Lösung, doch interpretierten sie diese anders. Banesh Hoffmann schreibt dazu: „Einstein benutzte also dieselben mathematischen Transformationsgleichungen wie Lorentz und Poincaré, aber er begründete die Anwendung dieser Gleichungen mit einem radikal neuen Konzept von Raum und Zeit.“¹¹⁵¹

Das ist der Grund, weshalb wir die Lorentz-Transformation in dieser Arbeit auch als **Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation** bezeichnen. In den meisten - beinahe in allen Büchern - steht ganz einfach nur Lorentz-Transformation. Wenn das nur die *Lorentz-Transformation* wäre, so könnte man sich natürlich fragen: *Weshalb findet man diese Transformation schon in den Veröffentlichungen von Fitzgerald? Weshalb kommt sie dann in der Einsteinschen Mechanik bzw. Relativitätstheorie zum Einsatz?* Sobald wir also nach der Priorität, oder nach der korrekten Interpretation der

¹¹⁴⁹ vgl. dazu HOFFMANN 1997, S. 101-102

¹¹⁵⁰ EINSTEIN (08. / 1905), S. 903

Diese Aussage von Einstein ist aber mit Vorsicht zu genießen. Aufgrund der Längenkontraktion glaubte man an den Anfängen der Relativitätstheorie, dass eine mit nahezu Lichtgeschwindigkeit fliegende Kugel zu einem Ellipsoid werden würde. Dass diese Vorstellung aber zu einem Trugschluss führen kann, konnte zuerst Anton Lampa (1924) zeigen. Seine Arbeit in deutscher Sprache blieb aber unbemerkt. Über 30 Jahre später wurde der Trugschluss von James Terrell (1959) „neu entdeckt“. Der Titel „Invisibility of the Lorentz contraction“ („Unsichtbarkeit der Lorentzkontraktion“) seiner Arbeit lässt schon bereits auf den Inhalt schließen. **Wenn Körper oder genauer Kugeln, so klein oder in derart großer Entfernung sind, dass ihr Licht zu uns in parallelen Strahlen gelangt, wie es bei astronomischen Beobachtungen beispielsweise immer der Fall ist, dann ist von einer Kontraktion nichts zu bemerken. Eine Kugel bleibt eine Kugel.** Banesh Hoffmann schreibt dazu folgendes: „Ein relativistisch kontrahiertes Objekt sieht für den Beobachter wie ein ruhendes Objekt aus, das um einen gewissen Winkel gedreht ist. Natürlich trifft das nicht nur auf Quadrate, sondern auf Objekte beliebiger Form zu. [...] Wäre das Objekt eine Kugel, so behielte es seine ursprüngliche Form bei. Man würde keine Kontraktion bemerken, und bei einer Kugel ohne erkennbare Muster auf der Außenschale würde nichts verraten, daß man sie gedreht sieht.“ HOFFMANN 1997, S. 140; vgl. dazu auch GREINER (I) 2003, S. 376-383

¹¹⁵¹ HOFFMANN 1997, S. 114

Transformation fragen, scheint die Bezeichnung *Lorentz-Transformation* ungenügend zu sein. Dagegen scheint Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation, zwar sehr lang, aber etwas passender.

Wir haben aber nun genug über die Bezeichnung der Transformation gesprochen. Im nächsten Kapitel möchten wir die Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformationen bzw. Lorentz-Transformation im Einsatz sehen, damit wir sie besser verstehen können.

Die Eigenschaften der (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation

Zeitdilatation¹¹⁵²

Wir machen ein ganz einfaches Gedankenexperiment – dabei wird Theory of Mind selbstverständlich von großem Nutzen sein. Stellen wir uns zwei Raumschiffe im Weltall vor, wie in der Abbildung 35 zu sehen ist. (In gewissem Sinne ist das nur die hochtechnologisierte Version des Galileischen Gedankenexperimentes mit den Schiffen.)

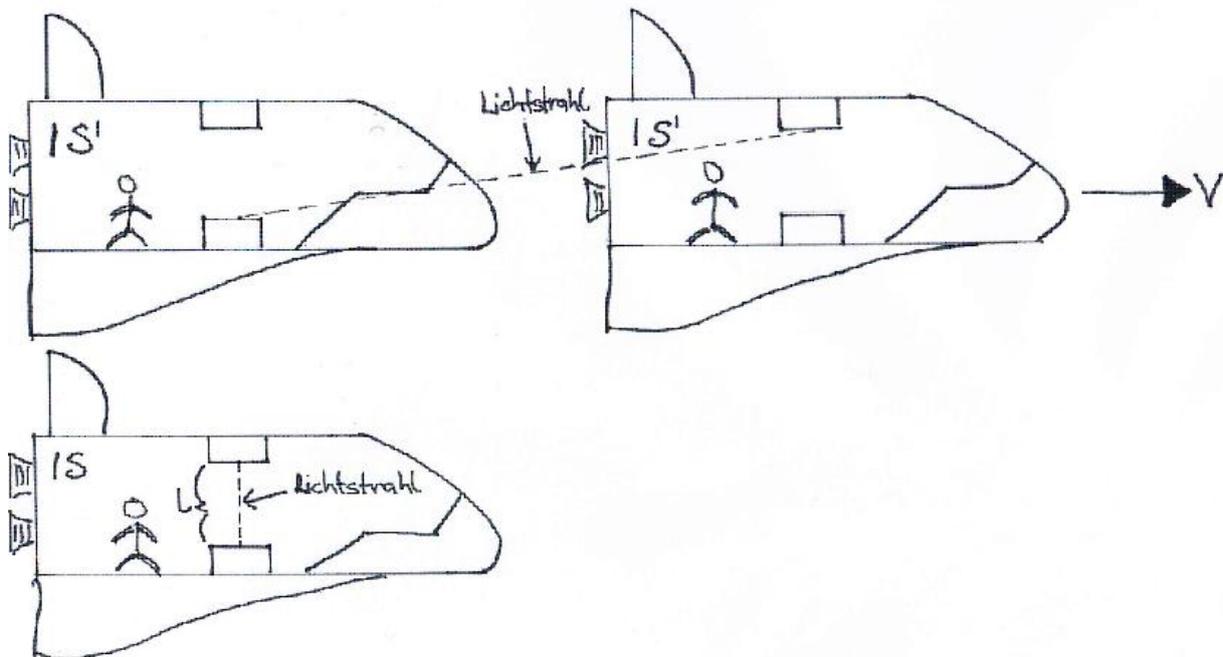


Abbildung 35

Beide Raumschiffe besitzen eine Lichtuhr. Mit einer Lichtuhr meinen wir eine ganz simple Apparatur, nämlich zwei parallele Spiegel, zwischen denen der Lichtstrahl hin und her pendelt. Wenn der Lichtstrahl sich einmal hinauf und hinunter bewegt, können wir auch feststellen, wie viel Zeit vergangen ist.

$$\Delta t = \frac{2 \cdot l}{c}$$

Wir gehen nun davon aus, dass beide Schiffe dieselbe Uhr haben. Mit „dieselbe“ meinen wir einfach, dass sie synchron laufen bzw. den gleichen Gang haben. Nun fährt das eine Schiff (IS') am Schiff (IS) mit der relativen Geschwindigkeit v vorbei. Genauso könnten wir natürlich sagen, das Schiff (IS)

¹¹⁵² vgl. dazu GREINER (I) 2993, S. 368-369

bewege sich relativ am Schiff (IS') mit der Geschwindigkeit $-v$ vorbei. Wir wissen wie lange das Licht für eine Auf- und Abwärtsbewegung im Schiff (IS) zwischen den Spiegelplatten benötigt.

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2 \cdot l}{c}$$

Nun können wir die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation benutzen, um diese Zeitspanne im IS' zu berechnen.

$$\Delta t' = t_2' - t_1' = \gamma \cdot \left(t - \frac{v}{c^2} x \right) = \frac{\left(t - \frac{v}{c^2} x \right)}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\left(t - \frac{v}{c^2} x \right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

und erhalten

$$\Delta t' = \frac{\left(t - \frac{v}{c^2} x \right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad t = t_2 - t_1 \quad | \quad x = x_2 - x_1$$

$$\Delta t' = \frac{\left(t_2 - \frac{v}{c^2} x_2 \right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\left(t_1 - \frac{v}{c^2} x_1 \right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Der Lichtstrahl kehrt zum Schluss natürlich wieder zum Anfangsort zurück. Daher können wir $x_1 = x_2$ annehmen und rechnen es nun zur Gänze aus

$$\Delta t' = \frac{t_2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\frac{v}{c^2} x_2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \left(\frac{t_1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\left(-\frac{v}{c^2} x_1 \right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right) = \frac{t_2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\frac{v}{c^2} x_2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{t_1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} + \frac{\left(\frac{v}{c^2} x_1 \right)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} =$$

$$\Delta t' = \frac{t_2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - \frac{t_1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad \Delta t = t_2 - t_1 \quad | \quad \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \gamma$$

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \gamma$$

Die obige Formel $\Delta t' = \Delta t \cdot \gamma$ beschreibt die *Zeitdilatation*. Da $\gamma > 1$ erscheint im Schiff (IS'), dass die Zeit in der IS länger war bzw. dass die Zeitintervalle eine Verlängerung erlitten haben. Man könnte sagen, dass sich aus seiner Perspektive die Zeit im anderen Schiff „gedehnt“ hat. Da es sich um eine Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Schiffen handelt, könnte natürlich das Schiff (IS) auch das gleiche über die (Licht)uhren im IS' aussagen. Wir erkennen aus diesem Beispiel eigentlich schon ganz klar, dass der Begriff der *absoluten Zeit* – wie ihn Newton verstand – nicht gegeben ist.¹¹⁵³ Doch was ist mit dem *absoluten Raum*?

Längenkontraktion

Wir könnten uns hier das Rechnen ersparen, und versuchen allein durch Überlegungen zur Längenkontraktion zu gelangen. Im obigen Beispiel gingen wir von zwei Schiffen aus, die sich mit einer relativen Geschwindigkeit voneinander fortbewegten. Genauso gut, könnten wir davon

¹¹⁵³ Aus Platz Gründen möchten wir nicht zusätzlich auf die Relativität der Gleichzeitigkeit eingehen. Den interessierten Leser verweisen wir sehr gerne auf TIPLER/MOSCA 2009, S. 1477-1480.

ausgehen, dass beide Schiffe still stehen (oder sich mit derselben Geschwindigkeit in dieselbe Richtung bewegen). Dann sehen wir, dass die (Licht)uhren beide synchron gehen bzw. die Zeit in beiden Uhren gleich schnell vergeht. Wir könnten das Ganze aber auch anders betrachten: Das Licht legt in beiden Systemen gleiche Strecken zurück. Das sollte natürlich nach dem 2. Einsteinschen Prinzip auch gelten, wenn sich die beiden Systeme nun mit einer relativen Geschwindigkeit voneinander wegbewegen würden. Nun sieht es aber für IS', wie in der Abbildung 35 zu sehen ist, so aus, als ob das Licht in der gleichen Zeit bei IS einen längeren Weg zurücklegt, als bei IS', was natürlich dem 2. Gesetz von Einstein widersprechen würde. Diesen Widerspruch kann IS' auflösen, indem er einfach annimmt – wie oben auch besprochen – dass im IS die Zeit einfach „gedehnt“ ist. So hat das Licht im IS für IS' mehr Zeit und kann daher auch eine längere Strecke zurücklegen. Nach der Einsteinschen Mechanik können wir uns aber auch Folgendes denken: Nicht die Zeit wird im IS – vom IS' aus betrachtet – „gedehnt“, sondern der Weg verkürzt bzw. „zusammengestaucht“, nämlich in Bewegungsrichtung des Schiffes IS; was natürlich auch auf dasselbe hinauskommt. So kann ein Beobachter im IS' sagen, dass das Licht keine längere Strecke in derselben Zeit zurücklegen kann, sondern, dass das Schiff IS zusammengestaucht wird. (Da wir von relativen Geschwindigkeiten sprechen, könnte IS diese Überlegungen auch über IS' führen.)

Doch wem diese Überlegungen womöglich ein wenig zu kompliziert erscheinen, können wir natürlich die mathematische Methode anbieten. Wir wollen deswegen hier ein viel einfacheres Beispiel präsentieren. Wieder nehmen wir an, dass sich das Schiff IS' sich mit einer relativen Geschwindigkeit v am Schiff IS vorbeibewegt. Nun haben wir im Schiff ein Lineal. Dieses liegt mit seiner Skala parallel zur Bewegungsrichtung.

Nun begeben wir uns ins Schiff IS und messen die Länge des Lineals, dazu benötigen wir natürlich keine Zeit¹¹⁵⁴ ($\Delta t' = 0$), und erhalten

$$\Delta l = x_2 - x_1$$

Wenn wir wissen wollen, welche Länge für das Lineal das Schiff IS' gemessen hat, können wir uns entweder ins Schiff IS' begeben und noch einmal messen oder, wir benützen wieder ganz einfach die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation

$$x' = \gamma \cdot (x - v \cdot t) = \frac{(x - v \cdot t)}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{(x - v \cdot t)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Für die Länge des Stabes erhalten wir daher

$$x' = \frac{(x - v \cdot t)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad x' = l' = x_2' - x_1' \quad | \quad x = l = x_2 - x_1 \quad | \quad t = t_2 - t_1$$

$$l' = \frac{l - v \cdot (t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

¹¹⁵⁴ Mit „keiner Zeit“ meinen wir folgendes: Wir können beispielsweise unsere linke Hand an das eine Ende des Lineals und das rechte an das andere Ende anbringen, und hätten damit die Länge des Lineals „gemessen“. Da wir beide Hände zur selben Zeit an die Enden des Lineals legen können, braucht natürlich dabei keine Zeit zu vergehen.

Wir nehmen an, dass natürlich auch IS' gleichzeitig abmisst $t_2' - t_1' = 0$. Für unsere (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation bedeutet das

$$\Delta t' = t_2' - t_1' = \frac{(t_2 - t_1) - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 0 \quad | \quad t = t_2 - t_1 \quad | \quad x = l = x_2 - x_1$$

$$\frac{((t_2 - t_1) - \frac{v}{c^2}l)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\frac{v}{c^2}l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 0 \quad | \quad + \frac{\frac{v}{c^2}l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad | \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{v}{c^2} \cdot l$$

Nun setzen wir unsere Gleichung $t_2 - t_1 = \frac{v}{c^2} \cdot l$ in die Gleichung $l' = \frac{l - v \cdot (t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ein und erhalten

unsere

$$l' = \frac{l - v \cdot (t_2 - t_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad t_2 - t_1 = \frac{v}{c^2} \cdot l$$

$$l' = \frac{l - v \cdot (\frac{v}{c^2}l)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l - (\frac{v^2}{c^2}l)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\frac{v^2}{c^2}l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \quad | \quad \frac{(1 - \frac{v^2}{c^2})}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$l' = l \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Das ist die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Längentransformation. Diese Transformation können wir auch in folgender Form angeben:

$$l' = \frac{l}{\gamma}$$

Da $\gamma > 1$ ist, erkennen wir, dass die Länge im Gegensatz zu den Zeitintervallen nicht „gedehnt“, sondern verkürzt wird bzw. es zu einer Kontraktion kommt.

(Hier sollten wir vielleicht noch eines nicht unerwähnt lassen: Wäre die Kontraktion klassisch, bzw. mechanisch, sowie sie von Fitzgerald beschrieben wurde, so wäre eigentlich das Lineal gedehnt worden, wenn es in unsere Richtung fliegen würde, und verkürzt, wenn es von uns wegfliegen würde.¹¹⁵⁵ Das bedeutet je nach Fall gibt es entweder eine Längendilatation oder eine Längenkontraktion. **Nach der Einsteinschen Mechanik bzw. der Relativitätstheorie gibt es hingegen immer nur eine Längenkontraktion.** Bis jetzt hat sich deshalb nur die Einsteinsche Mechanik experimentell bewährt.)¹¹⁵⁶

¹¹⁵⁵ Das wäre in gewissem Sinne (umgekehrt) analog zum Dopplereffekt.

¹¹⁵⁶ vgl. dazu GREINER (I) 2003, S. 374-375 und auch POPPER 2005, S. 59, Fußnote 6

(Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation und Theory of Mind

Durch die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation ist es quantitativ sichtbar, dass es in der Einsteinschen Mechanik es gar keinen Sinn macht, wenn man sich in ein Inertialsystem versetzt, welches sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegt.

Nehmen wir beispielsweise an, wir (IS) würden irgendein Ereignis betrachten. Nun stellen wir uns vor, wie wohl ein Inertialsystem (IS'), welches mit Licht- bzw. Grenzgeschwindigkeit unterwegs ist, dasselbe Ereignis wahrnimmt. Selbstverständlich sollte uns die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation darauf eine quantitative Antwort geben können. Wir setzen für die Relativgeschwindigkeit ganz einfach die Lichtgeschwindigkeit ein ($v = c$) und schauen uns an, was für den Ort herauskommt:

$$x' = \frac{(x-v \cdot t)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad (v = c)$$

$$x' = \frac{(x-v \cdot t)}{\sqrt{1-\frac{c^2}{c^2}}} = x' = \frac{(x-v \cdot t)}{\sqrt{1-1}} = \frac{(x-v \cdot t)}{\sqrt{0}} = \frac{(x-v \cdot t)}{0} = ? = \text{nicht definiert!}$$

Wir wissen natürlich, dass man nicht durch 0 dividieren kann. Wenn 0 im Nenner steht, dann ist es ganz einfach nicht definiert. *Wir erhalten somit keine (sinnvolle) Lösung.* Das gleiche gilt natürlich für die Zeit:

$$t' = \frac{t-\frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad (v = c)$$

$$t' = \frac{t-\frac{v}{c^2}x}{\sqrt{0}} = \frac{t-\frac{v}{c^2}x}{0} = ? = \text{nicht definiert!}$$

Tipler und Llewellyn bringen das Ganze auf den Punkt: „Anschaulich betrachtet sieht man, dass schon das zweite Einstein'sche Postulat den Versuch verhindert, mithilfe einer Lorentz-Transformation ein „Ruhesystem des Lichts“ zu finden, da sich Licht relativ zu allen Inertialsystemen *immer* mit der Lichtgeschwindigkeit c bewegt.“¹¹⁵⁷

Wir sehen also, ganz deutlich die Auswirkungen des zweiten Einsteinschen Prinzips in die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation. *In der klassischen Mechanik und somit in der Galilei-Transformation gab es diese Grenzen für die Theory of Mind noch nicht. Das Interessante in der Modernen Physik ist nicht nur, dass es die Grenzen von Theory of Mind zeigt, sondern zugleich auch erklären kann, wo diese Grenzen wieder verschwinden bzw. in welchem Grenzfall sie wieder ihre volle Gültigkeit zurück erlangt. Das ist dann der Fall, wenn wir uns mit Geschwindigkeiten beschäftigen, die viel kleiner sind, als die Lichtgeschwindigkeit.* Sozusagen: mit den Geschwindigkeiten aus dem „Alltag“. Dies wollen wir im nächsten Abschnitt näher erläutern.

¹¹⁵⁷ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 110

Das Korrespondenzprinzip: Galileitransformation als Grenzfall der (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation

Obwohl die *Raum- und Zeitvorstellung* in der *Galileitransformation* von der *(Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation* abweicht, kann man natürlich quantitativ sehr schnell zeigen, dass die *Galileitransformation als Grenzfall der (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation betrachtet werden kann*. (Das sollte prinzipiell auch der Fall sein, da das Korrespondenzprinzip (im Normalfall) ein wesentlicher Eckpfeiler neuer Theorienbildung darstellt.)

Wir wollen sie um einen besseren Überblick zu haben, am besten gleich gegenüberstellen¹¹⁵⁸:

(spezielle) Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation ↔ (spezielle) Galilei-Transformation		
IS	Grenzfall	IS
$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t')$?	$x = x' + v \cdot t'$
$y = y'$		$y = y'$
$z = z'$		$z = z'$
$t = \gamma \cdot (t' + \frac{v}{c^2} x')$		$t = t'$

Oder, wenn wir alle Faktoren ausschreiben:

(spezielle) Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation ↔ (spezielle) Galilei-Transformation		
IS	Grenzfall	IS
$x = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$?	$x = x' + v \cdot t'$
$y = y'$		$y = y'$
$z = z'$		$z = z'$
$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$		$t = t'$

Nun stellt sich die Frage: Wie kommen wir (rein mathematisch bzw.) quantitativ von der linken Seite der Tabelle auf die rechte Seite?

Gegeben ist die Gleichung

$$x = \gamma \cdot (x' + v \cdot t') = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Damit diese in die Gleichung

$$x = x' + v \cdot t'$$

¹¹⁵⁸ Die Inversen Transformationen lassen wir aus Platzgründen aus.

übergeht, müsste der Nenner $\sqrt{1 - \beta^2}$ der Gleichung $\frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ zu 1 werden. Wir könnten natürlich auch sagen γ müsste gegen 1 gehen; formell schreibt man auch einfach $\gamma \rightarrow 1$. Das ist nur dann der Fall, wenn β verschwindet bzw. gegen 0 geht; man schreibt auch $\beta \rightarrow 0$. Wir wissen dabei, dass $\beta = \frac{v}{c}$ bedeutet. Damit also $\beta \rightarrow 0$, muss entweder

- ✓ $v \ll c$ sein, oder
- ✓ $c \rightarrow \infty$.

Das beantwortet auch unsere Frage. Wir wollen es natürlich auch ganz kurz demonstrieren

$$x = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad (v \ll c) \rightarrow \beta = 0 \quad \text{oder} \quad (c \rightarrow \infty) \rightarrow \frac{v}{\infty} = 0 = \beta$$

$$x = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - 0}} = \frac{(x' + v \cdot t')}{1} = (x' + v \cdot t')$$

Das Ergebnis der mathematischen Untersuchung ist nicht überraschend. Es besagt eigentlich, dass was wir uns sicher bereits erwartet haben. Nämlich, dass die Newtonsche Mechanik bzw. die Galilei-Transformation für Geschwindigkeiten, die sehr viel kleiner sind als die Lichtgeschwindigkeit ($v \ll c$) ihre Gültigkeit beibehält.

(Auch würde die Newtonsche Mechanik theoretisch gelten, wenn die Licht- bzw. die Grenzgeschwindigkeit der Natur unendlich groß ($c \rightarrow \infty$) wäre. *Dies wurde aber experimentell bereits falsifiziert.* Es stellte sich heraus, dass das Licht diese Grenzgeschwindigkeit besitzt und daher in allen Inertialsystemen denselben Wert hat.) Aus all diesen neu gewonnenen Erkenntnissen können wir nun unsere Tabelle vervollständigen:

(spezielle) Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Transformation ↔ (spezielle) Galilei-Transformation		
IS	Grenzfall	IS
$x = \frac{(x' + v \cdot t')}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$v \ll c$ oder $(c \rightarrow \infty)$	$x = x' + v \cdot t'$
$y = y'$		$y = y'$
$z = z'$		$z = z'$
$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$		$t = t'$

Die Fitzgerald-Lorentz-Einstein-Gruppe

Da die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation im Grenzfall in die Galilei-Transformation übergeht, bildet sie selbstverständlich, wie die Galilei-Transformation bei Hintereinanderschaltung, auch eine Gruppe. (Dies stellt auch Einstein in seiner Arbeit *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* fest.)¹¹⁵⁹

Wir wollen nun in sehr knapper Form die *Gruppeneigenschaft dieser Transformation* wiedergeben¹¹⁶⁰ (und werden diesmal die mathematischen Erläuterungen auslassen):

1. Abgeschlossenheit:

Wenn wir zwei Transformationen miteinander verknüpfen, dann erhalten wir wieder eine Transformation.

$$\begin{aligned}\vec{v}_1, \vec{v}_2 &\in L \\ L(\vec{v}_1) \circ L(\vec{v}_2) &= L(\vec{v}_3) \\ \vec{v}_3 &\in L\end{aligned}$$

Physikalische Erläuterung: Die Transformation von IS zu IS'' ist gleichwertig mit dem nacheinander Ausführen zweier Transformationen von IS nach IS' und von IS' nach IS''.

2. Assoziativität:

Durch die wiederholte „Geschwindigkeitsaddition“¹¹⁶¹ der (relativen) Geschwindigkeiten stellt man fest, dass auch die Transformationen assoziativ sind.¹¹⁶²

$$(L(\vec{v}_1) \circ L(\vec{v}_2)) \circ L(\vec{v}_3) = L(\vec{v}_1) \circ (L(\vec{v}_2) \circ L(\vec{v}_3))$$

Physikalische Erläuterung: Da es nicht auf die „Additionsfolge“ der (relativen) Geschwindigkeiten ankommt, so spielt es bei der Transformation logischerweise auch die Reihenfolge darauf keine Rolle.

3. Neutrales Element:

Das neutrale Element wird durch die identische Transformation $\vec{v} = \vec{0}$ beschrieben.¹¹⁶³

¹¹⁵⁹ vgl. EINSTEIN (08. / 1905), S. 907

¹¹⁶⁰ vgl. hierzu auch GREINER (I) 2003, S. 363 – 367

¹¹⁶¹ In der SRT ist die Geschwindigkeitsaddition eigentlich *keine wirkliche Addition* mehr. Sie hat die Form

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

Bei ($v \ll c$) oder ($c \rightarrow \infty$) geht sie in die Galileische Geschwindigkeitsaddition über $v = v_1 + v_2$.

¹¹⁶² vgl. CASSING, S. 18

¹¹⁶³ vgl. CASSING, S. 18

Physikalische Erläuterung: Wenn das Inertialsystem IS sich zu IS' relativ mit der Geschwindigkeit $\vec{v} = \vec{0}$ bewegt, dann zeigt die Transformation, dass es sich bei IS und IS' um das gleiche Inertialsystem handelt.

$$L(\vec{v}_0) \circ L(\vec{v}_2) = L(\vec{v}_2) \circ L(\vec{v}_0) = L(\vec{v}_2)$$

4. Inverses Element:

Es gibt zu jeder Transformation L , welche durch die Relativgeschwindigkeit \vec{v} zwischen den beobachteten Inertialsysteme gekennzeichnet wird, auch eine inverse Transformation L^{-1} , die durch die Relativgeschwindigkeit $-\vec{v}$ gekennzeichnet ist.¹¹⁶⁴

$$L^{-1}(\vec{v}) = L(-\vec{v}).$$

Physikalische Erläuterung: Da es sich zwischen zwei verschiedenen Inertialsystemen (IS und IS') um eine konstante Relativgeschwindigkeit handelt, ist beispielsweise ihre Größe gleich, egal von welchem Inertialsystem aus wir das andere Inertialsystem betrachten. *Doch die Richtung der Geschwindigkeit und somit auch ihr Vorzeichen ändern sich!* Wenn wir also von einem Inertialsystem in ein anderes wechseln, sollten wir die inverse Geschwindigkeit nehmen. Das hängt natürlich mit den Koordinaten zusammen. Da wir das inverse KS' betrachten, nehmen wir deshalb auch die inverse Galileitransformation.

¹¹⁶⁴ vgl. CASSING, S. 18

Die Kritik an den Newtonschen Gesetzen aus der Sicht der Einsteinschen Mechanik

Selbstverständlich hätten all diese Neuheiten, welche die Einsteinsche Mechanik mit sich gebracht hat, Newton schwer ahnen können. Newtons Gesetze sind für den Alltag und die damit verbundenen Experimente zur Gänze gültig. Dass er theoretisch auch nach Sonderfällen - wie eine Grenzgeschwindigkeit, usw. - hätte denken sollen, wäre wirklich viel zu viel erwartet. (Vor allem, weil es die Maxwellgleichungen noch nicht gab.)

Wir wollen hier in einer Tabelle Gesetze der *Newtonschen Mechanik* und ihre verallgemeinerte Form in der *Einsteinschen Mechanik* gegenüberstellen.

Einsteinsche Mechanik	Grenzfall: $\gamma \rightarrow 1$	Newtonsche Mechanik
$\vec{p}_{rel.} = \gamma \cdot m_0 \cdot \vec{v}$	$v \ll c$ oder ($c \rightarrow \infty$)	1. $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
$\vec{F}_{rel.} = \frac{d}{dt}(\gamma \cdot m_0 \cdot \vec{v})$		2. $\vec{F} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt}$
?		?

Obwohl sich *die Kraft* in der Einsteinschen Mechanik der Newtonschen Mechanik in ihrer Form sehr ähneln, sind ihre Aus- und Voraussagen teilweise völlig anders. Dies wollen wir an einigen bestimmten Beispielen ganz kurz besprechen.

Das Trägheitsprinzip

Das 1. Gesetz in relativistischer Form hat einige Eigenschaften, welche im Newtonschen Impulsbegriff grundsätzlich fehlen:

- Der relativistische Impuls besagt, dass Körper, welche eine Masse haben, nicht mit Licht- bzw. Grenzgeschwindigkeit unterwegs sein können. Denn sonst wäre ihr Impuls unendlich groß: $\vec{p}_{rel.} = \frac{m_0 \cdot \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0 \cdot \vec{v}}{\sqrt{1-1}} = \left(\frac{m_0 \cdot \vec{v}}{0} \right) = \infty$. (Wir könnten auch sagen, dass die Masse dann unendlich träge wäre.)
- Daraus folgt zugleich, dass das Licht keine Masse haben darf, da es mit Licht- bzw. Grenzgeschwindigkeit unterwegs ist. Der Impuls für das Licht wird deshalb in der Relativitätstheorie mit $\vec{p}_{rel. \text{ Licht}} = \frac{E}{c}$ angegeben.

Das Kraftprinzip

Schauen wir uns nun 2. Gesetz an. In der Newtonschen Mechanik beispielsweise, kann man ein Teilchen mit einer Masse (bzw. einen Körper) mit konstanter Beschleunigung auf beliebig große Geschwindigkeiten beschleunigen. In der Newtonschen Mechanik gibt es diesbezüglich keine obere Grenze gesetzt. Ganz anders ist es in der Einsteinschen Mechanik. Um beispielsweise eine beliebige

Masse auf die Lichtgeschwindigkeit zu bringen, bräuchte man unendlich viel Kraft, was natürlich physikalisch wenig Sinn ergibt. Dies wollen wir auch kurz demonstrieren:

$$\vec{F}_{rel.} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \cdot \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) \quad | \quad v \rightarrow c$$

$$\vec{F}_{rel.} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \cdot \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \cdot \vec{v}}{\sqrt{1-1}} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \cdot \vec{v}}{0} \right) \quad | \quad (v \rightarrow c) \rightarrow (\gamma \rightarrow \infty) \rightarrow \left(\frac{m_0 \cdot \vec{v}}{0} = \infty \right)$$

$$\vec{F}_{rel.} = \frac{d}{dt} (\infty) = \infty$$

Albert Einstein macht darauf schon in seiner Arbeit **Zur Elektrodynamik bewegter Körper**, im Kapitel „§ 10. Dynamik des (langsam beschleunigten) Elektrons.“¹¹⁶⁵ aufmerksam. Ab da beginnt Einstein zu untersuchen was mit einem Elektron mit einer bestimmten Masse passiert, wenn man es konstant beschleunigt. Dabei stellt er fest, dass das Elektron nicht die Licht- bzw. Grenzgeschwindigkeit erreichen kann, da es sonst unendlich große kinetische Energie hätte.¹¹⁶⁶ Doch seine wenige Monate später erschienene Arbeit **Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?** (1905) bringt es dann schließlich auf den Punkt. Er schreibt: „Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; [...]“¹¹⁶⁷ und gibt seine berühmte Formel $E = m_0 \cdot c^2$ bekannt. (Wenn ein Leser nach genau dieser Formel mit diesen Buchstaben sucht, wird er in den Originalarbeiten natürlich nicht fündig werden. Damals benützte Einstein noch andere Buchstaben.¹¹⁶⁸) Er kann somit zeigen, dass die träge Masse eigentlich als reine Energie betrachtet werden kann.¹¹⁶⁹ So beginnt er seine 1907 erschienene Arbeit **Über die vom Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie** (1907) gleich mit den Sätzen: „Das Relativitätsprinzip führt in Verbindung mit den Maxwellschen Gleichungen zu der Folgerung, daß die Trägheit eines Körpers mit dessen Energieinhalt in ganz bestimmter Weise wachse bez. abnehme.“¹¹⁷⁰ Wie dieser Zusammenhang gegeben ist, wollen wir uns genauer anschauen.

Das Prinzip von der Äquivalenz von Masse und Energie

Wir haben die Formel $E = m_0 \cdot c^2$, welche Einstein zurecht auch als „Ausdruck des Prinzips der Äquivalenz von Masse und Energie“¹¹⁷¹ bezeichnet, wobei m_0 die *Ruhemasse* bedeutet. Dabei ist gemeint, dass das die Masse wäre, die wir messen würden, wären wir (mit unserem Inertialsystem) zu dem Körper mit der Masse in Ruhe bzw. im gleichen Inertialsystem (oder in einem Inertialsystem

¹¹⁶⁵ EINSTEIN (08. / 1905), S. 917

¹¹⁶⁶ EINSTEIN (08. / 1905), S. 920

¹¹⁶⁷ EINSTEIN (09. / 1905), S. 641

¹¹⁶⁸ Dort heißt es noch: „Gibt ein Körper die Energie L in Form von Strahlung ab, so verkleinert sich seine Masse um L/V^2 .“ EINSTEIN (09. / 1905), S. 641

Einstein benützt in seinen damaligen Arbeiten für die Lichtgeschwindigkeit c den Buchstaben V und für die Masse den Buchstaben μ .

¹¹⁶⁹ vgl. EINSTEIN (09. / 1905), S. 641

¹¹⁷⁰ EINSTEIN (20. / 1907), S. 371

¹¹⁷¹ EINSTEIN (20. / 1907), S. 382

mit gleicher Geschwindigkeit.) Wenn wir diese Masse m_0 nun beschleunigen, sodass es immer mehr an Geschwindigkeit gewinnt, so kommen wir zu einer „relativistischen Masse“:

$$m_{rel.} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Dabei würde natürlich $(v \rightarrow c) \rightarrow (m_{rel.} \rightarrow \infty)$ ergeben. Was eigentlich bedeutet, dass die Masse unendlich Träge werden würde.

Diese Analogien sind zwar ganz wichtig, um den Zusammenhang zwischen der Newtonschen Mechanik und der Einsteinschen Mechanik zu verstehen. So wird die „relativistische Masse“ auch in der Schule eingesetzt.¹¹⁷² Doch eigentlich ist es nicht wirklich fachgerecht von einer „relativistischen Masse“ $m_{rel.}$ ¹¹⁷³ zu sprechen, denn m_0 ist ein Skalar und $m_{rel.}$ lässt sich wie ein Vektor transformieren.¹¹⁷⁴ Besser ist es hier wohl gleich die *relativistische Energie* (bzw. die Energie eines freien Teilchens)

$$E = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

zu verwenden.¹¹⁷⁵ Auf das sollte man auch in der Schule womöglich hinweisen. Doch nicht nur der Begriff der „relativistische Masse“ sondern auch die „Ruhemasse“ selbst ist problematisch. So schreibt Tipler: „Die Größe eines $m/\sqrt{1 - u^2/c^2}$ wurde früher oft als *relativistische Masse* bezeichnet; wir wollen aber vermeiden, diesen Begriff zu verwenden oder ein Symbol dafür einzuführen. Mehr noch: Wir werden auch das Wort „Ruhemasse“ nicht benutzen. Dieser leider immer noch oft gebrauchte Begriff ist irreführend, weil er im Stillen unterstellt, es gäbe noch einen anderen Massenbegriff, etwa eine „bewegte“ Masse. In diesem Buch ist m immer die invariante Masse, die also in allen Bezugssystemen gleich ist; wir folgen damit Einsteins Sichtweise. Dieser schrieb 1948 einem Kollegen¹¹⁷⁶:

Es ist nicht gut, von der Masse $M = m/(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2}$ eines bewegten Körpers zu sprechen, da für M keine klare Definition gegeben werden kann. Man beschränkt sich besser auf die „Ruhe-Masse“ m . Daneben kann man ja den Ausdruck für momentum und Energie geben, wenn man das Trägheitsverhalten rasch bewegter Körper angeben will.“¹¹⁷⁷

Wir wollen natürlich damit nicht sagen, dass man in der Schule die „bewegte Masse“ ganz aufgeben sollte. So hält Eckhard Rebhan sicher nicht zu Unrecht ein „**Plädoyer für die bewegte Masse**“¹¹⁷⁸ und

¹¹⁷² vgl. SEXL (8) 2007, S. 30-31; APOLIN (8) 2008, S. 26

¹¹⁷³ Oft bezeichnet man es auch als die *dynamische Masse*.

¹¹⁷⁴ FLIEßBACH (I) 2007, S. 330

¹¹⁷⁵ Einstein selbst schreibt auch „Der Satz von der Trägheit der Energie [...]“EINSTEIN (20. / 1907), S. 379. Und später: „Ein System bewegter Massenpunkte besitzt also – als Ganzes genommen – desto mehr Trägheit, je rascher die Massenpunkte relativ zueinander bewegt sind. Die Abhängigkeit ist wieder gegeben durch das in der Einleitung angegebene Gesetz.“ EINSTEIN (20. / 1907), S. 384

¹¹⁷⁶ Der Brief ist an L. Barnett gerichtet. Dies wird von Tipler in einer Fußnote genau an dieser Stelle wiedergegeben. vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 83, Fußnote 4

¹¹⁷⁷ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 83

¹¹⁷⁸ REBHAN (II) 2012, S. 96

schreibt: „Mit den angeführten Argumenten soll natürlich nichts gegen die unbestrittene Nützlichkeit der Ruhemasse gesagt werden. Deren wichtige Bedeutung als relativistische Invariante und ihre Unverzichtbarkeit bei der kovarianten Formulierung sei hier nochmals klar herausgestellt. Vielmehr geht es darum, zu zeigen, daß die bewegte Masse nicht nur aus didaktischen, sondern auch aus physikalischen Gründen nach wie vor ihre Berechtigung hat. Es wäre auch nicht besonders hilfreich, wenn die kostenlose Werbung, welche die Physik seit Jahrzehnten auf unzähligen T-Shirts durch die Formel $E = mc^2$ erfährt, auf die Ruhemasse m_0 umgeschrieben und dadurch ihrer viel weiter reichenden Bedeutung beraubt würde.“¹¹⁷⁹

Uns geht es in dieser Arbeit aus diesen Gründen darum, darauf hinzuweisen, dass in der Schule auch die „invariante Masse“ ihre Erwähnung finden sollte. Wir wollen deshalb noch ganz kurz die „invariante Masse“ besprechen, um einen genaueren Einblick in die Situation zu gewinnen. Doch vorher wollen wir nicht unerwähnt lassen, dass auch die *Äquivalenz* zwischen der *trägen* und der *schweren* Masse, welche in der klassischen Mechanik angenommen wird, natürlich auch in der Einsteinschen Mechanik weiterhin gilt. Dafür sprechen zwei gute Gründe¹¹⁸⁰

1. Nach dem Korrespondenzprinzip sollte im Grenzfall die Einsteinsche Mechanik in die Newtonsche Mechanik übergehen.
2. Die Allgemeine Relativitätstheorie sollte im Grenzfall auch in die Einsteinsche Mechanik übergehen. Und in der ART ist die Äquivalenz von der trägen und der schweren Masse bereits festgelegt (, wie wir dann später sehen werden).

Da wir wissen, dass es eine Äquivalenz von Energie und Impuls gibt, ist es in diesem Zusammenhang wohl besser, wenn wir sagen, dass die „*Energie wiegt*.“¹¹⁸¹

Die invariante Masse¹¹⁸²

Dass die Masse erhalten bleiben sollte, hat bereits Newton betont. Nun bleibt es auch in der Einsteinschen Mechanik erhalten. Man kann hier natürlich von Weitsicht und gesunde physikalische Intuition von Newton sprechen. Doch bevor wir zu schnell ein Urteil bilden, wollen wir uns den Begriff „invariante Masse“ genauer untersuchen. Dafür werden wir kurz einen Ausflug unternehmen.

Das Raumzeit-Intervall Δs gibt in der relativistischen Raumzeit das Intervall zwischen zwei Ereignissen an. Dieser hat die Form

$$(\Delta s)^2 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

Wir können diese Formel auch in Worte fassen¹¹⁸³:

¹¹⁷⁹ REBHAN (II) 2012, S. 97

¹¹⁸⁰ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 91

¹¹⁸¹ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 92

¹¹⁸² Hier wird eigentlich nur eine Zusammenfassung aus TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 103-108

wiedergegeben. Lediglich der Versuch dabei die Newtonsche Mechanik zu kritisieren, ist ein Beitrag dieser Arbeit.

¹¹⁸³ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 45

$$[\text{Raumzeit Intervall}]^2 = [\text{zeitlicher Abstand}]^2 - [\text{räumlicher Abstand}]^2$$

Dieses relativistische Intervall ist von großer Bedeutung. „Das Intervall Δs ist die einzige messbare Größe zur Beschreibung von Ereignispaaren in der Raumzeit, für die Beobachter in allen Inertialsystemen denselben Zahlenwert erhalten.“¹¹⁸⁴ Oder etwas physikalischer formuliert: „[...] $(\Delta s)^2$ ist gegenüber Lorentz-Transformation in der Raumzeit invariant.“¹¹⁸⁵

Nun ist aber auch die Gesamtenergie in der relativistischen Physik invariant. Dies können wir in der Form

$$E^2 = (p \cdot c)^2 + (m \cdot c^2)^2$$

wiedergeben. Wir formen noch ein wenig um und erhalten

$$E^2 = (p \cdot c)^2 + (m \cdot c^2)^2 \quad | \quad -(p \cdot c)^2$$

$$E^2 - (p \cdot c)^2 = (m \cdot c^2)^2$$

Es kommt wahrscheinlich besser zur Geltung, wenn wir es in der Form aufschreiben

$$\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{p}{c}\right)^2 = m^2$$

Vergleichen wir nun die beiden Gleichungen

$$(m \cdot c^2)^2 = E^2 - (p \cdot c)^2 \quad \text{und} \quad (\Delta s)^2 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

miteinander, dann erkennen wir „, dass die „Länge“ des Energie/Impuls-Vierervektors der Ruheenergie der Masse m entspricht! Somit messen Beobachter in allen Inertialsystemen für ein abgeschlossenes System dieselbe Ruheenergie und, da c konstant ist, auch dieselbe Masse. Beachten Sie, dass nur im Ruhesystem der Masse m , wo also $\mathbf{p} = 0$ ist, Ruheenergie und Gesamtenergie übereinstimmen.“¹¹⁸⁶

Das bedeutet, wenn wir uns mit der Masse uns mitbewegen, dann haben wir

$$E^2 - (p \cdot c)^2 = (m \cdot c^2)^2 \quad | \quad p = 0$$

$$E^2 = (m \cdot c^2)^2 \quad | \quad \sqrt{\quad}$$

$$E = m \cdot c^2$$

Das ist natürlich wieder die berühmte Einsteinsche Gleichung über die Ruheenergie. Wenn wir nun sagen würden, Newton hätte bereits geahnt, dass die Invarianz der Masse eine große Rolle spielt, hätten wir womöglich

- einerseits Recht, da man auch in der Einsteinschen Mechanik von der Invarianz der Masse sprechen kann. (Noch dazu erlaubt es uns das Korrespondenzprinzip von dieser Masse in die Newtonsche Masse quantitativ zurück zu kehren.)

¹¹⁸⁴ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 45

¹¹⁸⁵ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 104

¹¹⁸⁶ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 104

- andererseits auch nicht ganz Recht, da die Einsteinsche Masse und die Newtonschen Masse verschiedene Konzepte sind.

Um den zweiten Punkt zu verdeutlichen wollen wir ein Beispiel geben, dass in der *klassischen Physik*, sowohl von **Descartes** als auch von **Newton** korrekt vorhergesagt worden ist. (Selbstverständlich nur für Körper mit $v \ll c$). Nämlich den Fall, wo zwei Massen mit gleicher Größe und gleichem Impuls aufeinander stoßen. *Schauen wir uns das Beispiel aber von der Perspektive der Einsteinschen Mechanik an.*¹¹⁸⁷ Dabei nehmen wir an, dass die Masse eines Körpers 4 kg ($m = 4\text{kg}$) beträgt. Außerdem gehen wir davon aus, dass sie mit 60% der Lichtgeschwindigkeit ($v = 0,6 c$) aufeinander treffen, damit die relativistischen Effekte richtig zum Vorschein kommen. Wir wollen nun die Energie eines Teilchens bestimmen

$$\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{p}{c}\right)^2 = m^2 \quad \left| + \left(\frac{p}{c}\right)^2 \quad \left| c^2\right.\right.$$

$$E = \sqrt{m^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2} \cdot c^2$$

Nun setzen wir Masse und Impuls¹¹⁸⁸ ein

$$E = \sqrt{m^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2} \cdot c^2 \quad \left| m = 4 \text{ kg} \quad \left| \frac{p}{c} = 3 \text{ kg} \right.\right.$$

$$E = \sqrt{4^2 + 3^2} \text{ kg} \cdot c^2 = 5 \text{ kg} \cdot c^2.$$

Das ist aber nur die Energie eines Teilchens. Wollen wir die Gesamtenergie des Systems berechnen, brauchen wir nur die Energien beider Teilchen zusammen zu zählen und erhalten

$$E_{Ges.} = 2 \cdot \sqrt{4^2 + 3^2} \text{ kg} \cdot c^2 = 5 \text{ kg} \cdot c^2 + 5 \text{ kg} \cdot c^2 = 10 \text{ kg} \cdot c^2.$$

Analog können wir auch den Gesamtimpuls des Systems ganz einfach berechnen und erhalten

$$p_{Ges.} = 3c \cdot \text{kg} - 3c \cdot \text{kg} = 0c \cdot \text{kg}.$$

Das überrascht uns natürlich wenig, da die Impulse gegengerichtet sind und sich deshalb (quasi) aufheben. Doch ganz verblüffend ist es hingegen, wenn man nun die invariante Masse des Systems ausrechnet

$$\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{p}{c}\right)^2 = m^2 \quad \left| \sqrt{\quad}\right.$$

$$\sqrt{\left(\frac{E}{c^2}\right)^2 - \left(\frac{p}{c}\right)^2} = m \quad \left| \frac{E_{Ges.}}{c^2} = 10 \text{ kg} \quad \left| \frac{p_{Ges.}}{c} = 0 \right.\right.$$

¹¹⁸⁷ Das Beispiel ist zur Gänze aus dem TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 107-108 entnommen.

¹¹⁸⁸ Wir wollen hier noch kurz den Impuls berechnen

$$p = m \cdot \frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \left| v = 0,6 c \quad \left| m = 4 \text{ kg} \right.\right.$$

$$p = 4 \text{ kg} \cdot \frac{0,6 c}{\sqrt{1 - 0,6^2}} = 4 \text{ kg} \cdot \frac{0,6 c}{\sqrt{0,64}} = \frac{4 \text{ kg} \cdot 0,6 c}{0,8} = \frac{2,4 c \cdot \text{kg}}{0,8} = 3 c \cdot \text{kg}$$

$$\sqrt{10^2 - 0^2} \cdot kg = 10 kg = m$$

Das bedeutet: *Obwohl die einzelnen Massen zusammen gezählt 8 kg (4 kg + 4 kg = 8 kg) haben, beträgt die Masse des Systems 10 kg.* Nun könnten wir natürlich glauben, dass wir uns womöglich verrechnet haben, oder wir könnten uns einreden, dass es von einem anderen Inertialsystem aus betrachtet doch 8 kg ergeben würde usw. Doch Fakt ist, dass diese 10 kg die „invariante Masse“ dieses Systems darstellen. Das bedeutet: *Von jedem Inertialsystem aus betrachtet, bleibt sie gleich bzw. konstant.*¹¹⁸⁹

Das Ganze ist sehr schwierig vorzustellen. Die (invariante) Masse des Systems ist in diesem Fall mehr als die Massen beider Teilchen zusammen.¹¹⁹⁰ (Es gibt sogar Fälle, da kann die invariante Masse weniger als die Massen beider Teilchen betragen. Beispielsweise hat das Wasserstoffatom, welches aus einem Elektron und einem Proton besteht, weniger Masse als die Summe der Elektron- und Protonmasse. Die Differenz macht dabei die Bindungsenergie aus.¹¹⁹¹)

Doch noch schwieriger ist es sich vorzustellen, dass Newton, wenn er von der Erhaltung der Masse sprach, jene invariante Masse der Einsteinschen Mechanik, intuitiv im Blickwinkel hatte.

Wir wollen mit dieser obigen Aussage selbstverständlich nicht die großen Leistungen von Newton abwerten. (Unser Hausverstand, der vom Alltag geprägt ist, wird jederzeit den Massenbegriff von Newton viel besser annehmen können, als den von Einstein, obwohl jener eine größere Gültigkeit besitzt.) Worauf wir hinaus wollen ist Folgendes:

Sowohl die Newtonsche Mechanik als auch die Einsteinsche Mechanik kommt nicht ohne den Begriff der Masse aus. Doch sind die Vorhersagen der Einsteinschen Mechanik über die invariante Masse eine andere, als die der Newtonschen Mechanik. Nach dem *zweiten Prinzip der Naturwissenschaft*, welches in diesem Fall die *Falsifikation* der Newtonschen Mechanik verlangt, können die beiden Massenbegriffe **prinzipiell** nicht als *gleichwertig* angesehen werden.

So gesehen ist es womöglich nicht zu überzogen, wenn wir sagen:

So wie wir den Massenbegriff von **Descartes** und **Newton** nicht gleichsetzen können, so können wir im Grunde auch den Massenbegriff von **Newton** und **Einstein** nicht gleichsetzen. (Das dürfte **prinzipiell** nicht möglich sein.)

Da wir nun zum Begriff Masse eine gewisse Klarheit erlangen konnten, wollen wir noch auf Stöße näher eingehen.

Das Wechselwirkungsprinzip

Allgemein scheint es schon von vornherein von großem Vorteil zu sein die Physik auf Begriffe wie Impuls und Energie aufzubauen, da sie nicht nur in der klassischen, sondern vor allem in der modernen Physik viel bessere Konzepte anbieten. So konnten wir bereits zeigen, dass das 3.

¹¹⁸⁹ Wir wollen hier auf eine Demonstration verzichten. Interessierten Leser weisen hier gerne auf TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 108

¹¹⁹⁰ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 108

¹¹⁹¹ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 102 - 103

Newtonsche Gesetz, ein Gesetz ist, welches die Wechselwirkung beschreibt. (Doch wir konnten es als Impulserhaltungssatz enttarnen. In der Relativitätstheorie sind Impuls und Energie sogar noch enger miteinander verflochten.) Außerdem ist in der Einsteinschen Mechanik von Kraft und Gegenkraft zu sprechen allgemein relativ. **Actio und Reactio sollten nach der Newtonschen Mechanik gleichzeitig auftreten, doch nach der Einsteinschen Mechanik ist die Gleichzeitigkeit relativ.** So ist allgemein die Wirkung in der Einsteinschen Mechanik *nicht instantan*. Das bedeutet, wenn wir einen Stock am einen Ende anstoßen, bewegt sich nicht zur gleichen Zeit das andere Ende (, wie sich das wohl Descartes gewünscht hätte). Denn die Information kann nach der Relativitätstheorie von einem Ende ans andere höchstens mit Lichtgeschwindigkeit übertragen werden.¹¹⁹²

Reiner M. Dreizler und Cora S. Lüdde schreiben über die Newtonschen Gesetze: „Es ist jedoch auch nützlich, die Frage zu stellen: Kann man aufgrund der drei Axiome allgemeine Aussagen über mechanische Systeme machen, ohne dass man sich auf spezifische Situationen bezieht? Die Antwort auf diese Frage fällt unter das Stichwort Erhaltungssätze als Konsequenz der Axiome (plus generellen Aussagen über die Kräfte) dargestellt. Die Erhaltungssätze sind jedoch aus experimenteller Sicht viel zugänglicher und einsichtiger als die Axiome. Es ist deswegen in der Physik durchaus üblich, die Erhaltungssätze als die erste Erkenntnis an den Anfang zu stellen und zu versuchen, das Lehrgebäude der Physik mit der Forderung der Erhaltungssätze axiomatisch zu begründen. Dies ist insofern nützlich, als die Erhaltungssätze auch in der Quantenwelt Gültigkeit haben. Das zweite Axiom ist hingegen in der Quantenwelt nicht gültig.

Die explizite Umsetzung der Axiome der Mechanik beginnt mit der Diskussion der Erhaltungssätze.“¹¹⁹³

So gesehen ist es nicht sehr überraschend, dass auch in der speziellen Relativitätstheorie die Energie-Impuls-Beziehung eine größere Rolle spielt, und das dritte Newtonsche Gesetz in seiner ursprünglichen Form, uns wenig hilfreich ist.

Um die Wechselwirkung besser zu verstehen, wollen wir deshalb die Begriffe Energie und Impuls in der Relativitätstheorie bzw. der Einsteinschen Mechanik näher untersuchen.

¹¹⁹² vgl. dazu EINSTEIN (20. / 1907), S. 380-381

¹¹⁹³ DREIZLER/LÜDDE (I) 2008, S. 83-84

Die Kritik an den Erhaltungssätzen der klassischen Mechanik aus der Sicht der Einsteinschen Mechanik

Der Einsatz von Descartes, Huygens, Leibniz und Helmholtz¹¹⁹⁴ für die Erhaltungssätze waren natürlich nicht umsonst. Sie gelten sowohl in der *Einsteinschen Mechanik*, als auch in der *Wellenmechanik* (bzw. Quantenmechanik). Doch in der Relativitätstheorie ist ihre Form und ihr Inhalt etwas anders. **Würden wir nur von den in der klassischen Mechanik verwendeten Erhaltungssätzen in der Einsteinschen Mechanik ausgehen, wären sie nicht mehr erhalten.** Wenn wir uns beispielsweise Stöße in einem abgeschlossenen System ansehen, so ist ihr Gesamtimpuls

$$\vec{p}_{Ges.} = m \cdot \vec{v}$$

erhalten. In der Relativitätstheorie ist der Gesamtimpuls dagegen mit

$$\vec{p}_{Ges.} = m \cdot \gamma \cdot \vec{v} = m \cdot \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

gegeben. Selbstverständlich gilt auch hier das Korrespondenzprinzip. Denn, wenn $v \ll c$ gilt dann wird $\gamma \rightarrow 1$ und wir erhalten den Impulssatz aus der klassischen Physik.¹¹⁹⁵

Von ganz großer Bedeutung ist in der klassischen Physik die Energieerhaltung. Die *Gesamtenergie* eines freien Teilchens¹¹⁹⁶ können wir (nach Huygens und Leibniz) in Form von *kinetischer Energie* wiedergeben

$$E_{Ges.} = \frac{m \cdot v^2}{2} = E_{Kin.}$$

Dagegen hat die *Gesamtenergie* eines freien relativistischen Teilchens¹¹⁹⁷ - auch *relativistische Energie* genannt - eine ganz andere Form¹¹⁹⁸:

$$m \cdot c^2 + m \cdot c^2(\gamma - 1) = \text{Ruheenergie} + \text{Kinetische Energie}$$

Beziehungweise, wenn wir die Gleichung umformen¹¹⁹⁹ erhalten wir

$$m \cdot c^2 + m \cdot c^2(\gamma - 1) = \cancel{m \cdot c^2} + m \cdot c^2 \cdot \gamma - \cancel{m \cdot c^2} \quad \left| \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma \right.$$

¹¹⁹⁴ vgl. Anhang IV.

¹¹⁹⁵ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 83

¹¹⁹⁶ Mit „frei“ meinen wir, dass sie frei von potentieller Energie ist:

$$E_{Ges.} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} + 0 = E_{Kin.}$$

¹¹⁹⁷ Würden wir die potentielle Energie (in einer Dimension) miteinbeziehen, dann hätten wir

$$m \cdot c^2 + m \cdot c^2(\gamma - 1) + q\Phi(x) =$$

Ruheenergie + Kinetische Energie + Potentielle Energie

vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 331

¹¹⁹⁸ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 331

¹¹⁹⁹ vgl. FLIEßBACH (I) 2007, S. 331

$$m \cdot c^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \text{relativistische Energie}$$

Um diese Formel besser zu verstehen, wollen wir sie in eine Potenzreihe¹²⁰⁰ entwickeln (bzw. annähern)¹²⁰¹

$$\text{relativistische Energie} = E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m \cdot c^2 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot c^2 \cdot v^2}{c^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{m \cdot c^2 \cdot v^4}{c^2 \cdot c^2} \dots =$$

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m \cdot c^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{3}{8} \cdot \frac{m \cdot v^4}{c^2} \dots$$

Wir sehen, dass im ersten Term die (relative) Geschwindigkeit gar nicht auftaucht. Er ist somit von der Geschwindigkeit unabhängig. Man bezeichnet ihn daher auch als *Ruheenergie*. Das bedeutet, wenn wir uns im gleichen Inertialsystem wie das Teilchen befinden, dann würden wir genau diese Energie messen können.

Die Ruheenergie $E_0 = m \cdot c^2$ besagt eigentlich, dass *Masse* und *Energie* äquivalent sind.

Das bedeutet, wir können (träge) Masse in Energie umwandeln und umgekehrt. Das bringt auch Einstein in seiner Arbeit ***Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*** zum Ausdruck, wenn er schreibt: „Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energieinhalt; [...]“

Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei Körpern, deren Energieinhalt in hohem Maße veränderlich ist (z.B. bei den Radiumsalzen), eine Prüfung der Theorie gelingen wird.“¹²⁰²

Wenn wir uns dem nichtrelativistischen Grenzfall $v \ll c$ zuwenden, dann genügen uns schon die ersten beiden Terme

$$E = m \cdot c^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

¹²⁰⁰ Wenn wir den Ausdruck $\frac{1}{\sqrt{1-x}}$ in einer Reihe annähern, erhalten wir

$$\frac{1}{\sqrt{1-x}} = 1 + \frac{1}{2} \cdot x + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot x^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot x^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \cdot x^4 + \dots$$

Wenn wir für x nun folgendes einsetzen $x = \beta^2 = \frac{v^2}{c^2}$ erhalten wir

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{v^4}{c^4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{v^6}{c^6} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{v^8}{c^8} + \dots$$

¹²⁰¹ vgl. EINSTEIN 1969, S. 39

¹²⁰² EINSTEIN (09. / 1905), S. 641; vgl. auch TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 100

Wir sehen, also, dass wir auch hier die Ruheenergie nicht mehr loswerden können. Die Einsteinsche Mechanik sagt Energieformen voraus, die in der klassischen Mechanik *völlig* gefehlt haben bzw. unvorstellbar waren.¹²⁰³

Doch bedeutet das, dass das Korrespondenzprinzip gar nicht mehr gilt bzw. können wir gar nicht mehr zu der kinetischen Energie der klassischen Mechanik gelangen? Natürlich gilt auch hier das Korrespondenzprinzip. Für die kinetische Energie haben wir die relativistische Formel¹²⁰⁴

$$E_{kin} = m \cdot c^2(\gamma - 1)$$

Wir entwickeln γ wieder in eine Reihe Potenzreihe und erhalten

$$E_{kin} = m \cdot c^2 \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2} - 1 \right) = \cancel{m \cdot c^2 \cdot 1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{m \cdot \cancel{c^2} \cdot v^2}{\cancel{c^2}} - \cancel{m \cdot c^2 \cdot 1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Auch können wir diese kinetische Energie als die Gesamtenergie eines freien Teilchens betrachten. Dazu muss eigentlich bekanntlich nur $\gamma \rightarrow 1$ gehen. Das bedeutet, wir nehmen die relativistische Formel¹²⁰⁵

$$m \cdot c^2 + m \cdot c^2(\gamma - 1) = m \cdot c^2 \cdot \gamma = \text{Ruheenergie} + \text{Kinetische Energie}$$

bzw.

$$m \cdot c^2 + E_{kin} = m \cdot c^2 \cdot \gamma$$

Nun lösen wir nach γ auf und bekommen

$$m \cdot c^2 + E_{kin} = m \cdot c^2 \cdot \gamma \quad | \quad \div m \cdot c^2$$

$$\frac{m \cdot c^2}{m \cdot c^2} + \frac{E_{kin}}{m \cdot c^2} = \frac{m \cdot c^2}{m \cdot c^2} \cdot \gamma$$

$$1 + \frac{E_{kin}}{m \cdot c^2} = \gamma$$

Es ist hier ersichtlich, dass $\gamma \rightarrow 1$, wenn¹²⁰⁶ $E_{kin} \ll m \cdot c^2$.

$$1 + \frac{E_{kin}}{m \cdot c^2} = \gamma \quad | \quad (E_{kin} \ll m \cdot c^2) \rightarrow \left(\frac{E_{kin}}{m \cdot c^2} \rightarrow 0 \right)$$

$$1 = \gamma$$

In Worten ausgedrückt: Wenn die *kinetische Energie* viel kleiner ist als die *Ruheenergie*, dann können wir getrost die klassische Mechanik und ihre Erhaltungssätze benutzen. Denn da hat die klassische Mechanik wieder ihre Gültigkeit.

¹²⁰³ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 89, Fußnote 6

¹²⁰⁴ vgl. dazu die Herleitungen im TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 87-88

¹²⁰⁵ vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 118

¹²⁰⁶ Auch könnten wir natürlich schreiben $m \cdot c^2 \rightarrow \infty$. Doch dass die Ruheenergie unendlich groß sein soll, würde physikalisch nicht viel Sinn ergeben.

Unsere Erkenntnis wollen wir in einer Tabelle wiedergeben:

Einsteinsche Mechanik	Grenzfall: $\gamma \rightarrow 1$	Newtonsche Mechanik
$\mathbf{p} = m \cdot \gamma \cdot \vec{v} = m \cdot \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$	$v \ll c$ oder $(c \rightarrow \infty)$ bzw. $\frac{E_{kin.}}{E_{Ruhe.}} \rightarrow 0$	$\mathbf{p} = m \cdot \vec{v}$
$E = E_{Ruhe.} + E_{kin.}$ $E = m \cdot c^2 + m \cdot c^2(\gamma - 1)$ $E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m \cdot c^2 \cdot \gamma$		$E = \frac{m \cdot v^2}{2} = E_{kin.}$

Da wir nun genügend Kenntnisse gesammelt haben, können wir sogleich die Energie und den Impuls eines Lichtstrahls besprechen.

Energie und Impuls eines Lichtstrahls

Wir haben bereits besprochen, dass die Theory of Mind bei Objekten mit Lichtgeschwindigkeit ihren Sinn verliert und somit auch die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation. Doch gelten wenigstens noch die Begriffe Energie und Impuls?

Gleichgültig, ob man das Licht nun als eine Welle oder als ein Teilchen betrachtet, wird es in der Mechanik ganz normal mit den Formeln der Energie und des Impulses beschrieben. Es bildet keinen Ausnahmestand. Ganz anders ist es in der Einsteinschen Mechanik.

Weder der relativistische Impuls

$$p = m \cdot \gamma \cdot \vec{v} = m \cdot \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad | \quad (v = c)$$

$$p = m \cdot \frac{c}{\sqrt{0}} = ?,$$

noch die relativistische Energie

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m \cdot c^2 \cdot \gamma \quad | \quad (v = c)$$

$$E = \frac{m \cdot c^2}{\sqrt{0}} = \frac{m \cdot c^2}{0} = ?$$

ist auf einen Lichtstrahl anwendbar. Das bedeutet aber natürlich nicht, dass wir zum Impuls und der Energie eines Lichtstrahls keine Angaben machen dürfen. Wir kennen die Gleichung

$$E = m \cdot c^2 + m \cdot c^2(\gamma - 1) = m \cdot c^2 + m \cdot c^2 \cdot \gamma - m \cdot c^2 =$$

Ruheenergie + Kinetische Energie

Wir quadrieren diese Gleichung und erhalten

$$E^2 = m^2 \cdot (c^2)^2 + m^2 \cdot (c^2)^2 \cdot \gamma^2 - m^2 \cdot (c^2)^2$$

Wenn wir nun den Impuls, ohne viel darüber nachzudenken, ebenfalls quadrieren und einsetzen ergibt sich folgender Zusammenhang

$$E^2 = m^2 \cdot (c^2)^2 + m^2 \cdot (c^2)^2 \cdot \gamma^2 - m^2 \cdot (c^2)^2 \quad | \quad p^2 = m^2 \cdot \gamma^2 \cdot c^2$$

$$E^2 = \cancel{m^2 \cdot (c^2)^2} + p^2 \cdot c^2 - \cancel{m^2 \cdot (c^2)^2} = p^2 \cdot c^2 \quad | \quad \div c^2 \quad | \quad \sqrt{\quad}$$

$$\frac{E}{c} = p$$

Der Impuls eines Lichtstrahls ist somit geklärt. Wir können für das Licht die Formel

$$E^2 = p^2 \cdot c^2$$

für die Energie verwenden. Und wenn wir beispielsweise die Äquivalenz von Energie und Masse ausdrücken wollen, dann nehmen wir die Gleichung

$$E^2 = m^2 \cdot (c^2)^2$$

Da im Impuls des Lichts der Begriff der Masse gar nicht vorkommt, spricht nichts dagegen, diese beiden Terme gleichzeitig zu verwenden.

$$E^2 = p^2 \cdot c^2 + m^2 \cdot (c^2)^2 = (p \cdot c)^2 + (m \cdot c^2)^2$$

Wir sehen hier sehr schön die Beziehung zwischen der Energie, dem Impuls und der invarianten Masse. Zwar kann man auch in der klassischen Mechanik die Energie, den Impuls (und die Masse) in eine Beziehung bringen:

$$E = E_{kin.} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad | \quad p = m \cdot v \quad \text{bzw.} \quad p^2 = m^2 \cdot v^2$$

$$E = E_{kin.} = \frac{p^2}{2 \cdot m}$$

Doch sind die Strukturen untereinander in der relativistischen Physik eine ganz andere bzw. schwer zu vergleichen. Denn nehmen wir an, mit der Masse ist wirklich die *Ruhemasse* gemeint. Ein Lichtteilchen (Photon) hat aber *keine Ruhemasse*. Nach dieser Definition, hätte es nach der klassischen Physik weder Impuls noch kinetische Energie, da

$$E_{kin.} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad | \quad m = 0$$

$$E_{kin.} = \frac{0 \cdot v^2}{2} = 0$$

und

$$p = m \cdot v$$

$$| m = 0$$

$$p = 0 \cdot v = 0$$

Wenn wir jedoch sagen würden, dass die Masse, welche in der klassischen Mechanik angesprochen wird, eher mit der „invarianten Masse“ der Einsteinschen Mechanik verglichen werden sollte, dann erhalten wir eben für den Impuls und Energie die Gleichungen

$$\frac{E^2}{c^2} = p^2$$

$$E^2 = p^2 \cdot c^2$$

Diese können wiederum schwer mit der Newtonschen Mechanik verglichen werden.

Die Kritik an Newtons absolutem Raum und absoluter Zeit

Um zwei unterschiedliche Gegenstände *vergleichen* zu können, sollten diese Gegenstände nicht nur Unterschiede aufweisen, sondern auch viele Elemente, die in beiden Gegenständen gleich definiert sind. Sonst könnte man schwer von einem *Vergleich* sprechen.

So kann es nicht sein, dass das Verständnis von Raum und Zeit in den verschiedenen Mechaniken nur Unterschiede anbietet. Die Struktur der Raum-Zeit der Einsteinschen Mechanik ist dieselbe, wie in der Newtonschen Mechanik. *In beiden Mechaniken gibt es keinen ausgezeichneten Raumpunkt – somit ist der Raum also homogen. Und es gibt im Raum auch keine ausgezeichnete Richtung. Das bedeutet der Raum ist auch isotrop.* Außerdem ist die Metrik des Raumes *euklidisch*. Das bedeutet, dass die Euklidische Geometrie weiterhin gilt. Beispielsweise ist die Winkelsumme eines Dreieck stets 180°. *Natürlich gibt es auch keinen ausgezeichneten Zeitpunkt – das heißt auch die Zeit ist homogen.*¹²⁰⁷ Wir wollen unsere Erkenntnis in einer Tabelle noch einmal zusammenfassen.

Raum-Zeit-Struktur	Newtonsche Mechanik	Einsteinsche Mechanik
Raum ist homogen	JA!	JA!
Raum ist isotrop	JA!	JA!
Zeit ist homogen	JA!	JA!
„Die Metrik des Raumes ist euklidisch.“¹²⁰⁸	JA!	JA!

Doch obwohl die Struktur des Raumes und der Zeit bei beiden Mechaniken dieselbe ist, ist ihr Begriff völlig *entgegengesetzt*. Die Einsteinsche Mechanik falsifiziert den Begriff des absoluten Raumes und der Zeit. So sind Zeitintervalle und Längen (= Raumintervalle) in der Newtonschen Mechanik von verschiedenen Inertialsystemen aus gesehen völlig dieselben. Man sagt daher auch, dass sie absolute Größen (bzw. invariant) sind unter der Galileitransformation. Das ist in der Einsteinschen Mechanik ganz anders! Die (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation zeigt, dass, wenn wir ein relativ bewegtes Inertialsystem beobachten, dann nehmen wir dessen Längen verkürzt und dessen Zeit gedehnt wahr.

Raum-Zeit-Struktur	Newtonsche Mechanik	Einsteinsche Mechanik
Raum ist absolut	JA!	NEIN!
Zeit ist absolut	JA!	NEIN!
Längen und Zeiten sind relativ	NEIN!	JA!

Doch auch in der Einsteinschen Mechanik gibt es natürlich ein *Raumzeit-Intervall* Δs , welches unter der (Fitzgerald)-Lorentz-(Einstein)-Transformation ihre Gültigkeit beibehält:

$$(\Delta s)^2 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

In Worten bedeutet diese Gleichung¹²⁰⁹ – wie wir bereits wissen –

$$[\text{Raumzeit Intervall}]^2 = [\text{zeitlicher Abstand}]^2 - [\text{räumlicher Abstand}]^2$$

¹²⁰⁷ vgl. HOFFMANN 1997, S. 12

¹²⁰⁸ vgl. HOFFMANN 1997, S. 12

¹²⁰⁹ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 45

Das negative Vorzeichen zeigt, dass „ $(\Delta s)^2$ “ positiv, negativ oder null sein kann, in Abhängigkeit von der relativen Größe des zeitlichen und räumlichen Abstands. Das Vorzeichen von $(\Delta s)^2$ sagt etwas über die kausale Beziehung zwischen den beiden Ereignissen aus. Welche der drei Möglichkeiten ein Paar von Ereignissen für einen Beobachter auch charakterisiert – dies gilt stets für alle Beobachter, weil Δs invariant ist. Das Intervall nennt man *zeitartig*, wenn die zeitliche Trennung größer ist, *raumartig* dagegen, wenn die räumliche Trennung überwiegt. Sind die beiden Terme gleich ($\Delta x = 0$), nennt man das Intervall *lichtartig*.¹²¹⁰ Wir wollen das ganz kurz näher erläutern. Dazu schicken wir die Abbildung 36 voraus:

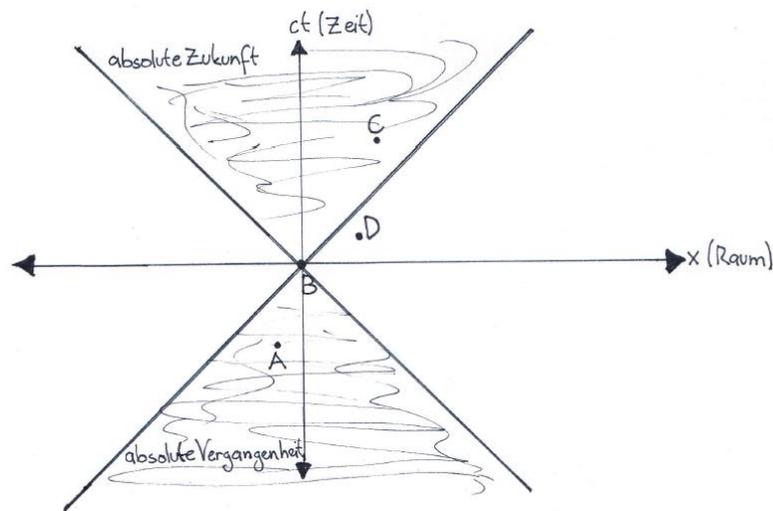


Abbildung 36

In dieser Abbildung ist ct die Zeitkoordinate und x die Ortskoordinate. (Diese Koordinaten stellen eigentlich zwei Dimensionen der vier-dimensionalen Minkowski-Raum-Zeit dar.) Der Abbildung zur Folge haben wir ein Ereignis B zum Zeitpunkt 0. Dieses Ereignis kann nach der Einsteinschen Mechanik prinzipiell kausal alle Ereignisse, wie beispielsweise C beeinflussen, die im schattierten Bereich liegen.¹²¹¹ Und B kann wiederum nur von Ereignissen beeinflusst worden sein, wie beispielweise A , welche ebenfalls auch im schattierten Bereich (der Vergangenheit) liegen.

Zeitartige Intervalle¹²¹²

$$0 > (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

Das *zeitartige Intervall* charakterisiert beispielsweise die zeitliche Abfolge von A nach B nach C . Es liegt innerhalb des schattierten Gebietes und ist natürlich von allen Inertialsystemen aus betrachtet dasselbe.

Raumartige Intervalle¹²¹³

$$0 < (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

¹²¹⁰ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 45

¹²¹¹ Den schattierten Bereich nennt man auch den Lichtkegel.

¹²¹² vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 45-46 und REBHAN (II) 2012, S. 49-51

¹²¹³ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 46 und REBHAN (II) 2012, S. 49-51

Beispielsweise sind die Ereignisse B und D durch raumartige Intervalle getrennt. „Raumartige Intervalle finden hinreichend weit voneinander entfernt, aber zeitlich so kurz hintereinander statt,“ dass sie sich kausal nicht gegenseitig beeinflussen können.

Lichtartige Intervalle (Nullintervalle)¹²¹⁴

$$0 = (c \cdot \Delta t)^2 - (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)$$

„Die Existenz lichtartiger Intervalle in der Relativitätstheorie hat kein Gegenstück in der Welt unserer täglichen Erfahrung, in der wir es mit einem Raum von Euklidischer Geometrie zu tun haben. Wenn die Entfernung zwischen zwei Punkten im Raum null sein soll, so muss der Abstand in allen drei räumlichen Dimensionen null sein. In der Raumzeit kann ein Intervall zwischen zwei Ereignissen trotz endlicher und zeitlicher Trennung null sein. Beachten Sie dabei, dass Eigenlänge und Eigenzeit von Ereignispaaren, die durch lichtartige Intervalle getrennt sind, null sind, das $\Delta s = 0$ ist.“¹²¹⁵ In unserer Abbildung sind das genau die (Welt)linien, die den schraffierten Bereich eingrenzen. Das sind Ereignisse, welche sich mit Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen.

Korrespondenzprinzip des Raum-Zeit-Intervalls

Im Grenzfall des Minkowski-Raumes, welches die Einsteinsche Vorstellung von Raum-Zeit wiedergibt, sollten wir natürlich wieder zu Newtons Vorstellung von Raum und Zeit kommen. Wenn wir uns noch einmal unsere Abbildung anschauen, dann sehen wir das Ereignis *B*. Den darüber liegenden schraffierten Bereich können wir als die *absolute Zukunft* des Ereignisses *B* betrachten und den unteren Bereich als dessen *absolute Vergangenheit*. Nun wissen wir, dass es in der Newtonschen Mechanik keine Grenz- bzw. Lichtgeschwindigkeit gibt. **Das bedeutet, dass der schaffierte Bereich sich zur Gänze ausweitet bzw. die Grenzlinie, welche das lichtartige Intervall anzeigt, verschwindet.** So wird die *absolute Vergangenheit* von der *absoluten Zukunft* nur durch eine *absolute Gegenwart* getrennt. Diese *absolute Gegenwart* ist natürlich an einen *absoluten Raum* und an eine *absolute Zeit* gebunden.¹²¹⁶

¹²¹⁴ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 46-47 und REBHAN (II) 2012, S. 49-51

¹²¹⁵ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 47

¹²¹⁶ vgl. HOFFMANN 1997, S. 152

Das Maupertuis-Hamiltonsche (Variations)prinzip in der SRT

Natürlich kann man die Methoden von Maupertuis und Hamilton auch in der SRT anwenden. Wir wollen hier das Variationsprinzip für ein freies Teilchen¹²¹⁷ (in einer Dimension) wiedergeben¹²¹⁸:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L(x(t), \dot{x}(t), t) dt = 0$$

Wobei die Langrangefunktion durch die folgende Gleichung ausgedrückt wird:

$$L = -m_0 c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Das ist aber noch nicht die *invariante Form*.¹²¹⁹ Dazu verwenden wir das *invariante Eigenzeitintervall* $d\tau$ welches zum Zeitintervall dt in folgender Weise $\gamma \cdot d\tau = dt$ in Beziehung steht. Außerdem hat die invariante Langrangefunktion \bar{L} die Form

$$\bar{L} = \gamma \cdot L = -m_0 c^2$$

Dadurch können wir die invariante Form des Variationsprinzips nun wiedergeben:

$$\delta \int_{\tau_1}^{\tau_2} \bar{L} d\tau = 0$$

¹²¹⁷ Das bedeutet, dass wir nur von Teilchen sprechen, welche sich frei von äußeren Kraftfeldern fortbewegen, so dass sie nicht von äußeren Potentialen bzw. Kräften beeinflusst werden. Diese Einschränkung vereinfacht die Formel wesentlich.

¹²¹⁸ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 98

¹²¹⁹ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 99

Die Einsteinsche Gravitationstheorie bzw. Allgemeine Relativitätstheorie (ART)

Wir wollen diesen Abschnitt in aller Kürze behandeln. Das hat vor allem zwei Gründe:

1. Die ART ist in ihrem Konzept derart von der Newtonschen Gravitationstheorie verschieden, dass sie den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen würde.
2. Die mathematischen Methoden der ART verlangen Kenntnisse in der Tensoranalysis. Auch dies zu besprechen würde weit über den Horizont dieser Arbeit hinausgehen.

Aus diesen Gründen wollen wir nur ein paar Punkte besprechen, welche für unsere Arbeit von höchster Bedeutung sein könnten.

Die Prinzipien der ART

In der ART wird das Galileische Relativitätsprinzip – dass nämlich die Gesetze der Physik in allen Inertialsystemen dieselben sind – erweitert. Damit wir die Erweiterung erkennen können, wollen wir noch einmal die Gültigkeit der Galileischen Relativitätstheorie kurz zusammenfassen.

Das (*Galileische*) Relativitätsprinzip unter Verwendung der bisherigen *Mechaniken*:

- Relativitätsprinzip in der Newtonschen Mechanik:
„Zwischen den verschiedenen Inertialsystemen existieren Transformationen (Galilei-Transformationen), die die Newtonschen Bewegungsgleichungen invariant lassen.“¹²²⁰
- Relativitätsprinzip in der Einsteinschen Mechanik:
„Zwischen den verschiedenen Inertialsystemen existieren Transformationen (Lorentz-Transformationen), die alle Gesetze der Physik (Mechanik, Elektrodynamik, Quantenmechanik, usw.) mit Ausnahme des Gravitationsgesetzes invariant lassen.“¹²²¹

Wie wir oben entnehmen können, wurde das *Galileische Relativitätsprinzip* in verschiedenen *Mechaniken* miteinbezogen. *Die ART geht hier einen Schritt weiter und sprengt die Grenzen des Galileischen Relativitätsprinzips*. Die Gesetze der Natur sollen in der ART nicht nur in allen Inertialsystemen dieselben sein, sondern auch in allen nichtinertialen Bezugssystemen. Das bedeutet: auch in Systemen, welche beschleunigt sind. Oder wie Eckhard Rebhan schreibt: „*Alle Naturgesetze lassen sich so formulieren, daß sie in jedem beliebigen Koordinatensystem dieselbe*

¹²²⁰ REBHAN (II) 2012, S. 178

¹²²¹ REBHAN (II) 2012, S. 179

Form annehmen.¹²²² Somit verliert das Inertialsystem seine besondere Stellung bzw. ist nicht mehr ausgezeichnet.¹²²³ Als das Prinzip der ART erhalten wir deshalb:

Prinzip (der ART): Äquivalenzprinzip

„In jedem Schwerfeld existiert zu jedem Raum-Zeit-Punkt ein lokales Inertialsystem, in welchem sämtliche Naturgesetze lokal – d.h. in einer hinreichend kleinen Umgebung des Punktes – dieselbe Form wie in einem unbeschleunigten gravitationsfreien System annehmen – sofern bekannt also die Form der SRT in einem Inertialsystem. Jede Form von Energie trägt gemäß der Beziehung $m = \frac{E}{c^2}$ in gleichem Maße zur trägen und schweren Masse bei.“¹²²⁴

Wir könnten als ein Prinzip der ART auch das *Machsche Prinzip*¹²²⁵ anführen. „Das Machsche Prinzip beseitigt einen wesentlichen Mangel der Newtonschen Theorie: Bei Newton reagiert die Masse auf eine Beschleunigung gegenüber dem absoluten Raum mit Trägheit, auf diesen gibt es jedoch keine Rückwirkung. Da bei Mach die Beschleunigung zu einer relativen Größe wird, ist dagegen eine Rückwirkung auf die Trägheit verantwortlichen Massen mit inbegriffen.“¹²²⁶ Ernst Machs Gedanken waren von großer Bedeutung für Einstein. So könnten wir schon aus historischen Gründen das Machsche Prinzip in die Arbeit aufnehmen. Doch abgesehen davon, dass wir die ART so knapp wie möglich behandeln wollen, gibt es noch weitere Gründe, weshalb wir es hier nicht einführen und besprechen werden. So „erfüllt“ beispielsweise die ART „nicht alle Forderungen des Machschen Prinzips“¹²²⁷. Nach Ernst „Mach hat der Raum keinerlei eigenständige Bedeutung, es kommt nur auf Relativbewegung der Materie an. In Einsteins Theorie hat der Raum eine von Materie unabhängige Existenz“¹²²⁸. *Diese Ansicht von Mach würde – im Gegensatz zu Newton¹²²⁹ – Descartes sicher gerne teilen.* Doch, dass der Raum eine physikalische Selbstständigkeit besitzt, würde uns auch aus der quantentheoretischen Sicht sehr entgegenkommen; so schreibt Rebhan: „In den modernen Quantenfeldtheorien ist der leere Raum nicht ohne Eigenschaften. Er ist erfüllt mit unendlich vielen virtuellen Teilchen vielerlei Sorten, die in sogenannten „Vakuumfluktuationen“ zu einer sehr

¹²²² REBHAN (II) 2012, S. 197

Bei Einstein heißt es: „Alle Gaußschen Koordinatensysteme sind für die Formulierung der allgemeinen Naturgesetze prinzipiell gleichwertig.“ EINSTEIN 1969, S. 77

¹²²³ REBHAN (II) 2012, S. 179

¹²²⁴ REBHAN (II) 2012, S. 185

Rebhan kann dieses Prinzip weiter präzisieren. Doch für unsere Arbeit reicht das Prinzip in dieser Form vollkommen. Interessierte Leser verweisen wir gerne auf REBHAN (II) 2012, S. 193

¹²²⁵ „**Machsches Prinzip.** Es gibt keinen absoluten Raum. Die Gesetze der Mechanik müssen so abgefaßt werden, daß nur die Relativbewegung aller im Weltall verteilten Massen eine Rolle spielen. Die Trägheit einer Masse ist die Reaktion auf die Wechselwirkung mit allen übrigen Massen des Universums.“

REBHAN (II) 2012, S. 180

¹²²⁶ REBHAN (II) 2012, S. 180

¹²²⁷ REBHAN (II) 2012, S. 181

Rebhan schreibt weiter: „(Tatsächlich ist bis heute noch nicht vollständig geklärt, inwieweit Übereinstimmung besteht, und wo die Unterschiede beginnen.)“

¹²²⁸ REBHAN (II) 2012, S. 181

¹²²⁹ Ernst Mach versuchte ja gerade durch das Machsche Prinzip das berühmte Eimer-Experiment von Newton anders zu interpretieren, als es Newton tat. Dadurch will Ernst Mach den absoluten Raum widerlegen. vgl. dazu REBHAN (II) 2012, S. 178-179

kurzlebigen reellen Existenz gelangen können. Dies legt es nahe, den Raum als selbstständiges physikalisches Objekt zu betrachten, wie das in der Einsteinschen Theorie auch getan wird.“¹²³⁰

Doch kehren wir wieder zum *Äquivalenzprinzip* zurück. Dieses Prinzip beinhaltet

- einerseits, dass man durch das Korrespondenzprinzip die Gültigkeit der SRT zeigen kann,
- und andererseits, dass es eine Äquivalenz zwischen der trägen und der schweren Masse gibt.

Bei Tipler ist das *Äquivalenzprinzip* ein wenig knapper formuliert:

„Ein homogenes Gravitationsfeld ist einem gleichmäßig beschleunigten Bezugssystem äquivalent.“¹²³¹

Das bedeutet beispielsweise, dass wenn wir in einem Bezugssystem Körper nach unten fallen sehen, dass wir nicht unterscheiden können, ob das aufgrund der Gravitation passiert, oder dadurch, dass das Bezugssystem sich gerade beschleunigt, wie in der Abbildung 37¹²³² vereinfacht dargestellt.

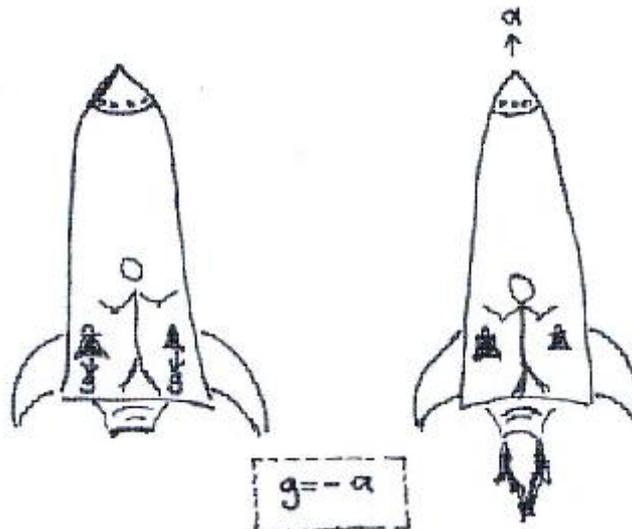


Abbildung 37

Wir gehen in der Allgemeinen Relativitätstheorie also von etwas aus, dass wir zwar auch in der klassischen Mechanik angenommen hatten, aber nicht begründen konnten, nämlich die

¹²³⁰ REBHAN (II) 2012, S. 181-182

¹²³¹ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 121

¹²³² vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 122

In dieser Abbildung gehen wir natürlich von einem homogenen Gravitationsfeld aus. Obwohl das Gravitationsfeld eigentlich inhomogen ist, ist die Annahme von homogenen Gravitationsfeldern eine sehr gute Näherung. (Diese Näherung wird umso besser je kleinere Räume und kürzere Zeitintervalle wir betrachten). Für Raumschiffe beispielsweise, welche die Erde umrunden ist die Annahme eines homogenen Gravitationsfeldes eine ausgezeichnete Näherung. vgl. REBHAN (I) 2006, S. 184

Die ART, welche natürlich auch die Quellen des Gravitationsfeldes zu erfassen versucht, muss von einem inhomogenem Gravitationsfeld ausgehen. Die Näherung zu einem homogenen Feld können wir so begründen: Allgemein ist ein Gravitationsfeld inhomogen aufgrund ihrer Quelle, wenn sie sich in endliche Nähe befindet. Doch nehmen wir an, diese Quelle liege in unendlicher Ferne, so können wir das Gravitationsfeld als homogen betrachten. vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 188

Gleichwertigkeit bzw. *Äquivalenz von träger und schwerer Masse*. Dies wollen wir hier kurz näher behandeln.

„Äquivalenz von träger und schwerer Masse“¹²³³

Schon Galilei erkannte, dass Körper unabhängig von ihrer Masse (im Vakuum) gleich schnell fallen. In der Newtonschen Mechanik finden wir die mathematische Methode, welche dieses Phänomen beschreiben kann. Nehmen wir an, ein Körper mit der trägen Masse $m_{träge}$ wird beschleunigt. Diese Beschleunigung könnte durch die Erdbeschleunigung g an der schweren Masse $m_{schwere}$ verursacht worden sein. Daher können wir schreiben¹²³⁴

$$m_{träge} \cdot \dot{v} = m_{schwere} \cdot g$$

Nun könnten wir die Massen herauskürzen und erhalten

$$m_{träge} \cdot \dot{v} = m_{schwere} \cdot g \quad | \div m$$

$$\frac{m_{träge}}{m_{schwere}} \cdot \dot{v} = 1 \cdot \dot{v} = g$$

Aus dieser Gleichung können wir tatsächlich erkennen, dass die Fallbeschleunigung von der Masse unabhängig ist.¹²³⁵ Genauer müssten wir eigentlich schon in der klassischen Mechanik sagen: Die Fallbeschleunigung ist nur dann unabhängig von der Masse, wenn die träge Masse $m_{träge}$ und schwere Masse $m_{schwere}$ gleichwertig ($m_{träge} = m_{schwere}$) sind. Denn nur so erhalten wir $\frac{m_{träge}}{m_{schwere}} = 1$. Die Körper bestehen, wie wir heute wissen, aus unterschiedlich aufgebauten Atomen bzw. Elementen. Dass dabei stets $m_{träge} = m_{schwere}$ gilt, ist so gesehen alles andere als selbstverständlich. Ohne das moderne Modell vom Aufbau der inneren Struktur der Materie zu kennen, stand bereits Newton schon der Gleichwertigkeit der schweren und der trägen Masse sehr skeptisch gegenüber und machte Experimente, um zu überprüfen, ob die Äquivalenz auch wirklich stimmte. *Bis heute konnte diese Annahme nicht falsifiziert werden.*¹²³⁶ So können wir sagen, dass Einstein seine ART auf solidem Fundament gebaut hat. Er schreibt: „Wir haben also guten Grund, das Relativitätsprinzip auszudehnen auf relativ zueinander beschleunigte Bezugskörper und haben so ein kräftiges Argument für ein verallgemeinertes Relativitätspostulat gewonnen.“

¹²³³ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 182

¹²³⁴ vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 182

¹²³⁵ Wir hätten natürlich auch das 2. Newtonsche Gesetz und das Gravitationsgesetz gleich setzen können und hätten dasselbe erhalten

$$m_{träge} \cdot \vec{a} = \frac{G \cdot m_{Erde} \cdot m_{schwere}}{r^2} \quad | \div m$$

$$\vec{a} = \frac{G \cdot m_{Erde}}{r^2}$$

Auch hier erkennen wird, dass die Beschleunigung des fallenden Körpers von seiner Masse unabhängig ist. vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 121

¹²³⁶ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 183

Man beachte wohl, daß die Möglichkeit dieser Auffassungsweise auf der fundamentalen Eigenschaft des Schwerefeldes beruht, allen Körpern dieselbe Beschleunigung zu erteilen, oder, was dasselbe bedeutet, auf dem Satz von der Gleichheit der trägen und schweren Masse.¹²³⁷ *Doch die ART nimmt nicht nur grundsätzlich an, dass die Äquivalenz von träger und schwerer Masse, wie in der Newtonschen Mechanik gilt, sondern erweitert dies auch auf geladene Teilchen.* Das bedeutet die ART schließt somit auch den Elektromagnetismus mit ein. Das bedeutet, dass sowohl geladene, als auch ungeladene Körper unabhängig von ihrer Masse gleich schnell beschleunigt werden. Nun werden manche aus der Schule gelernt haben, dass beschleunigte geladene Teilchen – beispielsweise Elektronen – Strahlung in Form von Licht abgeben. Das würde natürlich die Beschleunigung des Körpers beeinflussen. **Das gilt aber genau genommen nicht für Beschleunigungen, welche durch das Gravitationsfeld verursacht werden.** (Das geht unter anderem aus der Lorentz-Dirac-Gleichung hervor, auf welche wir hier nicht näher eingehen werden.) So gesehen unterstützt auch das die Äquivalenz der ART.¹²³⁸ (Genau genommen haben wir hier die ART in Bezug auf homogene Gravitationsfelder besprochen. Da die ART aufgrund der Quelle des Gravitationsfeldes eigentlich von inhomogenen Gravitationsfeldern ausgeht, treffen unsere Überlegungen nur in guter Näherung zu. In inhomogenen Gravitationsfeldern fallen nämlich geladene Teilchen nicht genauso schnell wie ungeladene. Genau genommen müssen nicht einmal zwei geladene Teilchen derselben Art unbedingt gleichschnell fallen. Da spielen andere Faktoren, wie die *Vorgeschichte* der beiden Teilchen eine Rolle.)¹²³⁹

Die ART und Theory of Mind

Wir haben in dieser Arbeit gesehen, dass das Besondere an der SRT eigentlich das ist, dass sie als die erste naturwissenschaftliche Theorie die Grenzen der Theory of Mind aufzeigt. Von der ART meint man, dass sie oft als die schönste aller Theorien angesehen wird. Doch liegt Schönheit bekanntlich im Auge des Betrachters. Da wir uns im Gebiet der theoretischen Physik befinden, ist ein Betrachter genau genommen nichts anderes als ein Bezugssystem. Bereits das *Relativitätsprinzip* der ART zeigt, dass alle Bezugssysteme gleichgestellt sind:

„Alle Naturgesetze lassen sich so formulieren, daß sie in jedem beliebigen Koordinatensystem dieselbe Form annehmen.“¹²⁴⁰

Dieses *Prinzip* zeigt, welche Bedeutung die Theory of Mind bzw. der Perspektivenwechsel für die ART hat. *Die ART besagt eigentlich nur, dass alle Naturgesetze (in Mechanik, Elektromagnetismus und Gravitation)¹²⁴¹ von allen Beobachtern aus mit denselben Naturgesetzen beschrieben werden sollten.* Doch als sei das nicht genug, legt auch das **Äquivalenzprinzip** Zeugnis von der elementaren Wichtigkeit der Theory of Mind für die ART ab:

„Ein homogenes Gravitationsfeld ist einem gleichmäßig beschleunigten Bezugssystem äquivalent.“¹²⁴²

¹²³⁷ EINSTEIN 1969, S. 56

¹²³⁸ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 187

¹²³⁹ vgl. REBHAN (I) 2006, S. 188

¹²⁴⁰ REBHAN (II) 2012, S. 197

¹²⁴¹ Die Versuche die ART mit der Quantentheorie zu vereinigen sind bis jetzt noch nicht geglückt.

¹²⁴² TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 121

Die ART verallgemeinert die Theory of Mind bzw. den Perspektivenwechsel, welche in der klassischen Physik und in der SRT nur auf Inertialsysteme angewendet werden sollte, auf beschleunigte und somit auf alle Systeme. **So gesehen ist es womöglich keine Überraschung, weshalb die meisten Menschen diese Theorie als sehr schön empfinden – in ihr geht die Theory of Mind bzw. höchste kognitive Stufe des Menschen zur Gänze auf. Die Theory of Mind erhält in ihr ihre Vollkommenheit.**

Doch haben wir natürlich betont:

Die Moderne Physik beginnt stets dort, wo der Theory of Mind bzw. der Perspektivenwechsel Grenzen gesetzt werden.

Das bedeutet auch die ART müsste somit der Theory of Mind Grenzen setzen, wenn sie in die Kategorie „Moderne Physik“ fallen soll. Dafür wollen wir das Äquivalenzprinzip ein wenig genauer formulieren:

„Die in globalen Minkowski-Systemen gültigen Naturgesetze der SRT gelten in derselben Form auch **in allen lokalen ebenen Systemen** der ART.“¹²⁴³

Diesen Satz können wir noch etwas vereinfachen:

Die Inertialsysteme, welche in der SRT (und natürlich auch in der klassischen Physik) gelten, sind in der ART **nur in Form von lokalen Systemen** vorhanden.

Das mag womöglich etwas kompliziert klingen, ist aber genau genommen nicht so schwer zu verstehen. Dazu wollen wir zuerst untersuchen, wie vollkommene Inertialsysteme eigentlich ausschauen müssten. Das sind genau genommen Systeme, welche absolut abgeschlossen sind. Das bedeutet, dass auf das System somit keine Kraft von außen wirkt. Solche Systeme sind beispielsweise schwerelos. Das bedeutet ein Fahrstuhl, welcher sich im freien Fall befindet, ist eigentlich von allen drei Dimensionen aus gesehen ein Inertialsystem. Oder allgemeiner können wir schreiben:

Bezugssysteme, welche in einem Gravitationsfeld frei fallen sind Inertialsysteme.

Diese Definition gilt aber nur, wenn wir uns ganz kleine Räume und kurze Zeitintervalle anschauen, welche man auch als **lokale Systeme** bezeichnet. Das wird verständlich, wenn wir uns im frei fallenden Aufzug noch zwei Bälle vorstellen. (Siehe Abbildung 38.)

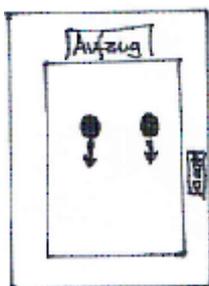


Abbildung 38

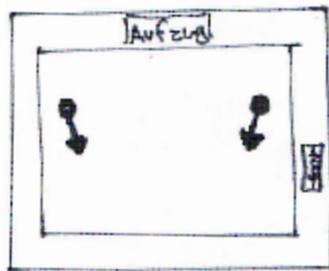


Abbildung 39

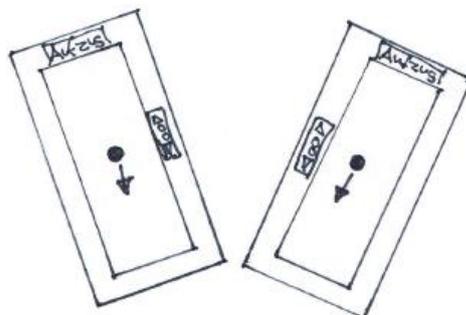


Abbildung 40

¹²⁴³ REBHAN (II) 2012, S. 193

Wir wissen, dass die Anziehung in Richtung Erdmittelpunkt hinweist. Wenn der Aufzug normal groß ist, dann ist auch der Fall der Körper (annähernd) parallel zueinander. Nehmen wir aber an, der Fahrstuhl hätte ganz große Dimensionen, dann würden die Bälle zwar wieder in Richtung des Erdmittelpunktes steuern, doch sind deren Bahnen natürlich nicht mehr parallel und der Fahrstuhl verliert somit den Status eines Inertialsystems! (Denn es sieht ja so aus als ob die Bälle von der Seite in Richtung Mitte gedrängt werden würden – siehe Abbildung 39.)

Würden wir die Fahrstühle in der Mitte trennen (Abbildung 40), dann würden wir wieder erkennen, dass lokale Systeme Inertialsystem sind.

Was sagt uns dieses Beispiel nun über die *Theory of Mind*? Wir konnten zeigen, dass die *Inertialsysteme eine Art Projektion der Theory of Mind bzw. des Perspektivenwechsels in der klassischen Physik darstellen*. Oder anders gesagt:

Gäbe es **keine Theory of Mind** bzw. **keinen Perspektivenwechsel**, dann gebe es **kein Verständnis von Inertialsystemen** und somit auch **keine klassische Mechanik** oder **relativistische Mechanik** (=SRT).

Nun sagt die ART aber, dass die Inertialsysteme genau genommen nur lokal gelten und global keine Bedeutung haben.

Die Allgemeine Relativitätstheorie (= ART) zeigt damit, dass Theory of Mind bzw. Perspektivenwechsel nur lokal und nicht global gelten können. Das bedeutet Theory of Mind gilt eigentlich nur für relativ kleine Räume und für kurze Zeitintervalle. **Ein Experimentierlabor eines Physikers ist lokal und behält somit – da es einen Grenzfall der ART darstellt – seine Gültigkeit. Doch sind ihr eben von der ART Grenzen gesetzt.**

Wir könnten den Grenzfall auch so verstehen. Nehmen wir an, wir würden all die Massen aus dem Universum entfernen, außer einem Fahrstuhl. Dann hätten wir natürlich auch kein Gravitationsfeld (, dabei wollen wir das Gravitationsfeld des Fahrstuhls, da sie so wenig beträgt, vernachlässigen). Dann wirkt natürlich auch gar keine Kraft mehr auf unser Fahrstuhl von außen, und zwar an keinem Ort im Universum. So gesehen wäre unser Inertialsystem (somit auch die Theory of Mind) wieder global und wir könnten *das Äquivalenzprinzip* auch so formulieren:

„Die Gleichungen der ART müssen eine kovariante Form besitzen der Art, daß sie bei Abwesenheit von Gravitation **in einem globalen Minkowski-Raum** die Form der SRT annehmen.“¹²⁴⁴

Oder in einfachen Worten:

Im Grenzfall, wenn wir die ganze Masse und somit auch die Gravitation vernachlässigen können, so erhält das Inertialsystem wieder eine globale Bedeutung.

Raum-Zeit

¹²⁴⁴ REBHAN (II) 2012, S. 193

In der einfachen Form des Äquivalenzprinzips haben wir natürlich was „*Minkowski-Raum*“ usw. bedeuten soll, vernachlässigt. Dabei ist das Verständnis von Raum und Zeit eigentlich von fundamentaler Bedeutung um die ART zu verstehen. Wir haben in der Schule sicher Geometrie gelernt, oder wenigstens Teile davon (, wie beispielsweise Trigonometrie usw.). Vielleicht wurde dabei auch erwähnt, dass das Ganze auf der *euklidischen Geometrie* aufgebaut ist. Wenn wir also im Alltag einen Kreis oder Dreieck zeichnen, oder eine relativ kleine Landfläche messen, dann verwenden wir die euklidische Geometrie. Diese gilt sowohl in der klassischen Physik, als auch in der SRT. So dass wir uns notieren können:

Sowohl in der **klassischen Mechanik** als auch in der **Einsteinschen Mechanik** (= SRT) gilt die *euklidische Geometrie*.

Im Jahre 1823 haben zwei Mathematiker Nicolai Lobatschewski und Janos Bolyai voneinander unabhängig entdeckt, dass es theoretisch auch eine *Nichteuklidische Geometrie* geben kann. Sie zeigten, dass man statt dem 5. (Parallelen)axiom von Euklid auch ein anderes Parallelenaxiom benutzen könnte. Später entwickelt Bernhard Riemann eine Nichteuklidische Geometrie, wo überhaupt keine Parallelen existieren. Wir könnten natürlich sagen, dass das nicht weiter schlimm ist, wenn das Parallelenaxiom nicht immer gilt, da es noch viele andere Geometrien gibt. Doch beispielsweise lernen wir in der Schule, dass die Summe der Innenwinkel eines Dreiecks stets 180° betragen. Um das aber zu beweisen, bräuchten wir schon das Parallelenaxiom. In nicht-euklidischen Geometrien beträgt deswegen die Summe der Winkel eines Dreiecks nicht unbedingt 180° . (Der Satz des Pythagoras *muss* eigentlich auch nicht gelten.)¹²⁴⁵ *Theoretisch gibt es somit die euklidische Geometrie und die Nichteuklidische Geometrie*. Prinzipiell müssen wir daher in der Physik die Geometrie – auf der Erde, in der Sonnennähe, des Universums – messen und angeben, ob wir sie als (annähernd) euklidisch betrachten können oder nicht.

In der klassischen Physik und in der SRT ist die Gültigkeit der Euklidischen Geometrie eigentlich unbestreitbar. Doch in der ART gilt die Euklidische Geometrie nicht mehr. Genau genommen reichen uns nicht einmal die drei Dimensionen aus mit denen wir in der Euklidischen Geometrie auskommen würden. *Die Raum-Zeit-Welt der ART benötigt grundsätzlich vier Dimensionen.*¹²⁴⁶ **So ist auch die Gravitationskraft in der ART ist genau genommen keine Kraft mehr, sondern etwas Geometrisches.**¹²⁴⁷ In der ART wird beispielsweise ein Stein nicht von der Erde angezogen, sondern der Stein gleitet einfach entlang der *gekrümmten Raum-Zeit* – welche (hauptsächlich) von der Masse der Erde verursacht wurde – hin zur Erde.¹²⁴⁸

Wir wollen nun unsere Theory of Mind benutzen und versuchen uns in diese Raum-Zeit hinein zu versetzen. Nehmen wir als ein gutes Beispiel die Sonne. Ihr Platz ist in guter Näherung das Zentrum unseres Sonnensystems. Wir können in einem dreidimensionalen Raum zu jeder Zeit ihre Stelle angeben. Der Raum in ihrer Umgebung ist natürlich wegen der Gravitation gekrümmt. *Wenn sie sich gerade versuchen sich das vorzustellen und es ihnen nicht gelingt, dann seien sie nicht enttäuscht; denn das ist auch nicht zu schaffen*. Gekrümmte dreidimensionale Räume gehen über unsere (derzeitige) Theory of Mind hinaus. **Diese „Weltansicht“ ist für uns nicht wirklich begreifbar.** Wir

¹²⁴⁵ vgl. dazu HOFFMANN 1997, S. 174-176

¹²⁴⁶ vgl. dazu HOFFMANN 1997, S. 183

¹²⁴⁷ vgl. dazu HOFFMANN 1997, S. 185

¹²⁴⁸ Dabei nehmen wir natürlich an, dass der Stein, aufgrund seiner geringen Masse das Gravitationsfeld selbst kaum beeinflusst. vgl. HOFFMANN 1997, S. 188

könnten aber eine Dimension des Raumes auslassen. Dann hätten wir nur zwei Dimensionen zu betrachten und die dritte Dimension könnten wir dafür nutzen uns die Krümmung anzuschauen¹²⁴⁹, wie beispielsweise in der Abbildung 41 unten wiedergegeben.

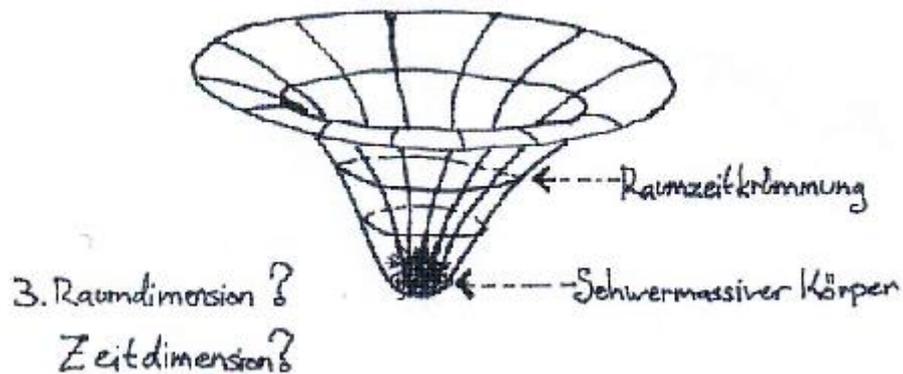


Abbildung 41

Dieses Bild scheint uns zwar zu verdeutlichen was unter einer Raumkrümmung zu verstehen ist; uns entgeht bei dieser Darstellung jedoch nicht nur eine Raumdimension, sondern auch für die Zeitdimension haben wir hier keinen Platz mehr.¹²⁵⁰ Wir sehen also:

Die vierdimensionale (gekrümmte) Raum-Zeit der ART setzt Theory of Mind bzw. der Perspektivenwechsel deutliche Grenzen. Diese Theorie geht auch wie die SRT über unsere Alltagserfahrungen hinaus.

¹²⁴⁹ vgl. HOFFMANN 1997, S. 189

¹²⁵⁰ vgl. HOFFMANN 1997, S. 189

Die Theory of Mind der ART und der SRT im Vergleich

Wir haben schon besprochen, dass die SRT mit der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit der Theory of Mind ihre Grenzen setzt. Auch die ART weist die Theory of Mind in die Schranken, doch sie erweitert sie auch, da sie alle Bezugssysteme als gleichwertig anerkennt. Beide Theorien von Einstein spielen also mit den Grenzen der Theory of Mind bzw. des Perspektivenwechsels. Dabei stehen die Grenzziehung der SRT und die Erweiterung der ART von der Theory of Mind natürlich nicht auf gutem Fuß. Das wollen wir hier kurz besprechen und gleich ein gutes Beispiel von Einstein übernehmen. Nachdem er ein paar Beispiele über das Gravitationsfeld bringt, schreibt er: „Ein neues Ergebnis von fundamentaler Wichtigkeit erhält man aber, wenn man die entsprechende Überlegung für einen Lichtstrahl durchführt. Gegenüber dem GALILEISchen Bezugskörper K pflanzt sich dieser in gerader Linie mit der Geschwindigkeit c fort. In bezug auf den beschleunigten Kasten (Bezugskörper K') ist, wie leicht abzuleiten ist, die Bahn desselben Lichtstrahles keine Gerade mehr. Hieraus ist zu schließen, daß sich Lichtstrahlen in Gravitationsfeldern im allgemeinen krummlinig fortpflanzen.“¹²⁵¹

Wir wollen Einsteins Gedanken noch einmal mit Hilfe von Abbildungen kurz wiederholen. Wir haben einen „beschleunigten Kasten“, welchen wir uns einfach als eine abgeschlossene Kabine vorstellen, die in einer kräftefreien Umgebung, mit der Größe der Erdbeschleunigung nach oben beschleunigt wird. Nehmen wir an, dass an der Seitenwand der Kabine ein Laser montiert ist. Die Positionen des Laserlichtes, welches sich bekanntlich geradlinig ausbreitet, wollen wir in unserem gleichmäßig beschleunigten Kasten (mit einer sehr guten) Uhr in gleichen Zeitabständen messen. Obwohl sich das Licht für einen Beobachter von außen geradlinig bewegt, sieht es im Kasten natürlich so aus, als ob sich das Licht (nach unten) krümmen würde. Dieses Phänomen ist in der Abbildung 42 skizziert:

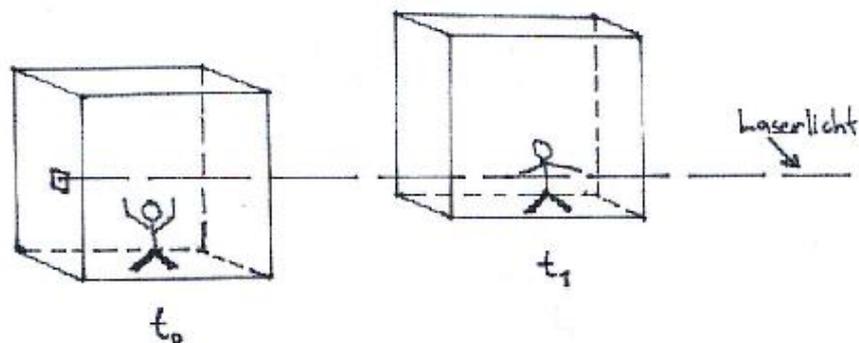


Abbildung 42

Und wegen dem Äquivalenzprinzip würde das auch bedeuten, dass wir denselben Effekt hätten, wenn wir den Kasten einem gleichmäßigen Gravitationspotential aussetzen würden. So können wir in unserem Beispiel den Kasten auch einfach nur auf der Erde abstellen. (Siehe Abbildung 43.)

¹²⁵¹ EINSTEIN 1969, S. 60

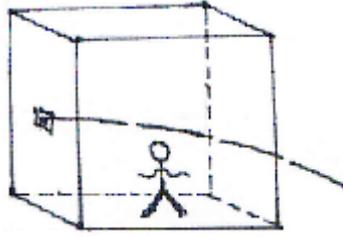


Abbildung 43

Das bedeutet, dass die Lichtstrahlen nahe der Erde ihre Richtung ändern. (Da die Lichtgeschwindigkeit so groß ist, ist dieser Effekt natürlich extrem gering.) Damit wird das Licht an der Raum-Zeit-Krümmung gebeugt. Wenn wir von „beugen“ sprechen, so liegen wir in der Tat nicht ganz falsch! **Man spricht nämlich tatsächlich in der Kosmologie auch von *Gravitationslinsen*, wenn beispielsweise Lichtstrahlen aus sehr entfernten Gebieten an massereichen Galaxien gebeugt werden.** (Unten in den Abbildungen ist kurz skizziert, wie sich das Licht ohne (Abbildung 44) und mit Raumkrümmung (Abbildung 45) fortpflanzt.)

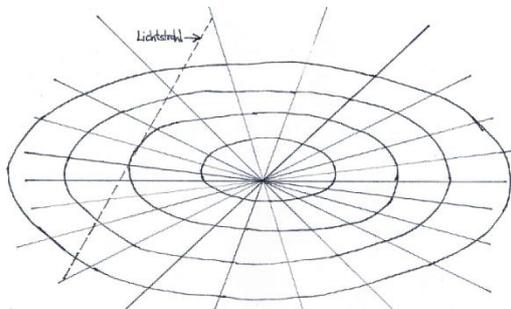


Abbildung 44

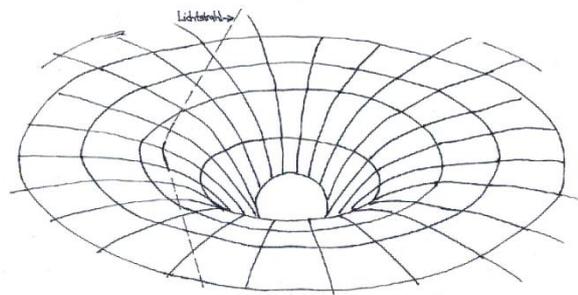


Abbildung 45

Das lässt natürlich am zweiten Prinzip der SRT gründlich rütteln, was Einstein – der beide Theorien entwickelte – selbstverständlich selber bemerkte. Er sieht darin nicht ein unlösbares Problem. Denn Einstein – im Gegensatz zu Newton – hatte bereits vollstes Verständnis für *das Korrespondenzprinzip*. So schreibt er: „[...] aber zeigt diese Konsequenz, daß nach der allgemeinen Relativitätstheorie das schon oft erwähnte Gesetz von der Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit, das eine der beiden grundlegenden Annahmen der speziellen Relativitätstheorie bildet, keine unbegrenzte Gültigkeit beanspruchen kann. Eine Krümmung der Lichtstrahlen kann nämlich nur dann eintreten, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes mit dem Orte variiert. Man könnte nun denken, daß durch diese Konsequenz die spezielle Relativitätstheorie, und mit ihr die Relativitätstheorie überhaupt, zu Fall gebracht würde. Dies trifft aber in Wahrheit nicht zu. Es läßt sich nur schließen, daß die spezielle Relativitätstheorie kein unbegrenztes Gültigkeitsgebiet beanspruchen kann; ihre Ergebnisse gelten nur insoweit, als man von den Einflüssen der Gravitationsfelder auf die Erscheinungen (z. B. des Lichtes) absehen kann.

Da die Gegner der Relativitätstheorie öfters behauptet haben, die spezielle Relativitätstheorie werde durch die allgemeine Relativitätstheorie über den Haufen geworfen, will ich den wirklichen Sachverhalt durch einen Vergleich deutlicher machen. Vor der Aufstellung der Elektrodynamik wurden die Gesetze der Elektrostatik für die Gesetze der Elektrizität schlechthin angesehen. Heute wissen wir, daß die Elektrostatik die elektrischen Felder nur in dem nie streng realisierten Falle richtig liefern kann, daß die elektrischen Massen relativ zueinander und zum Koordinatensystem exakt ruhen. Ist deshalb die Elektrostatik durch MAXWELLS Feldgleichungen der

Elektrodynamik über den Haufen geworfen worden? Keineswegs! Die Elektrostatik ist als Grenzfall in der Elektrodynamik enthalten; die Gesetze der letzteren führen direkt auf die der ersteren in dem Falle, daß die Felder zeitlich unveränderlich sind. Es ist das schönste Los einer physikalischen Theorie, wenn sie selbst zur Aufstellung einer umfassenden Theorie den Weg weist, in welcher sie als Grenzfall weiterlebt.

Bei dem eben behandelten Beispiel der Lichtausbreitung haben wir gesehen, daß das allgemeine Relativitätsprinzip uns in den Stand setzt, den Einfluß des Gravitationsfeldes auf den Ablauf von Vorgängen auf theoretischem Wege abzuleiten, deren Gesetze für den Fall des Fehlens eines Gravitationsfeldes bereits bekannt sind.¹²⁵²

Diese Voraussagen der Allgemeinen Relativitätstheorie konnten sich bei Experimenten bereits sehr gut bewähren. Zum Beispiel zeigte Irwin Shapiro durch seinen berühmten Versuch (1965), dass die Masse der Sonne den Raum krümmt. Dabei schickte er von der Erde aus einen Radarstrahl, welcher von der Venus zurückreflektiert wurde. Schließlich konnte er messen, dass das Licht von der Venus zur Erde länger benötigte, wenn es auf ihrem Flug sehr nah an der Sonne vorbei musste. Dieses Phänomen kann die SRT auf Grund ihres Prinzips der konstanten Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zwar nicht erklären, die ART aufgrund der Raumkrümmung natürlich schon.¹²⁵³

¹²⁵² EINSTEIN 1969, S. 61-62

¹²⁵³ vgl. SHAPIRO EFFEKT und SHAPIRO EFFEKT ANIMATION

Das Korrespondenzprinzip: ART -> SRT

Metrik

Die Metrik ist eine Funktion, *so könnten wir ganz einfach sagen*, welche den Abstand zwischen zwei Punkten definiert (und sie berechnen lässt): *Metrik = Abstandsfunktion*. In der euklidischen Geometrie in Kartesischen Koordinaten sieht die Abstandsfunktion so aus

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

bzw.

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$$

Obwohl die Euklidische Geometrie natürlich auch in der SRT gilt, können wir in der SRT auch die Minkowski-Metrik benutzen, welche den Raum-Zeit-Abstand angibt.

$$ds^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

bzw.

$$ds = \sqrt{dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2}$$

Wir müssen natürlich nicht immer die Kartesischen Koordinaten verwenden. Meistens ist es in der Physik besser in andere Koordinatensysteme wechseln. Da wir uns in der ART mit der Gravitation beschäftigen, welche sich von der Quelle (Schwerpunkt) ausbreitet, wird es besser sein, wenn wir auf Kugelkoordinaten umsteigen. Aus diesem Grund wollen wir auch die Metrik der SRT in Kugelkoordinaten umformen¹²⁵⁴, um einen besseren Vergleich zu erzielen

$$ds^2 = c^2 \cdot dt^2 - dr^2 - r^2 \cdot d\theta^2 - (r \cdot \sin\theta)^2 \cdot d\varphi^2$$

bzw.

¹²⁵⁴ Wir wollen hier die Umformung für die *klassische Physik* kurz darstellen:

$$x = r \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi$$

$$y = r \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi$$

$$z = r \cdot \cos\theta$$

Für dx, dy, dz erhalten wir folgende Lösungen

$$dx = -r \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi + r \cdot \cos\theta \cdot \cos\varphi \cdot d\theta + \sin\theta \cdot \cos\varphi \cdot dr$$

$$dy = r \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi + r \cdot \cos\theta \cdot \sin\varphi \cdot d\theta + \sin\theta \cdot \sin\varphi \cdot dr$$

$$dz = -r \cdot \sin\theta \cdot d\theta + \cos\theta \cdot dr$$

Das Ganze quadrieren und addieren ergibt

$$ds^2 = dr^2 + r^2 \cdot d\theta^2 + (r \cdot \sin\theta)^2 \cdot d\varphi^2$$

Da ist natürlich die vierte Dimension nicht dabei.

$$ds = \sqrt{c^2 \cdot dt^2 - dr^2 - r^2 \cdot d\theta^2 - (r \cdot \sin\theta)^2 \cdot d\varphi^2}$$

Nun sind wir genug ausgerüstet, um uns kurz mit der ART zu beschäftigen.

Einsteinsche Feldgleichungen

Einstein gelang im Jahr 1915 zu seinen berühmten Feldgleichungen

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \cdot g_{\mu\nu} \cdot R + \lambda \cdot g_{\mu\nu} = 8\pi \cdot G \cdot T_{\mu\nu}$$

Dabei ist $R_{\mu\nu}$ der Ricci-Tensor, R ein Skalar und $T_{\mu\nu}$ ein Energie-Impuls-Tensor. λ hat die Bedeutung einer *Kosmologischen Konstante*. Einstein hat sie in die Formel einbezogen, weil er von einem statischen Universum ausging. Später gab er sie dann weg. (*Rückblickend sah er die Einführung der Kosmologischen Konstante als seine größte Eselei*. Interessanterweise gewinnt in der modernen Kosmologie die kosmologische Konstante wieder an Bedeutung.)¹²⁵⁵ G ist die Kopplungskonstante und kann nur empirisch bestimmt werden.¹²⁵⁶ Auffallend ist, dass sehr viele „Tensoren“ in dieser Gleichung auftauchen. Sie übernehmen in gewisser Weise die Rolle von Transformationen (z.B. Galilei-Transformation, Lorentz-Transformation usw.), welche wir schon aus der klassischen Physik kennen. Wenn beispielsweise ein Tensor symmetrisch in einem Koordinatensystem ist, dann ist er in allen Koordinatensystem symmetrisch. Oder wenn ein Tensor in einem Koordinatensystem fehlt, dann fehlt er in allen usw.

Die obige Gleichung können wir natürlich auch in eine knappere Form bringen

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \cdot g_{\mu\nu} \cdot R + \lambda \cdot g_{\mu\nu} = 8\pi \cdot G \cdot T_{\mu\nu} \quad | \quad \lambda = 0 \quad | \quad R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \cdot g_{\mu\nu} \cdot R = G_{\mu\nu} = \text{Einstein-Tensor}$$

$$G_{\mu\nu} = 8\pi \cdot G \cdot T_{\mu\nu}$$

Die Gleichung ist nun leicht zu beschreiben. „Die linke Seite der Gleichung drückt die Krümmung der Raumzeit aus, jene Qualität, in der in dieser Theorie das Phänomen der Gravitation eingefangen ist. Rechts stehen alle jene materiellen Größen, wie Dichte, Druck, Spannung und Ladung, welche die Krümmung der Raumzeit bewirken.“¹²⁵⁷

Nun wollen wir natürlich noch zeigen, inwiefern die SRT hierzu einen Grenzfall darstellt.

¹²⁵⁵ vgl. LIDDLE 2009, S. 58

¹²⁵⁶ vgl. KANITSCHIEDER 1991, S. 179

¹²⁵⁷ vgl. KANITSCHIEDER 1991, S. 179

Korrespondenzprinzip

Zu den Einsteinschen Gleichungen gibt es verschiedene Lösungen bei gegebenen Randbedingungen. Wir wollen uns hier die erste, bereits 1916 entdeckte Lösung anschauen. Sie ist nach ihrem Entdecker Karl Schwarzschild benannt, nämlich die Schwarzschild-Lösung.¹²⁵⁸ Sie „beschreibt die Gravitation außerhalb einer kugelsymmetrischen Massenverteilung.“¹²⁵⁹ Die Schwarzschildmetrik sieht folgendermaßen aus

$$ds^2 = c^2 \left(1 - \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2 \cdot r} \right) dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2 \cdot r}} - r^2 \cdot d\theta^2 + (r \cdot \sin\theta)^2 \cdot d\varphi^2$$

Wenn wir von einer kleinen Masse ($M \rightarrow 0$) ausgehen, oder sehr weite Radien ($r \rightarrow \infty$) betrachten, sehen wir, dass die Schwarzschildmetrik in die Minkowski-Metrik der SRT übergeht.

Wenn also ($M \rightarrow 0$) $\rightarrow \left(\frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2 \cdot r} \rightarrow 0 \right)$ und ($r \rightarrow \infty$) $\rightarrow \left(\frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2 \cdot r} \rightarrow 0 \right)$, dann erhalten wir wieder

$$ds^2 = c^2 \cdot dt^2 - dr^2 - r^2 \cdot d\theta^2 - (r \cdot \sin\theta)^2 \cdot d\varphi^2$$

Somit ist (hier wenigstens für eine Lösung) das Korrespondenzprinzip bestätigt. (Dabei ist natürlich auch wichtig zu verstehen, dass die ART nicht die „Verallgemeinerung“ der SRT darstellt.)

Wir wollen noch ganz kurz auf ein paar interessante Aussagen der Schwarzschildmetrik hinweisen. Es ist leicht erkennbar, dass sie für $r = 0$ und für $r = r_s = \text{Schwarzschildradius} = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$ keine Lösung mehr bietet; in der Mathematik bezeichnet man das auch als Singularität.¹²⁶⁰ Dabei ist es wichtig hinzuweisen, dass die Singularität, eigentlich ein Problem des Koordinatensystems darstellt. Bei geeigneter Koordinatenwahl bzw. Koordinatentransformation kann man dieses Problem beheben.¹²⁶¹ Wenn wir Koordinatensysteme mit der Theory of Mind bzw. dem Perspektivenwechsel in Zusammenhang bringen, können wir daher natürlich auch sagen:

Die Theory of Mind bzw. der Perspektivenwechsel
(~ das Wechseln in verschiedene Koordinatensysteme) ist auch in der ART von fundamentaler
Bedeutung.

Nur ist der Perspektivenwechsel bzw. die Koordinatentransformation sehr abstrakt realisierbar!

Eines wollen wir hier natürlich nicht unerwähnt lassen. Dass in der Schwarzschildmetrik bei $r = r_s = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}$ eine Singularität auftritt hat natürlich auch eine physikalische Bedeutung. Ganz einfach ausgedrückt könnte man das so erklären: Für jede beliebige Masse kann man einen Schwarzschildradius berechnen. Würde man diese Masse so sehr zusammen pressen bzw. hinreichend verdichten, dass sie in diesen Radius zur Gänze reinpassen würde, dann hätten wir ein sogenanntes *Schwarzes Loch*. Schwarze Löcher sind vor allem bekannt und berüchtigt dafür, dass sie

¹²⁵⁸ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 292

¹²⁵⁹ vgl. GEOMETRIE DER RELATIVITÄTSTHEORIE, S. 123

¹²⁶⁰ Für $r = 0$ kommt man in der ART wirklich zu einer Singularität. Dabei ist aber zu erwähnen, dass die ART die Quantentheorie nicht umfasst. Das bedeutet, dass man noch eine *Quantentheorie der Gravitation* zu entwickeln hat. Dieses ist bis heute noch nicht geschehen. Es ist aber sehr wahrscheinlich anzunehmen bzw. wünschenswert, dass in dieser Theorie die Singularität aufgehoben wird. vgl. REBHAN (II) 2012, S. 310

¹²⁶¹ Zum Beispiel die Kruskal-Koordinate. vgl. REBHAN (II) 2012, S. 300

Teilchen (auch Lichtteilchen) verschlingen kann, wenn sie ihnen zu nahe kommen, aber ihr nicht mehr entfliehen können. Tipler schreibt dazu Folgendes: „Eine bemerkenswerte Eigenschaft eines solchen Objekts ist, dass nichts, was in seinem Inneren geschieht, der Außenwelt übermittelt wird.“¹²⁶²

Es gibt aber natürlich dennoch Theorien, welche versuchen einen Zugang zu diesen Informationen zu erstellen. (Dabei versucht man vor allem die Quantentheorie miteinzubeziehen). Eine der wichtigsten Theorien ist beispielsweise das *Holographische Prinzip*.¹²⁶³ Dieses Prinzip lässt sich zwar schwer mit einem einfachen Satz beschreiben; doch allgemein besagt es:

Die Anzahl der Dimensionen ist von der Perspektive abhängig!

Das heißt, wir können das, was wir in der ART in vier Dimensionen formulieren, zum Beispiel das Schwarze Loch, in einer niedrigen Dimension¹²⁶⁴ in Form der Quantentheorie formulieren. Aus dem *Holographischem Prinzip* können wir (für uns) vielleicht ein Fazit ziehen:

Auch für die neuen Theorien wird die Theory of Mind bzw. der Perspektivenwechsel eine fundamentale Stellung einnehmen. Selbstverständlich bekommt sie stets eine abstraktere Form, da sie dem Perspektivenwechsel aus dem Alltag nicht mehr entspricht.

¹²⁶² TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 131

¹²⁶³ Eine nette Einführung bietet diese Internetseite HOLOGRAPHISCHE PRINZIP, wo auf verschiedene Videos bzw. Dokumentationen hingewiesen wird.

¹²⁶⁴ So können wir den Ereignishorizont eines Schwarzen Loches, welches durch die Raum-Zeit-Krümmung entsteht, als eine Oberfläche einer Kugel ansehen. Und die Beschaffenheit dieser Oberfläche gibt uns Auskunft über die Kugel (bzw. das Schwarze Loch) selbst. Zum Beispiel vergrößert sich ein Schwarzes Loch, wenn es massereiche Körper verschlingt und somit auch dessen Ereignishorizont bzw. „Oberfläche“.

Optik in der ART

ART und SRT im Vergleich

1. ART: Die Lichtgeschwindigkeit ist im Vakuum nicht immer konstant!

Wie wir bereits besprochen haben, bemerkte Einstein selbst, dass das 2. Prinzip der SRT, nämlich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, *allgemein nicht mehr gilt*. Das bedeutet nach der ART kann die Lichtgeschwindigkeit kleiner oder größer als im flachen Raum sein.¹²⁶⁵ Ein nettes Beispiel bietet eben das *Radarechoverzögerungs-Experiment*.¹²⁶⁶ Dabei sendet man Lichtstrahlen von der Erde zu einem (der inneren) Planeten, beispielsweise Merkur und empfängt die reflektierten Strahlen wieder auf der Erde. Da das Lichtsignal natürlich sehr nahe an der Sonne vorbeiläuft, liegt seine Strecke auf einer gekrümmten Raum-Zeit. Somit legt das Signal einen „*längeren*“ Weg zurück und benötigt daher auch eine längere Zeit, als wenn die durch die Sonne verursachte Raumkrümmung nicht da wäre.

Aus diesem Sachverhalt können wir schließen, dass das Licht sich im Vakuum langsamer bewegt und nicht immer konstant ist. Das 2. Prinzip der SRT gilt genau genommen nur in zwei Grenzfällen:

- (1) Entweder es gibt keine Masse und daher auch keine Raumkrümmung, oder
- (2) Massen liegen in dermaßen großer Entfernung, dass die durch sie verursachte Raumkrümmung nicht ins Gewicht fallen.

Doch sind die Effekt, welche nur die ART voraussagen kann, eigentlich nicht sehr groß. Ohne geeignete Instrumente würden wir sie niemals bemerken.¹²⁶⁷

2. ART: Die Lichtstrahlen können auch im Vakuum abgelenkt werden.

¹²⁶⁵ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 315

¹²⁶⁶ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 318 und 324

¹²⁶⁷ Die meisten Effekte der ART sind sogar dermaßen klein, dass sie auch heute mit den besten Geräten nicht sehr gut beobachtet oder gar nicht beobachtet werden können.

Es gibt zwei Phänomene, die man beispielsweise auch in der Schule lernt, welche die ART korrekt vorhersagt:

1. Die Lichtablenkung an der Sonne.
2. Die Periheldrehung des Merkurs.

Zum ersten Punkt äußert sich Rebhan in folgender Form: „Experimentell gemessene Ablenkungswinkel schwanken zwischen $\approx 1.5''$ und $2.2''$ “, wobei für die Abweichung die verschiedensten Ursachen angegeben werden. Man kann sagen: Eine Ablenkung wird definitiv gemessen, aber die Meßgenauigkeit ist leider noch immer ziemlich schlecht, jedenfalls nicht gut genug, um bei der Auswahl zwischen verschiedenen Gravitationstheorien alleine aufgrund dieser Messung eine Entscheidung zugunsten von einer treffen zu können.“ REBHAN (II) 2012, S. 318

Und zur Periheldrehung bzw. Punkt zwei erklärt er: „Die Merkur-Daten liefern die bisher beste Bestätigung der Einsteinschen Feldgleichungen und favorisieren diese auch gegenüber allen anderen Gravitationstheorien (z.B. der Brans-Dicke-Theorie, einer Modifikation der Einsteinschen Theorie durch C. Brans und R.H. Dicke). Da der relativistische Effekt so klein ist, können systematische Fehler nicht ganz ausgeschlossen werden, so daß die Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung auch schlechter sein kann, als in der Tabelle angegeben ist.“ REBHAN (II) 2012, S. 307

Wie wir auch kurz erwähnt haben, kann das Licht auf Grund der Raumkrümmung abgelenkt werden. Wir wollen hier gleich die Formel angeben¹²⁶⁸

$$\alpha \approx \frac{4 \cdot G \cdot M}{r \cdot c^2}$$

Auch die SRT würde eine Ablenkung des Lichts voraussagen. Die Formel dazu wäre

$$\alpha \approx \frac{2 \cdot G \cdot M}{r \cdot c^2}$$

Wir sehen *auf Grund der Raumkrümmung*, welche die ART miteinbezieht, müsste die Ablenkung doppelt so groß sein, als es uns die SRT voraussagt.¹²⁶⁹ *Obwohl die Ergebnisse ziemlich nahe beieinander liegen, ergeben sich zwei verschiedene Lösungen, weil die ART, im Gegensatz zur SRT, die Raumkrümmung berücksichtigt.*

Gravitationslinsen

Wir sahen, dass die Lichtstrahlen auf Grund von Raumkrümmung abgelenkt werden können. Wenn wir ein kugelsymmetrisches Gravitationszentrum hätten, dann würde es auf sich parallel fortplanzende Lichtstrahlen wie eine Sammellinse wirken. (Dabei werden die Lichtstrahlen zwar nicht an einem Brennpunkt vereinigt, dafür gibt es aber eine *Fokallinie*). Unten sehen wir die Abbildung 46¹²⁷⁰, welche versucht diesen Sachverhalt darzustellen.



Abbildung 46

Dieses Phänomen wurde auch tatsächlich 1979 zum ersten Mal beobachtet. Als *Sammellinse* dienten dabei die Raum-Zeitkrümmungen, welche von Galaxien verursacht wurden.¹²⁷¹

Doch das ist natürlich noch nicht alles. Wenn wir von Linsen im Allgemeinen sprechen, dann ist es selbstverständlich von Bedeutung, die *Brechzahl* der Linse zu kennen. *Und genauso können wir sogar*

¹²⁶⁸ α = Der Ablenkwinkel des Lichtstrahls.

M = Die Masse des Körpers, welches die Raumzeitkrümmung verursacht.

r = Die geringste Distanz zwischen dem Lichtstrahl und der Masse M .

c = Die Lichtgeschwindigkeit.

vgl. REBHAN (II) 2012, S. 316-317 und vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 127

¹²⁶⁹ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 318

¹²⁷⁰ vgl. REBHAN (II) 2012, S. 319, Abb. 11.5

¹²⁷¹ *Diese Entdeckungen hätten höchst wahrscheinlich sogar Einstein überrascht.* Das es nämlich so etwas wie Gravitationslinsen geben kann, dass erkannte Einstein bereits 1912. Doch erst 1936 ließ er sich dazu überreden, die Arbeiten dazu auch zu veröffentlichen, da er sich nicht wirklich vorstellen konnte, dass es auch in der Realität zu solchen Phänomenen kommen könnte. vgl. REBHAN (II) 2012, S. 319

der Raumkrümmung einen Brechungsindex zuweisen. Dieser Brechungsindex wäre dann eben vergleichbar, mit dem Brechungsindex eines Mediums in einem flachen Raum. Ohne eine Herleitung wollen wir hier die Formel für den Brechungsindex¹²⁷² für den gekrümmten Raum um eine Zentralmasse angeben¹²⁷³:

$$n = \left(1 + \frac{r_s}{r}\right)^3 \cdot \left(1 - \frac{r_s}{r}\right)^{-1}$$

Fermatsches Prinzip in der ART

Natürlich gibt es in der ART nicht nur einen Brechungsindex, sondern auch das *Fermatsche Prinzip* behält seine Gültigkeit. Das Prinzip besagt, wie wir bereits wissen, dass das Licht stets den schnellsten Weg (oder genauer: ein Extremal) nehmen wird. Im leeren, flachen Raum der klassischen Mechanik, wo die Euklidische Geometrie noch gilt, ist eine Gerade stets die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten. Man bezeichnet sie auch als Geodäten. „*Geodätische Linien sind die geradesten Linien, die zwei Punkte verbinden können.*“¹²⁷⁴ Auch in der Raum-Zeit der ART gibt es geodätische Linien. Dabei gilt für geodätische Linien allgemein¹²⁷⁵:

$$\delta \int_{x_1}^{x_2} ds$$

Das Interessante an dem Ganzen ist folgendes:

Obwohl es so aussieht, als ob das Licht auf Grund der Gravitation abgelenkt wird, besagt die ART, dass das Licht einer Geodäte folgt, nämlich der geodätischen Linie einer gekrümmten Raum-Zeit.

Wir sahen, wie Fermat versuchte sein Prinzip mit dem freien Fall von Galilei in Einklang zu bringen. Diese Ideen bzw. Visionen finden nun wohl in der ART ihre höchste Vollendung. Nach der ART bewegen sich beispielsweise die Planeten nicht in Ellipsenbahnen um die Sonne, sondern sie beschreiben eine Geodäte in der Raum-Zeit. So wie das Licht, das abgelenkt wird. Insofern wird die Gravitationskraft von Newton illusorisch.

¹²⁷² vgl. dazu GEOMETRIE DER RELATIVITÄTSTHEORIE, S. 131-132

¹²⁷³ r_s ist dabei der Schwarzschildradius, r der Abstand zwischen dem Lichtstrahl und dem Schwerpunkt der Zentralmasse.

¹²⁷⁴ REBHAN (II) 2012, S. 222

¹²⁷⁵ Interessierte Leser verweisen wir gerne auf REBHAN (II) 2012, S. 220-222.

Das Maupertuis-Hamiltonsches Prinzip in der ART: Hilbertsches Variationsprinzip

Natürlich kann man auch die Einsteinschen Feldgleichungen in Form eines Variationsprinzips wiedergeben. Gewöhnlich bezeichnet man es in der ART als das Hilbertsche Variationsprinzip oder als Einstein-Hilbert-Wirkung. Wir wollen hier einfach die Formel wiedergeben¹²⁷⁶

$$\delta \int (-R + \kappa L) \cdot \sqrt{-g} \cdot d^4 \cdot x = 0$$

¹²⁷⁶ g = metrische Koeffizient

R = Ricci – Skalar

$\kappa = \frac{8\pi G}{c^2}$

$\sqrt{-g} \cdot d^4 \cdot x$ = Skalar = Invariante des Volumens

vgl. REBHAN (II) 2012, S. 210, 269, 274

Einsteins Kosmologie

Über den Fortschritt, den die SRT und die ART für die Kosmologie brachten, könnte man zahlreiche Arbeiten schreiben. Wir wollen jedoch in unserer Arbeit nur kurz die drei wichtigen Fragen besprechen, nämlich

- ❖ das Zentrumsproblem,
- ❖ das Bewegungsproblem und
- ❖ das Endlichkeitsproblem.

Das Zentrumsproblem

Die Einsteinschen-Gleichungen verlangen vom Kosmos kein Zentrum. Einstein schreibt: „Wie weit man auch durch den Weltraum reisen mag, überall findet sich ein loses Gewimmel von Fixsternen von etwa der gleichen Art und gleichen Dichte.

Diese Auffassung ist mit der Newtonschen Theorie unvereinbar.“¹²⁷⁷

Bewegungsproblem

Banesh Hoffmann schreibt: „In der speziellen Relativitätstheorie nimmt Newtons Erstes Gesetz die folgende Form an: Die Weltlinie eines kräftefreien Körpers ist eine Gerade. In der Allgemeinen Relativitätstheorie gibt es infolge der Raum-Zeit-Krümmung keine geraden Weltlinien. Allerdings gibt es Linien, die „gerader“ sind als andere. Die geradesten Weltlinien sind die kürzesten: Sie tragen die Bezeichnung *Geodäten*. Man könnte nun versuchsweise Newtons Erstes Gesetz folgendermaßen modifizieren: Die Bahnen kräftefreier Körper sind geodätische Kurven. Damit würde die Raum-Zeit-Krümmung den Begriff der Gravitationskraft überflüssig machen. Die Bewegung von Kanonenkugeln, Planeten und dergleichen würde einfach durch Geodäten beschrieben. Auch die Ablenkung von Lichtstrahlen im Gravitationsfeld ließe sich damit erklären, daß die Raum-Zeit-Krümmung die Rolle der Newtonschen Gravitationskraft übernimmt. Newton wäre mit dieser Verallgemeinerung seines Ersten Bewegungsgesetzes sicher zufrieden gewesen.“¹²⁷⁸

Da wir wissen, dass das erste Newtonsche Bewegungsgesetz auch bereits bei Descartes zu finden war, welcher die Geometrie und die Masse als gleichwertig betrachtete, können wir höchstwahrscheinlich sagen:

¹²⁷⁷ EINSTEIN 1969, S. 83

¹²⁷⁸ HOFFMANN 1997, S. 188

Der Streit zwischen den Cartesianern und Newtonianern kann mit der ART so abgeschlossen werden, dass beide Parteien ihre Prinzipien¹²⁷⁹ nicht zur Gänze aufgeben müssen. Wenn man so will, schließt sich hier ein Kreis, der einige Jahrhunderte dauerte.

Endlichkeitsproblem

Die ART kann zwar keine Aussage über die Endlichkeit bzw. Unendlichkeit des Kosmos tätigen, doch kann sie auch hier das Verständnis revolutionieren, da sie nicht der Euklidischen Geometrie gehorcht. *Nach der ART könnte unser Kosmos beispielsweise (vom Volumen her) endlich sein und doch keine Grenzen haben.* Einstein schreibt: „Aus dem Gesagten ergibt sich, daß abgeschlossene Räume ohne Grenzen denkbar sind. Unter diesen zeichnen sich der sphärische (bzw. der elliptische) Raum durch Einfachheit aus, indem alle seine Punkte gleichwertig sind. Nach dem Gesagten erhebt sich für die Astronomen und Physiker die höchst interessante Frage, ob die Welt, in der wir leben, unendlich oder nach der sphärischen Welt endlich ist. Unsere Erfahrung reicht zur Beantwortung dieser Frage nicht im Entferntesten aus.“¹²⁸⁰ Da Einstein zu Beginn von einem statischen Universum ausging, glaubte er eher, dass der Kosmos endlich sei.¹²⁸¹ Später konnte Alexander Friedmann zeigen, dass nach der ART der Kosmos nicht statisch sein muss, sondern genauso gut in Expansion sein könnte. *Die Expansion des Universums konnte Hubble dann feststellen (und ist heute durch verschiedenste Untersuchungen bestätigt).* Zu all dem äußert sich Einstein folgendermaßen: „Es sei auch bemerkt, daß die Theorie des expandierenden Raumes zusammen mit den empirischen Daten der Astronomie keine Entscheidung über die Endlichkeit oder Unendlichkeit des Raumes (dreidimensional) zuläßt, während die ursprüngliche statische Hypothese des Raumes die Geschlossenheit (Endlichkeit) des Raumes ergeben hatte.“¹²⁸²

Nach dem heutigen Wissensstand wissen wir klar, dass das Universum eine sehr flache Geometrie besitzt – also ziemlich euklidisch ist – aber ob es unendlich ist oder nicht, lässt sich (bis jetzt) schwer sagen.¹²⁸³ Mit Bestimmtheit lässt sich nur sagen, dass die ART unserem Verständnis vom Kosmos gute Dienste geleistet hat und wahrscheinlich auch noch leisten wird. Das Schöne dabei ist, dass wir in ihrem Grenzfall natürlich auch zum Newtonschen Gravitationsgesetz gelangen können, wo dann wiederum auch die Keplerschen Gesetze gelten können.

¹²⁷⁹ Dabei wird in der ART das Newtonsche Prinzip, dass nämlich die Gravitation von der Zentralmasse (z.B. der Sonne bei Planetenbewegungen) ausgeht beibehalten.

¹²⁸⁰ EINSTEIN 1969, S. 89

¹²⁸¹ vgl. dazu EINSTEIN 1969, S. 90, 107

¹²⁸² EINSTEIN SRT 1969, S. 107

Hierzu passend wollen wir noch Rebhan zitieren: „[...] Einsteins Lösung für ein statisches Universum erwies sich als instabil und damit physikalisch unbrauchbar.“ REBHAN (II) 2012, S. 270

¹²⁸³ vgl. dazu LIDDLE 2009, S. 135-136

Einstein als Schlichter zwischen Descartes und Newton

Das Interessanteste an den Prinzipien der ART ist, dass sie in gewisser Weise die Physik von Descartes und Newton gleichzeitig miteinbeziehen kann. Quantitativ sind die Mechanik und die Gravitationstheorie von Newton natürlich direkt mit Hilfe des Korrespondenzprinzips ableitbar. Doch Qualitativ umfasst die ART sowohl Teile der Descartes–Leibnizschen als auch der Newtonschen Philosophie. Die *quantitative Beziehung* der ART zu den Newtonschen Gesetzen ist klar:

Im Grenzfall der ART gelten alle Gesetze von Newton.

So ist es nicht überraschend, dass Einstein Newtons Arbeiten sehr hoch schätzt. Er schreibt: „Newton verzeih´ mir; Du fandest den einzigen Weg, der zu Deiner Zeit für einen Menschen von höchster Denk- und Gestaltungskraft eben noch möglich war. Die Begriffe, die Du schufst, sind auch jetzt noch führend in unserem physikalischen Denken, obwohl wir nun wissen, daß sie durch anderer Sphäre der unmittelbaren Erfahrung ferner stehende, ersetzt werden müssen, wenn wir ein tieferes Begreifen der Zusammenhänge anstreben.“¹²⁸⁴ Allgemein weisen Einsteins wissenschaftliche Leistungen große Parallelen zu Newton auf:

Newton	Einstein
Untersuchungen zu Optik	Untersuchungen zu Photonen
Untersuchungen zur Mechanik	Untersuchungen zur SRT
Untersuchungen zur Gravitationstheorie	Untersuchungen zur ART

Mit diesen oben genannten Themen haben sich natürlich nicht nur Newton und Einstein beschäftigt. Auch Descartes setzte sich beispielsweise mit diesen Themen auseinander. Interessant ist, dass es auch qualitative Beziehungen zwischen der ART und den *Descartesschen Gesetzen* gibt:

- ❖ Es genügt nur von einer trägen Masse auszugehen, da schwere und träge Masse gleichwertig sind.
- ❖ Die Bedeutung der Geometrie wird betont.
- ❖ So etwas wie eine *Gravitationskraft* gibt es nicht.
- ❖ Erhaltungssätze spielen eine fundamentale Rolle.

¹²⁸⁴ zitiert nach HOFFMANN 1997, S.54

Einsteins Äther als Schlichter zwischen dem Dualismus: Fern- und Nahwirkung

Außerdem beendet die ART eine bedeutsame Diskussion. Wir wissen, dass Descartes den Äther eingeführt hat, um den naturwissenschaftlichen Gedanken zu fördern und den Spekulationen keinen Raum zu lassen. Dass wir diesen Äther als ein Medium benötigen, wurde später unter anderem durch Hook, Huygens, Maxwell unterstützt.

Newton dagegen kann natürlich seine sehr erfolgreiche Gravitationskraft nicht zur Gänze veranschaulichen, da er nicht weiß, wodurch die Kräfte übermittelt werden. Den Äther sieht er zurecht als störend, da es eher die Bewegung der Planeten hemmen würde als sie zu begründen. So kann er auch den Äther als ein Medium, worin sich das Licht ausbreitet nicht anerkennen, obwohl er den Wellencharakter des Lichtes selbst genauestens studiert. Die ART bietet hier eine Lösung für beide Seiten an:

Der Äther wird bereits in der SRT falsifiziert. Doch erklärt die SRT nicht worin sich die „Lichtwellen“ ausbreiten. Hier gibt die ART eine klare Antwort. Das Licht pflanzt sich in der Raum-Zeit fort. Diese hat genügend „stoffliche“ Eigenschaften um die Ausbreitung zu begründen.¹²⁸⁵ (In der Quantentheorie brodelt es in dieser Raum-Zeit von virtuellen Teilchen, so dass es noch mehr einen materiellen Zustand annimmt.)

Aus all dem können wir somit eigentlich sagen, dass nur weil der Äther in der SRT *falsifiziert* wurde, er nicht in einer abstrakteren Art und Weise beibehalten werden darf! Wir sahen, dass weder die Masse noch die Erhaltungssätze in der SRT mit der klassischen Physik gleichzusetzen sind. Sie sind viel abstrakter. (Und in der Quantentheorie werden sie sogar noch abstrakter.)

So gesehen ist es vollkommen *willkürlich*, weshalb wir manche Begriffe wie Masse und Kraft weiterhin verwenden dürfen, aber den Äther ausgrenzen.

Begriffe können viele verschiedene Funktionen zum Ausdruck bringen. Und nur weil eine Funktion falsifiziert wurde, heißt das nicht, dass wir sie zur Gänze abschaffen müssen. Wir haben noch den Weg sie noch mehr zu abstrahieren. ***In einer noch abstrakteren Version, und das ist eben das Interessante, kann Äther sowohl in der Descartesschen, in der Newtonschen als auch in der Einsteinschen Physik seine berechnete Rolle finden.*** Das mag zwar etwas befremdlich erscheinen, da man Albert Einstein als den Bezwingen des Äthers in der Schule kennenlernt. Doch diese Vorstellung scheint Einstein selbst nicht durchgehend von sich selbst vertreten zu haben. Auch er sah den Äther noch als einen Kitt, um die Geschichte der Physik anders zu interpretieren oder sogar zu versöhnen.

Einstein über die Rolle Äthers in der klassischen Physik

So beginnt er seine Antrittsrede ***Äther und Relativitätstheorie*** (1920) als Gastprofessor in Leiden mit den Worten: „Wie kommen die Physiker dazu, neben der der Abstraktion des Alltagslebens entstammenden Idee, der ponderabeln¹²⁸⁶ Materie, die Idee von der Existenz einer anderen Materie, des Äthers, zu setzen? Der Grund dafür liegt wohl in denjenigen Erscheinungen, welche zur Theorie der Fernkräfte Veranlassung gegeben haben, und in den Eigenschaften des Lichtes, welche zur

¹²⁸⁵ Sie kann gedehnt, gekrümmt werden usw.

¹²⁸⁶ Bedeutet: berechenbar, kalkulierbar.

Undulationstheorie¹²⁸⁷ geführt haben. Wir wollen diesen beiden Gegenständen eine kurze Betrachtung widmen.¹²⁸⁸

Man sieht, dass Einstein Newtons Kummer deutlich verstanden hatte. So ergänzt er seine Erläuterungen gleich weiter: „Das nicht-physikalische Denken weiß nichts von Fernkräften. Bei dem Versuch einer kausalen Durchdringung der Erfahrungen, welche wir an den Körpern machen, scheint es zunächst keine anderen Wechselwirkungen zu geben als solche durch unmittelbare Berührung, z.B. Bewegungs-Übertragung durch Stoß, Druck und Zug, Erwärmung oder Einleitung einer Verbrennung durch eine Flamme usw. Allerdings spielt bereits in der Alltagserfahrung die Schwere, also eine Fernkraft, eine Hauptrolle. Da uns aber in der alltäglichen Erfahrung die Schwere der Körper als etwas Konstantes, an keine räumlich oder zeitlich *veränderliche* Ursache Gebundenes entgegnet, so denken wir uns im Alltagsleben zu der Schwere überhaupt keine Ursache und werden uns deshalb ihres Charakters als Fernkraft nicht bewußt. Erst durch Newtons Gravitations-Theorie wurde eine Ursache für die Schwere gesetzt, indem letztere als Fernkraft gedeutet wurde, die von Massen herrührt. Newtons Theorie bedeutet wohl den größten Schritt, den das Streben nach kausaler Verkettung der Naturerscheinungen je gemacht hat. Und doch erzeugte diese Theorie bei Newtons Zeitgenossen lebhaftes Unbehagen, weil sie mit dem aus der sonstigen Erfahrung fließenden Prinzip in Widerspruch zu treten schien, daß es nur Wechselwirkung durch Berührung, nicht aber durch unvermittelte Fernwirkung gebe.“¹²⁸⁹

Einstein weist hier also direkt auf den Streit zwischen Newton und den Cartesianern hin. Und schreibt weiter: „Der menschliche Erkenntnistrieb erträgt einen solchen Dualismus nur mit Widerstreben. Wie konnte man die Einheitlichkeit der Auffassung von den Naturkräften retten? Entweder man konnte versuchen, die Kräfte, welche uns als Berührungskräfte entgegneten, ebenfalls als Fernkräfte aufzufassen, welche sich allerdings nur bei sehr geringer Entfernung bemerkbar machen; dies war der Weg, welcher von Newtons Nachfolgern, die ganz unter dem Banne seiner Lehre standen, zumeist bevorzugt wurde. Oder aber man konnte annehmen, daß die Newtonschen Fernkräfte nur *scheinbar* unvermittelte Fernkräfte seien, daß sie aber in Wahrheit durch ein den Raum durchdringendes Medium übertragen würden, sei es durch Bewegungen, sei es durch elastische Deformation dieses Mediums. So führt das Streben nach Vereinheitlichung unserer Auffassung von der Natur der Kräfte zur Ätherhypothese. Allerdings brachte letztere der Gravitationstheorie und der Physik überhaupt zunächst keinen Fortschritt, so daß man sich daran gewöhnte, Newtons Kraftgesetz als nicht mehr weiter zu reduzierendes Axiom zu behandeln. Die Ätherhypothese mußte aber stets im Denken der Physiker eine Rolle spielen, wenn auch zunächst meist nur eine latente Rolle.

Als in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die weitgehende Ähnlichkeit offenbar wurde, welche zwischen den Eigenschaften des Lichtes und denen der elastischen Wellen in ponderablen Körpern besteht, gewann die Ätherhypothese eine neue Stütze. Es schien unzweifelhaft, daß das Licht als Schwingungsvorgang eines den Weltraum erfüllenden, elastischen, trägen Mediums gedeutet werden müsse. Auch schien aus der Polarisierbarkeit des Lichtes mit Notwendigkeit hervorzugehen, daß dieses Medium - der Äther - von der Art eines festen Körpers sein müsse, weil nur in einem solchen, nicht aber in einer Flüssigkeit Transversalwellen möglich sind. Man mußte so zu der Theorie des "quasi-starren" Lichtäthers kommen, dessen Teile relativ zueinander keine anderen Bewegungen

¹²⁸⁷ Damit ist die Wellentheorie des Lichtes gemeint.

¹²⁸⁸ EINSTEIN 1920, S. 1*

¹²⁸⁹ EINSTEIN 1920, S. 1* - 4

auszuführen vermögen als die kleinen Deformationsbewegungen, welche den Lichtwellen entsprechen.

Diese Theorie - auch Theorie des ruhenden Lichtäthers genannt - fand ferner eine gewichtige Stütze in dem auch für die spezielle Relativitätstheorie fundamentalen Experimente von Fizeau, aus welchem man schließen mußte, daß der Lichtäther an den Bewegungen der Körper nicht teilnehme. Auch die Erscheinung der Aberration sprach für die Theorie des quasistarren Äthers.

Die Entwicklung der Elektrizitätstheorie auf dem von Maxwell und Lorentz gewiesenen Wege brachte eine ganz eigenartige und unerwartete Wendung in die Entwicklung unserer den Äther betreffenden Vorstellungen. Für Maxwell selbst war zwar der Äther noch ein Gebilde mit rein mechanischen Eigenschaften, wenn auch mit mechanischen Eigenschaften viel komplizierterer Art als die der greifbaren festen Körper.¹²⁹⁰ Aber weder Maxwell noch seinen Nachfolgern gelang es, ein mechanisches Modell für den Äther auszudenken, das eine befriedigende mechanische Interpretation der Maxwellschen Gesetze des elektromagnetischen Feldes geliefert hätte. Die Gesetze waren klar und einfach, die mechanischen Deutungen schwerfällig und widerspruchsvoll. [...]"¹²⁹¹

Einstein über die Rolle des Äthers in der SRT

Die Stellen über die Theorie von Heinrich Hertz zu Lichtäther, welche Einstein ebenfalls in seiner Rede behandelt, lassen wir aus und gehen gleich zu dem Absatz, wo Einstein Lorentz' Überlegungen über den Äther zusammenfasst: „So standen die Dinge, als H.A. Lorentz eingriff. Er brachte die Theorie in Einklang mit der Erfahrung und erreichte dies durch eine wunderbare Vereinfachung der theoretischen Grundlagen. Er erzielte diesen wichtigsten Fortschritt der Elektrizitätstheorie seit Maxwell, indem er dem Äther seine mechanischen, der Materie ihre elektromagnetischen Qualitäten wegnahm. Wie im leeren Raume, so auch im Innern der materiellen Körper war ausschließlich der Äther, nicht aber die atomistisch gedachte Materie, Sitz der elektromagnetischen Felder. Die Elementarteilchen der Materie sind nach Lorentz allein fähig, Bewegungen auszuführen; ihre elektromagnetische Wirksamkeit liegt einzig darin, daß sie elektrische Ladungen tragen. So gelang es Lorentz, alles elektromagnetische Geschehen auf die Maxwellschen Vakuum-Feldgleichungen zu reduzieren.

Was die mechanische Natur des Lorentzschen Äthers anlangt, so kann man etwas scherzhaft von ihm sagen, daß Unbeweglichkeit die einzige mechanische Eigenschaft sei, die ihm H.A. Lorentz noch gelassen hat. Man kann hinzufügen, daß die ganze Änderung der Ätherauffassung, welche die spezielle Relativitätstheorie brachte, darin bestand, daß sie dem Äther seine letzte mechanische

¹²⁹⁰ Maxwell schreibt über den Äther folgendermaßen: „Die Vorstellung von Theilchen, deren Bewegung durch die Bedingung bestimmt ist, dass sie an den beiderseits anliegenden Wirbeln ohne Gleitung rollen, mag einigermaßen unbefriedigend scheinen. Ich will sie nicht als die richtige Ansicht über das, was in der Natur existiert, oder als eine Hypothese über das Wesen der Elektrizität im bisherigen Sinne dieses Wortes angesehen wissen. Diese Art der Verbindung ist jedoch mechanisch denkbar, leicht zu untersuchen und geeignet, die wirklichen mechanischen Beziehungen zwischen den bekannten elektromagnetischen Erscheinungen darzustellen. Ich stehe daher nicht an zu glauben, dass jeder, der den provisorischen Charakter dieser Hypothese richtig aufgefasst hat, durch dieselbe bei Untersuchungen über die wahre Deutung der Phänomene nicht mehr gefördert als gehemmt werden wird.“ zitiert nach HOFFMANN 1997, S. 88-89

¹²⁹¹ EINSTEIN 1920, S. 4-5

Qualität, nämlich die Unbeweglichkeit, wegnahm. Wie dies zu verstehen ist, soll gleich dargelegt werden.¹²⁹²

Wir sehen ganz deutlich, wie Einstein nicht von der allmählichen Falsifikation des Äthers spricht,¹²⁹³ sondern dass er immer mehr in der Geschichte der Wissenschaft abstrahiert wird. Umso wichtiger sind nun die folgenden Äußerungen Einsteins: „Indessen lehrt ein genaueres Nachdenken, daß diese Leugnung des Äthers nicht notwendig durch das spezielle Relativitätsprinzip gefordert wird. Man kann die Existenz eines Äthers annehmen; nur muß man darauf verzichten, ihm einen bestimmten Bewegungszustand zuzuschreiben, d.h. man muß ihm durch Abstraktion das letzte mechanische Merkmal nehmen, welches ihm Lorentz noch gelassen hatte. Später werden wir sehen, daß diese Auffassungsweise, deren gedankliche Möglichkeit ich sogleich durch einen etwas hinkenden Vergleich deutlicher zu machen suche, durch die Ergebnisse der allgemeinen Relativitätstheorie gerechtfertigt wird.“

Man denke sich Wellen auf einer Wasseroberfläche. Man kann an diesem Vorgang zwei ganz verschiedene Dinge beschreiben. Man kann erstens verfolgen, wie sich die wellenförmige Grenzfläche zwischen Wasser und Luft im Laufe der Zeit ändert. Man kann aber auch - etwa mit Hilfe von kleinen schwimmenden Körpern - verfolgen, wie sich die Lage der einzelnen Wasserteilchen im Laufe der Zeit ändert. Würde es derartige schwimmende Körperchen zum Verfolgen der Bewegung der Flüssigkeitsteilchen prinzipiell nicht geben, ja würde überhaupt an dem ganzen Vorgang nichts anderes als die zeitlich veränderliche Lage des von Wasser eingenommenen Raumes sich bemerkbar machen, so hätten wir keinen Anlaß zu der Annahme, daß das Wasser aus beweglichen Teilchen bestehe. Aber wir könnten es gleichwohl als Medium bezeichnen.

[...]

Verallgemeinernd müssen wir sagen. Es lassen sich ausgedehnte physikalische Gegenstände denken, auf welche der Bewegungsbegriff keine Anwendung finden kann. Sie dürfen nicht als aus Teilchen bestehend gedacht werden, die sich einzeln durch die Zeit hindurch verfolgen lassen. In der Sprache Minkowskis drückt sich dies so aus: nicht jedes in der vierdimensionalen Welt ausgedehnte Gebilde

¹²⁹² EINSTEIN 1920, S. 7

Den an Lorentz' Theorie des Äthers interessierten Leser, möchten wir gerne auf ÜBER DEN ÄTHER IN DER PHYSIK, S. 37 verweisen.

¹²⁹³ Wir möchten an dieser Stelle nicht unerwähnt lassen, dass Einstein in seiner Einstellung zum Äther wohl eine Wende vollzogen hat. Beispielsweise betrachtete er 1905 den Begriff des Äthers noch als unnötig. Schon ab der ersten Seite seiner Arbeit **Zur Elektrodynamik bewegter Körper** schreibt er: „Beispiele ähnlicher Art, sowie die mißlungenen Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung, daß dem Begriffe der absoluten Ruhe nicht nur in der Mechanik, sondern auch in der Elektrodynamik keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen, sondern daß vielmehr für alle Koordinatensysteme, für welche die mechanischen Gleichungen gelten, auch die gleichen elektrodynamischen und optischen Gesetze gelten, wie dies für die Größen erster Ordnung bereits erwiesen ist. Wir wollen diese Vermutung (deren Inhalt im folgenden „Prinzip der Relativität“ genannt werden wird) zur Voraussetzung erheben und außerdem die mit ihm nur scheinbar unverträgliche Voraussetzung einführen, daß sich das Licht im leeren Raume stets mit einer bestimmten, vom Bewegungszustande des emittierenden Körpers unabhängigen Geschwindigkeit V fortpflanze. Diese beiden Voraussetzungen genügen, um zu einer einfachen widerspruchsfreien Elektrodynamik bewegter Körper zu gelangen unter Zugrundelegung der Maxwellschen Theorie für ruhende Körper. Die Einführung eines „Lichtäthers“ wird sich insofern als überflüssig erweisen, als nach der zu entwickelnden Auffassung weder ein mit besonderen Eigenschaften ausgestatteter „absolut ruhender Raum“ eingeführt, noch einem Punkte des leeren Raumes, in welchem elektromagnetische Prozesse stattfinden, ein Geschwindigkeitsvektor zugeordnet wird.“ EINSTEIN (08. / 1905), S. 891-892

läßt sich als aus Weltfäden zusammengesetzt auffassen. Das spezielle Relativitätsprinzip verbietet uns, den Äther als aus zeitlich verfolgbaren Teilchen bestehend anzunehmen, aber die Ätherhypothese an sich widerspricht der speziellen Relativitätstheorie nicht. Nur muß man sich davor hüten, dem Äther einen Bewegungszustand zuzusprechen.“¹²⁹⁴

Einstein über die wesentliche Rolle des Äthers in der ART

Nun eine Stelle von sehr großer Bedeutung, wo Einstein die Überlegungen von Descartes und Newton verbindet: „Andererseits läßt sich aber zugunsten der Ätherhypothese ein wichtiges Argument anführen. Den Äther leugnen bedeutet letzten Endes annehmen, daß dem leeren Raume keinerlei physikalische Eigenschaften zukommen. Mit dieser Auffassung stehen die fundamentalen Tatsachen der Mechanik nicht im Einklang. Das mechanische Verhalten eines im leeren Raume frei schwebenden körperlichen Systems hängt nämlich außer von den relativen Lagen (Abständen) und relativen Geschwindigkeiten noch von seinem Drehungszustande ab, der physikalisch nicht als ein dem System an sich zukommendes Merkmal aufgefaßt werden kann. Um die Drehung des Systems wenigstens formal als etwas Reales ansehen zu können, objektiviert Newton den Raum. Dadurch, daß er seinen absoluten Raum zu den realen Dingen rechnet, ist für ihn auch die Drehung relativ zu einem absoluten Raum etwas Reales. Newton hätte seinen absoluten Raum ebensogut "Äther" nennen können; wesentlich ist ja nur, daß neben den beobachtbaren Objekten noch ein anderes, nicht wahrnehmbares Ding als real angesehen werden muß, um die Beschleunigung bzw. die Rotation als etwas Reales ansehen zu können.“¹²⁹⁵

Und zum Schluss wollen wir noch das Ende Einsteins Rede anführen, wo er die Bedeutung des Äthers für die ART betrachtet: „Zusammenfassend können wir sagen: Nach der allgemeinen Relativitätstheorie ist der Raum mit physikalischen Qualitäten ausgestattet; es existiert also in diesem Sinne ein Äther. Gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Raum ohne Äther undenkbar; denn in einem solchen gäbe es nicht nur keine Lichtfortpflanzung, sondern auch keine Existenzmöglichkeit von Maßstäben und Uhren, also auch keine räumlich-zeitlichen Entfernungen im Sinne der Physik. Dieser Äther darf aber nicht mit der für ponderable Medien charakteristischen Eigenschaft ausgestattet gedacht werden, aus durch die Zeit verfolgbaren Teilen zu bestehen; der Bewegungsbegriff¹²⁹⁶ darf auf ihn nicht angewendet werden.“¹²⁹⁷

Nun könnte man natürlich meinen, dass Einstein Descartes hier namentlich gar nicht erst erwähnt und es daher übertrieben ist, zu meinen, dass Einstein hier zwischen Descartes (bzw. Cartesianern)

¹²⁹⁴ EINSTEIN 1920, S. 9-10

¹²⁹⁵ EINSTEIN 1920, S. 11

Wilfried Schröder schreibt - passend hierzu: „Nach Newton war unter ‚absolutem Raum‘ und ‚absoluter Zeit‘ etwas zu verstehen, dem unabhängig von den Körpern der Welt physikalische Bestimmtheit zugeschrieben wurde. Benutzen wir in Anlehnung an Ludwig Lange [...] den Ausdruck ‚Inertialfeld‘, so können wir sagen, Newton habe an der Vereinigung von absolutem Raum und absoluter Zeit einen immateriellen Weltuntergrund angenommen, dessen Aufgabe es war, das Inertialfeld zu bestimmen.“ ÜBER DEN ÄTHER IN DER PHYSIK, S. 37

¹²⁹⁶ Eine gewisse „Bewegung“ darf man dem Äther bzw. der Raum-Zeit-Struktur natürlich zusprechen, da sie sich ja krümmen kann. Der Lense-Thirring-Effekt besagt sogar etwas vereinfacht formuliert, dass rotierende Massen, wie zum Beispiel die Erde, den Äther der Allgemeinen Relativitätstheorie bei ihrer Drehung mitziehen, wodurch die Raum-Zeit-Struktur verdrillt wird.

¹²⁹⁷ EINSTEIN 1920, S. 15

und Newton schlichtet.¹²⁹⁸ Doch, dass Einstein wirklich dieser Idee nachgeht, lässt sich deutlicher zeigen, wenn man seine Schrift *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie* (1916) heranzieht. Dort steht: „Die Behauptung, Ausdehnung sei an Körper gebunden, ist daher zwar an sich unbegründet. Wir werden aber später sehen, daß die allgemeine Relativitätstheorie DESCARTES' Auffassung auf einem Umweg bestätigt.“¹²⁹⁹ Und dies zu bestätigen bzw. sich mit diesen Fragen zu beschäftigen, scheint Einstein sehr wichtig zu betrachten, so schreibt er einige Seiten weiter: „Dieser starre vierdimensionale Raum der speziellen Relativitätstheorie ist gewissermaßen ein vierdimensionales Analogon des H. A. LORENTZschen starren dreidimensionalen Äthers. Auch für diese Theorie gilt die Aussage: Die Beschreibung der physikalischen Zustände setzt den Raum als von vornherein gegeben und als unabhängig existierend voraus. Auch diese Theorie beseitigt also nicht DESCARTES' Unbehagen betreffend die selbstständige, ja sogar a priori-Existenz des „leeren

¹²⁹⁸ Eine besonders schöne Textstelle, wo Einstein nach einer Versöhnung zwischen Descartes und Newton sucht, und seine eigenen Theorien als einen verzögerten Dialog zu jenen sieht, können wir auch in seiner Schrift *Das Raum-, Äther- und Feld-Problem der Physik* finden, wo er von den Errungenschaften Descartes' zur Newtonschen Physik überleitet und anschließend zu seiner eigenen Theorie übergeht: „Die große Überlegenheit der Descartesschen Behandlung des Raumes liegt keineswegs nur darin, daß sie die Analysis in den Dienst der Geometrie stellt. Der Hauptpunkt scheint vielmehr folgender zu sein: Die Geometrie der Griechen bevorzugt besondere Gebilde (Gerade, Ebene) in der geometrischen Beschreibung; andere Gebilde (z.B. die Ellipse) sind ihr nur dadurch zugänglich, daß sie jene Gebilde mit Hilfe der Gebilde Punkt, Gerade und Ebene konstruiert bzw. definiert. In der Descartesschen Behandlung dagegen sind z.B. alle Flächen im Prinzip gleichwertig vertreten, ohne willkürliche Bevorzugung der linearen Gebilde im Aufbau der Geometrie.

Insofern die Geometrie als die Lehre von den Gesetzmäßigkeiten der gegenseitigen Lagerung praktisch starrer Körper aufgefaßt wird, ist sie als der älteste Zweig der Physik anzusehen. Diese Lehre vermochte – wie schon bemerkt wurde – ohne den Raumbegriff als solchen auszukommen, indem sie mit den idealen Körpergebilden Punkt, Gerade, Ebene, Strecke auskommen konnte. Hingegen hatte die Newtonsche Physik das Raumganze im Sinne Descartes' unbedingt nötig. Die Dynamik kommt nämlich mit den Begriffen Massenpunkt, zeitlich variable Entfernung zwischen Massenpunkten nicht aus. In den Newtonschen Bewegungsgleichungen spielt nämlich der Begriff der Beschleunigung eine fundamentale Rolle, die durch die zeitlich variablen Punktabstände allein nicht definiert werden kann. Newtons Beschleunigung ist nur als Beschleunigung gegen das Raumganze zu denken bzw. zu definieren. Zur geometrischen Realität der Raumbegriffe trat also eine neue, trägheitsbestimmende Funktion des Raumes hinzu. Wenn Newton den Raum als absolut erklärte, so meinte er wohl diese reale Bedeutung des Raumes, die es für ihn mit sich brachte, daß er seinem Raum einen ganz bestimmten Bewegungszustand zuschreiben mußte, der allerdings durch die Phänomene der Mechanik nicht völlig bestimmt schien. Absolut war dieser Raum noch in einem zweiten Sinne gedacht: seine trägheitsbestimmende Wirkung war selbstständig, d.h. unbeeinflussbar durch irgendwelche physikalische Umstände gedacht; er wirkte auf die Massen, aber nichts wirkte umgekehrt auf ihn ein.

[...]

Mit der Erkenntnis der Relativität der Gleichzeitigkeit wurden Raum und Zeit in ähnlicher Weise zu einem einheitlichen Kontinuum verschmolzen, wie vorher die frei räumlichen Dimensionen zu einem einheitlichen Kontinuum verschmolzen worden waren. Der physikalische Raum wurde zu einem vierdimensionalen Raum ergänzt, der auch die zeitliche Dimension erhält. Der vierdimensionale Raum der speziellen Relativitätstheorie ist ebenso starr und absolut wie der Raum Newtons.

[...]

Erhebt man die Äquivalenz aller Koordinatensysteme für die Formulierung der Naturgesetze zum Prinzip, so gelangt man zur allgemeinen Relativitätstheorie, wenn man am Satz der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit bzw. an der Hypothese von der objektiven Bedeutung der euklidischen Metrik wenigstens für unendlich kleine Teile des vierdimensionalen Raumes festhält.

[...]

Da das Gravitationsgesetz durch die Konfiguration von Massen bestimmt ist und mit diesem wechselt, so ist auch die geometrische Struktur dieses Raumes von physikalischen Faktoren abhängig. Der Raum ist also gemäß dieser Theorie – genau wie es Riemann geahnt hatte – kein absoluter mehr, sondern seine Struktur hängt von physikalischen Einflüssen ab. Die (physikalische) Geometrie ist keine isolierte, in sich geschlossene Wissenschaft mehr wie die Geometrie Euklids.“ ÜBER DEN ÄTHER IN DER PHYSIK, S. 141-147

¹²⁹⁹ EINSTEIN 1969, S. 108

Raumes“. Inwiefern dies Bedenken durch die allgemeine Relativitätstheorie überwunden wird, dies zu zeigen, ist das eigentliche Ziel der hier gegebenen elementaren Überlegungen.“¹³⁰⁰

Wir sehen also, dass es für Einstein eine große Rolle spielte Descartes' Gedanken nachzugehen, und wenn möglich in einer gewissen Form miteinzubeziehen. So wollen wir noch den vorvorletzten Absatz in seinem Buch - welches „eine möglichst exakte Einsicht in die Relativitätstheorie vermitteln“ „soll“, „die sich vom allgemeinen wissenschaftlichen, philosophischen Standpunkt für die Theorie interessieren“¹³⁰¹ - wiedergeben:

„DESCARTES hatte demnach nicht so unrecht, wenn er die Existenz eines leeren Raumes ausschließen zu müssen glaubte. Die Meinung erscheint zwar absurd, solange man das physikalische Reale ausschließlich in den ponderablen Körpern sieht. Erst die Idee des Feldes als Darsteller des Realen in Verbindung mit dem allgemeinen Relativitätsprinzip zeigt den wahren Kern von DESCARTES' Idee: es gibt keinen „feld-leeren“ Raum.“¹³⁰²

¹³⁰⁰ EINSTEIN 1969, S. 121

¹³⁰¹ EINSTEIN 1969, S. 3

¹³⁰² EINSTEIN 1969, S. 125-126

Auch Ernst Mach, dessen Gedanken und Werke Einstein sicher sehr inspiriert haben, schreibt in seinem Buch **Erkenntnis und Irrtum** (1905) im Kapitel **Zeit und Raum physikalisch betrachtet**: „Die physikalische Auffassung des Raumes wird begünstigt durch die Fortschritte in der Erkenntnis des >>Vakuums<<. Für *Guericke* hatte das Vakuum eigentlich nur *negative* Eigenschaften. Schon die Luft weist dem naiven Beobachter zunächst nur negative Eigenschaften auf. Dieselbe ist nicht sichtbar. Sie wird erst tastbar durch ausgiebige Bewegung, verrät dann auch ihren Wärmegrad. Durch Einschließen in einen Schlauch oder in ein Gefäß erfahren wir deren Undurchdringlichkeit und Gewicht. Später kommt noch die Sichtbarkeit hinzu, bis endlich alle Charaktere eines *Körpers* nachgewiesen sind. Ähnlich geht es mit dem Vakuum. Es hat erst *keine* physikalischen Eigenschaften. *Boyle* zeigt, daß ein Brennglas und der Magnet hindurchwirkt. Nach *Young* und *Freßnel* muß man sich im vom Licht durchsetzten Vakuum in sehr kleinen Abständen gleichzeitig *dieselben* physikalischen Zustände denken, und sich vorstellen, daß diese Zustände mit sehr großer Geschwindigkeit in der Lichtrichtung sich verschieben. Durch die Arbeiten von *Faraday*, *Maxwell*, *Hertz* u. a. hat sich die Existenz elektrischer und magnetischer Kräfte im Vakuum ergeben, welche derart zusammenhängen, daß jede Änderung der einen das Auftreten der anderen an derselben Stelle bedingt. Man kann von diesen Kräften im allgemeinen unmittelbar nichts wahrnehmen, ausgenommen im Falle einer sehr raschen periodischen Veränderung, in welchem sie sich als Licht äußern. Auf einem physikalischen Umweg sind diese Kräfte aber leicht nachweisbar und deren gänzlich Fehlen bildet einen sehr seltenen Ausnahmefall. Das Vakuum ist also keineswegs *Nichts*, sondern hat sehr wichtige *physikalische* Eigenschaften. Ob man das Vakuum als *Körper* (Äther) bezeichnen will, ist ohne Belang, daß aber wechselnde, voneinander abhängige Eigenschaften demselben anhaften, *wie den Körpern*, kann man nicht in Abrede stellen.“ MACH 1917

Der Gott der Einsteinschen Theorien (SRT und ART)

Sowie in der *klassischen Physik* wurde auch die ART von Einstein dadurch begründet, indem er bemüht war, sich in Gott hineinzusetzen. So sagt er selbst: „Ich möchte Gottes Gedanken kennen.“¹³⁰³ Für Einstein soll die Theorie durch ihre Schönheit bzw. Eleganz überzeugen. Doch der Ästhetische Charakter von Theorien war auch früher von Bedeutung. Schon Hertz schreibt über Maxwells Theorien: „Die Maxwellche Theorie übertraf von vornherein die übrigen elektrischen Theorien durch Schönheit und Reichtum der Beziehungen, welche sie zwischen den Erscheinungen annahm.“¹³⁰⁴ Bei Walter Greiner sind sogar folgende Zeilen zu lesen, welche wir dem Leser nicht vorenthalten möchten: „Ludwig Boltzmann, der selbst viel zur Einführung der Maxwellschen Gleichungen beitrug, stellte in Bewunderung ihrer Schönheit und Symmetrie dem Teil 2 seiner „Vorlesungen über Maxwells Theorie“ als Motto das Goethewort voran: War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb?“¹³⁰⁵ Da Einstein nun durch die SRT den Elektromagnetismus mit der Mechanik vereinen konnte, dürfte ihr natürlich nicht an Schönheit fehlen.¹³⁰⁶ An der Schönheit der ART kann somit wohl erst recht niemand zweifeln.¹³⁰⁷ Banesh Hoffmann, ein Freund und Kollege von Einstein, schreibt über die ART: „Sie ragt heraus als ein monumentales Meisterwerk – auch in ästhetischer Hinsicht. Ihre Eleganz liegt in ihrer Stringenz, ihrer Denkökonomie, in der prinzipiellen Einfachheit hinter all den komplizierten Details und schließlich in einer bezwingenden Schönheit, die sich freilich mit den Methoden wissenschaftlicher Analyse nicht erfassen läßt.“¹³⁰⁸ Und über Einstein: „Schon in jüngeren Jahren war Einstein von den Naturwissenschaften fasziniert. Er betrachtete die Welt mit brennender Wißbegier, aber auch mit Ehrfurcht und Staunen – Gefühle, die man eher einem Mystiker als einem Naturwissenschaftler zutrauen würde. Viel später hat Einstein einmal erläutert, wie er wissenschaftliche Theorien beurteilte – egal, ob sie von ihm selbst oder von anderen stammten. Er stellte sich dazu die Frage, ob er an Gottes Stelle das Universum nach dem Plan dieser Theorie gestaltet hätte. Eine Theorie ohne jene kosmische Ästhetik, die göttlicher Eingebung würdig wäre, schien Einstein nicht annehmbar – sie war allenfalls ein Notbehelf mangels eines Besseren. In den Relativitätstheorien wird eine solche kosmische Schönheit sichtbar.“¹³⁰⁹

Diese Schönheit seiner Theorien verlieh ihm auch das Selbstvertrauen, fest an sie zu glauben, während seine revolutionären Ideen von anderen oft kritisiert wurden. Das bestätigt auch eine bekannte Anekdote. So soll eine Studentin Einstein gefragt haben, was er empfunden hätte, wenn

¹³⁰³ ACZEL 2002, S. 219

¹³⁰⁴ HOFFMANN 1997, S. 94

¹³⁰⁵ GREINER 2002, S. 499

¹³⁰⁶ Zum Sieg der Maxwellschen Theorie trug (vor allem in Deutschland) die Arbeit **Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper** (1890) von Hertz bei. Diesem gelang es aber nicht das Problem um die *Elektrodynamik bewegter Körper* zu lösen – erst Einstein konnte mit seinen Prinzipien eine Lösung anbieten. vgl. dazu GREINER 2002, S. 503

¹³⁰⁷ Einstein schreibt: „Die so aus dem allgemeinen Relativitätspostulat abgeleitete Gravitationstheorie zeichnet sich nicht nur durch ihre Schönheit aus, sie beseitigt, nicht nur den in §21 beleuchteten Mangel, welcher der klassischen Mechanik anhaftet, sie interpretiert nicht nur das Erfahrungsgesetz von der Gleichheit der trägen und schweren Masse, sondern sie hat auch schon zwei wesensverschiedene Beobachtungsergebnisse der Astronomie erklärt, denen gegenüber die klassische Mechanik versagt.“ EINSTEIN 1969, S. 81

¹³⁰⁸ HOFFMANN 1997, S. 193

¹³⁰⁹ HOFFMANN 1997, S. 112

die ART empirisch widerlegt worden wäre. Darauf soll Einstein geantwortet haben: „Da könnte mir halt der liebe Gott leid tun. Die Theorie stimmt doch.“¹³¹⁰

Doch wie kommt man zu einer „schönen“ Theorie? Und kann man diese „Schönheit“ wirklich nicht wissenschaftlich bzw. quantitativ festmachen, wie es auch Banesh Hoffmann meint? Wir wollen den qualitativen Wert der ART kurz ausblenden und versuchen, die Schönheit der ART bzw. aller Theorien zu bewerten. Dazu stellen wir eine Hypothese auf:

Der Weg zu einer *schönen Theorie* führt nur über die Theory of Mind bzw. den Perspektivenwechsel.

Einstein denkt sich in seinen Gott hinein, dem es nicht mehr genügt sich nur in der klassischen Mechanik in verschiedene Inertialsysteme zu versetzen, und davon auszugehen, dass in all diesen möglichen Perspektiven die Naturgesetze dieselben sind – sondern dass sowohl für die relativistische Mechanik als auch für den Elektromagnetismus dieselben Naturgesetze in *allen Inertialsystemen* gelten.¹³¹¹ Und in der ART werden die Bezugssysteme sogar für *nicht Inertialsysteme* erweitert.

So gesehen ist die Theory of Mind bzw. der Perspektivenwechsel die ewige Brücke zum „absolut objektiven Beobachter“ bzw. für die „göttliche Perspektive“. Sie ist in gewissem Sinne der Inbegriff der Symmetriesuche. Doch die Symmetrie ist nicht das Einzige, was Einsteins Theorien so schön macht.

Sie sind deshalb so schön, weil sie alle Prinzipien der modernen Physik erfüllen.

Diese Hypothese wollen wir am Beispiel der ART ganz kurz besprechen:

Das Göttliche in der ART: Die Prinzipien der Modernen Physik

Die Relativitätstheorien von Einstein entsprechen natürlich den modernen Prinzipien:

<i>Das Prinzip der Universalität:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Die Spezielle Relativitätstheorie (SRT) vereint die Mechanik mit dem Elektromagnetismus. ✓ Die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) „vereint“ die Spezielle Relativitätstheorie mit der gravitativen Wechselwirkung.
<i>Das Prinzip der Invarianz:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es gilt bei der SRT das Galileische Relativitätsprinzip. ✓ Bei der ART sind sogar alle Bezugssysteme (also auch die beschleunigten) gleichberechtigt.
<i>Das Prinzip der Erhaltungssätze:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gilt sowohl in der SRT als auch in der ART¹³¹².
<i>Das Prinzip der Ökonomie:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Die SRT benötigt nur zwei Postulate bzw. Gesetze. Außerdem gilt für die SRT das Korrespondenzprinzip.

¹³¹⁰ zitiert nach NEWTON 2004, S. 964

¹³¹¹ vgl. dazu auch HOFFMANN 1997, S. 115

¹³¹² Einstein schreibt: „Gravitationsfeld und Materie zusammen müssen dem Gesetz von der Erhaltung der Energie (und des Impulses) genügen.“ EINSTEIN 1969, S. 81

- ✓ Die ART benötigt nur ein Postulat bzw. Gesetz. Auch für die ART gilt das Korrespondenzprinzip. Eine der Grundanforderungen von Einstein an die ART war ihre Einfachheit!¹³¹³

Amir D. Aczel schreibt in seinem Buch **Die göttliche Formel** (1999)¹³¹⁴ – in welchem es um Einstein und die ART geht – Folgendes: „Albert Einstein verfolgte dieses Ziel mit Leidenschaft und großem Ernst. Er war auf seine Art ein religiöser Mensch, daher war die Naturwissenschaft für ihn der Prozess, Gottes Schöpfung zu entdecken. Viele unserer größten Wissenschaftler sind heute von einem ähnlichen Wunsch beseelt.“¹³¹⁵

Wir wollen mit diesen Gedanken nun zur Quantenmechanik übergehen. So schreibt beispielsweise Richard Feynman (**Bild 17**)¹³¹⁶ – einer der Begründer der Quantenelektrodynamik (QED) – in seinem Buch **Vom Wesen physikalischer Gesetze** (1965): „Betrachten wir die Physik oder lieber die Natur als ein riesengroßes Schachspiel mit Millionen und Abermillionen Steinen, dessen Regeln wir herausfinden möchten. Die großen Götter, die dieses Schach spielen, sind sehr rasch, und wir haben unsere liebe Not, die Züge zu beobachten und etwas mitzubekommen. Trotzdem reimen wir uns einige Regeln zusammen, [...]“¹³¹⁷



Bild 17: Richard Feynman (1918-1988)

¹³¹³ Einstein schreibt: „Man kommt so dazu, die Transformationen auf beliebige stetige Transformationen auszudehnen. Dies impliziert das allgemeine Relativitätsprinzip. Die Naturgesetze müssen kovariant sein in bezug auf beliebige kontinuierliche Transformationen der Koordinaten. Diese Forderung (in Verbindung mit der Forderung möglicher logischer Einfachheit der Gesetze) schränkt die in Betracht kommenden Naturgesetze unvergleichlich stärker ein als das spezielle Relativitätsprinzip.“ EINSTEIN 1969, S. 123

Den an der (mathematischen) größtmöglichen Einfachheit der ART interessierten Leser verweisen wir gerne auf REBHAN (II) 2012, S. 266-270

¹³¹⁴ Der original, englische Titel lautet: **God's Equation: Einstein, Relativity, and the Expanding Universe.**

¹³¹⁵ ACZEL 2002, S. 222-223

¹³¹⁶ BILD: RICHARD FEYNMAN

¹³¹⁷ FEYNMAN 2012, S. 77-78

Die Quantenmechanik

„Ihr müßt mich nicht durch Widerspruch verwirren!

Sobald man spricht, beginnt man schon zu irren.“¹³¹⁸ von Johann Wolfgang von Goethe

Wir konnten bereits zeigen, dass die **Grundfrage der Quantenmechanik** – nämlich **in wie weit das Teilchenmodell erweitert werden muss, um Elementarteilchen beschreiben zu können** – bereits **von Newton gestellt wurde!** Er versuchte seiner Teilchentheorie noch Eigenschaften aus dem Wellenmodell – auch zu dessen Verständnis er wesentliches Beitrag – überzustülpen. Mit dem Teilchenaspekt versuchte er zu erklären, dass man Teile des weißen Lichtes filtern kann und mit dem Wellenaspekt begründete er die Interferenz- und Beugungserscheinungen. Obwohl er den Wellenaspekt einbrachte hörte Newton natürlich nicht auf *kritisch* und *rational* zu denken. So konnte er sich nicht damit anfreunden, das Licht nur mit dem Wellenmodell zu erklären. Ein wichtiges Argument dies nicht zu tun, war, dass das Medium Äther, welches die Lichtwellen fördern sollte, widerspruchsvolle Eigenschaften hatte. (Erst Einstein konnte den Widerspruch lösen und den Äther verständlich machen. **Äther war nämlich als die Raum-Zeit-Struktur zu verstehen.**)

Dies ist wohl eine (von vielen) Möglichkeit(en) die Geschichte zu den Grundfragen der Quantenmechanik einzuleiten. Wir konnten hoffentlich genug Quellen angeben, um diese Perspektive verständlich zu machen.

Ganz anders wird es in den Schulbüchern dargestellt und den Schülern und Schülerinnen gelehrt. Dort heißt es, dass **Newton 1704** nur für das Teilchenmodell eintrat.¹³¹⁹ Dann konnte anscheinend **Thomas Young** zum ersten mal **1804** Interferenzerscheinungen vom Licht experimentell zeigen.¹³²⁰ **1905** stellte jedoch **Einstein** wiederum klar, dass das Wellenmodell bei gewissen Experimenten versagte, dagegen das Teilchenmodell zu richtigen Voraussagen führte.

Würden wir nun Karl Poppers Wissenschaftstheorie *missverstehen* – wie Popper es selber betont – und glauben, man könne Theorien bzw. Hypothesen *prinzipiell falsifizieren*, nämlich in dem Sinne, dass wir sie als **falsch** entlarven können, dann hätten wir große Probleme der Wissenschaftsgeschichte *kritisch* und *rational* zu folgen:

Denn nach diesem Verständnis müssten wir somit **alle hundert Jahre (1704, 1804, 1905)** mal das eine und mal das andere Modell „falsifiziert“ (bzw. widerlegt) haben. Das wäre jedoch keine gerechte Klassifizierung von physikalischen Erkenntnissen bzw. Errungenschaften. Oder mit anderen Worten: *Eine solche Perspektive stellt die Physikgeschichte etwas absurd dar.*

¹³¹⁸ GOETHE (III) 1960

¹³¹⁹ Der Beitrag Newtons zum Wellenaspekt wird nie erwähnt!

¹³²⁰ vgl. dazu SEXL (7) 2012, S. 41

Die Wissenschaftsgeschichte zeigt, dass wir unter „falsifizieren“ jene Tätigkeit verstehen können, „die Gültigkeitsgrenzen einer Theorie zu zeigen“. Die Naturwissenschaft scheint dieser Regel zu folgen.

So können wir sogar bei Theorien die *falsifizierten* Teilaussagen auslassen und den Rest des theoretischen Modells abstrahieren und neu gestalten. (Gute Beispiele dafür sind das Teilchen-, Wellen- und Äthermodell in der Physik.)

Wenn wir die *Falsifikation* nicht so verstehen würden, würde das Jahr 1905 für Einstein auch wenig Sinn machen. Denn er versucht zuerst (am 17. März) in seiner Arbeit **Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt** (1905) zu zeigen, dass das *Wellenmodell* der Maxwellschen Theorie für das Beschreiben des Lichts ungenügend ist¹³²¹, später jedoch (am 30. Juni) in seiner Arbeit **Zur Elektrodynamik bewegter Körper** (1905) genau jene Theorie als *Ausgangspunkt* seiner SRT zugrunde legt.¹³²² Statt also die ganze Zeit von einer *Falsifikation* zu sprechen, können wir sagen, dass die Maxwellsche Theorie nach unserem heutigen Wissen sogar bei der Beschreibung des Lichts der *relativistischen Quantenmechanik* genügt, wenn man sie quantenmechanisch interpretiert.

Wir wollen hier somit noch einmal kurz und bündig zusammenfassen, wie wir die *Geschichte der Physik in Bezug auf die Quantenmechanik (QM)* in dieser Arbeit wiedergeben:

¹³²¹ Als ein Meister des Korrespondenzprinzips hat Einstein natürlich kein Problem mit der Maxwellschen Theorie bzw. dem Wellenmodell des Lichtes. So schreibt er schon ab der ersten Seite: „Die mit kontinuierlichen Raumfunktionen operierende Undulationstheorie des Lichtes hat sich zur Darstellung der rein optischen Phänomene vortrefflich bewährt und wird wohl nie durch eine andere Theorie ersetzt werden. Es ist jedoch im Auge zu behalten, daß sich die optischen Beobachtungen auf zeitliche Mittelwerte, nicht aber auf Momentanwerte beziehen, und es ist trotz der vollständigen Bestätigung der Theorie der Beugung, Reflexion, Brechung, Dispersion etc. durch das Experiment wohl denkbar, daß die mit kontinuierlichen Raumfunktionen operierende Theorie des Lichtes zu Widersprüchen mit der Erfahrung führt, wenn sie auf die Erscheinungen der Lichterzeugung und Lichtverwandlung anwendet.“ EINSTEIN (06. / 1905), S. 132-133

Insofern können wir durch Einsteins Erläuterungen auch verstehen, wie der Welle-Teilchen-Dualismus zu interpretieren ist.

¹³²² vgl. EINSTEIN (08. / 1905), S. 891

18. Jahrhundert:

Newton geht der Grundfrage der Quantenmechanik nach, inwiefern das Teilchenmodell erweitert werden muss, um damit Elementarteilchen beschreiben zu können.

19. Jahrhundert:

Die Welleneigenschaften von Elementarteilchen werden detaillierter erforscht.

20. Jahrhundert:

Planck und Einstein können eine Formel zum quantenmechanischem Teilchenmodell (des Lichtes) angeben. (Dabei wird in der Schule gelernt, dass Einstein 1905 erklärte, dass die Formel für ein Lichtquant bzw. ein Photon mit $E = h \cdot f$ gegeben ist. Diese Formel kommt aber in den früheren Arbeiten von Einstein gar nicht vor. In Schulbüchern wird sogar falsch zitiert, um diesen Schein aufrecht zu erhalten!¹³²³)

- De Broglie dehnt diese Formel (in gewissem Sinne) auf alle Teilchen aus.

- Heisenberg, (Bohr) und Schrödinger gelingt es zum ersten Mal die Quantenmechanik zu begründen.

- Dirac begründet die Relativistische Quantenmechanik (QM).

- Richard Feynman, Julian Schwinger und Shin'chirō Tomonaga gelingt eine Theorie der Quantenelektrodynamik (QED).

- Die Quantenchromodynamik (QCD) wird später dann (unter anderem) von Murray Gell-Mann (Bild 18)¹³²⁴ entwickelt.

Wir wollen uns in dieser Arbeit auf die Quantenmechanik (QM) beschränken. In den Schulbüchern werden in den Kapiteln, wo es um die Quantenmechanik geht, meistens Zitate des Pioniers Feynman wiedergegeben. Wir wollen hier zwei Beispiele nennen:

„ „ ... ich kann davon ausgehen, dass niemand die Quantenmechanik versteht“¹³²⁵, schrieb der amerikanische Physiker RICHARD FEYNMAN, der für seinen Beitrag zur Quantenelektrodynamik den Nobelpreis erhielt. [...]“ SEXL (8) 2007, S. 53

Oder:

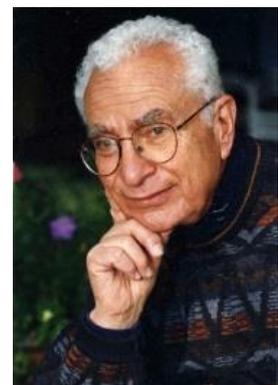


Bild 18: Murray Gell-Mann (1929)

¹³²³ Siehe **Anhang VIII**.

¹³²⁴ BILD: MURRAY GELL-MANN

¹³²⁵ Mit diesem Zitat wird auch in anderen populären Büchern die Quantenmechanik eingeführt. vgl. dazu KINNEBROCK 2011, S. 73 und QUANTENUNIVERSUM, S. 15

„In diesem Abschnitt geht es um weitführende Themen aus der Quantenmechanik. [...] Die Quantenmechanik hat noch viele Überraschungen und Absurditäten auf Lager. Sie widerspricht dem gesunden Menschenverstand, deckt sich aber völlig mit der quantenmechanischen Mathematik. Deshalb gab RICHARD FEYNMAN einmal den Rat: „*Shut up and calculate!*“ [...]“ APOLIN (7) 2008, S. 38

Wann und wo Feynman diesen Rat „*Shut up and calculate!*“ gab, wird leider im Schulbuch nicht angegeben. Es ist sehr interessant zu sehen, dass man den Schülern gerade Feynman, **den *begnadeten Didaktiker***, den Schülern so präsentiert. Doch die Sache hat noch einen Haken: *Dieses Zitat scheint von David Mermin zu stammen*¹³²⁶ und daher **nicht** von Feynman! (Womöglich geschieht ihm daher doppelt Unrecht.)

Was genau der brillante Feynman mit „... *ich kann davon ausgehen, dass niemand die Quantenmechanik versteht*“ wohl aussagen wollte, werden wir erst später behandeln. (*Wir werden sehen, dass dieses Zitat etwas aus dem Kontext herausgerissen wurde.*)

In dieser Arbeit wollen wir von dem populären Weg abweichen, die Quantentheorie als etwas *Unverstehbares* abzutun, sie als *absurd* oder gar dem *gesunden Menschenverstand* als *widersprechend* vorzustellen. Wir sind uns natürlich im Klaren, dass die QM einige unserer physikalischen Begriffe entscheidend, wenn nicht wesentlich, verändert.¹³²⁷ Wir wollen dennoch die Betonung darauf legen, wie **viel Sinn** hinter der **Quantenmechanik** steckt und welche **eine Schönheit** diese Theorie umgibt.



Bild 19: Erwin Schrödinger (1887-1961)

Gerade ihre Schönheit bzw. die *Schönheit der Schrödingergleichung* – benannt nach ihrem Entdecker Erwin Schrödinger (Bild 19)¹³²⁸ – kann und sollte aus rein didaktischen Gründen stets erwähnt werden.¹³²⁹

¹³²⁶ vgl. NATURE (I)

Dort wird angegeben, von wo das Zitat stammt: Mermin, N. D. Phys. Today 42, 9 (1989).

¹³²⁷ vgl. dazu SCHWABL 2007, S. 375

¹³²⁸ BILD: ERWIN SCHRÖDINGER

¹³²⁹ Popper schreibt beispielsweise: „Ähnlich wie die Atomtheorie, die in ihrer griechischen Form als Metaphysik begann, im 5. Jahrhundert von Christus (Leukipp und Demokrit), und erst im 19. und 20. Jahrhundert Wissenschaftscharakter annahm, so ähnlich hat Keplers *Harmonielehre der Welt* erst mit Louis de Broglie und Erwin Schrödinger Wissenschaftscharakter angenommen. Schrödingers Wellenmechanik ist ein Versuch, den Übergang von der geometrischen Strahlenoptik zur Wellenoptik auf die Theorie der Materie, auf die Theorie der Elementarteilchen zu übertragen. Und die Wellenoptik ihrerseits orientiert sich an der Musiktheorie, an der Theorie der akustischen Vibrationen und Wellen, der Resonanz und der Dissonanz. Aber in dieser Theorie spielen Kepler und seine Harmonielehre – also in letzter Linie Phythagoras – eine entscheidende Rolle.

Kepler spielt also eine Rolle in der Vorgeschichte der Schrödingerschen Wellenmechanik. Aber das ist nicht alles. Unter allen Vorgängern von Schrödinger ist er der einzige, der voraussah, daß die Harmonie – die Resonanz – die Welt zusammenhält. Denn daß die Resonanz die Atome, die Moleküle, ja die Riesenmoleküle der DNS zusammenhält, das kann wohl als das wichtigste der Resultate von Schrödingers Wellenmechanik angesehen werden.“ POPPER 2012, S. 147

Wir müssen natürlich nicht unbedingt den Aussagen Karl Poppers in allen Punkten zustimmen. Doch spricht Popper mit diesen Zeilen der Quantenmechanik bzw. der Wellenmechanik (und sich selbst) eine Kultur zu.

Die Prinzipien der Quantenmechanik

Wir könnten als das Prinzip der Quantentheorie das **Superpositionsprinzip**¹³³⁰ oder gar die **Heisenbergsche Unschärferelation**¹³³¹ angeben. Doch da würden wir uns das Ganze etwas zu leicht machen. Wir könnten auch die Formulierung der Quantenmechanik in Hilbert-Räumen in Form von Gesetzen wiedergeben,¹³³² jedoch würden wir dadurch vom Leser unheimlich viele mathematische und physikalische Grundlagen voraussetzen, was für den Horizont dieser Arbeit gar nicht nötig ist. **Wir werden in dieser Arbeit (auf den kommenden Seiten) versuchen, selbst einen Vorschlag zu geben, wie die (zwei) Prinzipien der Quantenmechanik (QM) aussehen könnten. (Spätestens mit Hilfe dieser Prinzipien wird es uns hoffentlich gelingen die Schönheit der QM zu erblicken.)** Bis dahin soll es uns genügen einfach diese formellen Gesetze (bzw. Prinzipien von Franz Schwabl) – welchen die QM gehorcht – anzugeben¹³³³:

Prinzipien der Quantenmechanik (QM)	
In etwas formaler Form:	In beschreibender Form:
1. Der Zustand eines Systems wird durch die komplexwertige Wellenfunktion $\psi(x)$ dargestellt.	Jedes Stadium eines Systems wird mit Hilfe einer Funktion – in diesem Fall einer Wellenfunktion, welche durch komplexe Zahlen ausgedrückt wird –, beschrieben.
2. Die hermiteschen Operatoren A beschreiben die Observablen. Dabei werden die Funktionen der Observablen durch die Funktionen der Operatoren charakterisiert.	Die Messgrößen (Energie, Impuls, Spin usw.), welche man als Observable bezeichnet, werden durch Operatoren beschrieben. (Da die Messgrößen immer reelle Zahlen liefern sollen, muss man sich auf bestimmte bzw. hermitesch adjungierte ($A^\dagger = A$) Operatoren beschränken.)

¹³³⁰ Der große Quantenphysiker H. Dieter Zeh schreibt beispielsweise: „Das grundlegende Gesetz der Quantentheorie ist das *Superpositionsprinzip*. Es besagt, dass für zwei ganz beliebige (mögliche) physikalische Zustände A_1 und A_2 irgendeines Systems A ein ganzes Kontinuum von zunächst nur rein formal definierten neuen (individuellen) Zuständen A_α der Form

$$A_\alpha = c_1 A_1 + c_2 A_2$$

mit beliebigen >>Koeffizienten<< (Zahlen) c_1 und c_2 existiert. Durch wiederholte Anwendung des Prinzips lassen sich dann beliebig viele Zustände superponieren. Die physikalische Bedeutung der neuen Zustände $A_\alpha(c_1, c_2, \dots)$ ergibt sich häufig aus ihrer Wechselwirkung mit bekannten Systemen (etwa Messapparaten).“ ZEH 2005, S. 82

Diese oder ähnliche Ansicht vertrat unter anderem auch Dirac, der schreibt: „Obwohl es von weitreichender Bedeutung ist und ein weites Feld von Untersuchungen eröffnet hat, daß man, um die physikalische Wirklichkeit zu beschreiben, sowohl Teilchen, als auch Wellen einführen muß, die in einem sonderbaren Verhältnis zueinander stehen, so handelt es sich hierbei doch nur um den Sonderfall eines viel allgemeineren Prinzips, des **Überlagerungsprinzips**. Dieses Prinzip ist der wesentlich neue Grundgedanke der Quantenmechanik und der entscheidende Anlaß, die klassische Theorie aufzugeben.“ DIRAC 1930, S. 2

¹³³¹ „Die ganze Theorie der Quantenmechanik, die wir jetzt zur Beschreibung der Atome, und in Wahrheit der gesamten Materie, benutzen, beruht auf der Richtigkeit des Unbestimmtheitsprinzips.“ Feynman (III) 2007, S. 12

Oder „Das Unbestimmtheitsprinzip „schützt“ die Quantenmechanik.“ Feynman (III) 2007, S. 15

¹³³² vgl. REBHAN 2008, S. 267-269

¹³³³ Die Gesetze wurden zur Gänze von Schwabl übernommen (vgl. SCHWABL 2007, S. 41). (Sie wurden nur geringfügig geändert). Schwabl entwickelt (die Schreibweise) diese(r) Gesetze im Verlaufe seines Buches. (vgl. SCHWABL 2007, S. 172, 374-375). Wir geben in dieser Arbeit die Gesetze in jener Form wieder, in welcher wir versuchen, weder die Bra-Ket Schreibweise, noch den Nabla- bzw. Laplace-Operator zu benutzen, um die mathematische Beschreibung so einfach wie möglich zu gestalten.

Wir hätten statt diesen Gesetzen natürlich auch nur die 3 Postulate von Pietschmann nehmen können (vgl. PIETSCHMANN 2003, S. 82-83). Wir sehen also, welche Gesetze man als Grundlagen der QM annehmen möchte, ist zum Teil eine Geschmacksfrage, aber auch eine Frage, wie detailliert man sie angeben will.

<p>3. Der Erwartungswert bzw. Mittelwert einer Observablen erhält man durch $\langle A \rangle = (\psi, A\psi)$. Wobei A der entsprechende Operator ist und ψ der Zustand.</p>	<p>Durch die Wellenfunktion ψ können Erwartungswerte bzw. Mittelwerte ermittelt werden.</p>
<p>4. Die Schrödingergleichung¹³³⁴ $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + V$ gibt die Zeitentwicklung der Zustände wieder.</p>	<p>Mit Hilfe der Schrödingergleichung können die Zustände eines Systems berechnet werden.</p>
<p>5. Liefert die Messung von A den Wert a_n, so geht die Wellenfunktion ψ in die entsprechende Wellenfunktion ψ_n über.</p>	<p>Findet eine Messung statt, beispielsweise eines freien Teilchens, so "kollabiert" die Welle und wir erhalten dessen (diskreten) Zustand.</p>

Franz Schwabl fügt hinzu: „Aus den Axiomen II und III folgt, daß die möglichen Meßwerte einer Observablen die Eigenwerte des zugehörigen Operators A sind und die Wahrscheinlichkeiten, gegeben sind durch $|c_n|^2$, wobei c_n die Entwicklungskoeffizienten von $\psi(x)$ nach den

¹³³⁴ Dabei bedeutet $\frac{\partial}{\partial t}$ = partielle Ableitung nach der Zeit und $\frac{\partial}{\partial x^2}$ = zweifache partielle Ableitung nach dem Ort. Weiters ist $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

Wir wollen hier gleich die zeitabhängige (, eindimensionale) Schrödingergleichung

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x, t) \psi(x, t)$$

wiedergeben. Mit der zeitabhängigen Schrödingergleichung könnten wir beispielsweise ein Doppelspaltexperiment berechnen. (Dabei müssen wir natürlich auf die Normierungsbedingungen achten usw.) Auch gibt es natürlich die zeitunabhängige (, eindimensionale) Schrödingergleichung

$$E \psi(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} + V(x) \psi(x)$$

Diese Formel gibt uns beispielsweise (, wenn wir für das Potential $-\frac{e^2}{r}$ einsetzen und die Normierungsbedingungen beachten) die richtigen Energiewerte für das Wasserstoffatom.

Man kann die Schrödingergleichung natürlich mit verschiedenen Operatoren wiedergeben. Als Beispiel wollen wir die zeitunabhängige Schrödingergleichung einmal mit dem Laplace-Operator Δ aufschreiben und das andere Mal mit dem Nabla-Operator ∇ , wobei folgende Beziehung gilt: $\Delta = \partial \cdot \partial = \nabla \cdot \nabla$.

$$E \psi(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V \psi$$

$$E \psi(x) = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V \psi$$

vgl. dazu PIETSCHMANN 2003, S. 50 und TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 286, 290, 331

Eigenfunktionen von A sind. Insbesondere folgt, daß $|\psi(x)|^2$ die Wahrscheinlichkeitsdichte für die Position ist.¹³³⁵

Wie Sie sicher erkennen können, sind diese Prinzipien (von Schwabl) sehr formal. Die Prinzipien der QM lässt sich aber für ein besseres Verständnis, noch einfacher zusammenfassen. Wir wollen hier noch die „Grundprinzipien der Quantenmechanik“¹³³⁶ von Feynman wiedergeben:

„Grundprinzipien der Quantenmechanik“
<p>„1. Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ist in einem idealen Experiment durch das Quadrat des Absolutbetrages einer komplexen Zahl Φ gegeben, die Wahrscheinlichkeitsamplitude genannt wird:</p> <p style="text-align: center;">$P = \text{Wahrscheinlichkeit}$ $\Phi = \text{Wahrscheinlichkeitsamplitude}$ $P = \Phi ^2$.¹³³⁷</p>
<p>„2. Wenn ein Ereignis¹³³⁸ auf mehrere verschiedene Weisen auftreten kann, ist die Wahrscheinlichkeitsamplitude für das Ereignis die Summe der Wahrscheinlichkeitsamplituden jeder einzeln betrachteten Möglichkeit. Es gibt Interferenz:</p> <p style="text-align: center;">$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$, $P = \Phi_1 + \Phi_2 ^2$.¹³³⁹</p>
<p>„3. Wenn ein Experiment durchgeführt wird, das eine Entscheidung erlaubt, ob die eine oder die andere Alternative wirklich gewählt wurde, dann ist die Wahrscheinlichkeit für das Ereignis die Summe der Wahrscheinlichkeit für jede der Alternativen. Die Interferenz geht verloren:</p> <p style="text-align: center;">$P = P_1 + P_2$.¹³⁴⁰</p>

Nachdem Feynman diese Grundprinzipien der QM angegeben hat, schreibt er: „Es könnte jemand immer noch fragen: „Wie funktioniert das? Welcher Mechanismus steckt hinter dem Gesetz?“ Niemand hat irgendeinen Mechanismus hinter dem Gesetz gefunden. Niemand kann mehr „erklären“, als wir gerade „erklärt“ haben. Niemand wird Ihnen irgendeine tiefer gehende Darstellung der Verhältnisse geben. Wir haben keine Vorstellung von einem grundlegenden Mechanismus, aus dem diese Resultate hergeleitet werden können.“¹³⁴¹ Feynman ist ein sehr tief sinniger Denker. So ist jedes seiner Wörter mit Sorgfalt gewogen und hat seine Berechtigung. Dennoch wollen wir in dieser Arbeit wenigstens versuchen, der Quantenmechanik auf den Grund zu

¹³³⁵ SCHWABL 2007, S. 41

¹³³⁶ FEYNMAN (III) 2007, S. 13

¹³³⁷ FEYNMAN (III) 2007, S. 13

¹³³⁸ Feynman schreibt: „Was wir ein „Ereignis“ nennen, ist im Allgemeinen nur ein besonderer Satz von Anfangs- und Endbedingungen. (Zum Beispiel: „Ein Elektron verlässt die Kanone, kommt an dem Detektor an und sonst passiert nichts.“)“ FEYNMAN (III) 2007, S. 13

¹³³⁹ FEYNMAN (III) 2007, S. 13

¹³⁴⁰ FEYNMAN (III) 2007, S. 13

¹³⁴¹ FEYNMAN (III) 2007, S. 13

gehen. Deshalb werden hier **zwei Prinzipien vorgeschlagen, welche die Grundlage der QM darstellen sollen:**

Prinzipien der Quantenmechanik¹³⁴²

Prinzip der Einfachheit:

1. Die Naturgesetze, welche die Dynamik eines (Quanten)objekts zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten (Raum)punkt beschreiben, begründen das Kosmologische Prinzip.

Prinzip der Besonderheit:

2. Die Naturgesetze sind allgemein nicht skalensymmetrisch.

Das Prinzip der Einfachheit fordert nur, dass die Naturgesetze bereits für ein Objekt derart sind, dass sie das *Kosmologische Prinzip* voraussetzen. So gelten die Naturgesetze automatisch an jedem Ort (und in jede Richtung) zu jeder Zeit.¹³⁴³

Das Prinzip der Besonderheit dagegen bestimmt, dass die Naturgesetze, welche diesen Kosmos beschreiben, auch wirklich diesen Kosmos beschreiben. Es *verlangt nach Naturkonstanten*, so dass unsere Natur einzigartig in ihrer Bestimmung wird.¹³⁴⁴ Würde man beispielsweise den Kosmos in seiner Größe nur verdoppeln oder um die Hälfte halbieren, so würden wir es merken, da die Naturkonstanten stets gleich bleiben.¹³⁴⁵ Wir könnten das zweite Prinzip der QM eigentlich auch so

¹³⁴²

**Die beiden Prinzipien tragen natürlich auch etwas Selbstverständliches in sich:
Die Natur des Kosmos spiegelt sich in der Natur des Quantenobjekts wieder.**

¹³⁴³ „Das kosmologische Prinzip ist offensichtlich eine Symmetrieannahme: Wenn es gilt, sind nicht nur die Naturgesetze verschiebungs und drehsymmetrisch, sondern auch das Universum im Großen.“ GENZ/DECKER 1991, S. 71

¹³⁴⁴ Eine tiefere Behandlung des Zusammenhanges des *Anthropologischen Prinzips* und dem *Prinzip der Besonderheit der QM* findet der Leser im **Anhang IX**.

¹³⁴⁵ Dass wir das zweite Prinzip der QM auf Naturkonstanten aufbauen, ist natürlich kein Zufall. Schon das zweite Prinzip der speziellen Relativitätstheorie lautet nach Einstein: „Jeder Lichtstrahl bewegt sich im „ruhenden“ Koordinatensystem mit der bestimmten Geschwindigkeit V , unabhängig davon, ob dieser Lichtstrahl von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert ist.“ Dieses Prinzip besagt genau genommen, dass eben die Lichtgeschwindigkeit eine Naturkonstante darstellt (und deshalb die unerwarteten Ergebnisse von Michelson-Morley verständlich werden). Und dass wir eben diese Naturkonstante deshalb in unsere Naturgesetze und in unsere Transformationen einbeziehen sollten. Einstein ist unter anderem schon deshalb ein genialer Wissenschaftler, weil es ihm stets gelang, die Probleme der Physik in Form eines Prinzips umzukehren. Beispielsweise erklärt er das Licht zu Partikeln – bei deren Energie das Plancksche Wirkungsquantum eine Rolle spielt: $E = \hbar \cdot \omega$ - um den Photoeffekt besser zu erklären. Bei der Erklärung der Gravitationskraft wusste Newton keine Erklärung, weshalb die schwere Masse (m_{schwer}) und die träge Masse ($m_{träge}$) gleichwertig ($m_{schwer} = m_{träge}$) sind. Auch dieses Problem kann Einstein sehr schnell beseitigen, indem er es in der Allgemeinen Relativitätstheorie zu einem Prinzip erklärt: das Äquivalenzprinzip! Nach diesem

ausdrücken: **Einheiten, mit der die Naturgesetze beschrieben werden, sollten auf die natürliche Plancksche Einheiten zurückführbar sein.**¹³⁴⁶ (Wir wollten mit der Form unserer *Prinzipien* auf die *Symmetrieeigenschaften der Naturgesetze* hinweisen und somit deren *Schönheit* besser unterstreichen.)

Inwiefern die Naturgesetze mit den Naturkonstanten zusammen hängen, besprechen wir, an Hand einfach gewählter Beispiele, im **Anhang X**. Wir wollen an dieser Stelle nur kurz einen Überblick geben:

➤ Quantenmechanik:

- In der (nicht relativistischen) QM spielt das Wirkungsquantum eine ganz besondere Rolle. Das Plancksche Wirkungsquantum (= Naturkonstante) \hbar besagt beispielsweise, dass die Größe eines Atoms nicht verändert werden kann.

➤ Relativistische Quantenmechanik:

- Mit der relativistischen Physik wird zugleich eine Grenz- bzw. Lichtgeschwindigkeit angegeben. Die Grenzgeschwindigkeit (= Naturkonstante) c kann sich (im Vakuum) nicht ändern. (Wenn sich Körper, Strecken usw. über Nacht verändern würden, könnte man dies mit Hilfe dieser Naturkonstante messen.)

kann man nämlich die träge Masse von der schweren *prinzipiell* nicht unterscheiden. Diese *Scheinprobleme* werden von Einstein also durch *Prinzipien* gelöst. Genau diesem Weg des genialen Wissenschaftlers möchten wir in dieser Arbeit folgen und fragen zuerst nicht, weshalb es die Naturkonstanten gibt, und wieso sie so sind wie sie sind, sondern entwickeln mit ihnen ein Prinzip, welches verlässlich unseren Zwecken dient. Beispielsweise wird in der Stringtheorie versucht zu erklären, wie es womöglich zu diesen Naturkonstanten kommen konnte. Vielleicht sind diese Naturkonstanten auch nicht wirklich konstant und wir müssen, um zu einer Quantengravitation zu gelangen, tatsächlich die Naturkonstanten besser verstehen usw. In dieser Arbeit möchten wir die Forschungen auf diesem Gebiet nicht kritisieren, sondern nur anbieten, dass man mit den Naturkonstanten als ein Prinzip der QM sehr gut leben kann. Womöglich hätte Einstein selbst unsere Ansichten nicht geteilt, da er schreibt: „Ich kann mir keine einheitliche und vernünftige Theorie vorstellen, die eine Zahl enthält, die die Schöpferlaune auch anders gewählt haben könnte und aus der sich eine qualitativ andere Gesetzmäßigkeiten der Welt ergeben haben könnte ... Eine Theorie, die in ihren Grundgleichungen ausdrücklich eine Konstante enthält, müßte irgendwie ein logisch unzusammenhängendes Stückwerk sein; ich bin jedoch zuversichtlich, daß diese Welt keine so häßliche Konstruktion braucht, um theoretisch erfaßbar zu sein.“ (zitiert nach BARROW 1992, S. 122) Ob wir wirklich jemals eine Physik nach Einsteins Wunsch erreichen werden können, wo keine Naturkonstanten mehr vorkommen, ist sehr fraglich (, worauf auch Barrow hinweist.) Doch wir wissen, dass Einstein kein großer Freund der QM war... Insofern müssen wir diese Meinung nicht teilen, obwohl wir uns *seiner Methoden* bedient haben.

¹³⁴⁶ Max Planck bemerkte bereits (1899) auf Grund von Dimensionsbetrachtungen, „man könne ein System natürlicher Einheiten für die fundamentalen Größen Masse, Länge, Zeit und Temperatur allein auf der Grundlage dreier Naturkonstanten festlegen, nämlich c (der Lichtgeschwindigkeit), \hbar (der Planck'schen Konstante geteilt durch 2π) und G (der Newton'schen Gravitationskonstante).“ (TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 875) Tipler und Llewellyn erläutern: „Als Planck über diese Frage nachdachte, waren seine natürlichen Einheiten von geringer Relevanz für die physikalische Wirklichkeit. Im Laufe der Zeit hat sich die Ansicht dazu geändert. Wie Frank Wilczek kürzlich hervorhob, erscheint Plancks Vorschlag jetzt zwingend: \hbar als fundamentale Einheit der Wirkung und c als jene der Geschwindigkeit sind die universellen Maßeinheiten der beiden großen Theorien der modernen Physik, der Quantenmechanik und der Speziellen Relativitätstheorie. Die entsprechende Einheit der Allgemeinen Relativitätstheorie ist G (genauer gesagt $1/G c^4$).“ (TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 875-876)

(Natürlich könnten in diesen Naturkonstanten wiederum physikalische Informationen versteckt sein, wie in der Konstante bzw. Brechzahl der Optik, der Keplerschen Konstante usw. – oder aber eben auch nicht. Eine Antwort darauf können uns nur die zukünftigen Forschungen auf diesem Bereich geben.)

➤ Quantengravitation:

- Wenn es uns irgendwann gelingen sollte, die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) und die Quantenmechanik (QM) zu vereinen, dann würde (sehr wahrscheinlich) die Gravitationskonstante (= Naturkonstante) G mit den anderen Naturkonstanten gemeinsam sowohl der Länge (= Plancklänge) als auch der Zeit (= Planckzeit) eine untere, physikalische Grenze setzen.

Die Quantenmechanik und die Theory of Mind

Wir wollen gleich das Doppelspalt-Experiment besprechen, damit wir aus diesem gleich Konsequenzen ziehen können. (Diese Konsequenzen gelten dann natürlich allgemein für die QM). Da das Doppelspaltexperiment vielen geläufig ist, wollen wir es hier in der Beschreibung eher kurz halten.

Das Doppelspalt-Experiment mit Teilchen (Tennisbällen)

Stellen wir uns vor, wir würden mit der Hand oder mit dem Schläger versuchen Tennisbälle durch zwei Spalte zu schießen, welche sehr nah aneinander liegen würden. (Dabei gehen wir auch davon aus, dass die Spalten nur etwas größer sind, als die Tennisbälle selbst.) Dahinter hätten wir eine „klebrige Wand“ oder etwas ähnliches, worauf die Bälle haften bleiben und uns daher sagen könnten, wo sie auf die Wand getroffen sind. Auch könnten wir dann sehen, wo die meisten Bälle hinfliegen und wo sie eher selten gelandet sind. Bevor wir das Experiment starten, können wir natürlich theoretische Überlegungen machen, wie die Verteilung ungefähr ausschauen könnte. Wir denken uns, wie die linke Verteilung ($Verteilung_{links} = P_1$) aussehen könnte, wenn die Bälle nur durch den linken Spalt gehen würden. Natürlich können wir uns dann auch denken, wie die rechte Verteilung ($Verteilung_{rechts} = P_2$) aussehen würde, wenn die Bälle nur durch den rechten Spalt gehen würden. Wenn wir die Verteilungen anschließend addieren, erhalten wir somit die Gesamtverteilung ($Verteilung_{rechts\ und\ links} = P_{1+2}$) bzw. die Wahrscheinlichkeit, wo die Bälle die klebrige Wand treffen werden und wo nicht. Siehe dazu die unten skizzierte Abbildung 47.

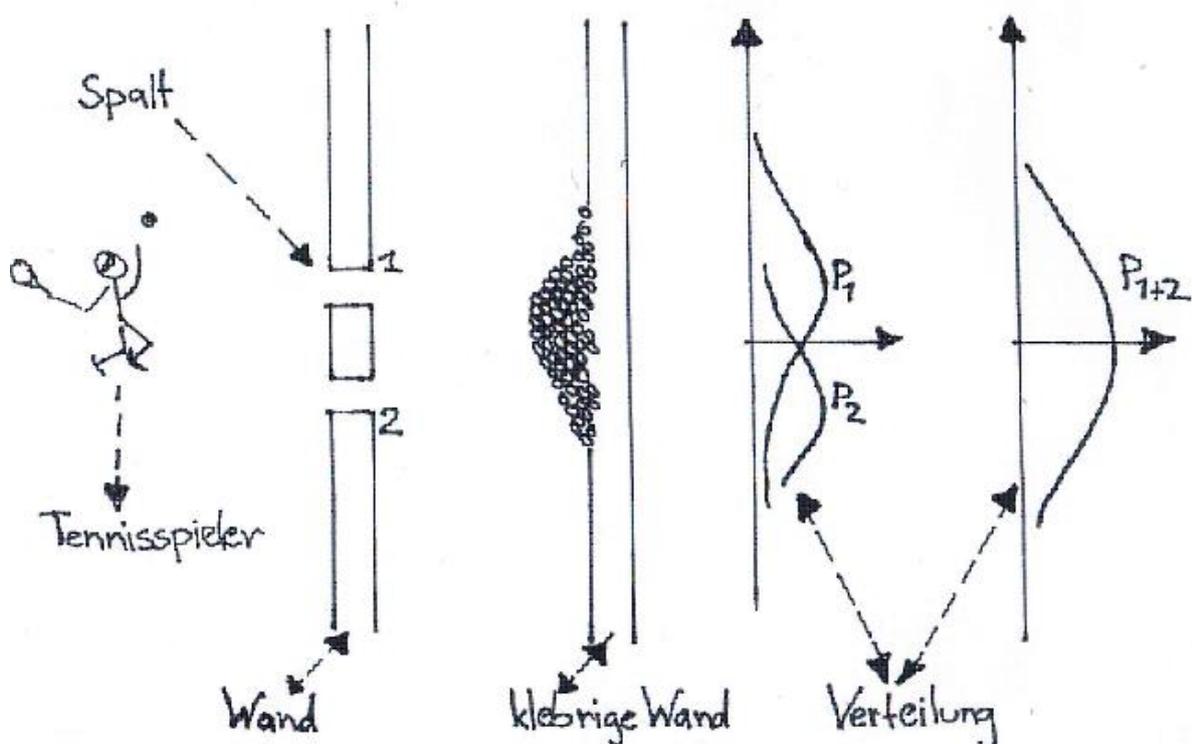


Abbildung 47

Das Doppelspalt-Experiment mit (Wasser)wellen

Nun stellen wir uns vor, wie unten in der Abbildung 48 dargestellt, wir würden parallel zu einem Strand eine Mauer mit zwei Öffnungen an einem Meer bauen. (Dabei nehmen wir einfach an, dass die Spalte so klein sind, dass wir sie als punktförmig betrachten können.)¹³⁴⁷ Nun hoffen wir für das Gelingen unseres Experimentes, dass nur Wellen gleicher Art (z. B.: dieselbe Wellenlänge, Amplitude usw.) auf diese Mauer mit den zwei Spalte treffen. Aufgrund der Muster des Sandes am Strand können wir dann sehen, wie sich die Intensitäten der Wellen zusammensetzen. Natürlich könnte man schon im Vorfeld theoretische Voraussagen tätigen. Nehmen wir an, dass wir nur den ersten Spalt geöffnet hätten, dann ergäbe sich die *Intensität*₁. Diese wollen wir mit der Höhe der Welle (*Höhe*₁) in Verbindung setzen¹³⁴⁸: $Intensität_1 = |Höhe_1|^2$. Wenn wir nur den zweiten Spalt noch offen haben, dann erhalten wir: $Intensität_2 = |Höhe_2|^2$. Diese Verteilungen der Intensität unterscheidet sich nicht viel von der Verteilung der Tennisbällen. Der wesentliche Unterschied ist, dass bei Wasserwellen die Intensität kontinuierlich verteilt ist, bei Tennisbällen hingegen diskret, oder wie Feynman sagen würde: klumpig¹³⁴⁹.

Der größte Effekt, welcher Teilchenphänomene von Wellenphänomenen unterscheidet, ist jedoch die Beugung bzw. die Interferenz. Das völlig neue bei Wasserwellen bekommen wir somit, wenn wir beide Spalten zugleich öffnen.

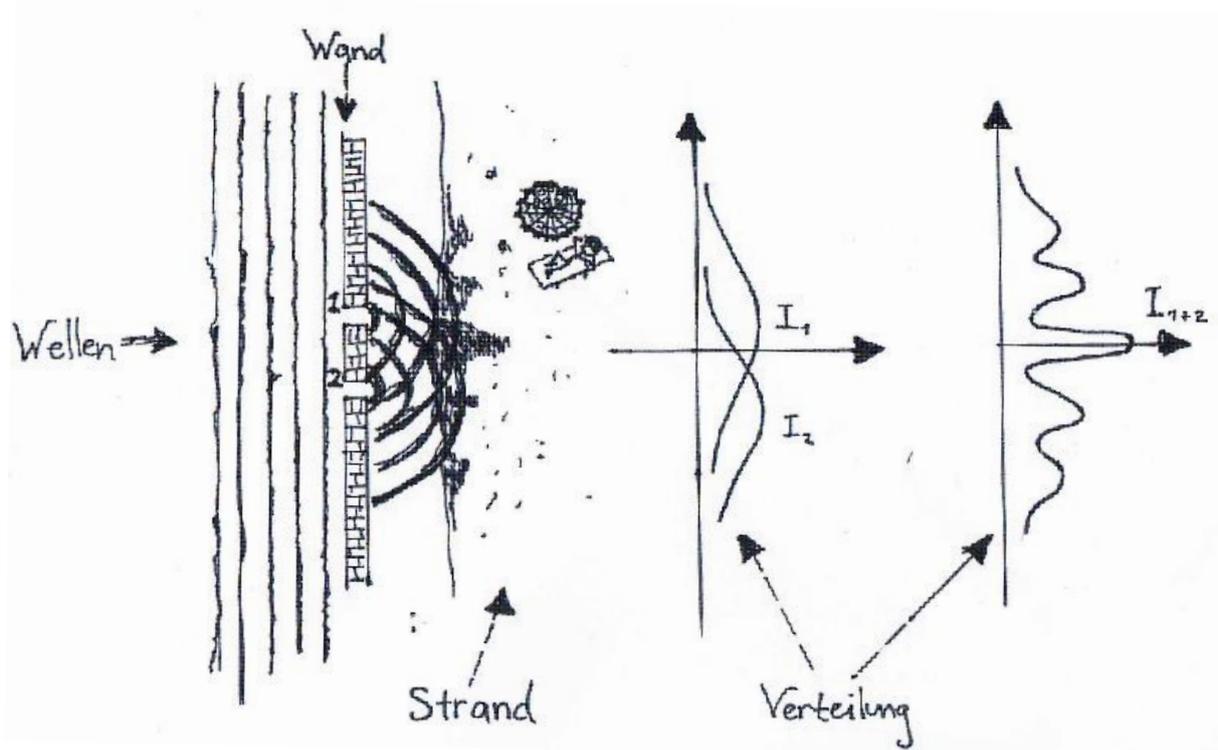


Abbildung 48

¹³⁴⁷ Eigentlich genügt es vollkommen, wenn $Wellenlänge \approx Spaltbreite$.

¹³⁴⁸ Dabei nehmen wir für $Höhe_{links}$ den Realteil von $Höhe_{links} \cdot e^{i\omega t}$. Wir betrachten die Amplitude der Welle als eine komplexe Zahl. So ist die Intensität, da wir die komplexen Zahlen verwenden, dem Quadrat des absoluten Betrages $|Höhe_{links}|^2$ proportional. Das gleiche gilt natürlich auch für $Höhe_{rechts}$.
vgl. FEYNMAN (III) 2007, S. 5

¹³⁴⁹ vgl. FEYNMAN (III), S. 4

Diesen Fall beschreibt die Formel¹³⁵⁰

$$Intensität_{1+2} = |Höhe_1 + Höhe_2|^2 = |Höhe_1|^2 + |Höhe_2|^2 + 2 \cdot |Höhe_1| \cdot |Höhe_2| \cdot \cos\delta$$

bzw.

$$Intensität_{1+2} = Intensität_1 + Intensität_2 + 2 \cdot \sqrt{Intensität_1 \cdot Intensität_2} \cdot \cos\delta$$

Was bei Teilchen bzw. bei Tennisbällen gefehlt hat, war der folgende Term:

$$2 \cdot \sqrt{Intensität_1 \cdot Intensität_2} \cdot \cos\delta.$$

Diesen Term bezeichnet man auch als Interferenzterm, wobei δ die Phasendifferenz zwischen $Höhe_1$ und $Höhe_2$ angibt. Ist die Phasendifferenz ein Vielfaches der Wellenlänge (2π), dann kommt es zu konstruktiver Interferenz; wir erhalten also unsere Intensitätsmaxima. Und dort wo sie nur ein Vielfaches der halben Wellenlänge (π) ist, erhalten wir destruktive Interferenz; dort gibt es nur Intensitätsminima. Wenn wir das experimentell überprüfen, sehen wir, dass unsere theoretischen Überlegungen stimmen.

Das Doppelspalt-Experiment mit Elementarteilchen und mikroskopischen Objekten

Wenn man nun genau dieses Experiment mit Photonen (Lichtteilchen) wiederholt, so entdeckt man, dass sie ebenfalls wie Teilchen (Tennisbälle) auf einer Photoplatte landen, aber wenn man viele Photonen benutzt, erkennt man ein Interferenzmuster, wie bei der Intensitätsverteilung einer Welle. Würde man dieses Experiment mit Elektronen machen, würden wir denselben Effekt sehen. (*Man macht aus praktischen Gründen bei Elektronen kein Doppelspalt-Experiment. Es gibt jedoch genügend andere Experimente, welche auf die Wellennatur des Elektrons hindeuten.*) Man kann sogar bei Molekülen, die Fullerene genannt werden und aus 60 oder 70 Atomen¹³⁵¹ bestehen, Interferenzmuster beobachten.¹³⁵² (Eine gute Beschreibung zu diesem Experiment findet man bei Pietschmann.¹³⁵³)

Feynman schreibt dazu: „Wir schließen daraus Folgendes: Die Elektronen kommen als Klumpen an, wie Teilchen, und die Ankunfts-wahrscheinlichkeit dieser Klumpen ist verteilt wie die Intensität einer Welle. Es ist in diesem Sinne zu verstehen, dass sich ein Elektron „manchmal wie ein Teilchen und manchmal wie eine Welle“ verhält.“¹³⁵⁴

Noch interessanter wird es, wenn wir die folgende Überlegungen anstellen: Wir wissen, dass Elementarteilchen und Molekülen, wenn wir sie messen, wie Tennisbälle als Ganzes messbar sind. Die Interferenzmuster rühren davon her, weil wir nicht wissen, welchen Spalt das Teilchen nimmt. Was würde passieren, wenn wir auch messen würden, welchen Spalt das Teilchen passiert?

¹³⁵⁰ vgl. FEYNMAN (III) 2007, S. 5

¹³⁵¹ C_{60} – und C_{70} – Moleküle

¹³⁵² Das Experiment ist den drei bedeutenden Physikern: O. Nairz, M. Arndt, A. Zeilinger zu verdanken. vgl. PIETSCHMANN 2003, S. 79

¹³⁵³ PIETSCHMANN 2003, S. 79-82

¹³⁵⁴ FEYNMAN (III) 2007, S. 8

Theoretische Möglichkeiten bzw. Hypothesen wären:

- Wir messen, dass sich das Teilchen halbiert und dabei eigentlich durch zwei Spalten geht und danach mit sich selbst interferiert?
- Wir messen immer nur, dass das Teilchen links oder rechts geht?

Wenn wir das Experiment durchführten, würden wir erkennen, dass sich das Elektron entweder durch die linke oder die rechte Öffnung bewegt. Damit ist die 1. Hypothese *falsifiziert*. Das Interessante dabei ist jedoch, sobald wir wissen, welchen Spalt das Elektron nimmt, verschwindet das Interferenzmuster. Das heißt, dass wir zwar die zweite Hypothese nicht falsifizieren konnten, jedoch nun der Ausgang des Experimentes eine völlig anderer ist.

Das ist der Grund weshalb man vom Welle-Teilchen-Dualismus spricht. Die Elementarteilchen verhalten sich in manchen Aspekten (Beugung, Interferenz usw.) wie Wellen und in anderen wie Teilchen (Detektion).

Rein wissenschaftlich gesehen, ist eigentlich der Begriff „Welle-Teilchen-Dualismus“ nicht akzeptabel! Nicht nur weil sich die klassischen Begriffe Welle und Teilchen gegenseitig ausschließen, sondern beide durch die Quantenmechanik *falsifiziert* wurden. Wenn wir Schritt für Schritt unsere Lösung analysieren, müssen wir uns zuerst mit Folgendem abfinden:

Sowohl der klassische *Teilchenbegriff* als auch der klassische *Wellenbegriff* werden durch die Quantenmechanik *falsifiziert*! So gesehen ist es naturwissenschaftlich vollkommen inkorrekt von einem Welle-Teilchen-Dualismus zu sprechen.

Das scheint für manche vielleicht unverständlich, da man das sicher so in der Schule gelernt hat. Doch gibt es zwei gute Gründe um diesen Begriff nicht zu verwenden:

- Rein wissenschaftlich gesehen, werden beide klassischen Begriffe in der Tat *falsifiziert*.
- Es gibt berühmte Quantenphysiker, die das (eigentlich) schon ausgesprochen haben.

Zum Punkt 2 wollen wir zuerst Feynman anführen, der sehr viel zur Begründung der Quantenelektrodynamik beigetragen hat: „Quantenmechanik“ ist die Beschreibung des Verhaltens der Materie in allen Einzelheiten, insbesondere der Vorgänge in atomaren Dimensionen. In sehr kleinen Dimensionen verhalten sich die Dinge anders als alles, von dem wir direkte Erfahrung haben. Sie verhalten sich nicht wie Wellen, sie verhalten sich nicht wie Teilchen, sie verhalten sich nicht wie Wolken oder Billardkugeln, Gewichte an Federn oder irgendetwas, was wir je gesehen haben.

Newton dachte, dass das Licht aus Teilchen bestehe, doch dann entdeckte man, wie wir hier gesehen haben, dass es sich wie eine Welle verhält. Später jedoch (zu Beginn des 20. Jahrhunderts) fand man, dass sich das Licht tatsächlich manchmal wie ein Teilchen verhält. Ursprünglich glaubte man, dass das Elektron z.B. sich wie ein Teilchen verhält, dann aber fand man, dass es sich in vieler

Hinsicht wie eine Welle verhält. In Wirklichkeit verhält es sich also weder wie das eine noch wie das andere. Jetzt haben wir also aufgegeben. Wir sagen: „Es ist wie *keines* von beiden“.“¹³⁵⁵

Zur Unterstützung wollen wir uns natürlich auch eine historische Persönlichkeit ins Boot holen, nämlich Max Born, welcher zur Interpretation der Quantenmechanik Wesentliches leistete.¹³⁵⁶ So schreibt er in **Moderne Physik** (1933): „Wir haben bisher immer von Wellen und Korpuskeln als gegebenen Tatsachen gesprochen, ohne überhaupt darüber nachzudenken, ob wir zu der Annahme berechtigt sind, daß es sie wirklich gibt. Die Verhältnisse haben Ähnlichkeit mit denen zur Zeit der Aufstellung der Relativitätstheorie. Vor Einstein hat man sich nie gescheut, vom gleichzeitigen Eintreten zweier Ereignisse zu sprechen, ohne sich darüber Rechenschaft abzulegen, ob die Behauptung der Gleichzeitigkeit zweier Ereignisse an verschiedenen Orten physikalisch feststellbar und der Begriff Gleichzeitigkeit überhaupt sinnvoll ist. In der Tat hat Einstein gezeigt, daß dieser Begriff relativiert werden muß, indem in einem Bezugssystem zwei Ereignisse gleichzeitig erscheinen, die in einem anderen nacheinander einsetzen.“

Im gleichen Sinne muß man nach Heisenberg auch den Begriff Korpuskel und den Begriff Welle unter die Lupe nehmen. Mit dem Begriff Korpuskel ist zwangsläufig die Vorstellung verbunden, daß das betrachtete Ding einen vollständig bestimmten Impuls besitzt und daß es sich zu dem betrachteten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort befindet. Es erhebt sich nun die Frage, ob man Ort und Geschwindigkeit des „Teilchens“ wirklich gleichzeitig genau bestimmen kann. Wenn dies nicht der Fall ist – und es ist auch wirklich nicht der Fall –, wenn wir also nur immer eine der beiden Eigenschaften (einen bestimmten Ort und einen bestimmten Impuls zu besitzen) wirklich feststellen können und zur gleichen Zeit über die andere Eigenschaft auf Grund unseres Versuches überhaupt nichts aussagen können, so sind wir nicht zum Schluß berechtigt, daß es sich bei dem untersuchten „Ding“ wirklich um ein Teilchen im üblichen Sinne handelt; wir sind auch nicht zu diesem Schlusse berechtigt, wenn wir beide Eigenschaften zwar gleichzeitig, aber beide nur ungenau feststellen können, wenn wir also aus unserem Versuch nur schließen können, daß sich dieses „Ding“ innerhalb eines bestimmten Volumens befindet und daß es sich in irgendeiner Weise mit einer Geschwindigkeit bewegt, die innerhalb eines bestimmten Intervalls liegt. Wir werden später an Beispielen zeigen, daß eine gleichzeitige Bestimmung des Ortes und der Geschwindigkeit auf Grund der empirisch gesicherten Quantengesetze wirklich nicht möglich ist.

Wir können jeden Versuch entweder korpuskular oder wellenmäßig deuten; wir besitzen jedoch nicht die Möglichkeit, den Nachweis zu erbringen, daß es sich dabei wirklich um Korpuskeln oder Wellen gehandelt hat, da wir ja nicht alle anderen Eigenschaften gleichzeitig mitbestimmen können, die für eine Korpuskel oder eine Welle charakteristische sind. Wir können daher sagen, die

¹³⁵⁵ FEYNMAN (I) 2007, S. 519

Genau dieselben Worte finden wir als Einführung auch in FEYNMAN (III) 2007, S. 1

Diese Perspektive von Feynman findet natürlich auch heute noch Unterstützung. So schreibt Brigitte Falkenburg: „Klassische Teilchen sind Teilchen und nichts als Teilchen, während Quantenteilchen immer auch einen Wellenaspekt haben. Letzteres ist der vielbeschworene Welle-Teilchen-Dualismus von Quantenobjekten. Der Welle-Teilchen-Dualismus darf dabei aber *nicht* dahingehend missverstanden werden, dass es sich hier um *klassische* Wellen oder Teilchen handeln müsse. [...]“

[...] Aus diesem Grund sind subautomare Teilchen *weder* Teilchen *noch* Wellen im klassischen Sinn. [...]“ FALKENBURG 2013, S. 177-178

¹³⁵⁶ Max Born war der erste, der betonte, dass uns das Quadrat des absoluten Betrages der Wellengleichung die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Teilchens angibt. Für diese statistische Interpretation der Wellenfunktion der QM (und seiner weiteren Beiträge) bekam er 1954 den Nobelpreis.

wellenmäßige und die korpuskulare Beschreibung sind nur als komplementäre Auffassungen eines und desselben objektiven Vorganges anzusehen, der nur in bestimmten Grenzfällen eine vollkommen anschauliche Deutung zuläßt.“¹³⁵⁷

Wir können das Ganze so zusammenfassen: Sowohl der klassische Teilchen- als auch der Wellenbegriff sind falsifiziert. Beide Begriffe können aber noch *abstrahiert* werden!

Quantenmechanische Begriffe könnten somit so aussehen:

Quantenbegriffe für Elementarteilchen und Quantenobjekte	
Teilchen	Welle
Die Elementarteilchen sind Teilchen, deren Dynamik wir nur mit einer Wellengleichung bzw. der Schrödingergleichung beschreiben können. (Diese erlaubt die Superpositionseigenschaften der quantenmechanischen Systeme.)	Die Elementarteilchen sind eigentlich nur Wellen. Diese werden durch die Schrödingergleichung beschrieben. Bei der Messung „kollabiert“ jedoch diese Welle und wir erhalten stets ein Teilchen. (Dies erlaubt uns zu erklären, weshalb wir ganzzahlige Teilchen messen können.)

Beide **quantenmechanischen** Begriffe sind *äquivalent*! Wir benötigen keinen Welle-Teilchen-Dualismus, weil jene Begriffe nicht mehr *duallieren*.¹³⁵⁸ Ihre klassischen Vorgänger wurden nämlich beide falsifiziert. Es sind *neue* Begriffe entstanden. Welche von den Begriffen eine bessere Interpretation erlauben könnten, werden wir erst später besprechen. Das Kapitel QM wurde mit einem Zitat von Goethe eingeleitet: „Ihr müßt mich nicht durch Widerspruch verwirren! Sobald man spricht, beginnt man schon zu irren.“ Wenn wir unter *wissenschaftlichem Sprechen* „Aussagen“ bzw. „Hypothesen“ meinen, so hat Goethe schon grundsätzlich Recht, dass wir uns stets „irren“. Wir werden wohl niemals wissen können, was die Wahrheit ist; oder ob es sie überhaupt gibt. Wichtig ist aber, dass wir eben die Widersprüche aus unseren Begriffen möglichst entfernen und versuchen sie besser zu definieren. So erhalten wir einen *Teilchen-* und *Wellenbegriff*, welcher zwar nach der klassischen Physik völlig widerspruchsvoll ist, nach der Modernen Physik allerdings nicht.

Natürlich sind wir mit diesen neuen Begriffen aus unserem Alltag nicht vertraut. (Dort benützen wir noch die klassischen Begriffe). Dies führt dazu, dass die QM als eine moderne Theorie, sowie die SRT und ART, unserer Theory of Mind wieder Grenzen setzt. Und genau das könnte Feynman auch gemeint haben, wenn er schreibt, dass er glaube niemand verstünde die Quantenmechanik. Wir wollen hier gleich die Originalstelle zitieren, doch dieses Mal etwas länger, damit der Zusammenhang besser verständlich wird: „Einfach wird es bestimmt nicht werden. Aber die Schwierigkeiten sind in Wirklichkeit eher psychologischer Natur, da Sie sich selber ständig mit der Frage quälen: >>Wie kann das nur so sein?<< Der Wunsch, die Sache in Begriffen von etwas Vertrautem zu sehen, wird Sie ebenso unkontrolliert wie vergeblich befallen. Ich werde die Dinge *nicht* in Begriffen einer Analogie mit etwas Vertrautem beschreiben; ich werde sie einfach beschreiben. Früher einmal konnte man in den Zeitungen lesen, es gebe nur zwölf Menschen, die die Relativitätstheorie verstünden. Das glaube ich nicht. Wohl mag eine Zeitlang nur ein Mensch sie verstanden haben, weil er als einziger

¹³⁵⁷ BORN 1933, S. 60-61

¹³⁵⁸ Damit möchten wir betonen, dass die QM nicht eine *Zweiheit* (Dualismus), sondern eine *Einheit* in die Naturbeschreibung bringt. **Eine Einheit, welche mit den Begriffen der klassischen Physik schwer erfassbar ist.**

überhaupt auf den Gedanken verfallen war. Nachdem er aber seine Theorie zu Papier gebracht und veröffentlicht hatte, waren es gewiß mehr als zwölf. Andererseits kann ich mit Sicherheit behaupten, daß niemand die Quantenmechanik versteht. Also nehmen Sie die Vorlesung nicht allzu ernst; bilden Sie sich nicht ein, Sie müßten das, was ich Ihnen beschreibe, in Begriffen irgendeines Modells verstehen; lehnen Sie sich entspannt zurück und genießen Sie. Denn ich beschreibe Ihnen jetzt das Verhalten der Natur, und wenn Sie es einfach als möglich akzeptieren, werden Sie von ihr ganz entzückt und hingerissen sein. Also fragen Sie sich nicht dauernd, wenn Sie es fertigbringen: >>Aber wie ist das denn möglich?<< Das führt in eine Sackgasse, aus der noch keiner wieder herausgekommen ist.“¹³⁵⁹

Ganz interessant scheint hier womöglich nicht gerade der Teil („Andererseits kann ich mit Sicherheit behaupten, daß niemand die Quantenmechanik versteht.“) zu sein, welchen man so gerne zitiert, sondern ein paar Zeilen darüber, wo er manche Wörter sogar kursiv schreibt. Der Satz („Ich werde die Dinge *nicht* in Begriffen einer Analogie mit etwas Vertrautem beschreiben; ich werde sie einfach beschreiben.“) scheint ihm eher am Herzen gelegen zu sein. Und es bringt genau das zum Ausdruck, was wir hier besprochen haben, dass nämlich die Quantentheorie mit neuen Begriffen arbeitet. Genau in diesem Sinne sind auch die Sätze von Feynman zu verstehen: „Es gibt jedoch einen günstigen Umstand – die Elektronen verhalten sich genauso wie das Licht. Das Quantenverhalten atomarer Objekte (Elektronen, Protonen, Neutronen, Photonen usw.) ist bei allen gleich, sie sind alle „Teilchenwellen“ oder wie immer man sie auch nennen möchte. Also ist das, was wir über die Eigenschaften des Elektrons (welches wir für unsere Beispiele heranziehen werden) lernen, auch anwendbar auf alle „Teilchen“, einschließlich der Photonen des Lichts.“

Die allmähliche Ansammlung von Informationen über das Verhalten im atomaren und mikroskopischen Bereich während des ersten Viertels dieses Jahrhunderts, die uns einige Hinweise gaben, wie sich kleine Dinge verhalten, rief eine wachsende Verwirrung hervor, die schließlich 1926/27 von Schrödinger, Heisenberg und Born gelöst wurde. Sie erreichten eine widerspruchsfreie Beschreibung des Verhaltens der Materie im mikroskopischen Bereich. Wir werden die wesentlichen Punkte dieser Beschreibung in diesem Kapitel aufgreifen.

Weil das Verhalten der Atome so ganz außerhalb unserer normalen Erfahrung liegt, ist es sehr schwierig, sich daran zu gewöhnen, und es erscheint sowohl dem Neuling wie auch dem erfahrenen Physiker seltsam und geheimnisvoll. Selbst Experten verstehen es nicht so, wie sie es gerne möchten, und das ist vollkommen verständlich, denn jede direkte menschliche Erfahrung und menschliche Intuition bezieht sich auf große Objekte.¹³⁶⁰ Wir wissen, wie sich große Objekte

¹³⁵⁹ FEYNMAN 2012, S. 159-160

¹³⁶⁰ Als eine Einführung in sein Buch über die QM kommentiert Pietschmann genau diese Stelle mit folgenden Worten: „Wenn einer der besten Kenner und Förderer der Quantenmechanik zugibt, sie nicht so verstehen zu können, wie er es gerne täte, dann muss ich wohl erklären, wieso ich denen, die Quantenmechanik bloß zu vermitteln haben – ja sogar Anfängern – zumuten kann, sie zu verstehen.“

Ich meine, es liegt an einem unterschiedlichen Begriff von „verstehen“! Im 19. Jahrhundert hat Lord Kelvin (William Thomson) seinen Verständnisbegriff so dargestellt:

„Ich bin erst dann zufrieden, wenn ich von einer Sache ein mechanisches Modell herstellen kann. Bin ich dazu in der Lage, dann kann ich sie verstehen. Wenn ich mir nicht in jeder Hinsicht ein Modell machen kann, dann kann ich sie auch nicht verstehen.“

verhalten, aber die Dinge im Kleinen verhalten sich nicht so. Darum müssen wir unsere Erfahrungen durch eine Art von Abstraktion oder Imagination sammeln und nicht in Verbindung mit unseren direkten Erfahrungen.¹³⁶¹

Nun wollen wir aber etwas genauer definieren, inwiefern die QM die Grenzen unserer Theory of Mind festlegt. Diese Grenze dingfest zu machen ist nicht so einfach. Wir wollen hier nur eine Grenze wiedergeben, welche wir durch den Doppelspalt kennen gelernt haben. Wenn nämlich beide Spalte offen sind, dann konnten wir sehen, dass sich Interferenzmuster ergeben. Wir konnten also nicht genau sagen, welche Öffnung das Teilchen passierte! Doch dürfen wir uns genau genommen auch nicht denken, dass es sich geteilt hat und durch beide gereist ist. Denn wenn wir die Detektoren an den Öffnungen platzieren, dann erkennen wir, dass es entweder durch die eine oder die andere Öffnung geht. Doch verschwindet dabei das Interferenzmuster. Was wir aus diesen Experimenten sagen können ist eigentlich Folgendes: Wir können dem Teilchen in der QM keine Strecke bzw. Bahn zu schreiben, welche es benützt hat.¹³⁶² Oder etwas genauer:

Die Quantenmechanik erlaubt uns nicht, das Inertialsystem eines freien Teilchens zu benützen, während es eine Bahnkurve beschreibt bzw. während es von A nach B „unterwegs“ ist. Daraus resultiert unter anderem, dass wir nicht wissen können welche Öffnung das Teilchen beim Doppelspalt genommen haben könnte.

Natürlich könnte man nun sagen, dass man sich den Weg in der Tat vorstellen kann, da er durch eine Wellenfunktion beschrieben wird. Es gibt zwei gute Gründe die dagegen sprechen:

- Dazu muss man sagen, dass das Bild, welches man vor den Augen haben müsste, nur sehr surreal ist, da man sich die Ausbreitung einer komplexwertigen Welle im realen Raum nicht wirklich vorstellen kann.
- Außerdem besagt diese Gleichung ja nicht, wo sich das Teilchen gerade aufhält, sondern gibt nur Wahrscheinlichkeitsaussagen an.

Wir wollen nun die Grenzen der Theory of Mind zu den jeweiligen modernen Theorien hier noch einmal zusammenfassend wiedergeben:

Freilich bezog sich diese auf Objekte in unserer Umwelt, auf „large objects“, wie Feynman es nannte. Es ist das „Verstehen“ der klassischen Physik. Wir können wohl auch „mechanisch“ durch „widerspruchsfrei“ ersetzen und den Begriff dadurch erweitern, ohne ihn wesentlich zu verändern.

Wenn wir unter „verstehen“ meinen, etwas widerspruchsfrei zu machen oder uns eine bildliche Vorstellung – anschaulich – zu erzeugen, dann ist Quantenmechanik – alle Widersprüche, die wir eliminieren können, entfernt haben, aber bei denjenigen Widersprüchen, die dann noch übrig bleiben, erkannt haben, warum sie nicht zu eliminieren sind, und wir sie überdies handhaben können, dann haben wir diesen Gegenstand in einem weiteren Sinne auch „verstanden“. Auf Anschaulichkeit im klassischen Sinne müssen wir dann freilich verzichten!“ PIETSCHMANN 2003, S. V-VI

¹³⁶¹ FEYNMAN (I) 2007, S. 520

Diese Zeilen sind (größtenteils) auch im FEYNMAN (III) 2007, S. 1 zu finden.

¹³⁶² Feynman schreibt dazu: „Aber wenn man sich *nicht* um eine Aussage über den Weg der Elektronen bemüht, wenn es nichts in dem Versuch gibt, was die Elektronen stören könnte, dann darf man *nicht* sagen, dass eine Elektron entweder durch Loch 1 oder Loch 2 geht. Wenn jemand das doch behauptet und aus dieser Behauptung anfängt, Schlüsse zu ziehen, dann wird er in der Auswertung Fehler machen. Das ist das logische Drahtseil, auf dem wir gehen müssen, wenn wir die Natur erfolgreich beschreiben wollen.“ FEYNMAN (III) 2007, S. 12

Spezielle Relativitätstheorie (SRT)

Die SRT erlaubt der Theory of Mind nicht sich in einem Inertialsystem mit der Grenzgeschwindigkeit zu bewegen.

Allgemeine Relativitätstheorie (ART)

Die ART gestattet der Theory of Mind allgemein kein System, wo alle Raum-Zeit-Dimensionen gleichzeitig beobachtet werden können.

Quantenmechanik (QM)

Die QM verbietet es der Theory of Mind einem Teilchen prinzipiell punktgenau zu folgen.

Feynman schreibt: „Es ist unmöglich, dass wir uns ernsthaft Dinge vorstellen, die offensichtlich im Widerspruch zu bekannten Naturgesetzen stehen. Unsere Form von Vorstellung ist daher eine heikle Sache. Man muss sich etwas anschaulich vorstellen können, das nie zuvor gesehen oder gehört worden ist. Gleichzeitig stecken unsere Gedanken sozusagen in einer Zwangsjacke, denn sie werden von Bedingungen eingeschränkt, die auf unsere Kenntnis der Natur und ihrer Wirklichkeit beruhen. Es ist extrem schwierig, etwas Neues hervorzubringen, das mit dem allem bereits Erkanntem konsistent ist.“¹³⁶³ Fügt aber auf der nächsten Seite gleich hinzu: „Andererseits können wir selbst dann, wenn wir einzelne gemessene Resultate nicht als schön empfinden, behaupten, dass Gleichungen, die allgemeine physikalische Gesetze beschreiben, eine gewisse Schönheit aufweisen. [...] Es gibt also eine Menge intellektueller Schönheit, die den Gleichungen zukommt.“¹³⁶⁴

¹³⁶³ FEYNMAN (II) 2007, S. 382

¹³⁶⁴ FEYNMAN (II) 2007, S. 382

Der Gott (bzw. die Metaphysik) der Quantenmechanik

Eines der größten (unausgesprochenen) Probleme der QM ist, dass sie nicht nur der Theory of Mind tiefere Grenzen setzt, sondern dadurch dem menschlichen Geist schwer fällt die Rolle Gottes neu zu besetzen. Ganz bedeutend und berühmt ist – passend zu diesem Thema – ein Abschnitt von Einsteins Brief an Born, wo er schreibt: „Die Quantenmechanik ist sehr achtunggebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, daß das noch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, daß *der* nicht würfelt.“¹³⁶⁵ Es ist daher von größter Bedeutung, dass wir uns einen Gott der QM inszenieren.

Für den Begriff eines Gottes, welcher den Kosmos nach seinen Gesetzen bzw. Prinzipien gestaltet, ist wohl das Kosmologische Prinzip am bedeutendsten. Er legt somit dem Universum die Homogenität (Raum und Zeit) und Isotropie (Raum) zugrunde.

Wir konnten auch bereits durch das Noether-Theorem zeigen, dass die Physikalischen Gesetze (Erhaltungssätze) die Homogenität und Isotropie des Universums fordern. Das bedeutet: Solange die Naturgesetze im ganzen Universum gelten, kann man auch von einer Homogenität und Isotropie des Kosmos sprechen.

Doch können wir uns vorstellen, welches System Gott benützt, um die Isotropie und Homogenität in Stand zu halten? Die Funktionsweise der Natur sollte daher von Grund auf so gestaltet worden sein, dass sie auf *einfachste* Weise (schon auf Grund ihrer Funktion) stets diese Homogenität und Isotropie gewährleistet. Der klassische Teilchenbegriff kann das gar nicht bewerkstelligen, da im Universum so viele leere Gebiete übrig bleiben würden. Felder allgemein können es ja eigentlich auch nicht sein, da sie nicht wirklich gleichzeitig homogen und isotrop sein müssen. Was könnte also die einfachste Methode sein bzw. wie sollten Elementarteilchen beschaffen sein, damit sie stets garantieren, dass der Kosmos homogen und isotrop ist?

Den einfachsten Zugang zur Lösung dieses Problems bietet wohl die folgende Frage: Wie würden wir die Naturgesetze (und die Quantenobjekte) gestalten, wenn wir allmächtig wären?

Unsere beste Idee könnte uns womöglich weiter bringen... Wir beginnen mit einer *Analogie*. Nehmen wir an, wir wären auf einem Luftballon, und schwebten auf einem endlosen Ozean. (In dieser Analogie sollen wir durch unsere erhobene Perspektive Gott darstellen und der Ozean die unendlichen Weiten des Universums). Da wir ideale Verhältnisse voraussetzen, gehen wir davon aus, dass es keinen Wind etc. gibt, wodurch die Oberfläche des Ozeans gar nicht gestört werden kann. Keine Wellen, kein Land, gar nichts außer ruhigem Wasser weit und breit. Wenn wir uns nun fragen würden, ob dieser Ozean (bzw. dessen Struktur) auch wirklich homogen und isotrop ist, oder doch ein ganz kleiner Felsen irgendwo hinaus ragt und dadurch die vollkommene Homogenität und Isotropie zerstört, würden wir uns wohl einem kleinen Trick bedienen, um uns Klarheit zu schaffen. Wir würden etwas – im idealen Fall etwas *sehr schweres* und *sehr kleines* – runter ins Wasser werfen; beispielsweise einen Stein. Dieser *ideale* Stein, kann als eine punktförmige Wellenquelle angesehen werden. Wenn nun die Welle sich gleichmäßig in Form eines **Kreises** immer mehr (und gleich

¹³⁶⁵ vgl. EINSTEIN (AN MAX BORN), (vgl. auch HELD 1998, 38, 73)

schnell)¹³⁶⁶ ausbreitet, dann können wir davon ausgehen, dass die Oberfläche des Ozeans homogen und isotrop ist. Wir wollen hier jedoch noch kurz die zwei Prinzipien besprechen, weshalb diese Methode in einer so einfachen Weise funktioniert:

1. Das Huygenssche Prinzip:

Christiaan Huygens hat folgende Modellvorstellung begründet: Jeder Punkt, auf den eine Welle(enfront) trifft, wird zum Ausgangspunkt einer neuen Welle. Man bezeichnet diese auch als eine Elementarwelle. Da sich die Elementarwellen mit genau derselben Geschwindigkeit ausbreiten, wie die ursprüngliche Kreiswelle¹³⁶⁷, kommt es zur Überlagerungen bzw. zur Interferenz der Elementarwellen, die sich ausbreiten. Die Überlagerung ergibt wieder eine neue Wellenfront, usw.¹³⁶⁸

Geometrisch dargestellt:

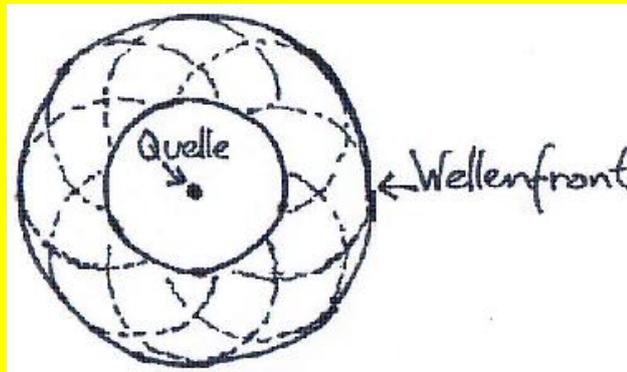


Abbildung 49

2. Das Kosmologische Prinzip:

*Das Universum ist isotrop und kein Ort im Universum ist gegenüber einem anderen ausgezeichnet. (Daraus folgt dann zwingend die Homogenität.)*¹³⁶⁹

Geometrisch dargestellt:

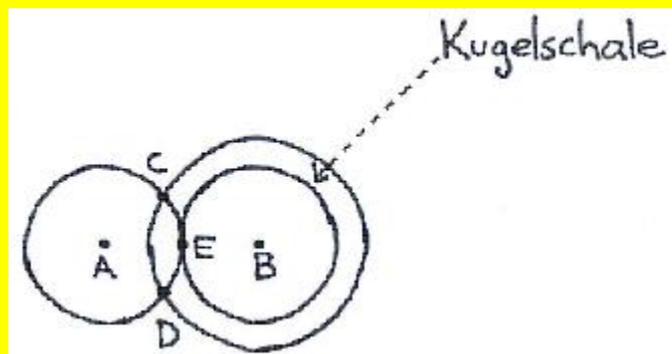


Abbildung 50¹³⁷⁰

¹³⁶⁶ Diese Eigenschaft würde unsere Annahme der Homogenität der Zeit bestätigen.

¹³⁶⁷ Die Kreiswelle gilt natürlich nur für Ebenen. Da wir in unserem Beispiel nur die Oberfläche eines Ozeans betrachten, ist das Ganze auch sehr passend. (Würden wir uns dagegen einen Raum genauer ansehen, dann müssten wir natürlich von einer Kugelwelle sprechen.)

¹³⁶⁸ vgl. SCHÜLERDUDEN PHYSIK 2004, S. 177 und DUDEN SCHULWISSEN, S. 142

¹³⁶⁹ vgl. SCHNEIDER 2006, S. 145

Oder mit anderen Worten: Wenn jeder Punkt im Universum isotrop ist, so ist das Universum automatisch auch homogen.

¹³⁷⁰ Aus der Abbildung 50 ist folgendes erkennbar:

- Ist es um den Punkt A isotrop, so ist die Dichte in C, D und E gleich.

Somit konnten wir feststellen, dass **Wellen** – aufgrund des Huygensschen Prinzips – wohl die eleganteste Art und Weise darbieten, um die *Homogenität* und *Isotropie des Universums* bzw. das *Kosmologische Prinzip* zu garantieren.

Das bedeutet: Ideal wäre es, wenn Elementarteilchen die *Dynamik* einer **Welle** hätten. Dass dies erstaunlicherweise in der Tat so ist, zeigt uns die berühmte *Schrödingergleichung*, welche wir als eine Wellengleichung interpretieren können.

Das macht unseren Kosmos und seine Naturgesetze zwar sehr einfach, doch sind sie dadurch auch etwas Besonderes? Nach diesem Prinzip hätten wir ein Naturgesetz, dass eigentlich für jede beliebige Natur bzw. für jedes beliebige Universum gültig wäre, wo die Naturgesetze überall gelten sollen. Das Prinzip der Besonderheit zeichnet erst unseren Kosmos aus!

Die zwei Prinzipien der QM sind erfüllt:

1. *Wenn das Naturgesetz (= Schrödingergleichung) der QM eine Wellengleichung ist¹³⁷¹. (Wodurch das Prinzip der Einfachheit erfüllt wird.)*
2. *Und wenn eine Naturkonstante ($= \hbar$) in den Naturgesetzen auftaucht (, welche eine Skalensymmetrie verhindert). (Dadurch wird auch das Prinzip der Besonderheit erfüllt.)*

Natürlich ist in diesem zweiten Prinzip eine göttliche Botschaft – wenn man sie als solche betrachten möchte – erhalten. Barrow schreibt zu Naturkonstanten: „Unserem Gefühl nach müssen Dinge, die sich seit Jahrhunderten nicht verändert haben, etwas für sich haben. Sie haben sich im Lauf der Zeit bewährt. Unsere Religion beruht traditionell auf dem Vertrauen zu einem immer gleichen höchsten Wesen, das <<immer war, ist und wird>> und damit eine Garantie für die Zukunft gibt. Obwohl die Ereignisse immer im Fluß sind, fühlen wir, daß die Welt eine unveränderliche Grundlage hat, deren allgemeine Aspekte immer gleichbleiben. Auch Physiker glauben dies gern. Die Gleichungen, mit

-
- Zeichnen wir nun Kreise (bzw. Kugeln) mit unterschiedlichen Radien um den Punkt B, so können wir auch sehen, dass diese Kugelschale aufgrund von C, D und E auch homogen sein muss. (Ist diese Kugelschale unendlich groß, so ist es überall homogen.)

vgl. dazu SCHNEIDER 2006, S. 145, Abb. 4.5.

¹³⁷¹ Wir vertreten in dieser Arbeit natürlich nicht die Ansicht, dass nur die Schrödingergleichung in der QM eine Berechtigung besitzt. Schrödinger selbst schreibt: „Ich möchte an dieser Stelle die Tatsache nicht mit Stillschweigen übergehen, daß gegenwärtig von seiten Heisenbergs, Borns, Jordans und einiger anderer hervorragender Forscher ein Versuch zur Beseitigung der Quantenschwierigkeit im Gange ist, der schon auf so beachtenswerte Erfolge hinzuweisen hat, daß es schwer wird, daran zu zweifeln, er enthalte jedenfalls einen Teil der Wahrheit. In der *Tendenz* steht der Heisenbergsche Versuch dem vorliegenden außerordentlich nahe, davon haben wir schon oben gesprochen. In der Methode ist er so toto genere verschieden, daß es mir bisher nicht gelungen ist, das Verbindungsglied zu finden. Ich hege die ganz bestimmte Hoffnung, daß diese beiden Vorstöße einander nicht bekämpfen, vielmehr, gerade wegen der außerordentlichen Verschiedenheit des Ausgangspunktes und der Methode, einander ergänzen werden, indem der eine weiterhilft, wo der andere versagt.“ SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 513

Wir haben uns in dieser Arbeit für die Methode Schrödingers deshalb entschieden, da sie viel anschaulicher ist, als die Methode von Heisenberg. (So wird wohl auch der Übergang vom Mikroskopischen ins Makroskopische besser zu verstehen sein.) Auf das alles weist auch Schrödinger hin, nach dem er betont welche die Stärken der Heisenberg'schen Methode sind. vgl. SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 514; vgl. dazu (bei Interesse) auch SCHRÖDINGER (III) 1926, S. 464-465)

deren Hilfe sie die Naturgesetze erfassen, enthalten bestimmte unveränderliche Zahlen, die als <<Naturkonstanten>> bezeichnet werden. Wenn eine Größe diesen Titel erhält, kommt ihr in gewisser Weise ein Sonderstatus zu.“¹³⁷² (*Irgendwie erinnert diese Perspektive an Descartes’ Argumentation für die Erhaltung des Impulses...*)

Christopher Fuchs behauptet: „Die besten Prinzipien der Quantenmechanik werden jene sein, mit denen man in einfachen Worten eine Geschichte erzählen kann. Diese Geschichte sollte derart überzeugend und meisterhaft in ihrer bildlichen Darstellung sein, so dass die komplexe Mathematik, mit der man die Quantenmechanik beschreibt, sich mit einer Selbstverständlichkeit aus ihr ergibt.“¹³⁷³

Das Urteil, ob die Geschichte, welche wir hier erzählt haben für eine gute bildliche Darstellung ausgereicht hat, werde dem Leser überlassen. Sehr wahrscheinlich ist es wohl, dass Christopher Fuchs selbst womöglich schwer mit der Geschichte zu überzeugen sein wird, da er der Wellenfunktion der Wellen- bzw. Quantenmechanik die Realität abspricht. So gesehen wäre es eher eine Ironie, wenn ihn diese Geschichte überzeugen könnte. (Doch die Entwicklungsgeschichte der Physik zeigt, dass Ironien beinahe an der Tagesordnung stehen, wenn es um die Entwicklung neuer Ideen geht.)

*Doch um es dem Leser schmackhafter zu machen, wollen wir die Schrödingergleichung zuerst mit den beiden Prinzipien der QM und anschließend mit den Prinzipien der modernen Physik ableiten.*¹³⁷⁴
Damit hoffen wir, dass es uns gelingt die Schönheit der QM zu zeigen.

¹³⁷² BARROW 1992, S. 118

¹³⁷³ Frei übersetzt von Eren Simsek.

Original: „The very best quantum-foundational effort,” says Christopher Fuchs of the Perimeter Institute for Theoretical Physics in Waterloo, Canada, “will be the one that can write a story — literally a story, all in plain words — so compelling and so masterful in its imagery that the mathematics of quantum mechanics in all its exact technical detail will fall out as a matter of course”.“ NATURE (I)

Eine deutsche Übersetzung dieses Artikels findet man auf SPEKTRUM (I).

¹³⁷⁴ Das göttliche in der QM: Die Prinzipien der modernen Physik

Die QM entspricht natürlich auch den *modernen Prinzipien*.

- ❖ Das Prinzip der Universalität:
 - ✓ Sie vereint die Physik mit der Chemie, indem sie es ermöglicht das Verhalten der Elementarteilchen, Atome, Moleküle und deren Verbindungen zu beschreiben.
- ❖ Das Prinzip der Invarianz:
 - ✓ Die QM ist invariant unter den Inertialsystemen.
- ❖ Das Prinzip der Erhaltungssätze:
 - ✓ Auch in der QM gelten die Erhaltungssätze.
- ❖ Das Prinzip der Ökonomie:
 - ✓ Die QM genügt den einfachsten Forderungen.

Die Schrödingergleichung abgeleitet von den zwei Prinzipien der QM

Das Prinzip der Besonderheit

Wir gehen von einem Objekt aus, dessen Dynamik wir zu beschreiben versuchen werden. Wir nehmen dabei an: *Es ändert seinen Ort mit der Zeit.* Wir beginnen erst einmal ganz simpel: Wenn ein Objekt zwischen zwei Orten (=Punkten) im Raum x_1 und x_2 genau jene Bahn $x(t)$ einnimmt, welche eine Gerade ist, dann benötigt es zu allen möglichen Wegen die kürzeste Zeit.¹³⁷⁵ Das Objekt kann somit die kürzeste Länge und die dafür benötigte kürzeste Zeit (zwischen zwei Orten) in Verbindung bringen¹³⁷⁶

$$\delta \int_{t(x_1)}^{t(x_2)} dt = \delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{dt}{ds} \cdot ds = 0$$

Nun wissen wir natürlich, dass $\frac{ds}{dt} = v$ ist. Da die Teilchen, welche wir betrachten sollen, sich wie Wellen ausbreiten, gehen wir bei v von einer Phasengeschwindigkeit aus und setzen in die Formel ein

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{dt}{ds} \cdot ds \quad | \quad \frac{dt}{ds} = \frac{1}{v} = \frac{1}{\text{Phasengeschwindigkeit}}$$

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{1}{v} \cdot ds$$

Doch sehen wir, dass in unserer Beschreibung nichts angegeben ist, wodurch wir die Welleneigenschaft messen können. Das bedeutet, wir nehmen am besten eine andere Schreibweise. Somit erhalten wir

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{1}{v} \cdot ds \quad | \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\text{Kreisfrequenz}}{\text{Phasengeschwindigkeit}} = \frac{\omega}{v} = \text{Kreiswellenzahl}^{1377}$$

¹³⁷⁵ vgl. REBHAN 2008, S. 37

Auch die Schreibweise der Formeln haben wir von dort übernommen.

¹³⁷⁶ Dass wir unsere Beweisführung so beginnen, hat eigentlich Größtenteils den Grund, da wir vom Einfachen ins Komplexe vorzudringen versuchen. Wir beginnen deswegen mit dem Teilchenmodell und gehen dann in das Wellenmodell über.

¹³⁷⁷ Wir hätten natürlich statt Kreiswellenzahl k auch die Wellenzahl $\tilde{\nu}$ nehmen können. Der Zusammenhang ist sehr leicht verfolgbar. Die Wellenzahl setzt sich auf folgende Weise zusammen $\tilde{\nu} = \frac{1}{\text{Wellenlänge}} = \frac{1}{\lambda}$. Wenn wir dies nun mit 2π multiplizieren,

$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\text{Wellenlänge}} = \frac{1}{\lambda} \quad | \cdot 2\pi$$

$$\tilde{\nu} \cdot 2\pi = \frac{2\pi}{\lambda}$$

dann sehen wir ganz deutlich die Beziehung zwischen der Kreiswellenzahl und der Wellenzahl

$$k = \tilde{\nu} \cdot 2\pi$$

Weshalb wir hier die Kreiswellenzahl nehmen, hat einen pragmatischen Grund. Würden wir die Wellenzahl benutzen, kämen wir auf das Plancksche Wirkungsquantum h , wie Planck bei seiner ersten Arbeit. Statt dieser Konstanten benutzt man aber oft lieber $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{k(x(s))}{\omega} \cdot ds = 0$$

Da bei monochromatischen Wellen $\omega = \text{konst.}$ gilt, können wir auch schreiben¹³⁷⁸

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} k \cdot ds = 0$$

Würde das Objekt sich nicht wie eine Welle ausbreiten, sondern eben geradlinig, wären wir zu dieser Formel (Mauertuis-Hamiltonschem Variationsprinzip) gekommen:

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} p \cdot ds = 0$$

Wir sehen, dass die beiden Formeln einander sehr ähneln.

Damit die Teilchenbahn mit der Wellenbahn formell übereinstimmt – und das ist ja unser Wunsch –, sollte die Beziehung¹³⁷⁹ $p = \hbar \cdot k$ gelten.¹³⁸⁰

Was könnte nun \hbar sein? \hbar **ist auf jeden Fall eine Konstante!** Ob sie für jede Sorte von Materie dieselbe ist oder nicht, könnte man wohl am einfachsten experimentell feststellen. Nach heutigem Wissen liefern experimentelle Ergebnisse immer denselben Wert: $\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6.6 \cdot 10^{-34}}{2\pi} = 10^{-34} [J \cdot s]$. Wir können somit sagen, dass die Beziehung $p = \hbar \cdot k$ sicher allgemein gilt. Da Impuls und Energie stets zueinander in Beziehung stehen, ist es auch sehr vernünftig, wenn wir eine Formel für die Energie finden würden. Wie bereits oben angegeben, ist die Beziehung zwischen der Kreisfrequenz ω , der (Phasen)geschwindigkeit v , und der Kreiswellenzahl k die folgende

$$\vec{v} = \frac{\text{Kreisfrequenz}}{\text{Kreiswellenzahl}} = \frac{d\omega}{d\vec{k}} = \text{Phasengeschwindigkeit}$$

¹³⁷⁸ Dabei steht k natürlich senkrecht zu den Wellenfronten und parallel zur Ausbreitungsrichtung. (vgl. dazu auch REBHAN 2008, S. 37)

¹³⁷⁹ Rein formell ist die Beziehung eigentlich folgendermaßen gegeben

$$\vec{p} = a \cdot \vec{k} + \text{konst.}$$

Physikalisch ist es sinnvoll, dass wir bei $\vec{p} = 0$, auch $\vec{k} = 0$ verlangen. Wir erhalten dann

$$\vec{p} = a \cdot \vec{k}$$

Nun hat sich historisch eben ergeben, dass $a = \hbar$. Deshalb kommen wir zu

$$\vec{p} = \hbar \cdot \vec{k}.$$

vgl. dazu REBHAN 2008, S. 37

¹³⁸⁰ Dass unser Wunsch dabei tatsächlich in Erfüllung geht, wollen wir an einem kurzen Beispiel demonstrieren. Dazu werden wir hier die de-Broglie-Beziehung $p = \hbar \cdot k$ und $E = \hbar \cdot \omega$ vorwegnehmen und zeigen, dass die Phasengeschwindigkeit (v_{Phase}) der Welle (oder eigentlich genauer: des Wellenpaketes) gleich ist der Teilchengeschwindigkeit (v):

$$v_{\text{Phase}} = \frac{d\omega}{dk} = \frac{dE/\hbar}{dp/\hbar} = \frac{dE}{dp} = \frac{d\left(\frac{m \cdot v}{2}\right)^2}{dp} = \frac{d\left(\frac{p}{2m}\right)^2}{dp} = \frac{p}{m} = \frac{\cancel{m} \cdot v}{\cancel{m}} = v$$

vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 260; und REBHAN 2008, S. 39

Der Impuls p und die Energie E eines Teilchens ist (aus der klassischen Physik) folgendermaßen gegeben:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad \rightarrow \quad \vec{v} = \frac{\vec{p}}{m}$$

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + V(x) = \frac{\overline{p^2}}{2 \cdot m} + V(x)$$

Dass die beiden Terme $\frac{\vec{p}}{m}$ und $\frac{\overline{p^2}}{2m}$ einander sehr ähneln, weist natürlich auf eine Beziehung hin:

$$\vec{v} = \frac{dE}{d\vec{p}} = \frac{d\left(\frac{\overline{p^2}}{2m}\right)}{d\vec{p}} = \frac{2 \cdot \vec{p}}{2 \cdot m} = \frac{\vec{p}}{m}$$

Wenn wir nun für die (Phasen)geschwindigkeit $\vec{v} = \frac{d\omega}{dk}$ und für den Impuls $p = \hbar \cdot k$ nehmen, und noch dazu wissen, dass $\vec{v} = \frac{dE}{d\vec{p}}$ gilt, dann erkennen wir die folgende Beziehung

$$\vec{v} = \frac{d\omega}{dk} \quad | \cdot \hbar$$

$$\vec{v} = \frac{d(\hbar \cdot \omega)}{d(\hbar \cdot k)} \quad | \vec{v} = \frac{dE}{d\vec{p}}$$

$$\vec{v} = \frac{d(\hbar \cdot \omega)}{d(\hbar \cdot k)} = \frac{dE}{d\vec{p}}$$

Es ist sofort ersichtlich, dass für die Energie physikalisch nur die Beziehung¹³⁸¹ $E = \hbar \cdot \omega$ gelten kann. Wir halten an dieser Stelle fest:

$$p = \hbar \cdot k$$

$$E = \hbar \cdot \omega$$

Diese beiden Gleichungen wurden zuerst von Louis de Broglie vorgeschlagen¹³⁸², für welche er 1929 den Nobelpreis bekam.¹³⁸³

¹³⁸¹ Rein Formell ist die Beziehung eigentlich folgendermaßen gegeben

$$E = a \cdot \omega + konst.$$

Physikalisch ist es sinnvoll, dass wir bei $E = 0, \omega = 0$ verlangen. Wir erhalten dann

$$E = a \cdot \omega$$

Nun hat sich historisch eben ergeben, dass $a = \hbar$. Deshalb kommen wir zu

$$E = \hbar \cdot \omega$$

vgl. REBHAN 2008, S. 39

¹³⁸² De Broglies ursprüngliche Gleichungen hatte eigentlich diese Form

$$E = h \cdot f$$

$$p = h \cdot \lambda$$

Das bedeutet aber eigentlich alles dasselbe. In der Form, welche wir in dieser Arbeit benutzen, haben wir auch zugleich die Bedingung, dass die Phasengeschwindigkeit der Welle der Teilchengeschwindigkeit entspricht. (vgl. dazu auch TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 237, 260)

¹³⁸³ Dabei war es natürlich wichtig, dass de Broglie mit seiner Hypothese nicht nur einiges bereits Bekanntes verständlich machen konnte; zum Beispiel die Quantelung des Elektronendrehimpulses in einem Wasserstoffatom, nach dem Atommodell von Bohr (vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 238). Er tätigte auch

Wir sehen auf Grund der de-Broglie-Beziehungen, dass wir sowohl um den Impuls als auch die Energie eines Quantenobjekts zu beschreiben, die Naturkonstante $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ benötigen. (Die Zustände der Quantenobjekte sind also *gequantelt*.) Somit ist das *Prinzip der Besonderheit* erfüllt.

Das Prinzip der Einfachheit

Wir benötigen natürlich eine Gleichung, die nun die Dynamik des Teilchenobjekts beschreibt, welches das *Kosmologische Prinzip* erfüllt. Wie schon öfters darauf hingewiesen, würde sich eine *Wellengleichung am besten* dafür eignen.

Als Ausgangspunkt nehmen wir den Energieerhaltungssatz eines Teilchens (aus der klassischen Mechanik):

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + V(x) = \frac{(m \cdot v)^2}{2m} + V(x) = \frac{(p)^2}{2m} + V(x)$$

Nun setzen wir die de-Broglie-Beziehungen in diese Formel ein und erhalten

$$E = \frac{(p)^2}{2m} + V(x) \quad | \quad p = \hbar \cdot k \text{ und } E = \hbar \cdot \omega$$

$$\hbar \cdot \omega = \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2m} + V(x)$$

Diese Gleichung bezeichnet man auch als Dispersionsrelation.¹³⁸⁴ Wie wir sehen können, ist der Zusammenhang zwischen ω und k nicht linear ($\omega \cdot \dots \neq k \cdot \dots$). Das erschwert ein wenig die Angelegenheit. (Wir wissen, dass wenn wir eine harmonische Wellenfunktion nach der Zeit ableiten, bekommen wir den Faktor ω , und nach der Ableitung nach dem Ort erhalten wir k . Dabei entsteht ein Wellenpaket eben aus Überlagerung solcher harmonischen Wellen.)¹³⁸⁵ Das bedeutet die Gleichung, welche wir suchen, sollte irgendwie die erste Ableitung nach der Zeit mit der zweiten Ableitung nach dem Ort in Beziehung setzen können. Wir könnten hier zwar einiges ausprobieren¹³⁸⁶,

Voraussagen, wie die Beugung bzw. Interferenzerscheinungen von Elektronen an Hindernissen (vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 240), welche man überprüfen konnte. Diese Voraussage konnte Davisson (und sein Assistent Germer) (1927) vortrefflich bestätigen. 10 Jahre später bekam auch er den Nobelpreis (vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 241-242).

¹³⁸⁴ vgl. REBHAN 2008, S. 40

¹³⁸⁵ Wellenpakete bespricht Schrödinger in SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 501

¹³⁸⁶ Wir wollen hier wenigstens einen falschen Weg gehen und *falsifizieren*, um zu sehen, dass unsere obige Annahme sehr vernünftig ist. Wir könnten beispielsweise die (reelle) Wellenfunktion $\psi = y = \cos(kx - \omega t)$ benutzen. Wir leiten die Funktion einmal nach der Zeit ab

$$\frac{\partial y}{\partial t} = -\sin(kx - \omega t) \cdot (-\omega) = \sin(kx - \omega t) \cdot \omega$$

und zweimal nach dem Ort

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -\cos(kx - \omega t) \cdot k^2$$

Wenn wir diese mit \hbar bzw. $\frac{\hbar^2}{2m}$ multiplizieren, erhalten wir

$$\hbar \cdot \psi = \frac{\partial y}{\partial t} = \hbar \cdot \omega (\sin(kx - \omega t)) = E \cdot (\sin(kx - \omega t))$$

und

$$\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\hbar^2}{2m} \cdot k^2 (-\cos(kx - \omega t)) = \frac{p^2}{2m} \cdot (-\cos(kx - \omega t))$$

doch nehmen wir einfach an, dass die Lösung der gesuchten Gleichung die ebene monochromatische Welle

$$\psi(x, t) = e^{i(kx - \omega t)}$$

darstellt. Wir leiten¹³⁸⁷ also einmal nach der Zeit ab und multiplizieren mit $i \cdot \hbar$

$$\frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} e^{i(kx - \omega t)} = -i\omega \cdot e^{i(kx - \omega t)} = -i\omega \cdot \psi(x, t) \quad | \cdot i \cdot \hbar$$

$$i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = (-i \cdot i) \cdot (\hbar \cdot \omega) \cdot \psi(x, t) \quad | \hbar \cdot \omega = E \quad | (-i \cdot i) = -i^2 = 1$$

$$i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = E \cdot \psi(x, t) \quad \text{Gl. (24)}$$

Nun leiten wir die Funktion zweimal nach dem Ort ab und multiplizieren mit \hbar

$$\frac{\partial \psi(x, t)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} e^{i(kx - \omega t)} = i \cdot k \cdot e^{i(kx - \omega t)} = i \cdot k \cdot \psi(x, t)$$

$$i \cdot k \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial x} = i \cdot k \cdot i \cdot k \cdot e^{i(kx - \omega t)} = i^2 \cdot k^2 \cdot e^{i(kx - \omega t)} \quad | i^2 = -1 \quad | \cdot \frac{\hbar^2}{2m}$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} = -\frac{\hbar^2}{2m} \cdot k^2 \cdot e^{i(kx - \omega t)} = -\frac{\hbar^2}{2m} \cdot k^2 \cdot \psi(x, t) \quad \text{Gl. (25)}$$

Die Gleichung ergibt sich nun¹³⁸⁸ aus Gl. (24) und Gl. (25) zu

$$i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x, t) \cdot \psi(x, t)$$

Diese Gleichung geht historisch auf Erwin Schrödinger zurück und wird daher die Schrödingergleichung genannt.¹³⁸⁹ Erwin Schrödinger bekam (gemeinsam mit Paul Dirac) 1933 den Nobelpreis.

Wir hätten also damit eine Gleichung der Form

$$\hbar \cdot (\sin(kx - \omega t)) = \frac{\hbar^2}{2m} (-\cos(kx - \omega t))$$

Dass diese Gleichung nicht die richtige sein kann, ist eigentlich auf dem ersten Blick erkennbar: Wir haben links (Sinusfunktion) und rechts (Kosinusfunktion) gegensinnige Funktionen.

Ähnlich könnten wir auch gegen die Wellenfunktion $\psi = y = \sin(kx - \omega t)$ argumentieren. (vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 286)

Es liegt daher klar auf der Hand, dass wir keine reelle Wellenfunktion benutzen können. Ein neuer Ansatz wäre deshalb die Wellenfunktion in der komplexen Zahlenebene zu suchen. Da bietet sich eben $e^{i(kx - \omega t)} = \cos(kx - \omega t) + i \cdot \sin(kx - \omega t)$ an. Dabei ist $i = \sqrt{-1}$.

¹³⁸⁷ vgl. dazu Baumgartner VO L2, S. 63-64

¹³⁸⁸ Dabei wird aus $V(x, t) = V(x, t) \cdot \psi(x, t)$.

Das wird verständlich, wenn wir wieder von der Schrödingergleichung auf die Dispersionsrelation zurück kommen wollen würden; dann müssten wir überall $\psi(x, t)$ herausheben. Und das geht nur, wenn $V(x, t) \cdot \psi(x, t)$ in der Schrödingergleichung steht.

¹³⁸⁹ In der Originalarbeit finden wir natürlich die Schrödingergleichung nicht in dieser Form, wie wir sie heute in den Lehrbüchern finden. Dort wird sie als die Gleichung (4“) angegeben:

Da diese Gleichung aber die Dynamik eines Quantenobjekts darstellt – welches zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort zu finden (=lokalisiert) war – sollte natürlich *prinzipiell* ihre spätere Position wieder angebar sein.¹³⁹⁰ Die Schrödingergleichung beschreibt ein freies Teilchen mit einer Wellenfunktion. Das bedeutet: Das *Prinzip der Einfachheit* ist erfüllt.

$$\Delta\psi - \frac{8\pi^2}{h^2} V\psi \mp \frac{4\pi i}{h} \frac{\partial\psi}{\partial t} = 0$$

Man erkennt auf den ersten Blick, dass Schrödinger statt \hbar die Planck'sche Wirkungskonstante h benützt. Wir wissen, dass die Beziehung in der Form $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ gegeben ist. Wenn wir das in die originale Schrödingergleichung einsetzen, erhalten wir:

$$\begin{aligned} \Delta\psi - \frac{8\pi^2}{h^2} V\psi \mp \frac{4\pi i}{h} \frac{\partial\psi}{\partial t} = 0 & \quad | \quad \Delta\psi = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} \quad | \quad \hbar \cdot 2\pi = h \\ \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} - \frac{8\pi^2}{4\pi^2 \cdot h^2} V\psi \mp \frac{4\pi i}{2\pi \cdot h} \frac{\partial\psi}{\partial t} = \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} - \frac{2}{h^2} V\psi \mp \frac{2i}{h} \frac{\partial\psi}{\partial t} = 0 & \quad | \quad \cdot \frac{h^2}{2} \\ \frac{\hbar^2}{2} \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} - V\psi \mp \frac{i \cdot \hbar \cdot \partial\psi}{\partial t} = 0 & \quad | \quad - \left(\frac{\hbar}{2} \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} - V\psi \right) \end{aligned}$$

$$\mp i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial\psi}{\partial t} = -\frac{\hbar}{2} \cdot \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + V\psi$$

Wir sehen, das passt mit unserer Schrödingergleichung recht gut zusammen. (In dieser Formel „fehlt“, wie man sieht, noch die Masse m . Das geht auf die verwendete Wellenfunktion ψ zurück, worauf wir aber nicht weiter eingehen wollen.)

¹³⁹⁰ Das ist insofern ein Problem, da physikalische Messungen stets reell sind. So ist also die Wellenfunktion selbst gar nicht (direkt) messbar. Wir bedienen uns hier eines mathematischen Tricks: Wenn wir ein Quantenobjekt in einem kleinen Raum dx finden wollen, dann können wir das auf folgende Weise berechnen

$$\psi^*(x, t) \cdot \psi(x, t) = |\psi(x, t)|^2 dx$$

Dabei ist $\psi^*(x, t)$ die konjugiert komplexe Funktion zu $\psi(x, t)$. (Das bedeutet man vertauscht einfach i durch $-i$.) Die Lösung wäre aber nicht ein bestimmter Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt. Wenn wir beispielsweise von einem Quantenobjekt wüssten, wo es sich zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Punkt befindet, dann würden wir durch $\psi^*(x, t) \cdot \psi(x, t) = |\psi(x, t)|^2 dx$ die Fläche einer Kugel als Lösung erhalten. Wobei der Mittelpunkt der Kugel genau jener Ort wäre, von wo das Quantenobjekt gestartet hätte. So kann die Lösung nur als eine Wahrscheinlichkeitsaussage $P(x, t)$ interpretiert werden:

$$P(x, t) dx = \psi^*(x, t) \cdot \psi(x, t) = |\psi(x, t)|^2 dx = \sigma$$

Diese Interpretation stammt von Max Born, und wird sozusagen zusätzlich postuliert. Sie gibt die Wahrscheinlichkeitsdichte (σ) eines Quantenobjektes an, es an einer bestimmten Stelle zu finden. Wenn wir beispielsweise ein Elektron haben, dann können wir auf Grund von Erhaltungssätzen – der Teilchenzahl, Ladungszahl usw. – davon ausgehen, dass das Elektron auch (später) mit Sicherheit irgendwo im Raum zu finden sein wird:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x, t) \cdot \psi(x, t) dx = 1$$

(Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 287-288 und REBHAN 2008, S. 61.)

Aber auch Schrödinger selbst setzt sich mit der Interpretation seiner Wellenfunktion sehr früh auseinander. vgl. dazu SCHRÖDINGER (IV) 1926, S. 135

Wir konnten hoffentlich zeigen, dass somit die von uns vorgeschlagenen *Prinzipien der Quantenmechanik widerspruchsfrei, unabhängig, für eine Deduktion der QM hinreichend* und vor allem *notwendig* (= frei von allen überflüssigen Annahmen) sind.¹³⁹¹

¹³⁹¹ Siehe dazu die Grundbedingungen eines theoretisch axiomatischen Systems bei POPPER 2005, S. 48

Die Schrödingergleichung „abgeleitet“ von den Prinzipien der modernen Physik

Natürlich kann man die Schrödingergleichung, so wenig wie die Newtonschen Gesetze oder die Einsteinschen Prinzipien herleiten bzw. ableiten. Sie werden stets postuliert. Mit „abgeleitet“ meinen wir hier eigentlich, dass die Schrödingergleichung unsere Anforderungen auf einfachste bzw. auf die beste Weise löst. (Um die Entwicklung der Quantentheorie verständlicher nachzeichnen zu können, werden wir hier die Reihung der Prinzipien ändern.)

Das Prinzip der Ökonomie

Wir wissen bereits, dass wir das Prinzip der Ökonomie für die geometrische Optik benutzen können – so wie es beispielsweise Fermat tat. Doch kann das nur ein Grenzfall sein, da Licht auch Beugungs- bzw. Interferenzerscheinungen zeigt (, welche Newton auch schon beobachtete). Wir können, schon aus logischen Überlegungen sagen, dass wenn die Wellenlänge (λ) sehr klein ist gegenüber Öffnungen \ddot{O} (und Hindernissen) usw. ($\frac{\lambda}{\ddot{O}} \rightarrow 0$)¹³⁹², dann können wir ihre Bahn weitgehend als eine gerade beschreiben. Dadurch können wir auch das Fermatsche Prinzip benutzen.¹³⁹³ Nach diesem Prinzip nimmt ja der Lichtstrahl bzw. Lichtteilchen, wie wir bereits besprochen haben, zwischen zwei Orten (=Punkten) im Raum x_1 und x_2 genau jene Bahn $x(t)$, welche „im Vergleich zu allen nicht durchlaufenen (virtuellen) Nachbarbahnen die kürzeste Zeit benötigt“¹³⁹⁴:

$$\delta \int_{t(x_1)}^{t(x_2)} dt = \delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{dt}{ds} \cdot ds = 0$$

Nun wissen wir natürlich, dass $\frac{ds}{dt} = v$ ist. Da die Teilchen, welche wir betrachten, sich wie Wellen ausbreiten sollen, gehen wir bei v von einer Phasengeschwindigkeit aus und setzen in die Formel ein

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{dt}{ds} \cdot ds \quad | \quad \frac{dt}{ds} = \frac{1}{v} = \frac{1}{\text{Phasengeschwindigkeit}}$$

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{1}{v} \cdot ds$$

Nun könnten wir diese Formel so umschreiben, dass wir den Brechungsindex gleich einbeziehen

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{1}{v} \cdot ds \quad | \quad n = \frac{\text{Phasengeschwindigkeit im Vakuum}}{\text{Phasengeschwindigkeit im Medium}} = \frac{c}{v} = \text{Brechungsindex}$$

¹³⁹² vgl. dazu TIPLER/MOSCA 2009, S. 239

¹³⁹³ Die Argumentationslinie wurde hier beinahe gänzlich von Rebhan übernommen. Gerne verweisen wir hier auf REBHAN 2008, S. 36-37.

¹³⁹⁴ REBHAN 2008, S. 37

Auch die Schreibweise der Formeln wurden von dort übernommen.

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{n(x(s))}{c} \cdot ds = 0$$

Wir könnten natürlich schon zufrieden sein. Doch sehen wir, dass in unserer Beschreibung, nichts angegeben ist, wodurch wir die Welleneigenschaft messen können. Das bedeutet, wir nehmen am besten eine andere Schreibweise und verzichten dabei auf den Brechungsindex, welcher uns hier ja gar nicht interessiert. Somit erhalten wir

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{1}{v} \cdot ds \quad | \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\text{Kreisfrequenz}}{\text{Phasengeschwindigkeit}} = \frac{\omega}{v} = \text{Kreiswellenzahl}$$

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} \frac{k(x(s))}{\omega} \cdot ds = 0$$

Da bei monochromatischen Wellen $\omega = \text{konst.}$ gilt, können wir auch schreiben¹³⁹⁵

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} k \cdot ds = 0$$

Nun können wir diese Formel mit Maupertuis-Hamiltonschem Variationsprinzip

$$\delta \int_{s(x_1)}^{s(x_2)} p \cdot ds = 0$$

vergleichen. Wir sehen, dass die beiden Formeln einander sehr ähneln. Damit die Teilchenbahn mit der Wellenbahn formell übereinstimmt – und das ist ja auch unser Wunsch –, sollte diese Beziehung $p = \hbar \cdot k$ gelten. (Dabei fordern wir ganz einfach: Wenn $p = 0$, dann auch $k = 0$).

\hbar ist auf jeden Fall eine Konstante. Ob sie für jede Art der Materie dieselbe ist oder nicht, könnte man wohl am einfachsten experimentell feststellen. Nach heutigem Wissen liefern experimentelle Ergebnisse immer denselben Wert: $\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6.6 \cdot 10^{-34}}{2\pi} = 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]$. Wir können somit sagen, dass die Beziehung $p = \hbar \cdot k$ sicher allgemein gilt. Da Impuls und Energie stets gewissermaßen in Beziehung stehen, ist es auch sehr vernünftig, wenn wir eine Formel für die Energie finden würden. Wir wissen, dass die relativistische Energie (aus der Einsteinschen Mechanik) folgende Form hat

$$E^2 = m^2 \cdot c^4 + p^2 \cdot c^2$$

Wobei c hier eben die Phasengeschwindigkeit darstellt. Da die Lichtteilchen keine Ruhemasse haben, können wir diese Formel auch kürzer schreiben und setzen gleich für p ein und erhalten

$$E = p \cdot c \quad | \quad p = \hbar \cdot k$$

$$E = \hbar \cdot k \cdot c$$

Wir könnten die Formel zwar schon so lassen, doch lässt sie sich noch knapper schreiben

$$E = \hbar \cdot k \cdot c \quad | \quad k = \frac{\text{Kreisfrequenz}}{\text{Phasengeschwindigkeit}} = \frac{\omega}{v} = \frac{\omega}{c}$$

¹³⁹⁵ Dabei steht k natürlich „senkrecht zu den Wellenfronten und parallel zum geometrischen Lichtweg“. REBHAN 2008, S. 37

$$E = \hbar \cdot k \cdot \frac{\omega}{\epsilon} \cdot \epsilon = \hbar \cdot \omega$$

Diese neuen Beziehungen

$$p = \hbar \cdot k$$

$$E = \hbar \cdot \omega$$

die wir hier gefolgert haben, wurde zuerst von Louis de Broglie vorgeschlagen. Das Besondere an de Broglies Arbeit war, dass er die Interferenz und Beugungseigenschaften des Lichtteilchens bzw. Photons auch für andere Teilchen, wie zum Beispiel Elektronen, Neutronen usw. voraussetzte. De Broglie berichtet über seine Entdeckung folgendermaßen:

„Nach dem Ende des Ersten Weltkrieges dachte ich viel über die Quantentheorie und den Welle-Teilchen-Dualismus nach . . . Plötzlich hatte ich eine Eingebung: Der von Einstein postulierte Welle-Teilchen-Dualismus musste ein absolut allgemeines, der gesamten physikalischen Natur innewohnendes Phänomen sein.“¹³⁹⁶

Tipler und Llewellyn kommentieren de Broglies Zeilen folgendermaßen: „De Broglies Hypothese ist deshalb eine grundsätzliche Aussage über die allumfassende Symmetrie der Natur.“¹³⁹⁷ Das bedeutet, dass wir sicher auf dem besten Weg sind, die Natur, so schön und einfach wie möglich zu beschreiben. Einstein selbst beschreibt die de-Broglie-Hypothese in einem Brief an Lorentz als den „ersten schwachen Lichtstrahl, der auf eines . . . der dunklen Geheimnisse der Physik fällt.“¹³⁹⁸

Dabei war es natürlich wichtig, dass de Broglie mit seiner Hypothese nicht nur einiges bereits Bekanntes verständlich machen konnte – wie zum Beispiel die Quantelung des Elektronendrehimpulses in einem Wasserstoffatom, nach dem Atommodell von Bohr¹³⁹⁹ –, sondern auch Voraussagen tätigte, wie die Beugung bzw. Interferenzerscheinungen von Elektronen an Hindernissen, welche man überprüfen konnte.¹⁴⁰⁰ Diese Voraussage konnte Davisson (und sein Assistent Germer) 1927 vortrefflich bestätigen. 10 Jahre später bekam auch er den Nobelpreis.¹⁴⁰¹ Wir wollen, als eine Überleitung, noch Davisson zitieren: „In der Physik gab es bislang wohl keine Idee, die so schnell oder so energisch umgesetzt wurde wie diese. De Broglie selbst gehörte zu den treibenden Kräften, die wichtigeren Beiträge wurden jedoch vom älteren und erfahreneren Schrödinger geleistet.“¹⁴⁰² So wollen wir nun zur Schrödingergleichung gelangen.

¹³⁹⁶ zitiert nach TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 237

¹³⁹⁷ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 237

¹³⁹⁸ zitiert nach TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 237

¹³⁹⁹ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 238

¹⁴⁰⁰ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 240

¹⁴⁰¹ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 241-242

¹⁴⁰² TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 246-247

Hier sei jedoch wenigstens noch erwähnt, dass Schrödinger schon in seiner ersten Mitteilung bekannt gab, dass er die Anregung zu diesen Gedankengängen de Broglies Thesen verdankt.

vgl. *SCHRÖDINGER (I)* 1926, S. 372

Auch in der zweiten Mitteilung erwähnt er de Broglie. (vgl. *SCHRÖDINGER (II)* 1926, S. 499)

Das Prinzip des Erhaltungssatzes

Wie kommen wir nun am schnellsten zur Schrödingergleichung, welche die Wellenmechanik bzw. die Quantenmechanik beschreibt? Aufgrund des Prinzips der Ökonomie wissen wir, dass sicher auch das Korrespondenzprinzip gelten muss. Das heißt, wir sollten am besten vom Energieerhaltungssatz eines freien Teilchens ausgehen, welches uns in der klassischen Mechanik noch auf folgenderweise gegeben ist:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + V(x) = \frac{(m \cdot v)^2}{2m} + V(x) = \frac{(p)^2}{2m} + V(x)$$

Nun setzen wir in diese Formel die de-Broglie-Beziehungen ein und erhalten

$$E = \frac{(p)^2}{2m} + V(x) \quad | \quad p = \hbar \cdot k \text{ und } E = \hbar \cdot \omega$$

$$\hbar \cdot \omega = \frac{\hbar^2 \cdot k^2}{2m} + V(x)$$

Diese Gleichung bezeichnet man auch als die *Dispersionsrelation*.¹⁴⁰³ Wie wir sehen können, ist der Zusammenhang zwischen ω und k nicht linear ($\omega \cdot \dots \neq k \cdot \dots$). Das erschwert ein wenig die Angelegenheit. Die Schrödingergleichung muss irgendwie die erste Ableitung nach der Zeit mit der zweiten Ableitung nach dem Ort in Beziehung setzen können. Wir könnten hier zwar einiges ausprobieren, doch nehmen wir einfach an, dass die Lösung der gesuchten Schrödingergleichung die ebene monochromatische Welle

$$\psi(x, t) = e^{i(kx - \omega t)}$$

darstellt. Wir „leiten“¹⁴⁰⁴ also einmal nach der Zeit ab und multiplizieren mit $i \cdot \hbar$

$$\frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} e^{i(kx - \omega t)} = -i\omega \cdot e^{i(kx - \omega t)} = -i\omega \cdot \psi(x, t) \quad | \cdot i \cdot \hbar$$

$$i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = (-i \cdot i) \cdot (\hbar \cdot \omega) \cdot \psi(x, t) \quad | \hbar \cdot \omega = E \quad | (-i \cdot i) = -i^2 = 1$$

$$i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = E \cdot \psi(x, t) \quad \text{Gl. (26)}$$

Nun leiten wir die Funktion zweimal nach dem Ort ab und multiplizieren mit \hbar

$$\frac{\partial \psi(x, t)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} e^{i(kx - \omega t)} = i \cdot k \cdot e^{i(kx - \omega t)} = i \cdot k \cdot \psi(x, t)$$

$$i \cdot k \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial x} = i \cdot k \cdot i \cdot k \cdot e^{i(kx - \omega t)} = i^2 \cdot k^2 \cdot e^{i(kx - \omega t)} \quad | \quad i^2 = -1 \quad | \cdot \frac{\hbar^2}{2m}$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} = -\frac{\hbar^2}{2m} \cdot k^2 \cdot e^{i(kx - \omega t)} = -\frac{\hbar^2}{2m} \cdot k^2 \cdot \psi(x, t) \quad \text{Gl. (27)}$$

Die Schrödingergleichung ergibt sich nun aus Gl. (26) und Gl. (27) zu

$$i \cdot \hbar \cdot \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x, t) \cdot \psi(x, t)$$

¹⁴⁰³ vgl. REBHAN 2008, S. 40

¹⁴⁰⁴ vgl. dazu BAUMGARTNER 2010, S. 63-64

Wir konnten sehen, dass die Schrödingergleichung eine Wellenfunktion eines freien Teilchens darstellt. Diese ist aber nicht reell, sondern komplex. Das ist insofern ein Problem, da physikalische Messungen stets reell sind. So ist also die Wellenfunktion selbst gar nicht messbar. Wir können daher womöglich sagen:

Sowie der Äther in die vierdimensionale Raum-Zeit übergeht und dadurch nicht mehr vorgestellt werden kann, so ist auch die Wellengleichung, welche die Dynamik der Objekte mit Masse in diesem „Äther“ beschreibt, nicht mehr vorstellbar. Einzig mit Analogien aus unserem Alltag können wir uns gedanklich daran annähern. In ihrer letzten Konsequenz überschreiten diese Theorien aber unseren Alltag und somit auch unsere *Theory of Mind* bzw. unseren *Perspektivenwechsel*.

Was messbar ist, bleibt aber beispielsweise Folgendes: Wenn wir ein Elektron in einem kleinen Raum dx finden wollen, dann können wir die Wahrscheinlichkeit $P(x, t) dx$ so angeben¹⁴⁰⁵

$$P(x, t) dx = \psi^*(x, t) \cdot \psi(x, t) = |\psi(x, t)|^2 dx = \sigma$$

Dabei ist $\psi^*(x, t)$ die konjugiert komplexe Funktion zu $\psi(x, t)$. (Das bedeutet man vertauscht einfach i durch $-i$.)¹⁴⁰⁶ Diese Interpretation, welche von Max Born stammt, und zusätzlich postuliert werden muss, hat eine sehr große Bedeutung in der QM. Sie gibt die Wahrscheinlichkeitsdichte (σ) ein Quantenobjekt an einer bestimmten Stelle zu finden.¹⁴⁰⁷ Wenn wir beispielsweise ein Elektron haben, dann können wir auf Grund von Erhaltungssätzen – der Teilchenzahl, Ladungszahl usw. – davon ausgehen, dass das Elektron auch später mit Sicherheit irgendwo im Raum zu finden sein wird¹⁴⁰⁸:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x, t) \cdot \psi(x, t) dx = 1$$

Dabei bedeutet der 1er, dass das Elektron eben irgendwo zu Hundert Prozent zu finden sein wird. (Diese Bedingung hat natürlich mehr praktische, als theoretische Gründe.)¹⁴⁰⁹ Diese mathematische Beschreibung bezeichnet man auch als die *Normierungsbedingung*. Sie schränkt viele der Lösungen der Schrödingergleichung ein.

Das Prinzip der Invarianz

Dieses Prinzip ist natürlich von großer Bedeutung! Unser Wunsch ist es, dass die Naturgesetze (= Schrödingergleichung) die Entwicklung der Wellenpakete stets richtig beschreiben, unabhängig von

¹⁴⁰⁵ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 287

$\psi^*(x, t) \cdot \psi(x, t)$ ist bei Schrödinger beispielsweise zu finden in SCHRÖDINGER (IV) 1926, S. 117-118. (Besonders interessant ist die Fußnote 2 auf der Seite 117.)

¹⁴⁰⁶ Wir wollen das hier nur an Beispiel komplexer Zahlen wiedergeben. Eine komplexe Zahl hat die Form $z = a + bi$, wobei a und b reelle Zahlen sind und $i = \sqrt{-1}$ ist. Die komplex konjugierte Form z^* davon ist $z^* = a - bi$. So erhalten wir für $z^* \cdot z = (a - bi) \cdot (a + bi) = a^2 - i^2 b^2 = a^2 + b^2$. Wir sehen, dass unser Ergebnis aus reellen Zahlen besteht. (Interessant ist, dass unser reelles Endergebnis auch einen imaginären Beitrag enthält.) vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 287, Fußnote 5

¹⁴⁰⁷ Wir wollen hier zwar nicht weiter darauf eingehen, doch sie erfüllt eine bestimmte Kontinuitätsgleichung. vgl. REBHAN 2008, S. 61

¹⁴⁰⁸ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 288

¹⁴⁰⁹ vgl. dazu REBHAN 2008, S. 64

Ort (Translationsinvarianz), Richtung (Drehinvarianz), und Zeit (Zeitinvarianz). Wir wollen die Beziehungen (in einer Dimension), um eine knappe Übersicht zu haben, wiedergeben¹⁴¹⁰:

Homogenität des Raumes		
Translationsinvarianz ¹⁴¹¹ :		Impulserhaltung:
$\left[i \cdot \hbar \frac{\partial}{\partial t}, \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \right] = [H, p_x] = 0$	→	$\langle p \rangle = \text{konst.}$

Isotropie des Raumes		
Drehinvarianz ¹⁴¹² :		Drehimpulserhaltung:
$\left[i \cdot \hbar \frac{\partial}{\partial t}, r \times \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \right] = [H, l] = 0$	→	$\langle l \rangle = \text{konst.}$

Homogenität der Zeit		
Zeittranslationsinvarianz ¹⁴¹³ :		Energieerhaltung:
$\frac{\partial (i \cdot \hbar \frac{\partial}{\partial t})}{\partial t} = \frac{\partial \left(\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x) \right)}{\partial t} = \frac{\partial (H)}{\partial t} = 0$	→	$\langle H \rangle = \text{konst.}$

Nur weil die oben genannten Beziehungen stimmen, können wir von einem homogenen und isotropen Raum und von einer homogenen Zeit sprechen. Und das ist gewährleistet.

Somit können wir sagen, dass durch die Quantenmechanik das Kosmologische Prinzip erfüllt ist. (Die komplexe Wellenfunktion der Schrödingergleichung baut auf dem Kosmologischen Prinzip auf bzw. verlangt nach ihr.)

¹⁴¹⁰ Wir wollen aus Platzgründen nicht näher darauf eingehen. Wenn wir vom Impuls oder Drehimpuls usw. sprechen, dann meinen wir natürlich die Mittelwerte, da die QM nur statistische Ergebnisse liefern kann. Den interessierten Leser verweisen wir für einen guten Überblick auf FLIEßBACH (II) 1995, S. 69-74 und für ein tieferes Verständnis gerne auf GREINER/MÜLLER 2005.

¹⁴¹¹ $i \cdot \hbar \frac{\partial}{\partial t} = \text{Hamiltonoperator}$

$\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} = x \text{ Komponente des Impulsoperators}$

$\langle \dots \rangle = \text{Mittelwert}$

$[...] = 0$ bedeutet ganz einfach erklärt, dass die beiden Operatoren kommutieren. Das heißt unter anderem, dass sie beliebig genau gleichzeitig messbar sind. Beispielsweise können auf Grund der Heisenbergschen Unschärferelation der Ort- und Impulsoperator – im Normalfall – nicht kommutieren. Das heißt der Kommutator der Operatoren ist ungleich null:

$[x, p_x] \neq 0$ bzw. $[x, p_x] = i \cdot \hbar$

vgl. Fließbach QM, S. 29-30; (vgl. BAUMGARTNER 2010, S. 67)

¹⁴¹² $r \times \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} = \text{Drehimpulsoperator}$

¹⁴¹³ H ist eben erst dann erhalten, wenn das Potential nicht von der Zeit abhängt $V(x, t) = V(x)$. Deswegen haben wir: $\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x)$

Wir wollen hier etwas Interessantes nicht unerwähnt lassen. Die Schrödingergleichung konnte schon zu ihrem Beginn durch Schrödinger selbst große Erfolge feiern. So gelang es Schrödinger zum ersten Mal (den Heiligen Gral der damaligen theoretischen Physik, nämlich) die Spektren des Wasserstoffatoms zu erklären. Deshalb beginnt er schon seinen ersten (Ab)satz folgendermaßen: „§ 1. In dieser Mitteilung möchte ich zunächst an dem einfachsten Fall des (nichtrelativistischen und ungestörten) Wasserstoffatoms zeigen, daß die übliche Quantisierungsvorschrift sich durch eine andere Forderung ersetzen läßt, in der kein Wort von „ganzen Zahlen“ mehr vorkommt. Vielmehr ergibt sich die Ganzzahligkeit auf dieselbe natürliche Art, wie etwa die Ganzzahligkeit der *Knotenzahl* einer schwingenden Saite. Die neue Auffassung ist verallgemeinerungsfähig und rührt, wie ich glaube, sehr tief an das wahre Wesen der Quantenvorschriften.“¹⁴¹⁴

Es ist insofern eine große Ironie dahinter, wenn man bedenkt, dass Thales – der erste Philosoph nach Platon – meinte alles stamme aus dem Wasser. (Schon die Spektren des Heliumatoms kann man nämlich nur mehr annähern.) Auch war es seit Phytagoras ein sehnlicher Wunsch die Harmonie in der Natur zu entdecken, in dem man eine musikalische Analogie suchte.¹⁴¹⁵ Somit ist durch die quantmechanische Beschreibung des Wasserstoffatoms, deren Spektren Schrödinger mit Hilfe „schwingender Saiten“ berechnet, ein großer naturwissenschaftlicher, philosophischer Kreis geschlossen.

Wir wollen hier noch einmal auf die *Schönheit* hinweisen, mit der die *Schrödingergleichung* diesen Kreis schließt. Sie erfüllt alle Forderungen, die wir an sie gestellt haben mit *maximaler Einfachheit*. Dabei sei nur am Rande erwähnt, dass sie nicht nur die Phänomene der Quantenwelt, sondern auch das *Korrespondenzprinzip* auf einfachste Weise erfüllt.¹⁴¹⁶ (So ist es kein Zufall, dass sie nur räumliche Ableitungen zweiter Ordnung und die erste Ableitung nach der Zeit enthält.) Wir verweisen hier allzu gerne auf Eckhard Rebhan, der zeigt, dass das „**Prinzip der Einfachheit**“¹⁴¹⁷, nämlich, „*dass die „Wellengleichung“ im Rahmen der bisherigen Forderungen **möglichst einfach** sein soll*“¹⁴¹⁸, in Form der Schrödingergleichung gegeben ist.¹⁴¹⁹

¹⁴¹⁴ SCHRÖDINGER (I) 1926, S. 361

¹⁴¹⁵ Um die Beziehung zur Musik zu verdeutlichen, wollen wir (aus der dritten Mitteilung von) Schrödinger zitieren (, wo es um Störungstheorien geht). Dort schreibt er bereits auf der ersten Seite: „Die Methode ist im wesentlichen schon von Lord Rayleigh benützt worden, der in der „Theory of sound“ (2. Aufl. Bd. I, S. 115-118. London 1894) die Schwingungen einer Saite mit *kleinen Unhomogenitäten* untersucht.“ SCHRÖDINGER (III) 1926, S. 437

¹⁴¹⁶ Hier meinen wir mit dem Korrespondenzprinzip nicht nur, wie aus der QM im Grenzfall die klassische Physik folgt, sondern wie auch von einer relativistischen QM, welche wir hier nicht besprochen haben, im Grenzfall die QM abgeleitet wird.

Die relativistische QM geht auf Dirac zurück. Er gilt als einer der größten theoretischen Physiker und bekam im gleichen Jahr wie Schrödinger den Nobelpreis. vgl. dazu FLIEßBACH (II) 1995, S. 19-23

¹⁴¹⁷ vgl. REBHAN 2008, S. 44

Dieses Prinzip sollte nicht mit unserem *Prinzip der Einfachheit* verwechselt werden. Dieses „Prinzip der Einfachheit“ meint eigentlich mehr das *Prinzip der Ökonomie*.

Dass Schrödinger bei der Suche nach der Schrödingergleichung die Einfachheit der Formel selber voraussetzte, ist unter anderem auf Schrödinger II, S. 509 zu finden.

¹⁴¹⁸ vgl. REBHAN 2008, S. 44

¹⁴¹⁹ Auch bei Fließbach ist zu lesen: „Eine alternative Plausibilitätsbetrachtung, die zur freien SG führt, ist folgende: wir suchen eine Differentialgleichung für ein Feld $\psi(r, t)$, die

1. möglichst einfach ist,
2. den Zusammenhängen $E = p^2/2m$, $E = \hbar \cdot \omega$, $p = \hbar \cdot k$ entspricht,
3. dreihinvariant ist.“ FLIEßBACH (II) 1995, S. 23-24

Während Rebhan die maximale Einfachheit der Schrödingergleichung bespricht, zitiert er von Newton eine Stelle, die auch hier sehr passend ist: *„Man darf nicht mehr Ursachen für die in der Natur vorkommenden Dinge zulassen, als wahr sind und zur Erklärung dieser Dinge ausreichen. Sagen doch die Philosophen: Ohne Zweck tut die Natur nichts, und was durch weniger zustande kommen kann, kommt durch mehr ohne Zweck zustande. Denn die Natur ist einfach und leistet sich nicht den Luxus überflüssiger Ursachen für die Dinge.“*¹⁴²⁰

Die QM ist aber nicht nur schön, sondern kann viele Experimente erklären. (Ihrer Gültigkeit sind natürlich, wie bei jeder anderen Theorie auch, Grenzen gesetzt, wenn relativistische Effekte auftreten.) Auch hier gibt es ein Korrespondenzprinzip, wie wir von der QM wieder zur klassischen Physik gelangen. Dieses wollen wir nun besprechen.

¹⁴²⁰ zitiert nach REBHAN 2008, S. 45, Fußnote 2

Das Korrespondenzprinzip: QM → klassische Mechanik

Schrödinger selbst erkannte gleich, in welcher Form das Korrespondenzprinzip wohl zu suchen wäre. *Aus der Optik kannte man schon Welleneigenschaften des Lichtes.* (Ohne zu wissen, dass es eigentlich Quanteneigenschaften waren.) Auch war man sich bewusst, dass wenn die Wellenlänge (je nach Experiment) vernachlässigbar klein war, so konnte man die Strahlen- bzw. geometrische Optik benutzen. Schrödinger schreibt: „[...] *wir wissen doch, daß unsere klassische Mechanik bei sehr kleinen Bahndimensionen und sehr starken Bahnkrümmungen versagt.* Vielleicht ist dieses Versagen eine volle Analogie zum Versagen der geometrischen Optik, d.h. der „Optik mit unendlich kleiner Wellenlänge“, das bekanntlich eintritt, sobald die „Hindernisse“ oder „Öffnungen“ nicht mehr groß sind gegen die wirkliche, endliche Wellenlänge. Vielleicht ist unsere klassische Mechanik das *volle* Analogon der geometrischen Optik und solches falsch, nicht in Übereinstimmung mit der Wirklichkeit, sie versagt, sobald die Krümmungsradien und Dimensionen der Bahn nicht mehr groß sind gegen eine gewisse Wellenlänge, der im q -Raum reale Bedeutung zukommt. Dann gilt es, eine „undulatorische Mechanik“ zu suchen¹⁴²¹ - und der nächstliegende Weg dazu ist wohl die wellentheoretische Ausgestaltung des Hamiltonschen Bildes.“¹⁴²²

Wenn wir uns nicht *ganz* auf die Ebene der Quantenmechanik begeben, so könnten wir ein sehr einfaches *Korrespondenzprinzip* wiedergeben: Wenn die de Broglie Wellenlänge $\lambda = \frac{p}{h}$ sehr klein gegenüber Öffnungen oder Hindernissen (\ddot{O}) ist, dann werden die Interferenz- bzw. Beugungserscheinungen nicht mehr aufscheinen ($\frac{\lambda}{\ddot{O}} \rightarrow 0$).

Dieses Korrespondenzprinzip hilft uns sicher bei ein paar Experimenten, doch benötigen wir ein allgemeineres Korrespondenzprinzip für die QM. Denn da hat die Wellenfunktion eine komplexe Form.

Wenn wir sowohl die QM als auch die klassische Mechanik in ähnliche Schreibweise wiedergeben, erkennen wir, wie das Korrespondenzprinzip in etwa zu verstehen sein wird. Wir wollen das 2. Newtonsche Gesetz links in quantenmechanischer Form und rechts in klassischer Form wiedergeben:
¹⁴²³

$$m \cdot \frac{d^2\langle x \rangle}{dt^2} \sim m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}$$

Dabei bedeutet $\langle x \rangle =$ *Mittelwert des Ortoperators* und $x =$ *Ort*. Das heißt die Werte bzw. die Bahn welche ein klassisches Teilchen beschreibt, ist im Mittelwert der QM als Lösung enthalten. So kommen wir im Grenzfall von der QM in die klassische Mechanik. Nun wissen wir jedoch, dass wenn

¹⁴²¹ Hier macht Schrödinger eine Fußnote und verweist auf Einstein.

¹⁴²² SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 496-497; vgl. dazu auch SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 506

¹⁴²³ Hier wäre es natürlich ein großer Fehler, die beiden Seiten allzu sehr gleich zu setzen. Klassische Mechanik wurde eigentlich durch die Mikrophysik *falsifiziert*. Was in der QM mit Ort und Impuls gemeint ist, ist sehr schwer mit den Begriffen der klassischen Mechanik zu vergleichen.

Interessierte Leser verweisen wir gerne auf REBHAN 2008, S. 82-82, wo die Ehrenfestschen Theoreme behandelt werden. Oder auf FLIEßBACH (II) 1995, S. 73-74

wir den Ort kennen, dann aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation¹⁴²⁴ der Impuls unendlich unscharf wird¹⁴²⁵:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Inwiefern gilt dann das Korrespondenzprinzip, wenn doch anscheinend die Unschärferelation zeigt, dass die klassische Mechanik zu keinen richtigen Aussagen gelangen kann? Der Widerspruch löst sich auf, wenn wir uns das Korrespondenzprinzip noch aus einer anderen Perspektive zugänglich machen.

Nehmen wir an¹⁴²⁶, wir können den Ort eines Elektrons mit einer Genauigkeit von $\Delta x \approx 10^{-10} [m]$ angeben.¹⁴²⁷ Ein Elektron hat ca. $m \approx 10^{-30} kg$. Dann könnten wir dessen Impuls- bzw. die Geschwindigkeitsunschärfe leicht berechnen

$$\Delta v \geq \frac{\hbar}{2 \cdot m \cdot \Delta x} \approx \frac{10^{-34}}{2 \cdot 10^{-30} \cdot 10^{-10}} = 5 \cdot 10^5 \left[\frac{m}{s} \right] \approx 1800000 \left[\frac{km}{h} \right]$$

Das diese Geschwindigkeit technisch messbar ist, brauchen wir wohl noch kaum zu diskutieren. Die Geschwindigkeit, welche die Unschärferelation den Quantenobjekten verleiht ist wirklich sehr groß!

Nun schauen wir uns ein Objekt aus dem Alltag an. Ein Apfel wiegt beispielsweise in etwa $m \approx 10^{-1} [kg]$. Wenn wir uns Mühe geben, könnten wir den Schwerpunkt bis auf $\Delta x \approx 10^{-3} [m]$ bestimmen. Wie große wäre nun die Geschwindigkeitsunschärfe?

$$\Delta v \geq \frac{\hbar}{2 \cdot m \cdot \Delta x} \approx \frac{10^{-34}}{2 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-31} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Diese Geschwindigkeitsunschärfe ist nicht nur sehr klein, sie ist sogar (nach heutigem Wissen) mit den aller genauesten Mitteln nicht messbar. Wir können sie getrost ignorieren.

¹⁴²⁴ Allgemein geht die Unschärferelation folgendermaßen:

$$(\Delta A)^2 \cdot (\Delta B)^2 \geq \frac{\langle i[A, B] \rangle^2}{4}$$

Dabei sind A und B (hermitesche) Operatoren. Da $i[A, B]$ hermitesch ist, ist $\langle i[F, K] \rangle$ reell. „Die Aussage dieser quantenmechanischen Unschärferelation lautet: Sind zwei Operatoren nicht vertauschbar, so ist das Produkt ihrer mittleren quadratischen Abweichungen immer größer als ein Viertel des Betragsquadrates ihres Kommutators. Die Abweichungen beziehen sich auf den Mittelwert bezüglich einer Wellenfunktion, die das Quantenteilchen charakterisiert. Bei den Messreihen für die beiden Observablen gibt es eine unüberwindbare Schranke, die eine gleichzeitige exakte Bestimmung der beiden Größen nicht erlaubt. Diese Schranke ist eine prinzipielle Eigenschaft des Quantensystems, die durch keine Verbesserung der Messapparatur überwunden werden kann.“ DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 76

Für den Spezialfall erhalten wir die Ort-Impuls-Unschärferelation:

$$(\Delta x)^2 \cdot (\Delta p)^2 \geq \frac{\hbar^2}{4} = \frac{\hbar}{2}$$

vgl. FLIEßBACH (II) 1995, S. 55

¹⁴²⁵ Wenn wir vom Wellenmodell ausgehen, können wir uns das folgendermaßen denken: Wenn wir ein Teilchen an einem Punkt festlegen können, dann können wir diesen Punkt als eine Punktquelle betrachten. So gesehen könnte das Teilchen (bei der nächsten Messung) nun überall in einem gewissen Radius sein, da es sich im Raum wie eine Kugelwelle ausgebreitet hat.

¹⁴²⁶ Die Beispiele wurden (mit kleinen Veränderungen) zur Gänze von DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 77 übernommen.

¹⁴²⁷ Dies ist beispielsweise gegeben, wenn das Elektron innerhalb eines Atoms zu finden wäre.

Sie haben sicher erkannt, worin der große Unterschied liegt. Wäre nämlich die Natur- bzw. Plancksche Wirkungskonstante ($h = 2\pi \cdot \hbar$) nicht $\hbar = 10^{-34} [J \cdot s]$ sondern $\hbar = 10^{-60} [J \cdot s]$ dann wäre auch die Geschwindigkeitsunschärfe der Elektronen vernachlässigbar klein. *Dass die Quanteneffekte also nicht im Alltag beobachtbar sind, verdanken wir dem kleinen Wert von \hbar .* Deswegen können wir das Korrespondenzprinzip auch in diesem Sinne wiedergeben:

Wenn die Naturkonstante \hbar vernachlässigbar klein wird, dann geht die QM in die klassische Mechanik über. Oder mit anderen Worten: „In dem Grenzfall $\hbar \rightarrow 0$ gehen die Mittelwertaussagen der Quantenmechanik in entsprechende Gleichungen der klassischen Physik über.“¹⁴²⁸

Wir können das Ganze natürlich auch so verstehen:

Wenn das *Prinzip der Besonderheit* nicht erfüllt ist bzw. vernachlässigbar wird, benötigen wir keine Quantentheorie!

¹⁴²⁸ DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 77

Die Quantenmechanik und die Optik

Wir wollen in diesem Kapitel ganz kurz zeigen, dass die *Prinzipien der QM* natürlich auch für die Lichtteilchen (= Photonen) gelten, da sie auch Quantenobjekte sind.

Prinzip der Einfachheit

Schon vor der Entstehung der Schrödingergleichung hat man angefangen, das Licht mit einer Wellengleichung zu beschreiben. Die klassische Wellengleichung hat diese Form¹⁴²⁹

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Aus ihr erhalten wir die Lösungen für klassische Wellen. Für eine Wellengleichung für Photonen bzw. Lichtteilchen werden wir für die Geschwindigkeit die Grenzgeschwindigkeit $v = c$ nehmen und die Funktion $y(x, t)$ durch das Elektrische Feld $E(x, t)$ ersetzen. Wir erhalten

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

Prinzip der Besonderheit

Nun ist hier nicht ganz sichtbar, inwiefern die de-Broglie-Beziehung eine Rolle spielt. Um das zu zeigen, nehmen wir die harmonische Wellenfunktion $E(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t)$. (Diese hat eine ganz besondere Bedeutung, worauf wir hier nicht weiter eingehen möchten.) Wir leiten diese Funktion jeweils zweimal nach dem Ort $\left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2}\right)$ und zweimal nach der Zeit $\left(\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}\right)$ ab:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -k^2 \cdot E_0 \cos(kx - \omega t) = -k^2 \cdot E(x, t)$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -\omega^2 \cdot E_0 \cos(kx - \omega t) = -\omega^2 \cdot E(x, t)$$

Jetzt setzen wir sie in die Wellengleichung ein und erhalten

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad | \quad \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -k^2 \cdot E_0 \cos(kx - \omega t) = -k^2 \cdot E(x, t) \quad | \quad \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -\omega^2 \cdot E_0 \cos(kx - \omega t) = -\omega^2 \cdot E(x, t)$$

$$-k^2 \cdot E(x, t) = -\frac{1}{c^2} \cdot \omega^2 \cdot E(x, t) \quad | \div E(x, t) \quad | \cdot (-1)$$

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \quad | \sqrt{\quad} \quad | \cdot c$$

$k \cdot c = \omega$

¹⁴²⁹ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 253

Die folgenden mathematischen Beziehungen wurden von dort übernommen.

Um nun auf die (relativistische) Energie-Impuls-Beziehung eines Photons zu kommen, setzen wir nun die de-Broglie-Beziehung¹⁴³⁰ $\omega = \frac{E}{\hbar}$ und $k = \frac{p}{\hbar}$ ein und erhalten

$$k \cdot c = \omega \quad | \quad \omega = \frac{E}{\hbar}, k = \frac{p}{\hbar}$$

$$\frac{p}{\hbar} \cdot c = \frac{E}{\hbar} \quad | \quad \cdot \hbar$$

$$p \cdot c = E$$

Wenn wir quadrieren, dann wird es noch deutlicher, dass diese Gleichung die Energie-Impuls-Beziehung eines relativistischen Photons darstellt

$$E = p \cdot c \quad | \quad ^2$$

$$E^2 = p^2 \cdot c^2$$

Diese Wellengleichung genügt somit allen relativistischen Quantenobjekten der Ruhmasse $m = 0$. Das ist aber nur ein Spezialfall der allgemeinen relativistischen Energie-Impuls-Beziehung. Wir könnten nun auch nach der relativistischen Wellengleichung suchen,¹⁴³¹ welche auch für $m \neq 0$ gilt. Das bedeutet eine Wellengleichung, welche diese Beziehung

$$E^2 = m^2 \cdot c^4 + c^2 \cdot p^2$$

bzw.

$$E^2 = m^2 \cdot c^4 + c^2 \cdot p^2 \quad | \quad \hbar \cdot \omega = E \quad | \quad \hbar \cdot k = p$$

$$\hbar^2 \cdot \omega^2 = m^2 \cdot c^4 + c^2 \cdot \hbar^2 \cdot k^2$$

genügt. Doch das werden wir uns hier lieber sparen. Wir würden nur sehen, dass wir im Grenzfall dieser Wellengleichung wieder auf die (freie) Schrödingergleichung kommen.¹⁴³²

Wir wollen hier lediglich vier Aspekte festhalten, die für diese Arbeit interessant sind:

- ❖ Die (reduzierte) Plancksche Wirkungskonstante kommt in der Wellengleichung für Photonen gar nicht vor. Das heißt aber nicht, dass sie für das einzelne Photon nicht von Bedeutung ist. Das zu zeigen brachte Einstein nicht nur (1921) den Nobelpreis, sondern war der Stein, der alles erst ins Rollen brachte:

Einsteins Energiequanten bzw. Photonen → de-Broglie-Beziehung → Schrödingergleichung

¹⁴³⁰ Da Einstein auf die Quantelung von Photonen kam, müssten wir die de-Broglie-Beziehungen eigentlich als die Einsteinschen Gleichungen bezeichnen (vgl. REBHAN 2008, S. 13). Damit keine Verwirrung herrscht, machen wir hier nur in einer Fußnote darauf aufmerksam.

¹⁴³¹ Hier ist nicht die *Dirac-Gleichung* gemeint, sondern die *Klein-Gordon-Gleichung*, wo der Spin noch keine Rolle spielt.

¹⁴³² Interessierte Leser verweisen wir aber sehr gerne auf FLIEßBACH (II) 1995, S. 19-25

Wir konnten also sehen, dass \hbar bzw. die de-Broglie-Beziehung auch bei Photonen eine fundamentale Rolle spielt. Doch bei dem Versuch von $E = p \cdot c$ auf eine Wellengleichung zu kommen, kürzt sich \hbar eben einfach heraus.

Das bedeutet: Auch in der relativistischen QM bleiben beide Prinzipien erfüllt. (Natürlich sollte man zu denen eben noch die Einsteinschen Prinzipien der SRT ergänzen.)

- ❖ In der QM – sowohl in der relativistischen als auch in der nichtrelativistischen – wird man die komplexen Zahlen nicht los; außer in der relativistischen QM, wo man Quantenobjekte mit der Ruhemasse $m = 0$ betrachtet. (Man kann also die klassischen Elektromagnetischen Felder direkt messen.) So gesehen gibt es hier *reelle* Wellenfunktionen.¹⁴³³ (Diese Wellenfunktion der Elektromagnetischen Felder gibt uns einen guten Grund, dass wir auch der Wellenfunktion von Schrödinger eine gewisse Realität zusprechen können.)
- ❖ Die Wellengleichung des Photons ist zu gleich „die einfachst mögliche relativistische Wellengleichung“¹⁴³⁴.
- ❖ $|E|^2$ gibt die Wahrscheinlichkeit $P(x, t)$ an, das Photon an einem bestimmten Ort (bzw. Raumbereich) dx zu finden¹⁴³⁵: $|E|^2 \sim P(x, t)dx$.

Nun sind wir sicherlich genügend informiert, um uns mit Newtons Optik noch einmal auseinander zu setzen.

¹⁴³³ vgl. FLIEßBACH (II) 1995, S. 24

¹⁴³⁴ vgl. FLIEßBACH (II) 1995, S. 20

¹⁴³⁵ Eigentlich wird die Anzahl der Lichtteilchen mit der Intensität I angegeben. Die Beziehung zwischen der Intensität und dem Absolutquadrat des elektrischen Feldes $|E|^2$ ist folgenderweise gegeben

$$I = \frac{c}{8\pi} \cdot \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} |E|^2 \quad \text{Gl. (28)}$$

Nach der Photonenhypothese wäre die Intensität jedoch folgendermaßen angegeben:

$$I = N \cdot \hbar \cdot \omega \quad \text{Gl. (29)}$$

wobei N die Anzahl der Photonen ist. Man sieht sofort dass $|E|^2 = \frac{8\pi}{c} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \cdot N \cdot \hbar \cdot \omega$ gelten muss. Das bedeutet, dass das elektrische Feld nicht die Eigenschaft eines Photons darstellt. Wenn man also einzelne Photonen betrachtet, sollte man die Gl. (29) benutzen und wenn es um das Verhalten vieler Photonen geht, dann die Gl. (28). vgl. DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 7, 15

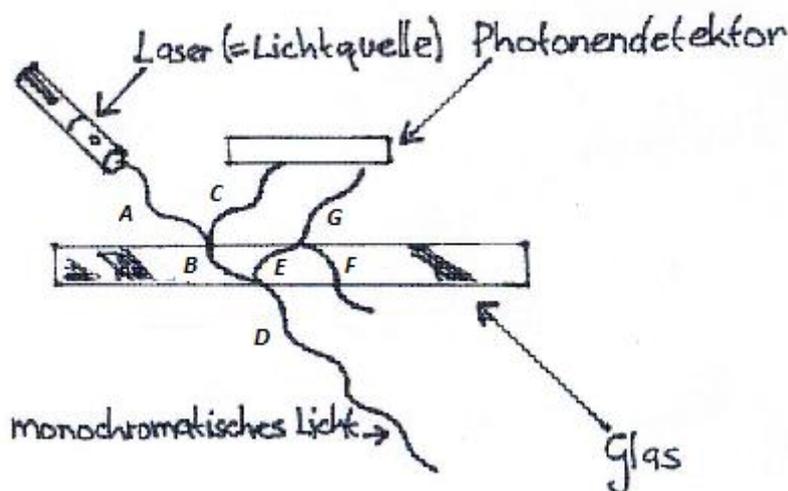
Newton und die Optik (bzw. Quantenmechanik)

Wir wollen hier an einem einfachen Beispiel zeigen, was der Unterschied ist, zwischen dem, wie die Optik heute verstanden wird und wie Newton sie damals verstand. Stellen wir uns vor, wir haben eine Glasplatte. In einem Winkel α schießen wir auf diese Platte Photonen. Die reflektierten Strahlen fangen wir anschließend mit einem Photonenmeßgerät auf. Nun würden wir gerne wissen, wenn wir eine gewisse Anzahl A von Photonen pro Sekunde losschicken, wie viele Photonen kommen dann allgemein am Messgerät an? Wir wollen hier schrittweise alle Möglichkeiten betrachten,¹⁴³⁶ auf welchem Wege ein Photon ins Messgerät gelangen kann:

- (1) Eine Anzahl von A Photonen treffen auf die Oberseite des Glases auf.
- (2) Eine Anzahl B der Photonen werden transmittiert bzw. dringen in das Glas, die andere Menge C reflektiert und gelangen so zum Messgerät.
- (3) Von diesen insgesamt B Photonen werden wieder eine gewisse Anzahl D durch das Glas durchgelassen und E an der Unterseite des Glases (nach oben) reflektiert.
- (4) An der Grenzfläche zur oberen Seite wird auch E wieder aussortiert. Die Menge F von Photonen bricht wieder in Richtung des Glases und die andere G verlässt das Glas.
- (5) Photonen, die aus dem Glas austreten (G), erreichen unser Messgerät.

Insgesamt sollten ca. $C+G$ Photonen am Messgerät ankommen.

Die genauere, moderne Theorie dazu ist aber etwas komplizierter. Denn wir wissen durch die QM, dass wir den Photonen keinen bestimmten Weg zuordnen dürfen. Wie viel Photonen nun wirklich beim Messgerät ankommen, können wir nur mit Hilfe der QM mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit voraussagen. Durch die Möglichkeiten, welche die Photonen haben, könnten wir Wellen (Wellengleichung für Photonen) durchschicken, wie wir auch in der Abbildung 51 erkennen können. Der Absolutbetrag dieser Wellen(funktion) gibt uns dann die Wahrscheinlichkeit, wie viele Photonen eben ins Messgerät gelangen könnten. Skizzenhaft ist das Beispiel auch unten angegeben:



¹⁴³⁶ Wir werden hier Phänomene wie *Brechung*, *Absorption*, *Streuung* usw. vernachlässigen, da sie bei diesem Beispiel keine bedeutende Rolle spielen.

Abbildung 51

Ganz deutlich sehen wir, dass sowohl die Welle, die von der Oberseite reflektiert wird, als auch die, die an der Unterseite reflektiert wird, zu der Wahrscheinlichkeit beiträgt. Genau genommen ist aber unsere Wahrscheinlichkeitsaussage eigentlich auch von der Interferenz der beiden Wellen abhängig. Nehmen wir beispielsweise an, das Glas wäre etwas dicker oder die Einfallsrichtung der Wellen eine andere, nämlich genau so, dass **C** und **G** entgegengesetzte Phasen hätten, dann wäre die Wahrscheinlichkeit 0. (Siehe dazu die Abbildung 52.) Wir würden dann gar kein Photon am Messgerät messen können.

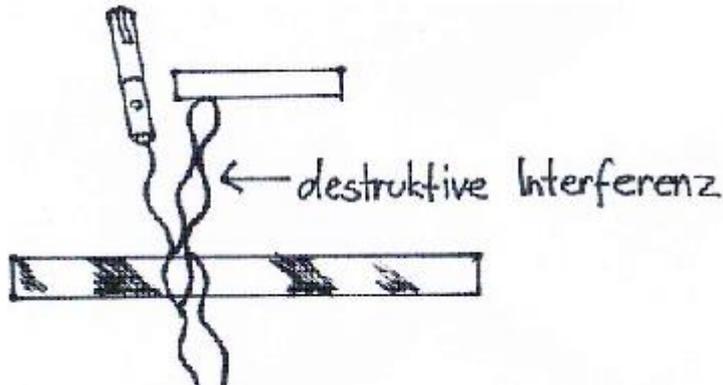


Abbildung 52

Wir dürfen somit nicht davon ausgehen, dass die Photonen sich an einer Grenzfläche entscheiden, sonst müssten wir ja wenigstens wegen **C** einige Photonen im Gerät registrieren. Wir müssen stets alle *Möglichkeiten in die Wahrscheinlichkeitsaussage* miteinziehen.

Was war nun Newtons Fehler?¹⁴³⁷ Wir wollen Newtons Missverständnis an diesem Beispiel mit der Glasplatte aufzeigen. Denn das Interessante an Newtons Theorie (der Optik) ist, dass auch beim ihm

1. das Licht aus Teilchen besteht¹⁴³⁸;
2. außerdem eine *Welleneigenschaft* in der Berechnung dazu beiträgt, ob das Photon ins Messgerät gelangt¹⁴³⁹ und
3. er erkennt, dass sowohl die Ober- als auch die Unterseite des Glases eine Rolle spielen bzw., dass die Dicke des Glases auf den Ausgang des Experimentes einen Einfluss hat.¹⁴⁴⁰

Wie sieht nun Newton die Möglichkeiten des Photons:

- (1) Eine Anzahl von Photonen (**A**) treffen auf die Oberseite des Glases auf.

¹⁴³⁷ Die Untersuchungen von Newton zu den Interferenzerscheinungen dünner Blättchen werden beispielsweise in WINKELMANN, S. 546-556 genauestens besprochen – auf welches wir den interessierten Leser gerne hinweisen möchten.

¹⁴³⁸ „1. Defintion. Unter Lichtstrahlen verstehe ich die kleinsten Theilchen des Lichts, [...]“ NEWTON 1983, S. 5

¹⁴³⁹ vgl. dazu in dieser Arbeit S. 203

¹⁴⁴⁰ So schreibt Newton: „Daraus ersah ich, dass diese Ringe nicht von einer einzigen spiegelnden Fläche entstehen, sondern von den beiden Oberflächen der Glasplatte abhängen, aus der der Spiegel abgebildet ist, und von der Dicke des Glases zwischen ihnen.“ NEWTON 1983, S. 195

- (2) Interessant ist, dass nach Newton die Anzahl der Photonen (**A**) transmittiert werden bzw. das Glas durchdringen und kein einziges Photon reflektiert wird und so zum Messgerät gelangen kann.
- (3) Von diesen insgesamt **A** Photonen werden eine gewisse Anzahl **B** durch das Glas durchgelassen und **E** an der Unterseite des Glases (nach oben) reflektiert.
- (4) An der Grenzfläche zur oberen Seite wird auch **E** wieder aussortiert. Die Menge **F** von Photonen bricht wieder in Richtung Unterseite des Glases und die andere **G** verlässt das Glas.
- (5) Photonen, die aus dem Glas rauskommen (**G**) erreichen das Messgerät.

Die Wellen also, welche die Möglichkeiten beschreiben, sehen bei Newton so aus, wie in der Abbildung 53 dargestellt:

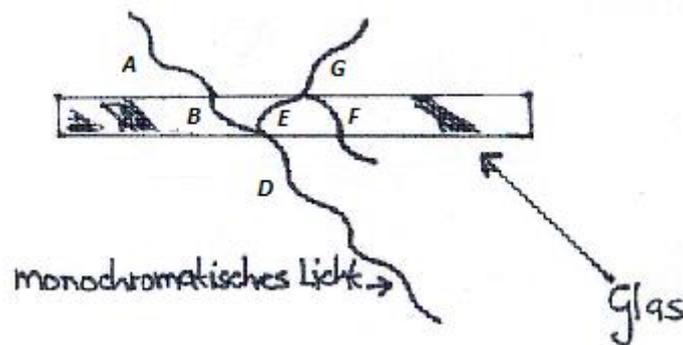


Abbildung 53

Bevor wir mit unserer Interpretation beginnen, wollen wir Feynmans Sichtweise dazu studieren: „Welch ein Glücksfall für uns, daß Newton zu der Überzeugung gelangte, Licht müsse aus >>Korpuskeln<< bestehen. Auf diese Weise können wir verfolgen, mit welchen Überlegungen sich ein unvoreingenommener, intelligenter Kopf bei dem Versuch, die partielle Reflexion an zwei oder mehr Grenzflächen zu erklären, herumschlagen muß. (Die Anhänger der Wellentheorie hatten nie mit solchen Schwierigkeiten zu kämpfen.) Newton argumentierte folgendermaßen: Obgleich das Licht an der ersten Trennfläche reflektiert zu werden scheint, kann das nicht der Fall sein, müßte doch sonst dieses bereits reflektierte Licht bei einer Glasdicke, bei der keine Reflexion auftritt, wieder eingefangen werden. Wie aber ließe sich das erklären? Folglich mußte das Licht seiner Ansicht nach an der zweiten Grenzfläche reflektiert werden. Daß der Anteil an reflektiertem Licht offensichtlich von der Dicke des Glases abhängt, versuchte er mit folgender Idee zu erklären: Beim Auftreffen des Lichts auf die oberste Trennfläche entsteht eine Art Welle oder Feld, die oder das sich mit dem Licht ausbreitet und die Voraussetzungen für eine Reflexion oder Nichtreflexion an der zweiten Grenzfläche schafft. Diesen Prozeß bezeichnete er als >>Vorgänge leichter Reflexion oder leichter Durchlässigkeit<<, die je nach Dicke des Glases in Zyklen auftreten.¹⁴⁴¹

¹⁴⁴¹ Hier orientiert sich Feynman höchst wahrscheinlich am Originaltext von Newton, wo Folgendes steht: „Diese Ringe schienen mir daher eines und desselben Ursprungs mit denen dünner Blättchen zu sein, nur mit dem Unterschiede, dass diejenigen dünner Blättchen durch abwechselnde Reflexion und Durchgänge der Strahlen an der zweiten Fläche des Blättchens nach einmaligem Durchlaufen des Blättchens entstehen, hier aber die Strahlen zweimal die Platte durchlaufen, ehe sie abwechselnd reflectirt und durchgelassen werden.“ NEWTON 1983, S. 196-197

Aber diese Idee hat zwei Haken: zum einen die weiter oben beschriebene Beeinflussung durch zusätzliche Trennflächen, von denen jede weitere, wie wir gesehen haben, die Reflexion verändert; zum anderen die unbestreitbare Tatsache, daß Licht von einem See reflektiert wird, der ja keine zweite Grenzfläche hat. Das aber bedeutet, daß ein Teil des Lichts von der Oberfläche zurückgeworfen werden *muß*. Im Fall solch einzelner Grenzflächen sprach Newton davon, daß das Licht bevorzugt reflektiert wird. Aber kann man sich eine Theorie vorstellen, in der das Licht weiß, auf welche Art Trennfläche es auftritt und ob es diese einzige Grenzfläche ist?¹⁴⁴²

Newton machte nicht viel Aufhebens von den Schwachstellen seiner Theorie, obwohl er natürlich wußte, daß sich mit den >>Vorgängen von Reflexion und Durchlässigkeit<< nicht alles befriedigend erklären ließ. Zu seiner Zeit war es allgemein üblich, sich über die Schwächen einer Theorie großzügig hinwegzusetzen – ganz im Gegensatz zu den heute in den Naturwissenschaften herrschenden Gepflogenheiten, gerade auf diejenigen Punkte hinzuweisen, an denen Theorie und experimentelle Beobachtung nicht übereinstimmen. Damit soll nicht gegen Newton gesagt sein; ich möchte lediglich eine Lanze für die heute in der Naturwissenschaft übliche Offenheit und Ehrlichkeit brechen.¹⁴⁴³

Der merkbare Unterschied ist, dass es bei Newton die Möglichkeit **C** gar nicht gibt. Feynman erkennt natürlich diese bedeutende Schwachstelle der Theorie Newtons und stellt die Frage: „Aber kann man sich eine Theorie vorstellen, in der das Licht weiß, auf welche Art Trennfläche es auftritt und ob es diese einzige Grenzfläche ist?“

Wir wollen an diesem Punkt einen neuen Ansatz wagen und stellen uns die Frage: Konnte Newton vielleicht die Frage von Feynman in seiner Theorie doch erklären?

Offensichtlich ist, dass Newton sich nicht wirklich entscheiden kann, ob das Photon bevor es das erste Mal auf die Oberfläche des Glases trifft, eine Welle beschreibt oder nicht. Für Newton ist es klar, dass das Lichtteilchen bzw. das Photon die Welleneigenschaft schon immer hat.¹⁴⁴⁴ Damit diese aber sichtbar wird, muss das Lichtteilchen sich in einem Medium ausbreiten. Doch wenn das Licht an der Oberfläche reflektiert werden würde, dann müsste es diese Welleneigenschaften schon vor dem Eintritt in das Medium (Glas) haben. Dann sollte es aber (nach der klassischen Vorstellung) auch außerhalb des Glases ein Medium geben. Das wäre dann zu dieser Zeit aber eben der Äther gewesen – und den Äther konnte Newton schwer akzeptieren. Deswegen beginnt diese Welleneigenschaft

¹⁴⁴² Diese Frage von Feynman können wir mit unserer Interpretation natürlich klären. Wie gesagt, müsste es wohl nach Newton ein Medium geben, in welchem sich diese Zyklen ausbreiten können. Und mit dem Äther konnte sich Newton nicht sehr gut anfreunden.

¹⁴⁴³ FEYNMAN 2005, S. 33-34, Fußnote 2

¹⁴⁴⁴ Ein Zeugnis dafür, dass Newton deutlich schreibt: „Daher ist das Licht vor seinem Auftreffen auf durchsichtige Körper in Anwendungen leichter Reflexion und leichten Durchgehens und wird wahrscheinlich schon in solche Anwendungen versetzt, wenn es von den leuchtenden Körpern ausgesandt wird, und behält sie während seines weiteren Fortganges; wie aus dem nächsten Theile dieses Buches klar werden wird.

In dieser Proposition setze ich durchsichtigen Körper als dicke voraus, weil der Körper seine reflectirende Kraft verliert, wenn seine Dicke viel kleiner ist, als das Intervall der Anwendungen. Wenn nämlich die Strahlen, die bei ihrem Eintritt in die Körper in die Anwendung leichten Durchganges versetzt werden, an der entfernteren Fläche des Körpers anlangen, bevor sie aus dieser Anwendung heraus sind, so müssen sie durchgelassen werden. Dies ist der Grund, weshalb Seifenblasen, sobald sie sehr dünn werden, ihre reflectirende Kraft verlieren, und weshalb alle in sehr kleine Theilchen zertheilten undurchsichtigen Körper durchsichtig werden.“ NEWTON 1983, S. 186

der Photonen erst im Glas, wo es nach Newton zum ersten Mal ein Medium vorhanden ist.¹⁴⁴⁵ Somit wäre also Feynmans Frage womöglich geklärt.

Ein ganz wesentlicher Unterschied zwischen Newtons Sichtweise und der der modernen QM ist, dass nach Newton jedes Photon diese *Welleneigenschaft* mit sich trägt;¹⁴⁴⁶ wobei quantenmechanisch aber die Wellen alle Möglichkeiten durchgehen müssen und anschließend nur eine Wahrscheinlichkeit dafür angeben können, von so und so viel Photonen könnten so und so viel am Messgerät ankommen. Für die einzelnen Photonen würde die moderne Quantenmechanik nichts Bestimmtes aussagen, so wie es sich Newton womöglich gewünscht hätte.

Interessant an dem Ganzen ist aber, dass eben Newton die *Welleneigenschaft* für Photonen schon benützt.

Newton ist somit (womöglich) der erste, der sich bewusst mit Quantenobjekten beschäftigt.

Er zeigt, dass er sich nicht ganz sicher ist, wie man die Welleneigenschaft des Photons zu verstehen hat. (Seine Unsicherheit erkennt man, da seine Definitionen schwanken.) Damit hängt eng zusammen, dass er nicht weiß, wie man den Äther zu verstehen hat. (Auch hier nimmt er sehr widersprüchliche Stellungen ein.)

Newton tätigt – so könnte man es doch auch sagen – mit Absicht widersprüchliche Aussagen. **Er lässt den Widerspruch stehen, weil er sichtbar nicht wegzuschaffen ist. Und das macht eben ein Quantenobjekt aus, dass es nämlich sowohl dem klassischen Teilchenmodell, als auch dem klassischen Wellenmodell widerspricht. Und der Beginn dies zu erkennen, liegt bei Newton.** Er ist womöglich der erste Physiker, der sich schon vor vielen Jahrhunderten mit dem *Welle-Teilchen-Dualismus* auseinandersetzte.

¹⁴⁴⁵ Hier ist die 17. Frage interessant, wo Newton meint, dass quasi im Medium (z.B. im Glas) die Schwingungen dem Licht vorauslaufen: „Frage 17. Wenn ein Stein in ruhiges Wasser geworfen wird, erheben sich eine Zeit lang die Wellen an der Stelle, wo er in das Wasser fiel, und pflanzen sich von da in concentrischen Kreisen auf der Wasserfläche bis zu grossen Entfernungen fort. Die durch eine Erschütterung in der Luft erregten zitternden Schwingungen gehen eine Zeitlang vom Erregungsmittelpunkte aus in concentrischen Kreisen bis auf grosse Entfernungen hin. Werden nun nicht in der nämlichen Weise, wenn ein Lichtstrahl auf die Oberfläche eines durchsichtigen Körpers fällt und dort zurückgeworfen oder gebrochen wird, in dem Einfallspunkte Wellen von Vibrationen oder Erzitterungen in dem brechenden oder reflectirenden Medium erregt, die sich andauernd hier erheben und von ihr, solange sie dauern, sich ausbreiten, oder ebenso, wenn sie durch Druck oder Bewegung des Fingers, oder das in dem beschriebenen Versuche von der feurigen Kohle ausgehende Licht im Hintergrunde des Auges erregt werden? Pflanzen sich nicht diese Vibrationen bis zu grossen Entfernungen fort, und erreichen und überholen sie nicht die Lichtstrahlen einen nach dem anderen und versetzen sie dadurch in die Anwandlungen leichter Reflexion oder leichten Durchganges, die wir oben beschrieben haben? Denn wenn die Strahlen vom dichtesten Theile der Vibration zurückzugehen bestrebt sind, können sie durch die sie überholenden Schwingungen abwechselnd beschleunigt und verzögert werden.“ NEWTON 1983, S. 229-230

¹⁴⁴⁶ Es hat genau genommen den Anschein, als ob er sich nicht wirklich entscheiden kann, ob das Lichtteilchen diese *Welleneigenschaften* mit sich trägt oder sie ihm vorauslaufen (vgl. NEWTON 1983, S. 276-277, Fußnote 34). Man könnte Newton aber auch vielleicht so verstehen: Das Lichtteilchen trägt die *Welleneigenschaft* mit sich; nämlich, dass es in einem Medium die Vorgänge leichter Reflexion oder leichter Durchlässigkeit vorausschickt.

Fermat-Maupertuis-Hamiltonsches bzw. Feynmansches Variationsprinzip

Das *Variationsprinzip* stellt schon bei Schrödinger ein wichtiges Instrument dar, um nicht nur auf die Spektren des Wasserstoffatoms zu gelangen, sondern zur Schrödingergleichung selbst. Ganz interessant ist zum Beispiel seine zweite Mitteilung. *Auf der Seite 494 zeigt er, unter anderem, den Zusammenhang zwischen dem Fermatschen-, Maupertuisschen- und dem Hamiltonschen Prinzip.*¹⁴⁴⁷

Doch die *Krönung* des Maupertuisschen Prinzips in der QM ist wohl Feynman zu zuschreiben. Bei seiner Pfadintegralmethode gehen Quantenobjekte alle Möglichkeiten durch. Die Wahrscheinlichkeit, sie dann beispielsweise an einem bestimmten Ort zu finden, sind genau dort, wo die Wirkung am kleinsten ist (bzw. ein Extremal nimmt). Wir werden die Pfadintegralmethode einmal *semiquantenmechanisch*¹⁴⁴⁸ besprechen und einmal quantenmechanisch. Dabei wollen wir hier nur den Grundgedanken am Beispiel eines Doppelspalt zeigen.

(Semiquantenmechanische) Pfadintegralmethode¹⁴⁴⁹

Ein Quantenobjekt können wir getrost als ein Wellenpaket ψ betrachten. Bei einem Doppelspalt wird es dann sozusagen in zwei Wellenpakete ψ_1 und ψ_2 aufgespalten. Diese breiten sich entlang zwei klassischen Pfaden P_1 und P_2 aus. Nun wissen wir allgemein, dass die Phasenverschiebung δ verantwortlich ist, dass es zu Beugungs- bzw. Interferenzerscheinungen kommen kann. Wir wollen den Zustand des Wellenpaketes deshalb in folgender Form wiedergeben

$$\psi = \psi_1 + \psi_2 \cdot e^{i\delta}$$

Nun ist die geniale Idee Feynmans folgende: *Die Phasendifferenz wird mit der Differenz der Wirkungen in Verbindung gebracht.* Feynman folgert, dass die Phasendifferenz sich ganz einfach aus der Differenz der Wirkungen $W_1 - W_2$ bestimmen lässt:

$$\delta = \frac{1}{\hbar}(W_1 - W_2)$$

Wie wir wissen ist die Definition der Wirkung aus der klassischen Mechanik folgendermaßen gegeben:

$$W = \int L dt \quad \text{Gl. (30)}$$

Die Langrange-Funktion lautet bekanntlich

$$L = \frac{m \cdot v^2}{2} - V(x)$$

Da wir die potentielle Energie hier gar nicht benötigen können wir auch schreiben

¹⁴⁴⁷ vgl. SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 494

¹⁴⁴⁸ Damit meinen wir, dass wir einfach von der de-Broglie-Wellenlänge Gebrauch machen. Es kommen somit keine komplexen Zahlen usw. vor.

¹⁴⁴⁹ Die Argumentationslinie für dieses Beispiel wurde von ATOM- UND MOLEKÜLPHYSIK SKRIPT, S. 20-22 übernommen.

$$L = \frac{m \cdot v^2}{2} = \int m \cdot v \cdot dv = \int m \cdot v \cdot \frac{dx}{dt} = \int p \cdot \frac{dx}{dt}$$

Nun setzen wir das in die Gl. (30) ein und erhalten

$$W = \int L dt = \int p \cdot \frac{dx}{dt} \cdot dt = \int p \cdot dx$$

Um die Phasendifferenz zu bestimmen setzen wir nun ein

$$\delta = \frac{1}{\hbar}(W_1 - W_2) \quad | \quad W_1 = \int_{P_1} p \cdot dx \quad | \quad W_2 = \int_{P_2} p \cdot dx$$

$$\delta = \frac{1}{\hbar} \left(\int_{P_1} p \cdot dx - \int_{P_2} p \cdot dx \right)$$

Da wir wissen, dass folgender Zusammenhang gilt

$$p = \hbar \cdot k$$

können wir genauso gut die Gleichung in folgender Form wiedergeben

$$\delta = \frac{1}{\hbar} \left(\int_{P_1} p \cdot dx - \int_{P_2} p \cdot dx \right) \quad | \quad p = \hbar \cdot k$$

$$\delta = \left(\int_{P_1} k \cdot dx - \int_{P_2} k \cdot dx \right)$$

Nun setzen wir unsere Daten, welche wir aus der Abbildung 54 unten entnehmen können, in unsere Variation ein.¹⁴⁵⁰

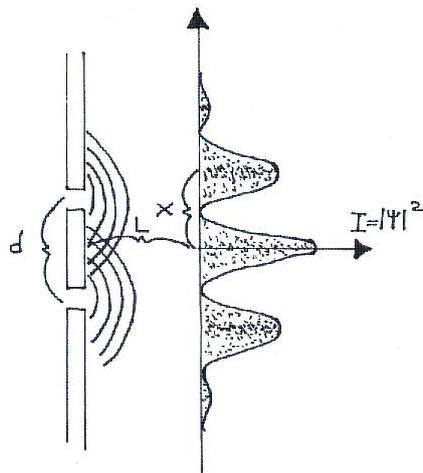


Abbildung 54¹⁴⁵¹

¹⁴⁵⁰ Dabei gehen wir allgemein davon aus, dass $\frac{x}{L} \ll 1$ gilt.

¹⁴⁵¹ vgl. dazu ATOM- UND MOLEKÜLPHYSIK SKRIPT, S. 21, (Abbildung 2.1)

(Am einfachsten können wir das so verstehen, dass wir die Fläche unter der Kurve bzw. Hypotenuse

$\sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2}$ benötigen.)

Allgemein erkennen wir, dass Folgendes für den *oberen* Spalt gilt:

$$\int_{P_1} k(x) \cdot dx = k \cdot \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2}$$

und

$$\int_{P_2} k(x) \cdot dx = k \cdot \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

für den *unteren* Spalt.

Dies setzen wir nun ein und erhalten

$$\delta = \left(\int_{P_1} k \cdot dx - \int_{P_2} k \cdot dx \right)$$

$$\delta = k \cdot \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} - k \cdot \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

Wir heben L und k heraus und es ergibt sich:

$$\delta = k \cdot L \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2}{L^2}\right)} - \sqrt{1 + \left(\frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2}{L^2}\right)} \right)$$

Nun nehmen wir eine gute Näherung an $\sqrt{1 + \frac{a^2}{b^2}} \approx 1 + \frac{a^2}{2 \cdot b^2}$ bzw. $\sqrt{1 - \frac{a^2}{b^2}} \approx 1 - \frac{a^2}{2 \cdot b^2}$

$$\delta \approx k \cdot L \left(1 + \frac{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot L^2} - 1 - \frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot L^2} \right) = k \cdot L \left(\frac{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot L^2} - \frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot L^2} \right)$$

Nachdem wir eine kleine Nebenrechnung gemacht haben¹⁴⁵² erhalten wir schließlich

$$\delta = k \cdot L \left(\frac{d \cdot x}{L^2} \right) = \frac{k \cdot d \cdot x}{L} \quad | \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\delta = \frac{2\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}$$

Nun wollen wir beispielsweise wissen, wo überall die Wahrscheinlichkeit sehr hoch ist, dass Quantenobjekte am Schirm auftreffen können.¹⁴⁵³ Wenn wir von der de-Broglie-Wellenlänge ausgehen, dann natürlich nur da, wo die Phasen der Wellen gegeneinander um eine ganze Wellenlänge (2π) verschoben sind, damit sie auch miteinander konstruktiv interferieren ($\delta = 2\pi \cdot n$)

¹⁴⁵² $\frac{\left(x + \frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot L^2} - \frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)^2}{2 \cdot L^2} = \frac{\left(x^2 + \frac{2dx}{2} + \frac{d^2}{4}\right)}{2 \cdot L^2} - \frac{\left(x^2 - \frac{2dx}{2} + \frac{d^2}{4}\right)}{2 \cdot L^2} = \frac{x^2 + \frac{2dx}{2} + \frac{d^2}{4} - x^2 + \frac{2dx}{2} - \frac{d^2}{4}}{2 \cdot L^2} = \frac{2 \cdot d \cdot x}{2 \cdot L^2} = \frac{d \cdot x}{L^2}$

¹⁴⁵³ Wir wollen also die Wahrscheinlichkeitsdicht $|\psi|^2$ für die Wellenpakete ψ berechnen.

$$\delta = \frac{2\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L} \quad | \quad \delta = 2\pi \cdot n$$

$$2\pi \cdot n = \frac{2\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L} \quad | \cdot \lambda \quad | \div 2\pi$$

$$\lambda \cdot n = \frac{d \cdot x}{L} \quad | \quad \frac{x}{L} \approx \sin\alpha$$

$$\lambda \cdot n = d \cdot \sin\alpha$$

(Quantenmechanische) Pfadintegralmethode¹⁴⁵⁴

Wenn das Teilchen durch den oberen Spalt gehen würde, hätten wir die Wahrscheinlichkeit $P_1 = |\Phi_1|^2$ und wenn es den unteren Spalt wählen würde, dann $P_2 = |\Phi_2|^2$. Da quantenmechanisch einem Teilchen keine genaue Bahn zuzuordnen ist, müssen wir natürlich annehmen, dass es beide Möglichkeiten ausnützt und erhalten $P_{12} = |\Phi_1 + \Phi_2|^2$. Was genau ist aber nun Φ ? Feynman geht den didaktisch klügeren Weg und nennt es eine komplexe Zahl, die aber natürlich eine Funktion von x darstellt $\Phi(x)$.¹⁴⁵⁵

Was ist aber das Neue an dieser Methode? *Das Neue ist die Vorgehensweise.* Wir könnten beispielsweise Φ_1 einfach als eine Wahrscheinlichkeitsamplitude für den ersten Pfad bezeichnen und Φ_2 als eine Wahrscheinlichkeitsamplitude für den zweiten Pfad. Wenn wir nun nicht nur zwei, sondern n -Spalten hätten¹⁴⁵⁶, dann ergäben sich n Pfade. Die Wahrscheinlichkeit das Quantenobjekt an einem bestimmten Ort zu finden, wäre somit

$$P_n = |\Phi_n|^2 = \left| \Phi_n(x, t) = (\text{Konstanter Phasenfaktor}) \cdot \sum_{\text{alle Pfade } n} e^{\frac{i}{\hbar} \int L_n \cdot dt} \right|^2$$

Das Zeichen $\sum_{\text{alle Pfade } n}$ bedeutet, dass wir hier die Summe aller Pfade n benutzen. Die Summe aller Pfade können wir auch mit einem Integral $\int \mathcal{D}x$ (\approx über alle Pfade Integrieren) ausdrücken. Dann erhalten wir

$$P_n = |\Phi_n|^2 = \left| \Phi_n(x, t) = (\text{Konstanter Phasenfaktor}) \cdot \int \mathcal{D}x \cdot e^{\frac{i}{\hbar} \int L_n \cdot dt} \right|^2$$

¹⁴⁵⁴ Wir orientieren uns hier am folgenden Werk REBHAN 2008, S. 287-292 und Internetseiten PFADINTEGRALMETHODE (I) und PFADINTEGRALMETHODE (II).

¹⁴⁵⁵ Wenn Sie dieses Symbol ein wenig stört, dann denken Sie sich einfach diesen Zusammenhang:

$$\Phi(x, t) = \psi(x, t)$$

Genau genommen hat die Funktion dann die Form

$$\Phi(x, t) = (\text{Konstanter Phasenfaktor}) \cdot e^{\frac{i}{\hbar} \int L \cdot dt},$$

wobei $\Phi(x, t)$ natürlich die Wahrscheinlichkeitsamplitude für jeden einzelnen Pfad angibt.

Dabei wird $e^{\frac{i}{\hbar} \int L \cdot dt}$ als Phase und $\frac{1}{\hbar} \int L \cdot dt$ als Phasenwinkel bezeichnet. Wir können das so verstehen, dass $\int L \cdot dt$ in Einheiten von \hbar gemessen werden. Wenn $\int L \cdot dt \gg \hbar$ gilt, dann kommen wir wieder in die klassische Physik zurück.

¹⁴⁵⁶ n ist hier einfach eine beliebige natürliche Zahl.

Natürlich könnte man sich fragen, ob man wirklich noch einen weiteren Zugang benötigt. (Schließlich hat man ja die Methode von Heisenberg (Bild 20)¹⁴⁵⁷ und die von Schrödinger.)

Wir können *allgemein* sagen, dass es in der Naturwissenschaft einen (unausgesprochenen) Wunsch gibt – welcher durch die *Theory of Mind* bzw. den *Perspektivenwechsel* verursacht wird – und dieser lautet: *Je mehr verschiedene Zugänge, desto besser!*

Das hat nicht nur einen didaktischen Grund, sondern auch einen praktischen. So schreibt Rebhan: „Eine wichtige Anwendung findet die Feynman’sche Pfadintegralmethode in der Quantenfeldtheorie. Sie ermöglicht eine sehr elegante und flexible Methode der Feldquantisierung, mit der sich manche Probleme einfacher als mit konkurrierenden Methoden behandeln lassen.“¹⁴⁵⁸



**Bild 20: Werner Heisenberg
(1901-1976)**

¹⁴⁵⁷ BILD: WERNER HEISENBERG

¹⁴⁵⁸ REBHAN 2008, S. 292

Kritik an der nicht quantenmechanischen Physik¹⁴⁵⁹

Da die Quantentheorie zur Zeit die beste und grundlegendste Theorie ist, die wir haben, werden wir uns die Kritik an ihr ersparen. (Auch aus Platzgründen möchten wir eine genauere Diskussion der QM in dieser Arbeit nicht behandeln.)

Wir wollen aber betonen, wie schön und bedeutsam die QM ist und wie verschieden ihre Aussagen, von der *nicht-quantenmechanischen Physik* sind. Unter *nicht-quantenmechanischen Theorien* verstehen wir die Descartessche Physik, die Newtonsche Physik (, allgemein die klassische Physik) und die Einsteinsche Physik.

Kritik an den „nicht-quantenmechanischen“ Bewegungsgesetzen

Nach der nicht quantenmechanischen Mechanik kann ein Teilchen¹⁴⁶⁰ den Zustand der Ruhe haben:

$$\frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{v} = 0$$

In der Quantenmechanik ist dies aufgrund der Heisenbergschen Unschärferelation

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

gar nicht möglich. Das Teilchen ist stets in Bewegung.

Kritik an den „nicht-quantenmechanischen“ Energieerhaltungssätzen

Wir nehmen als Beispiel ein *freies* Teilchen. In diesem Fall ist dessen Gesamtenergie mit seiner kinetischen Energie ($E = E_{kin}$) identisch. Wenn in der (nicht Quanten)mechanik ein Teilchen eine bestimmte kinetische Energie (E_{kin}) besitzt, und eine Potentialbarriere¹⁴⁶¹ (V_{max}) zu überwinden versucht, welche größer ist als die eigene Energie ($V_{max} > E_{kin}$), dann wird es diese *nicht überwinden* können. Ganz anders ist es hingegen in der Quantenmechanik. Hier kann das Teilchen sehr wohl mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ($|\Psi_{(x)}|^2$) diese Barriere überwinden, wie auch aus der Abbildung 55 zu entnehmen ist.

¹⁴⁵⁹ vgl. dazu DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 1 und REBHAN 2008, S. 238

¹⁴⁶⁰ Wenn wir von Teilchen sprechen, meinen wir eigentlich Massenpunkte.

¹⁴⁶¹ Damit bezeichnen wir einfach eine Barriere, welche in Form eines Potentials gegeben ist. Zum Beispiel ein Hügel usw.

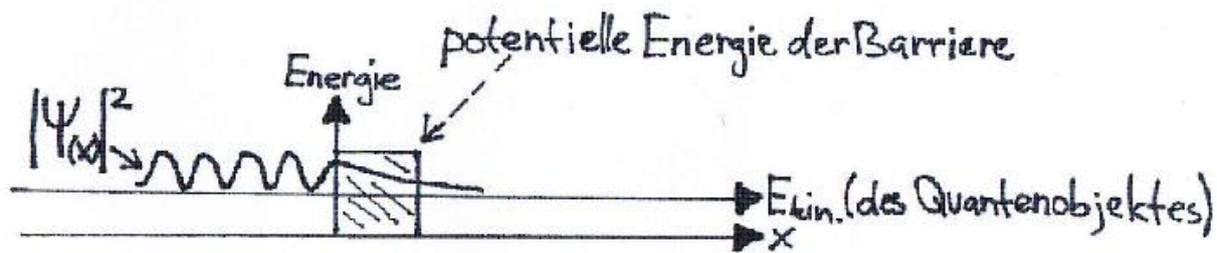


Abbildung 55

In der Quantenmechanik spricht man dabei von dem *Tunneleffekt*, wo das Teilchen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit durch die Barriere „durchtunneln“ kann. Das bedeutet aber nicht, dass wir unsere Vorstellungen von Energiesätzen über Bord werfen sollen. Dass das Teilchen „durchtunneln“ kann, heißt nicht, dass die Vorstellung von der Gesamtenergie keinen Sinn mehr ergibt. Die Gesamtenergie¹⁴⁶² eines Quantenobjektes ist gegeben durch

$$\langle E \rangle = \left\langle \frac{p^2}{2m} \right\rangle + \langle V(x) \rangle$$

Diese Formel können wir auf Grund der Heisenbergschen Unschärfrelation auf folgende Weise interpretieren: *Wenn wir einen von den drei Energiebegriffen bestimmen, dann bleiben die restlichen zwei unbestimmt.* Wenn wir beispielsweise den Ort (x) eines Teilchens ganz genau bestimmen würden, dann könnten wir dessen potenzielle Energie $V(x)$ berechnen, doch die kinetische Energie $\left\langle \frac{p^2}{2m} \right\rangle$ und die Gesamtenergie $\langle E \rangle$ wären total unscharf. Das Durchtunneln können wir uns somit ganz einfach erklären:

- ✓ Vor der Potentialbarriere wäre der Ort des Teilchens genau bestimmt.
- ✓ Deshalb „gewinnt“ die kinetische Energie an Unschärfe und kann mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Potentialbarriere überwinden.

Oder wenn wir die kinetische Energie des Teilchens genau kennen würden, dann wäre die potentielle Energie und die Gesamtenergie sowieso unscharf usw.

Wir wollen hier natürlich nicht unerwähnt lassen, dass wir die Beispiele nicht nur mit der Unschärferelation, sondern auch mit Wellenfunktionen hätten erklären können.¹⁴⁶³ (Die Methode

¹⁴⁶² Genau genommen sollten wir statt $\langle E \rangle$ eigentlich $\langle H \rangle = \text{Hamiltonoperator}$ schreiben, doch wir wollen hier durch mathematische Details niemanden erschrecken. (Deswegen heben wir auch die Operatoren nicht extra heraus.) Für unsere Untersuchungen ist das völlig ausreichend.

¹⁴⁶³ Wir wollen das am Beispiel des Tunneleffekts kurz demonstrieren. Wir können die Wahrscheinlichkeit $|\psi|^2$ das Teilchen hinter der Barriere anzutreffen folgendermaßen berechnen:

$$|\psi|^2 = |C|^2 \cdot e^{-2ax}$$

Wobei $C = \frac{2 \cdot k_1}{k_1 + k_2}$ und $a = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2m \cdot (V_{max} - E)}$ darstellen und $k_1 = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2mE}$ und $k_2 = \frac{1}{\hbar} \sqrt{2m(E - V_{max})}$.

Wir können somit Folgendes klar sagen: Die Wahrscheinlichkeit, das Teilchen hinter der Barriere zu finden, fällt (in Form einer Exponentialfunktion) mit dem Abstand bzw. der „Dicke“ der Barriere ab.

vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 318-324

von Schrödinger und die von Heisenberg sind völlig *gleichwertig* um quantenmechanische Phänomene zu beschreiben.)

Die Interpretation der QM

P.A.M. Dirac (Bild 21)¹⁴⁶⁴, einer der größten theoretischen Physiker aller Zeiten, schreibt in seinem Werk *Die Prinzipien der Quantenmechanik* (1930): „Wendet man die Quantenmechanik auf ein physikalisches Gebilde an, das nur aus einem einzigen, frei beweglichen Teilchen besteht, so sind die Gleichungen, die den Zustand des Gebildes kennzeichnen, wie die mathematische Theorie zeigen wird, die gewöhnlichen Gleichungen der Wellenbewegung. Dieser Umstand verleiht dem Teilchen so viele Eigenschaften der Wellen, und erlaubt uns, uns vorzustellen, daß ein Teilchen in einem bestimmten Zustand mit einer bestimmten Welle verbunden ist oder von ihr beherrscht wird.“¹⁴⁶⁵

Wie diese „bestimmte Welle“ zu interpretieren ist, wurde und wird immer noch diskutiert. Tipler und Llewellyn erklären: „Wenn man über die Wellen diskutiert, fragt man früher oder später natürlich danach, was da eigentlich schwingt. In einigen Fällen ist die Antwort schnell gefunden: Bei Meereswellen schwingen Wassermoleküle, bei Schallwellen Luftmoleküle, bei Lichtwellen das elektrische und das magnetische Feld. Was aber schwingt bei Materiewellen? Materiewellen haben (wie Lichtwellen) kein Trägermedium (kein „Äther“). Wie wir in den beiden folgenden Abschnitten sehen werden, schwingt hier die *Wahrscheinlichkeit*, das Teilchen an einem bestimmten Ort zu finden.“¹⁴⁶⁶



Bild 21: Paul Dirac
(1902-1984)

Die Welle gibt uns Auskunft, und das ist eben die berühmte *Kopenhagener Interpretation*, die Wahrscheinlichkeit das Teilchen an einem bestimmten Ort zu finden. Doch können wir mit dieser Interpretation auch schon zur Gänze zufrieden sein? Einer der führenden Experimentalphysiker im Bereich der QM, Anton Zeilinger, schlägt in seiner Schrift *On the Interpretation and Philosophical Foundation of Quantum Mechanics* (1996) vor, dass die Kopenhagener Interpretation als „*guiding principle*“¹⁴⁶⁷ (=Richtlinie) benützt werden sollte, auf der Suche nach einem tieferen Verständnis. *Das bedeutet natürlich auch, dass ein tieferes Verständnis der QM noch notwendig zu sein scheint. So*

¹⁴⁶⁴ BILD: PAUL DIRAC

¹⁴⁶⁵ DIRAC 1930, S. 13

Hier wollen wir natürlich nicht unerwähnt lassen, dass er ein paar Seiten vorher auf etwas Wichtiges hinweist: „Man muß aber betonen, daß **die in der Quantenmechanik auftretende Überlagerung wesentlich verschieden ist von der in der klassischen Theorie vorkommenden.**“ DIRAC 1930, S. 10

¹⁴⁶⁶ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 253

¹⁴⁶⁷ Dort steht genauer: „*It is suggested that the objective randomness of the individual quantum event is a necessity of a description of the world in view of the significant influence the observer in quantum mechanics has. It is also suggested that the austerity of the Copenhagen interpretation should serve as a guiding principle in a search for deeper understanding.*“ ZEILINGER 1996, S. 1

Auch Zeilinger veröffentlicht ein paar Jahre später in seiner Arbeit *A Foundational Principle for Quantum Mechanics* (1999) eine eigene sehr interessante Interpretation der QM, welche den Beobachter stark miteinbeziehen. Für unsere Interpretation werden wir versuchen, so objektiv zu sein, wie nur möglich. Den Einfluss des Beobachters („*influence the observer*“) werden wir deshalb für unsere Beschreibungen nicht benötigen. (Den interessierten Leser verweisen wir sehr gerne auf ZEILINGER 1999.)

schreibt Zeilinger: „Gibt es denn irgendwelche Probleme oder Schwierigkeiten? Es scheint, dass sie gerade dort entstehen, wo man mit Konzepten, wie *Verständnis*, *Bedeutung* oder *Sinn* zu arbeiten versucht. Sie tauchen auf, wenn wir uns fragen, welche Bedeutung die Quantenmechanik für unsere Sicht der Welt (*Weltanschauung*) bedeuten könnte, oder sogar, wenn wir uns die Frage nach einer umfassenderen Begründung der Theorie stellen. Auf dieser Ebene (des Begründens) gibt es mit Sicherheit noch ein Problem. Ich schlage vor, dies als das Problem der umfassenderen Interpretation der Quantenmechanik zu bezeichnen; das ist ein Interpretationsproblem auf der Metaebene.

Als ein interessantes Beispiel aus der Geschichte der Physik möchte ich hier die Leistung Einsteins für die Spezielle Relativitätstheorie anführen. Die Geschichte zeigt, dass fast alle relativistischen Gleichungen, welche in Einsteins Veröffentlichung von 1905 erscheinen, bereits vor Einsteins Veröffentlichungen schon bekannt waren, vor allem durch Lorentz, Fitzgerald und Poincaré – welche schlicht versuchten die experimentellen Daten quantitativ zu interpretieren. Aber es gelang schließlich nur Einstein die konzeptionellen Grundlagen (für die Spezielle Relativitätstheorie) zu erschaffen – zusammen mit der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und den Gleichungen über die Theorie der Relativität. Dies bewerkstelligte er durch die Einführung des Relativitätsprinzips, welches besagt, dass die Gesetze der Physik in allen Trägheitssystemen dieselben sind. Ich behaupte, dass es der Existenz eines solchen Grundprinzips beim Aufbauen der Theorie zu verdanken ist, weshalb wir keine Vielzahl von Interpretationen der (Speziellen) Relativitätstheorie beobachten können. Beispielsweise akzeptieren wir, dass die Gleichungen der Theorie zwangsläufig aussagen, dass die Uhren in sich zu einander relativ bewegenden Systemen, verschieden schnell ticken und das ist tatsächlich eine Aussage über den relativen Gang der Uhren in verschiedenen Inertialsystemen. Im Falle der Quantentheorie ist dagegen die Situation eine ganz andere. Denn für die Quantentheorie haben wir kein generell akzeptiertes Prinzip, welches ihr als Grundlage dienen kann. In der Tat würde ich daraus schließen, dass eben es gerade dieses Fehlen (der Fundamentalprinzipien) erst ermöglicht, dass eine Vielzahl von unterschiedlichen Interpretationen - im umfassenderen Sinne - koexistieren. Dabei ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass nahezu alle diese Interpretationen (der Quantentheorie) miteinander übereinstimmen, wenn es um das Bestimmen von experimentellen Vorhersagen geht. [...]“¹⁴⁶⁸

¹⁴⁶⁸ ZEILINGER 1996, S. 2

Frei übersetzt von Eren Simsek. Das Original lautet:

„Are there, then, any problems, any difficulties? It seems that they arise just where concepts like *understanding*, *meaning*, or *sense* are dealt with. They appear when we ask what quantum mechanics might mean for our view of the world (*Weltanschauung*) or even when we ask questions after the why of the theory in a very broad sense. On this level there certainly is a problem. I propose to call this the interpretational problem of quantum mechanics in the broader sense, it is an interpretational problem on a metalevel.

As an interesting case from the history of physics I would like to mention Einstein's development of the special theory of relativity. It so happened that almost all relativistic equations which appear in Einstein's publication of 1905 were known already before^[6], mainly through Lorentz, Fitzgerald and Poincaré - simply as an attempt to interpret experimental data quantitatively. But only Einstein created the conceptual foundations, from which, together with the constancy of the velocity of light, the equations of the theory of relativity arise. He did this by introducing the principle of relativity, which asserts that the laws of physics must be the same in all inertial systems. I maintain that it is this very fact of the existence of such a fundamental principle on which the theory is built which is the reason for the observation that we do not see a multitude of interpretations of the theory of relativity. We accept, for instance, that the equations of the theory inevitably imply that clocks really run

Wir haben in dieser Arbeit **zwei fundamentale Prinzipien** vorgeschlagen, mit denen die QM zu begründbar sein könnte. Mit diesen Prinzipien wollen wir drei Punkte untersuchen:

1. Wir wollen versuchen eine Interpretation der QM aus diesen zwei Prinzipien aufzubauen.
2. (Anschließend werden wir sie mit anderen Interpretationen der QM vergleichen.)
3. Und zuletzt werden wir versuchen zu analysieren ob diese neue Interpretation der QM uns nicht auch Voraussagen erlaubt, die experimentell überprüfbar wären.

Wir konnten oben vernehmen, dass Tipler und Llewellyn Folgendes schreiben: „Bei Meereswellen schwingen Wassermoleküle, bei Schallwellen Luftmoleküle, bei Lichtwellen das elektrische und das magnetische Feld. Was aber schwingt bei Materiewellen? Materiewellen haben (wie Lichtwellen) kein Trägermedium (kein „Äther“). Wie wir in den beiden folgenden Abschnitten sehen werden, schwingt hier die *Wahrscheinlichkeit, das Teilchen an einem bestimmten Ort zu finden*.“¹⁴⁶⁹

Karl Popper entwickelte dafür den Begriff *Propensität*. Er besagt, dass die Wahrscheinlichkeit, welche die Wellenfunktion aussagt, „als ein Maß für die Tendenz eines Quantenobjekts, bestimmte Wirkungen zu produzieren“¹⁴⁷⁰ angesehen werden sollte. Wenn wir also von Überlagerungen von Zuständen in der Quantenmechanik sprechen¹⁴⁷¹ – wie zum Beispiel die zwei möglichen Wege beim Doppelspalt – dann ist diesem Zustand eine *objektive Natur* zu zuschreiben. Diese *objektive Wahrscheinlichkeit* besteht unabhängig von unserem Wissen. Popper schreibt: „Die statistischen Aussagen der Quantenmechanik müssen in der gleichen Weise intersubjektiv nachprüfbar sein, wie irgendwelche andere Aussagen der Physik. (Nicht nur die Zulässigkeit der Raum-Zeit-Beschreibung rettet unsere einfache Analyse, sondern auch den Objektivitätscharakter der Physik.)“¹⁴⁷² In diesem Sinne sollten wir den Aussagen der QM und somit auch der *Wellenfunktion von Schrödinger* eine **Realität** zu schreiben können. *Eine Realität, welche uns Wahrscheinlichkeitsaussagen ermöglicht*.¹⁴⁷³ (Popper betont: „Ich bin hier durch und durch parteilich, für den Realismus.“¹⁴⁷⁴) **Diese Realität der Wellenfunktion werden wir umso besser annehmen können, wenn es uns gelingt sie zu materialisieren**. Unsere Auswahl ist nicht allzu groß; und wir haben gute Argumente, dass es sich bei diesem „Material“ um den „Äther“ handeln könnte.

at different speed as seen in reference frames which are moving relative to each other, and that this is indeed a statement about the relative course of time in these reference frames. The situation is quite different in the case of quantum theory, where we do not have such a generally accepted principle which can serve as the foundation of the theory. Indeed, I would suggest that this is the very reason makes it possible that a variety of different interpretations - in the broader sense - coexist. It is important to notice that nearly all of these interpretations are in agreement with each other when it comes to definite experimental predictions. [...]"

¹⁴⁶⁹ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 253

¹⁴⁷⁰ SPEKTRUM (II), S. 55

¹⁴⁷¹ In der Sprache der Physik spricht man von Superpositionen und Verschränkungen. (vgl. SPEKTRUM (II), S. 56)

¹⁴⁷² POPPER 2005, S. 219

¹⁴⁷³ Karl Popper bespricht in seinem Hauptwerk nicht nur den Wunsch Schrödingers der Wellenmechanik eine Realität zuzuschreiben, sondern entwickelt in Form einer Kritik, wie das nach seiner Ansicht am besten wohl zu bewerkstelligen wäre. vgl. dazu POPPER 2005, S. 218-221

¹⁴⁷⁴ POPPER 2012, S. 44-45

Wir konnten durch unsere historischen Untersuchungen zeigen, dass Einstein den Gedanken nicht teilte, dass der Äther falsifiziert wurde. Nach der ART konnte gezeigt werden, dass wir diesen Zusammenhang

$$\text{Äther} = \text{Raumzeit(struktur)}$$

annehmen können. Im Grenzfall, beispielsweise für die SRT oder die klassische Physik, ist wohl nichts dagegen einzuwenden, dass wir dann analog auf Folgendes schließen dürfen

$$\text{Äther} \approx \text{Raum und Zeit}$$

Wenn wir dieses Argument mit unserem ersten Prinzip

Prinzip der Einfachheit:

1. Die Naturgesetze, welche die Dynamik eines (Quanten)objekts zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten (Raum)punkt beschreiben, begründen das Kosmologische Prinzip.

vereinen, erkennen wir, dass die „Welle“, welche die Wellengleichungen beschreiben, die Entwicklungen von Raum und Zeit selbst sind. Obwohl diese Umdeutung nicht sehr weit hergeholt ist, bringt sie eine sensationell neue Interpretation der QM, bzw. der Kopenhagener Deutung mit sich:

Die Wellengleichung gibt deshalb die Wahrscheinlichkeit an, das Quantenobjekt an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit zu finden, weil die Wellengleichung eigentlich beschreibt, dass durch das Quantenobjekt der Raum und die Zeit erst erzeugt werden. Aus dieser erzeugten Raum und Zeit wird das Teilchen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit irgendwo zu finden sein.

Wenn wir also in der ART von der **Krümmung** der Raum-Zeit gesprochen haben, dann können wir in der QM von der **Erzeugung** des Raums und der Zeit sprechen.

Auf diese Interpretation der QM deuten einige quantenmechanische Phänomene hin, von denen wir nur ein paar aufzählen möchten:

(a) Die Zeitunabhängigkeit von Operatoren:

Die Zeit wird im Hamiltonoperator mit entwickelt. Wir wissen, dass die Schrödingergleichung der Funktion ψ zu jedem Zeitpunkt einen wohldefinierten Wert zuweisen kann.¹⁴⁷⁵ Wir könnten jedoch genauso gut sagen, dass erst durch den wohldefinierten Wert von ψ die Zeitpunkte genau definiert werden können. So gelingt es doch durch die Gesetze der Quantenmechanik die Zeit genau zu bestimmen. Einer der bedeutendsten Quantenphysiker unserer Zeit, H. Dieter Zeh, schreibt beispielsweise: „Atomuhren beruhen auf der zeitabhängigen Superposition zweier benachbarter molekularer Energieeigenzustände, die sogenannte „beats“ (durch die Energiedifferenz bestimmte Schwebungen) definieren. Diese würden jedoch sofort selber dekohäriert, wenn man versuchte, ihre Amplitude (die Uhrzeit) abzulesen. Deshalb muss man sie zunächst dynamisch mit dem kohärenten Zustand eines resonanten Maserfeldes korrelieren. Solche kohärenten Qszillatorzustände aus vielen

¹⁴⁷⁵ vgl. dazu REBHAN 2008, S. 97

Photonen sind robust gegen Dekohärenz – auch bei Messungen [...]. Somit erlauben sie die Konstruktionen einer atomaren Uhr, die sich regelmäßig ablesen lässt.¹⁴⁷⁶

(b) Die Entstehung eines Wellenpaketes:

Die Beschreibung eines Elementarteilchens erfolgt durch Wellenpakete; denn diese können – im Gegensatz zu ebenen Wellen – im Raum und in der Zeit *lokalisiert* werden. Doch zu einem Wellenpaket gelangt man, indem man harmonische Wellen verschiedenster Frequenz und Wellenlängen (mit Hilfe von Fourierintegralen) überlagert.¹⁴⁷⁷ Wenn man sich jedoch diese Wellen als *Störungen* oder eben mehr als eine *Erzeugung* des Raumes und der Zeit vorstellt, so kann man sagen, dass die Quantenobjekte aus einer Überlagerung aus unterschiedlich erzeugten Raum- und Zeitintervallen entstehen; oder aber, dass die Quantenobjekte zur Entstehung verschiedenster Raum- und Zeitintervallen führen.

(c) Das Zerfließen des Wellenpaketes:

Die Schrödingergleichung ist eine *parabolische Differentialgleichung*.¹⁴⁷⁸ (Grob gesagt ist die Schrödingergleichung somit eine „Mischung“ aus einer *Wellengleichung* und einer *Diffusionsgleichung*.) Das bedeutet, dass sie zur Lösung ungedämpft laufender Wellen führt. Soweit so gut. Diese zusammengesetzt ergeben dann beispielsweise ein Wellenpaket. Und dieses Wellenpaket besitzt aber *diffuse*¹⁴⁷⁹ Eigenschaften: Das Wellenpaket *zerfließt*.¹⁴⁸⁰ Doch an was soll das Wellenpaket sich denn zerstreuen können?¹⁴⁸¹ Man könnte das *Zerfließen* des Wellenpakets als eine Art **Selbstdiffusion** ansehen: *Das Wellenpaket interagiert mit den verschiedenen Größen der Raum- und Zeitintervalle.*

(d) Die Nullpunktsenergie:

Nehmen wir an, wir würden ein Quantenobjekt in einem gewissen Volumen der Länge Δx einsperren, um es von der Umgebung zu *isolieren*. (Um das Beispiel so einfach wie möglich zu gestalten, betrachten wir die Abgrenzung nur in einer Dimension.) Wir würden bald auf Grund der Heisenbergschen Unschärferelation ($\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$) bemerken, dass der Impuls und somit auch dessen Bewegungsenergie stets größer als $\Delta E_{kin.} \sim \Delta p \geq \frac{\hbar}{2\Delta x}$ sein müsste und

¹⁴⁷⁶ ZEH 2012, S. 194

¹⁴⁷⁷ vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 253-256 und DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 30

¹⁴⁷⁸ vgl. REBHAN 2008, S. 55 und DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 45

¹⁴⁷⁹ Der Begriff stammt vom lat. diffundere = auseinander fließen, zerstreuen usw.

¹⁴⁸⁰ vgl. REBHAN 2008, S. 55

¹⁴⁸¹ Natürlich kann man darauf in der Quantenmechanik eine Antwort geben. Das Auseinanderfließen des Wellenpaketes kann man damit begründen, dass die Teilwellen, aus denen das Wellenpaket besteht, unterschiedliche Phasen- und Gruppengeschwindigkeiten aufweisen. Deshalb verändert das Wellenpaket mit der Zeit seine Form. Genauso gut könnte man das Zerfließen natürlich mit der Heisenbergschen Unschärferelation erklären. vgl. DREIZLER/LÜDDE (III) 2008, S. 35-36

*Uns geht es in dieser Arbeit aber um eine **heuristische Erklärung**.*

daher niemals 0 sein kann.¹⁴⁸² (Das bezeichnen wir in der Quantenmechanik als die *Nullpunktsenergie*.¹⁴⁸³) *Doch woher bekommt das Teilchen diese kinetische Energie, wenn wir doch das Quantenobjekt von der Umwelt isoliert haben? Auch hier würde die Selbstdiffusion eine Erklärung bringen. (Die gleiche Erklärung könnten wir auch beim Tunneleffekt nützen usw.)*

(e) Der Zeitpfeil in der Physik

Dieses quantenmechanische Phänomen ist *womöglich* die beste Stütze für unsere Interpretation der Quantenmechanik. Der *Zeitpfeil* bedeutet, dass die Entwicklung der Zeit eine bestimmte *Richtung* aufweist. Die Zeit erscheint uns also nicht nur *eindimensional*, sondern verläuft *von der Vergangenheit in Richtung Zukunft*. Jedenfalls empfinden wir das so. *Deshalb können wir uns auch an die Vergangenheit erinnern aber nicht an die Zukunft*. Wir bezeichnen dieses Phänomen als den **psychologischen Zeitpfeil**. Dieser Zeitpfeil scheint aber keine pure Einbildung zu sein, da sonst beispielsweise Archäologen zukünftige Städte ausgraben würden, was natürlich nicht der Fall ist. Da dieser Zeitpfeil *objektiv* wahrnehmbar ist, sollte er natürlich auch durch die *Naturgesetze* erklärbar sein.¹⁴⁸⁴ *Die grundlegenden Naturgesetze der klassischen Mechanik sind aber zeitlich umkehrbar und zeichnen eigentlich keine Richtung aus*. Aus dieser verzweifelten Lage kann uns der **thermodynamische Zeitpfeil** befreien. Er besagt, dass in der Natur irreversible (= zeitlich unumkehrbare) Vorgänge stattfinden können, da in einem *abgeschlossenem System* die *Unordnung* entweder gleich bleibt oder immer größer wird (und dass das System einen Zustand höherer *Ordnung* bekommt, ist *sehr unwahrscheinlich*).¹⁴⁸⁵ Dieses Gesetz ist uns im Alltag derart klar, dass es sicher einen Großteil unseres Hausverständes ausmacht. Wenn zum Beispiel eine Vase auf den Boden fällt und zerbricht, dann ist es in einem Zustand höherer Unordnung übergegangen als vor dem Aufprall. Für die Ordnung sorgen dann aber wir (= Lebewesen) indem wir wiederaufräumen: Zum Beispiel kleben wir die Vase wieder zusammen usw. Unser Verstand – der sich durch die Erfahrung mit solchen Situationen öfter auseinander gesetzt hat – gibt uns klar zu verstehen, dass die Vase von selbst ihre vorherige Ordnung nicht einnehmen wird, da es *sehr unwahrscheinlich* ist, dass die zerbrochenen Teile mit *genau jener Geschwindigkeit und Richtung* wieder zusammen finden werden. Der Zeitpfeil scheint aber nicht nur für unser System „Vase in einem abgeschlossenen Raum“ zu gelten, sondern zugleich für den gesamten Kosmos. Das ganze Universum scheint sich also in eine Zeitrichtung zu entwickeln – wir bezeichnen das als den **kosmologischen Zeitpfeil** – und das wird uns durch den Urknall verständlich. Beim Urknall dürfte das Universum – nach dem 2.

¹⁴⁸² Etwas genauer könnten wir die Formel auf diese Weise angeben:

$$\langle E_{kin.} \rangle = \frac{\langle p^2 \rangle}{2m} \geq \frac{\hbar^2}{2m \cdot x^2}$$

Wobei $\langle \quad \rangle \approx$ *Mittelwert* bedeutet. vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 268

¹⁴⁸³ vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 268

¹⁴⁸⁴ Stephen Hawking schreibt: „Ich habe gezeigt, daß der psychologische Pfeil im wesentlichen der gleiche wie der thermodynamische ist, so daß die beiden stets in die gleiche Richtung weisen.“ HAWKING 2007, S. 187-188

¹⁴⁸⁵ Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt – ganz einfach erklärt –, dass in einem abgeschlossenen System jede Energieumwandlung zu einer Zunahme von Entropie führt. Dabei stellt die Entropie eine thermodynamische Größe dar, welche die Unordnung des Systems angibt. So ist die Entropie groß, wenn die Objekte in einem System nicht ordentlich sondern zufällig verteilt sind.

Gesetz der Wärmelehre – seine höchste Ordnung gehabt haben. Und da es sich durch seine Expansion usw. immer mehr in einen unordentlicheren Zustand entwickelt, ergibt sich ein *kosmologischer Zeitpfeil*. Wir könnten uns mit dieser Erklärung des Zeitpfeils vielleicht schon zufrieden geben, würden wir bei unseren Prinzipien der QM nicht Folgendes notiert haben:

**Die beiden Prinzipien tragen natürlich auch etwas Selbstverständliches in sich:
Die Natur des Kosmos spiegelt sich in der Natur des Quantenobjekts wieder.**

So gesehen, wäre es natürlich schön, wenn wir auch bei den Quantenobjekten einen Anhaltspunkt für einen Zeitpfeil entdecken würden, da wir in dieser Arbeit Interpretation vertreten, dass die Wellenfunktion die Entstehung des Raumes und der Zeit mitbeschreibt. Und tatsächlich finden wir den Zeitpfeil überraschenderweise bei den Quantenobjekten wieder! *Die Dynamik eines Quantenobjekts wird mit der Schrödingergleichung beschrieben*. Sie gibt uns Auskunft über die überlagerten Zustände und beschreibt somit zugleich die Entwicklung des Raumes und der Zeit.¹⁴⁸⁶ Wird das Quantenobjekt jedoch gemessen – was nichts anderes als eine Wechselwirkung bedeutet – dann „kollabiert“ bzw. „reduziert“ sich dessen überlagerter (= verschränkter) Zustand in einen Teilzustand. Und dieser *Kollaps* geht nur in eine Richtung – weshalb wir ihn auch als den **quantenmechanischen Zeitpfeil** bezeichnen.¹⁴⁸⁷ Das ist der Grund, weshalb die Quantenobjekte zwar mit einer Wellenfunktion beschrieben werden, jedoch aber nur als Teilchen registrierbar sind (, denn sobald wir das Quantenobjekt als Teilchen registriert haben, hat es seine Überlagerungszustände verloren.) Dieser *Kollaps* wird also nicht durch die Schrödingergleichung angegeben – **sondern der quantenmechanische Zeitpfeil ist gleichbedeutend mit der Tatsache, weshalb die Zeit nur in eine Richtung geht!**¹⁴⁸⁸ Insofern gibt uns das *Kollabieren* der Schrödingergleichung die Richtung der Zeit an. Wenn es uns irgendwann *theoretisch* gelingen sollte, die genaue Wellenfunktion des Universums anzugeben, dann würden wir auch erkennen, dass der **quantenmechanische Zeitpfeil** und der **kosmologische Zeitpfeil** eigentlich dieselben sind.¹⁴⁸⁹

¹⁴⁸⁶ **Die Wellenfunktion zeigt uns, dass die Quantenobjekte durch ihre Raumzeitbahnen nicht individuierbar sind.** (vgl. dazu FALKENBURG 2013, S. 178) Schrödinger beispielsweise schreibt: „Für die Mikromechanik ist eben das System der mechanischen Grundgleichungen ganz und gar nicht mehr zuständig, die einzelnen Bahnkurven, von denen es spricht, haben dort keine Sonderexistenz mehr. Ein Wellenvorgang erfüllt den ganzen Phasenraum. Daß für einen Wellenvorgang sogar schon die *Anzahl* der Dimensionen, in denen er sich abspielt, etwas sehr wesentliches ist, ist wohlbekannt.“ (SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 520; vgl. auch SCHRÖDINGER (II) 1926, S. 508-509)

Unsere Interpretation in dieser Arbeit ist, dass es diese individuellen Raumzeitbahnen deshalb nicht gibt, da der Raum und die Zeit erst erzeugt werden.

¹⁴⁸⁷ Dass die Zeit eine *absolute Richtung* besitzt, kann in der *relativistischen Quantentheorie* auch durch die **TCP-Symmetrie** erklärt werden – wobei *T = Time = Zeit*, *C = Charge = Ladung*, *P = Parity = Parität* bedeutet. Aus Platzgründen werden wir in dieser Arbeit jedoch nicht auf diese Theorie eingehen. Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 767-768 und HAWKING 2007, S. 178

¹⁴⁸⁸ Michael Esfeld erläutert: „Wie der Physiker und Philosoph David Albert von der Columbia University in New York gezeigt hat, kann die quantenphysikalische Reduktion einer Verschränkung als Basis aller zeitlich irreversiblen Prozesse im Universum verstanden werden. Im Unterschied zur klassischen Physik verankern hier Zustandsreduktionen die Zeitrichtung in der Dynamik der grundlegenden physikalischen Theorie und nicht lediglich in Anfangsbedingungen des Universums.“ SPEKTRUM (II), S. 58

¹⁴⁸⁹ Eine genauere Diskussion zu diesem Thema würde den Horizont dieser Arbeit deutlich sprengen. Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf die Kapitel „Die Suche nach dem Urzeitpfeil und Der Zeitbegriff in der Quantentheorie“ aus dem Buch **Physik ohne Realität: Tiefsinn oder Wahnsinn?** (2012) von H. Dieter Zeh.

Die Punkte (b), (c) und (d) ergeben womöglich auf den ersten Blick wenig Sinn, denn einerseits sagen wir, dass durch das Quantenobjekt der Raum und die Zeit erzeugt wird und andererseits, dass es mit dem Vakuum wechselwirkt. Der Widerspruch löst sich nur dann auf, wenn wir uns dem zweiten *Prinzip der Quantenmechanik* widmen:

Prinzip der Besonderheit:

2. Die Naturgesetze sind allgemein nicht Skalensymmetrisch.

Dass die Naturgesetze allgemein nicht skalensymmetrisch sind, führt dazu, dass die Natur selbst, und somit auch unser Kosmos nicht skalensymmetrisch sein kann. Wenn wir beispielsweise in etwa schätzen wollen, wie groß der Radius eines Wasserstoffatoms ist, dessen Elektron die niedrigste Energiestufe¹⁴⁹⁰ hat, dann könnten wir das sehr einfach auf einem semiquantennmechanischen Weg erreichen, nämlich in dem wir das Bohr'sche Atommodell verwenden.¹⁴⁹¹ Unser Ergebnis für den Radius der kleinstmöglichen Bahn des Elektrons wäre¹⁴⁹² $r = \frac{\hbar^2}{m \cdot k \cdot e^2}$. (Diesen Radius r bezeichnet man als den Bohrschen Radius.) Wir sehen, dass dieser Radius von der (reduzierten) Planckschen Wirkungskonstante \hbar abhängt.¹⁴⁹³ Diese ist aber eine Naturkonstante und daher unveränderlich. Das bedeutet, wir können den Radius eines Atoms mit (niedrigster Energiestufe) nicht vergrößern oder verkleinern. Zugleich kann man sagen, dass wenn wir die Moleküle oder makroskopische Gegenstände doppelt so groß haben wollen, dann müssen sie aus doppelt so vielen Atomen zusammengesetzt sein, da man Atome selbst eben nicht beliebig vergrößern oder verkleinern kann.

Nun ist es aber nicht ganz verständlich, was das mit dem Raum bzw. dem Vakuum oder mit der Zeit zu tun hat. Wenn wir die QM um die Einsteinsche Mechanik (bzw. die Spezielle Relativitätstheorie) erweitern, dann erhalten wir die *relativistische QM*. Die Prinzipien dafür könnten wir in dieser Form wieder geben¹⁴⁹⁴:

¹⁴⁹⁰ Das bedeutet, dass das Elektron kein Photon mehr aussenden kann um auf ein niedrigeres Energieniveau zu gelangen.

¹⁴⁹¹ Durch sein Atommodell gelang es Bohr die Spektren des Wasserstoffatoms zu erklären, wofür er 1922 den Nobelpreis bekam. (vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 201, Fußnote 7)

¹⁴⁹² Aus Platzgründen ersparen wir uns die Rechnung. Gerne verweisen wir auf TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 201-205, wo den Leser ein sehr eleganter Zugang erwartet.

¹⁴⁹³ Außerdem enthält die Formel natürlich noch eine elektromagnetische Konstante (*Elementarladung* = e), die Coulomb-Konstante (*Coulomb Konstante* = k), sowie die Ruhemasse des Elektrons (*Ruhemasse des Elektrons* = m).

¹⁴⁹⁴ Genau genommen bräuchten wir das 4. Prinzip wohl gar nicht erst extra zu erwähnen. Dafür gäbe es zwei Argumente:

1. Es ist eigentlich im zweiten Prinzip mitenthalten.
2. Und historisch gesehen, hätte man nach dem Entdecken der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit durch die Maxwell'schen Gleichungen auch gleich nach der relativistischen Form der Mechanik forschen können, da die klassische Mechanik somit falsifiziert wurde. (Auf Grund der Interpretationsschwierigkeiten des „Äthers“ wurde dieser Weg jedoch auf Umwegen unternommen.)

So schreibt auch Rebhan: „Das Relativitätspostulat ist das wichtigere der beiden Postulate. Das Postulat der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit kann auch durch andere Postulate ersetzt werden und wäre überhaupt

Die Prinzipien der relativistischen QM		
1.	Prinzip der Einfachheit:	Die Naturgesetze, welche die Dynamik eines (Quanten)objekts zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten (Raum)punkt beschreiben, begründen das Kosmologische Prinzip.
2.	Prinzip der Besonderheit:	Die Naturgesetze sind allgemein nicht skalensymmetrisch.
3.	Prinzip der Relativität (bzw. der Kovarianz¹⁴⁹⁵):	Die Naturgesetze haben in allen Inertialsystemen die gleiche Form.
4.	(Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit)	(Die Lichtgeschwindigkeit ist eine Grenzgeschwindigkeit und hat in allen Inertialsystemen dieselbe Form.)

Durch die *relativistische QM* bekommen wir neue Erkenntnisse über die Quantenobjekte, welche der (nichtrelativistischen) QM noch gefehlt haben. Beispielsweise wissen wir durch sie, dass es Antiteilchen gibt, oder dass **das Vakuum von (virtuellen) Elektronen und Antielektronen (=Positronen) brodeln**¹⁴⁹⁶ und, dass noch eine Naturkonstante eine besondere Rolle spielt, nämlich die Grenz- bzw. Lichtgeschwindigkeit c . **Die relativistische QM bestätigt also unsere Vermutung, dass Quantenobjekte mit dem Raum und der Zeit eng zusammenhängen.** Wir wollen das an einem Beispiel verdeutlichen, welches auch zugleich mit unserem 2. Prinzip zu tun hat. Wir haben bereits in der QM gesehen, dass das Quantenobjekt eine *Nullpunktsenergie* besitzen muss. Und je mehr wir das Volumen verkleinern, umso größer wird (auf Grund der Unschärferelation) die Bewegungsenergie des Quantenobjekts. Dies haben wir in unserer Definition auf die *eine Art der Selbstdiffusion* zurückgeführt. Die relativistische QM gewährt uns da ein wenig mehr Einblick. (Wenn wir das Problem wieder nur eindimensional betrachten) erkennen wir, dass durch die relativistische QM Folgendes gilt: Wenn ein Quantenobjekt in einem kleineren Raum (Δx) eingeschlossen wird, welches in etwa der Größe der Compton-Wellenlänge (λ_c) jenes Quantenobjekts ($\Delta x < \lambda_c$) zu kommen würde, dann kommt es zu einer Paarerzeugung (Elektron-Positron-Paar). Rebhan schreibt dazu: „Dies zeigt erneut, daß die relativistische Quantenmechanik keine genuine Ein-Teilchen-Theorie ist, sondern unter gegebenen Umständen zwangsläufig zu Viel-Teilchen-Phänomenen führt.“

Durch die Paarerzeugung werden der Impuls und die Impulsunschärfe des ursprünglichen Teilchens kleiner, was zur Folge hat, daß [...] die Ortsunschärfe wieder größer wird. Dies bedeutet, daß in der relativistischen Quantenmechanik anders als in der nicht—relativistischen

überflüssig gewesen, wenn man zur Zeit Einsteins schon die relativistische Mechanik gekannt hätte [...]“
REBHAN (II) 2012, S. 11

¹⁴⁹⁵ Um ein besseres Verständnis zu erhalten, zitieren wir hier gerne Rebhan: „Im Zusammenhang mit dem Relativitätspostulat benutzt man heute das Wort **Kovarianz**. Gemeint ist damit Folgendes: Eine physikalische Theorie heißt kovariant, wenn eine Transformation zwischen verschiedenen Koordinatensystemen existiert derart, daß sie in allen betrachteten Systemen – in der SRT handelt es sich dabei um Inertialsysteme – die gleiche Form annimmt.“

Die klassische Mechanik ist kovariant, denn sie ist invariant gegenüber Galilei-Transformationen. Die Maxwell-Theorie ist kovariant, denn sie ist Lorentz-invariant. Klassische Mechanik und Maxwell-Theorie zusammengenommen sind nicht kovariant, da sie nicht gegenüber denselben Transformationen invariant sind. Durch Abänderung der klassischen Mechanik können sie jedoch gemeinsam gegenüber der Lorentz-Transformation invariant gemacht und damit zu einer kovarianten Theorie zusammengefaßt werden.“
REBHAN (II) 2012, S. 12

Das bedeutet zugleich, dass wir statt „**Die Naturgesetze haben in allen Inertialsystemen die gleiche Form.**“ eigentlich auch „**Die Naturgesetze sind Lorentz-invariant.**“ schreiben könnten.

¹⁴⁹⁶ Wie wir wissen wurde die relativistische QM von Dirac entdeckt. Auf Diracs Deutung wollen wir in dieser Arbeit nicht näher eingehen und verweisen gerne auf REBHAN (II) 2012, S. 60.

Quantenmechanik der Ort eines Teilchens nicht beliebig scharf werden kann. Die Ortsunschärfe besitzt vielmehr eine untere Grenze, [...]“¹⁴⁹⁷

Man sieht hier jedoch nicht nur wieder ein Zeugnis, dass die Naturgesetze nicht skalensymmetrisch sind, sondern, genau wie das 2. Prinzip der (relativistischen) QM die untere Grenze der Heisenbergschen Unschärferelation begründet.

Um das Ganze an einem Beispiel besser zu verdeutlichen, wollen wir die QM erweitern. Wir nehmen an, dass das Vakuum bereits voller Quantenobjekte ist. Und genau das ist auch der Fall! Diese Erkenntnis brachte die *relativistische QM*. Schon Dirac erkannte, dass das Vakuum aus Quantenobjekten¹⁴⁹⁸ völlig ausgefüllt sein müsste. Nach der relativistischen QM brodelt es im Vakuum nur von Quantenobjekten. (Man bezeichnet diesen Zustand auch als *Vakuumfluktuationen*).

Wir dagegen drehen die Argumentationskette um und sagen: Erst durch die (virtuellen) Quantenobjekte wird der Raum und die Zeit erzeugt. Dass wir das wirklich so sagen dürfen, wird durch verschiedenste physikalische Phänomene (teilweise indirekt) bestätigt:

- (1) Vakuumpolarisation,
- (2) Casimirkraft usw.

Das wird auch durch die relativistischen Quantenfeldtheorien nicht besser. Im Gegenteil: *Noch mehr (virtuelle) Objekte nehmen ihren Platz im Vakuum ein.*

Womöglich haben Sie von diesen virtuellen Quantenobjekten in der Schule gehört, die im Vakuum so schnell entstehen und vergehen, bevor man sie messen kann. Und begründet wird das Ganze mit der Unschärferelation: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$. Aus dem Vakuum darf nach dieser Unschärferelation ganz kurz Energie entliehen werden, damit ein Quantenobjekt entstehen kann. Dieses muss aber dann ganz schnell wieder verschwinden. Wenn eben dieser Prozess so kurz dauert, dass man die Energie des Quantenobjekts erst gar nicht messen kann, sind sie nach der obigen Unschärferelation erlaubt. Ganz anders ist jedoch unsere Interpretation in dieser Arbeit: *Der Raum und die Zeit werden erst durch diese (virtuellen) Quantenobjekte erzeugt.* Mit dieser Interpretation sind womöglich die Sätze Diracs ebenso oder womöglich sogar besser verständlich, wenn er schreibt: „Das Gebiet unserer Wellenfunktion fällt also mit dem gewöhnlichen Raum-Zeit-Kontinuum (kurz die „Welt“ genannt) zusammen, und gerade dieser Umstand macht es möglich, das Problem mit elementaren Mitteln zu behandeln, und gestattet es uns, von Vorstellungen Gebrauch zu machen, die für allgemeinere dynamische Gebilde nicht mehr gelten. Wir dürfen z.B. annehmen, daß der physikalische Zustand in einem beliebigen Punkt der Welt nur von dem Wert der Wellenfunktion in diesem Punkt und seiner unmittelbaren Nachbarschaft abhängt, und daher transformiert sich die Wellenfunktion, wenn sie bei einer Lorentztransformation nicht einfach invariant ist, nach einfachen Transformationsgesetzen.“¹⁴⁹⁹

Bereits im ersten Kapitel ***Das Überlagerungsprinzip*** seines Buches ***Die Prinzipien der Quantenmechanik*** schreibt Dirac: „Die Aufgabe der Quantenmechanik besteht darin, den Bereich der Fragen zu *erweitern*, auf die sich Antworten geben lassen, und keineswegs darin, *genauere*

¹⁴⁹⁷ REBHAN (III) 2010, S. 80

¹⁴⁹⁸ Zuerst dachte er, dass es Protonen sein müssten, doch danach kam er zu Positronen – den Antiteilchen der Elektronen.

¹⁴⁹⁹ DIRAC 1930, S. 252

Antworten zu geben, als sich durch Versuche bestätigen lassen.¹⁵⁰⁰ Diesen Worten folgend können wir in dieser Arbeit nur hoffen, dass wir den Bereich der Fragen vielleicht etwas erweitern konnten. Es liegt an uns diese Fragen zu stellen und vielleicht auch irgendwann diese zu beantworten. Zum Schluss widmen wir uns wieder dem Zitat von Hölderlin, der meinte: „Die erste Idee ist natürlich die Vorstellung von *mir selbst*, als einem absolut freien Wesen. Mit dem freien, selbstbewußten Wesen tritt zugleich eine ganze *Welt* – aus dem Nichts hervor – die einzig wahre und gedenkbare *Schöpfung aus Nichts* – Hier werde ich auf die Felder der Physik herabsteigen; die Frage ist diese: Wie muß eine Welt für ein moralisches Wesen beschaffen sein? Ich möchte unsrer langsamen an Experimenten mühsam schreitenden Physik einmal wieder Flügel geben.

So – wenn die Philosophie die Ideen, die Erfahrung die Data angibt, können wir endlich die Physik im Großen bekommen, die ich von spätern Zeitaltern erwarte. Es scheint nicht, daß die jetzige Physik einen schöpferischen Geist, wie der unsrige ist, oder sein soll, befriedigen könne.¹⁵⁰¹

Ob wir Hölderlins Erwartung von den späteren Zeitaltern erfüllen konnten, soll der Leser selbst entscheiden. Doch die *Quantentheorie* scheint, sowie das *Ich* etwas Schöpferisches an sich zu haben. Schon zu einer Zeit, wo die QM noch nicht entwickelt wurde, schreibt der berühmte Physiker Ernst Mach: „Ein *isoliertes Ich* gibt es ebensowenig, als ein isoliertes Ding. *Ding* und *ich* sind provisorische Fiktionen gleicher Art.“¹⁵⁰² Statt „provisorische Fiktionen“ könnten wir auch sagen „vorläufige Dichtungen“. Goethe schreibt in seinem Werk *Aus meinem Leben. Dichtung und Wahrheit* (1811-1833): „Unser Leben ist, wie das Ganze, in dem wir enthalten sind, auf eine unbegreifliche Weise aus Freiheit und Notwendigkeit zusammengesetzt. Unser Wollen ist ein Vorausverkünden dessen, was wir unter allen Umständen tun werden. Diese Umstände aber ergreifen uns auf ihre eigne Weise. Das Was liegt in uns, das Wie hängt selten von uns ab, nach dem Warum dürfen wir nicht fragen, und deshalb verweist man uns mit Recht aufs Quia.“¹⁵⁰³ Aus dieser Sichtweise betrachtet, ist wohl die *Quantengravitation* das größte „Quia“ bzw. die *größte Vision*¹⁵⁰⁴, der wir zustreben, mit welcher wir wahrscheinlich irgendwann – oder auch nie – die Entstehung des Kosmos und somit auch des Menschen verstehen werden können. In diesem Sinne hat es womöglich Thales bereits geahnt: Die *Antwort* liegt – von unserer *Perspektive* aus gesehen – im *Sternenhimmel*.

¹⁵⁰⁰ DIRAC 1930, S. 7

¹⁵⁰¹ HÖLDERLIN

¹⁵⁰² MACH 1917 im Kapitel *Philosophisches und naturwissenschaftliches Denken*.

vgl. in dieser Arbeit S. 15, Fußnote 23 und S. 51

¹⁵⁰³ GOETHE (V) 1948

¹⁵⁰⁴ Die *Prinzipien der Quantengravitation* könnten wir nach dem heutigen Wissensstand in folgenderweise angeben:

Die Prinzipien der Quantengravitation	
1.	Prinzip der Einfachheit: Die Naturgesetze (I), welche die Dynamik eines (Quanten)objekts zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten (Raum)punkt beschreiben, begründen das Kosmologische Prinzip.
2.	Prinzip der Besonderheit: Die Naturgesetze (I und II) sind allgemein nicht skalensymmetrisch.
3.	Prinzip der Relativität (bzw. der Kovarianz): Die Naturgesetze (I) haben in allen Inertialsystemen die gleiche Form.
4.	Prinzip der Äquivalenz: Die Naturgesetze (II) haben in allen Bezugssystemen dieselbe Form, wobei die gültigen Naturgesetze (I) (in globalen Minkowski-Systemen) in derselben Form auch in allen lokalen ebenen Systemen der Naturgesetze (II) gelten.

Anhang I

Die Theory of Mind (in der Naturwissenschaft) ≈ „objektiver Naturwissenschaftler“

Wir konnten bereits sehen, wie sehr die Perspektivenbildung bzw. Theory of Mind das „Menschsein“ auszeichnet. Sie ist somit nicht nur in den Prinzipien der Philosophie und der Psychologie wichtig, sondern für die Naturlehre von prinzipieller Bedeutung. Dies wollen wir an Hand der Physik (= die Lehre der Natur) gleich demonstrieren.

Mit Theory of Mind meinen wir die Begabung sich in einen anderen Beobachter hineinversetzen zu können. Die Wissenschaft profitiert allgemein von dieser Gabe, da wir uns dabei in einen *objektiven Wissenschaftler* hineinzusetzen versuchen. **Der objektive Wissenschaftler ist sogleich natürlich die Identifikationsfigur für jeden Naturforscher.** Der „objektive Wissenschaftler“, der eigentlich eine **Idealvorstellung** eines oder mehrerer Forscher darstellt, sollte demgemäß durch „objektives Handeln“ zu neuen Kenntnisse kommen bzw. alte Kenntnisse überprüfen. Das „objektive Handeln“ bezeichnet man in der Wissenschaft(ssprache) als das *Experimentieren*. Dabei sind (mindestens) drei Regeln¹⁵⁰⁵ in der Experimentalwissenschaft wichtig:

1. Die Reproduzierbarkeit:

Das Experiment sollte von einem anderen „objektiven Wissenschaftler“, wozu man natürlich auch selber dazu gehören möchte, wiederholbar sein.

Das bedeutet also, während man das Experiment plant, oder eigentlich schon während man eine Hypothese (≈ Meinung) aufstellt, welche man durch das Experiment überprüfen will, versetzt man sich mental in einen „objektiven Beobachter“ hinein. **Somit ist die Theory of Mind essentiell für die erste Regel!**

Damit unsere Ergebnisse nicht subjektiv, sondern möglichst objektiv sind,¹⁵⁰⁶ dürfen sie **nicht qualitativ** Form sein¹⁵⁰⁷, sondern **quantitativ** angegeben werden.¹⁵⁰⁸ Unsere zweite Regel ist somit:

2. Die Quantifikation:

In einem Experiment sollte man (dimensionsbehaftete) Größen messen, denen man eine Einheit, wie zum Beispiel Meter [*m*] oder Kilogramm [*kg*] zuschreiben kann.¹⁵⁰⁹ (Auf die Wichtigkeit dieser Regel machte besonders Galilei aufmerksam. Er soll gesagt haben: „Alles was meßbar ist messen und was nicht meßbar ist, meßbar machen.“¹⁵¹⁰) Beispielsweise messen wir die Länge eines Kugelschreibers und erhalten 12,5[*cm*]. (Dazu ist es natürlich notwendig mit unserem Lineal auf Millimeter [*mm*] genau messen zu können).

¹⁵⁰⁵ Pietschmann bezeichnet diese Regeln als die „Axiome“ des Experimentierens (vgl. Pietschmann S. 84). Wir werden, was den Inhalt angeht, Pietschmanns schönen Äußerungen weitgehend folgen. Doch werden wir sie konsequent mit der Theory of Mind in Verbindung bringen (, was Pietschmann in seinem Werk nicht behandelt).

¹⁵⁰⁶ vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 86

¹⁵⁰⁷ Zum Beispiel: sehr lang, wenig verzögert, sehr körperlich usw.

¹⁵⁰⁸ Zum Beispiel: Meter, Zeit, Dichte usw.

¹⁵⁰⁹ vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 94

¹⁵¹⁰ zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 86

Damit wir aber als „objektive Wissenschaftler“ messen können, benötigen wir ein Maßsystem. Das bedeutet nichts anderes, als dass man sich an einem Maßsystem orientiert, welches andere Wissenschaftler auch benützen. Wir nehmen also stets nur solche Maßsysteme, von welchen wir ausgehen, dass andere Wissenschaftler sie genauso in Ordnung finden. So haben auch sie oder wir die Möglichkeit das Experiment zu wiederholen. Als das Internationale Einheitensystem verwendet man die SI-Einheiten.¹⁵¹¹ Nach der SI-Einheit wird die Länge in Metern [*m*] angegeben. Unser Ergebnis lautet daher besser 0,125 [*m*]. **Aus dieser Erläuterung wird ersichtlich, dass die Theory of Mind auch essentiell für die zweite Regel ist!**

Natürlich könnte auch jemand sagen: „Da die SI-Einheiten sowieso in Meter sind, haben wir mit einem sehr großen Lineal gemessen. Da waren aber die Millimeter gar nicht angegeben, und wir haben daher die Länge des Kugelschreibers nur auf 0,12 [*m*] messen können. Zählt nun diese Messung gar nicht mehr?“ Selbstverständlich zählt die Messung! Eine Messung ist nämlich erst dann sinnvoll, wenn man dazu die Fehlergrenzen¹⁵¹² miteinbezieht.¹⁵¹³ So würde unsere erste Messung lauten $0,125 \pm 0,001$ [*m*] und die zweite hingegen $0,12 \pm 0,01$ [*m*]. Wenn nun ein dritter den Kugelschreiber noch genauer messen würde und $0,1249 \pm 0,0001$ [*m*] bekäme, so hätten dennoch alle mit ihren Messungen Recht. Nur, dass die erste Messung etwas genauer ist als die zweite und die dritte etwas genauer ist als die erste.¹⁵¹⁴ Damit uns Messungen (mit ihren Fehlergrenzen) überhaupt gelingen können, sollten wir natürlich in der Lage sein komplexe Gegebenheiten zu vereinfachen. Das heißt, unwesentliche Phänomene *isolieren* können. Dazu ist natürlich die Analyse notwendig:

3. Die Analyse:

Das Experiment braucht nicht den Alltag exakt darzustellen. Pietschmann gibt hier ein exzellentes Beispiel, nämlich den freien Fall!¹⁵¹⁵ Nach Galilei fallen alle Körper gleich schnell runter. Die Formel dazu ist $Weg = Erdbeschleunigung \cdot \frac{Fallzeit^2}{2}$ bzw. $s = g \cdot \frac{t^2}{2}$. Wir sehen in der Formel taucht somit die Masse gar nicht auf.¹⁵¹⁶ Doch können wir diese Erfahrung im Alltag eigentlich nirgends bestätigen. Jedem ist klar, dass ein relativ großes Eisenstück schneller Richtung Boden fällt als eine Feder. Ist damit das Gesetz widerlegt? Nein! Galilei benützte die Theory of Mind um sich in eine „objektive Natur“ hineinzusetzen. Und in dieser abstrakten, objektiven Natur war es ihm möglich verschiedene „Idealzustände der Natur“ zu erreichen, indem er gedanklich Objekte hinzunahm oder entfernte. In diesem Fall entfernt Galilei sozusagen gedanklich die Atmosphäre und bildet ein Vakuum. Und in diesem Vakuum fallen, wenn man natürlich die Fehlergrenzen berücksichtigt, in der Tat alle Gegenstände gleich schnell.

¹⁵¹¹ SI steht für *Système International d'unités* (= Internationale Einheitensystem).

¹⁵¹² Das Wort *Fehler* darf man hier nicht mit dem Begriff *Irrtum* verwechseln. Den interessierten Leser weisen wir auf PIETSCHMANN 2007, S. 97.

¹⁵¹³ vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 87

¹⁵¹⁴ Wir sehen an dieser Stelle auch, wie sehr eine genaue Messung von den benützten Instrumenten oder besser: von dem *technologischen Fortschritt* abhängt. vgl. auch PIETSCHMANN 2007, S. 92

¹⁵¹⁵ vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 86-87

¹⁵¹⁶ vgl. dazu auch PIETSCHMANN 2007, S. 94

Dabei wird der „objektive Wissenschaftler“ zur „objektiven Natur“ selbst. Aus diesem Grund ist es unumgänglich sich in die „objektive Natur“ hineinzusetzen, um die Naturvorgänge zu verstehen, Hypothesen zu bilden und zu experimentieren. **Wir sehen die Theory of Mind ist auch essentiell für die dritte Regel!**

Die Theory of Mind (in der Physik) \approx Bezugssysteme \approx Inertialsysteme

Wir haben oben behauptet, dass ein Naturwissenschaftler sich in einen „objektive Wissenschaftler“ hineinzusetzen hat. Und letzten Endes sogar als „objektiver Wissenschaftler“ zur „objektiven Natur“ werden muss, um zu einer naturwissenschaftlichen Analyse zu gelangen. Die drei Etappen dazu wollen wir mit Hilfe der Physik kenntlich machen:

1. Unter einem „objektiven Wissenschaftler“ wollen wir uns einen Experimentator in seinem Labor vorstellen. Dann ist der Laborraum, das was wir als „objektive Natur“ bezeichnen. *(Dadurch haben wir die Grundbedingung der Analyse erfüllt.)*
2. Diese „objektive Natur“ bezeichnet man in der Physik als Bezugssystem (BS).¹⁵¹⁷ Um die Objektivität zu gewährleisten, müssen wir natürlich messen können. „Um Raumpunkte in dem Bezugssystem zu benennen, führt man Koordinaten ein. Verschiedene Zeitpunkte werden durch eine Zeitkoordinate t benannt; dies könnte die Zeit sein, die eine bestimmte Uhr anzeigt. Ein BS mit bestimmten Orts- und Zeitkoordinaten nennen wir Koordinatensystem (KS).“¹⁵¹⁸ *(So haben wir auch die Grundbedingung für die Quantifikation festgelegt.)*
3. Wir wollen Bezugssysteme (BS) in denen die physikalischen Vorgänge in gleicher Weise ablaufen. Die Bezugssysteme, die dieser Anforderung genügen bezeichnet man als Inertialsysteme (IS). Nach dem *Galileischen Relativitätsprinzip* sind alle IS gleichwertig und die grundlegenden Gesetze in Ihnen haben stets dieselbe Form.¹⁵¹⁹ *(Wir können daher auch die Grundbedingung für die Reproduzierbarkeit umsetzen.)*

¹⁵¹⁷ Die Bezeichnung BS ist klar: ein *System*, welches uns einen *Bezug* zu den physikalischen Ereignissen gewährt.

¹⁵¹⁸ FLIEßBACH (I) 2007, S. 31

¹⁵¹⁹ vgl. dazu FLIEßBACH (I) 2007, S. 31

Anhang II

Die Letztbegründung: Perspektivenbildung und deren Überprüfung!?

Die Frage nach der Letztbegründung hat eine lange Tradition. Eine ganz große Bedeutung bekommt sie jedoch mit Descartes. So schreibt er in seinem Werk *Meditationen über die Grundlagen der Philosophie*: „Und ich will solange weiter vordringen, bis ich irgend etwas Gewisses, oder, wenn nichts anderes, so doch zum mindesten das für gewiß erkenne, daß es nichts Gewisses gibt. Nichts als einen festen und unbeweglichen Punkt verlangte Archimedes, um die ganze Erde von ihrer Stelle zu bewegen, und so darf auch ich Großes hoffen, wenn ich auch nur das geringste finde, das von unerschütterlicher Gewißheit ist.“¹⁵²⁰

Wie die Bezeichnung „Letztbegründung“ schon klar und deutlich aussagt, geht es um eine Begründung, die nicht mehr hinterfragbar ist. (Dabei ist wiederum die Frage nach der Letztbegründung wahrscheinlich „die eigentliche Zentralfrage aller Philosophie“¹⁵²¹.)

Die Perspektivenbildung kann man *hinterfragen*. Wir können hinterfragen, weshalb eine (neue) Perspektive von Nutzen sein könnte, auch könnte man sich die Frage stellen, ob es eine Perspektive gibt, welche andere miteinschließt (, beispielsweise, wenn wir uns dimensionale Überlegungen vor Augen halten). Oder man versucht den Perspektivenwechsel bzw. die Theory of Mind evolutionstheoretisch zu erklären usw.

Der Grund weshalb dennoch die Perspektivenbildung als ein guter Kandidat für eine Letztbegründung gelten könnte, ist aber nicht, dass sie nicht hinterfragbar ist, sondern, dass sie es erst erlaubt bzw. möglich macht Sachen zu hinterfragen. Um nämlich etwas hinterfragen zu können, benötigen wir eine Perspektive, wo noch Themen unbeantwortet sind (oder Widersprüche im Raum stehen) usw.

Es ist jedoch nicht so, dass jede philosophische Schule mit dem Begriff einer Letztbegründung einverstanden ist. Beispielsweise gibt es nach dem *kritischen Rationalismus*, als dessen Begründer Karl Popper gilt, keine Erkenntnis, welche man als irrtumsfrei betrachten könnte. Somit kann es – nach dieser Perspektive – gar keine absolute Gewissheit über etwas geben, und somit auch keine Letztbegründung. Hans Albert, der diese philosophische Sichtweise ebenfalls vertritt, stellt in seinem Buch *Traktat über kritische Vernunft* (1968), (welches er Karl Popper widmet,¹⁵²²) das berühmte **Münchhausen-Trilemma** vor.¹⁵²³ Da nämlich jede Begründung wiederum eine Begründung verlangt,

¹⁵²⁰ DESCARTES 1965, S. 17

Genau an diese Zeilen von Descartes verweist auch Hans Albert bereits im zweiten Absatz seines ersten Kapitels von *Traktat über kritische Vernunft*, wobei er sie in seiner ersten Fußnote wiedergibt.

vgl. ALBERT 1991, S. 10, Fußnote 1

¹⁵²¹ Hugo Dingler: Der Zusammenbruch der Wissenschaft und der Primat der Philosophie, München 1926, S. 18 f. – zitiert nach ALBERT 1991, S. 37

¹⁵²² Dieser wiederum schreibt im *Vorwort zur dritten deutschen Auflage* (1968) der *Logik der Forschung*: „Für das Erscheinen einer dritten Auflage ist, wie ich glaube, Hans Albert verantwortlich: Wenn die Einstellung eines kritischen Rationalismus heute in Deutschland nicht mehr so selten ist, so ist das wohl zum großen Teil seinen Schriften zu verdanken.“ POPPER 2005, S. XXXIV

¹⁵²³ Die Theorie von einem Trilemma ist schon (vor Hans Albert) bei Jacob Friedrich Fries in seinem Buch *Neue oder anthropologische Kritik der Vernunft* (1828-1831) vorgeschlagen worden. Diese unterscheiden sich nur in einem Punkt:

Jakob Friedrich Fries Trilemma: Dogmatismus – unendlicher Regress – psychologistische Basis

Hans Alberts Trilemma: Dogmatismus – unendlicher Regress – logischer Zirkel

vgl. dazu POPPER 2005, S. 70

steht man genau genommen vor drei Alternativen bzw. einem Trilemma gegenüber, wenn man nach einer Letztbegründung sucht:

„1. einem *infiniten Regreß*, der durch die Notwendigkeit gegeben erscheint, in der Suche nach Gründen immer weiter zurückzugehen, der aber praktisch nicht durchzuführen ist und daher keine sichere Grundlage liefert;

2. einem *logischen Zirkel* in der Deduktion, der dadurch entsteht, daß man im Begründungsverfahren auf Aussagen zurückgreift, die vorher schon als begründungsbedürftig aufgetreten waren, und der ebenfalls zu keiner sicheren Grundlage führt; und schließlich:

3. einem *Abbruch des Verfahrens* an einem bestimmten Punkt, der zwar prinzipiell durchführbar erscheint, aber eine willkürliche Suspendierung des Prinzips der zureichenden Begründung involvieren würde.“¹⁵²⁴

Nach diesem Trilemma können wir nach Hans Albert eigentlich gar nicht zu einer Letztbegründung gelangen, da wir jede Begründung hinterfragen können – außer die Begründung selbst ist ein Zirkelschluss, wo das Hinterfragen nichts Neues bringt, oder wir verbieten einfach die Begründung zu hinterfragen bzw. wir legen einfach ein oder mehrere Dogmen fest in Formen von Axiomen usw.¹⁵²⁵

Hans Albert folgert daraus: „Die Suche nach dem archimedischen Punkt der Erkenntnis scheint im Dogmatismus enden zu müssen.“¹⁵²⁶

Interessant ist jedoch, dass wir das Münchhausen-Trilemma auch so lesen können, dass es nicht Gegenargumente für eine Letztbegründung darstellt, sondern im Gegenteil eine Beschreibung angibt, wie die Letztbegründung auszusehen hat bzw. wie ihre Eigenschaften aussehen werden.

Denn das Münchhausen-Trilemma stellt sozusagen selbst eine Letztbegründung in dem Sinne dar¹⁵²⁷, da sie beansprucht, dass es keine *klassische* Letztbegründung gibt. (Unter einer klassischen Letztbegründung ist an dieser Stelle gemeint, eine, die keine (neue) Perspektivenbildung bzw. alternative Hypothesen mehr erlaubt.¹⁵²⁸ Und die wäre dann wirklich dogmatisch!¹⁵²⁹) So gesehen, besagt das Münchhausen-Trilemma eigentlich nur, dass es drei Arten von Perspektivenbildung gibt:

Eine Perspektivenbildung endet entweder:

- 1. in einem *infiniten Regress*, daher kann man somit stets neue Perspektiven bilden.**
- 2. in einem *logischen Zirkel*, so dass die Perspektivenbildung beispielsweise selbstbezogen ist.**

¹⁵²⁴ ALBERT 1991, S. 15

Wichtig ist hier hinzuweisen, dass Hans Albert betont, dass das Münchhausen-Trilemma nicht nur auf deduktive Begründungen anwendbar ist. Auch gilt sie für sprachliche aber auch für außersprachliche Instanzen. vgl. ALBERT 1991, S. 17

¹⁵²⁵ vgl. dazu ALBERT 1991, S. 16 und „[...] das Trilemma von infinitem Regreß, Zirkel und jener Art von Dogmatismus [...]“, S. 17

¹⁵²⁶ ALBERT 1991, S. 16

¹⁵²⁷ Diese Kritik, dass Hans Albert somit selbst um eine Begründung bemüht ist, wird von einigen Autoren - um hier einige Namen zu nennen: Viktor Kraft, Helmut Holzhey, Gerhard Ebeling, Albert Keller usw. - erhoben. Wichtig ist dabei zu erwähnen, dass Hans Albert sich nicht scheut, als ein kritischer Rationalist, auf diese Kritik einzugehen. vgl. dazu, ALBERT 1991, S. 223 ff.

¹⁵²⁸ vgl. dazu ALBERT 1991, S. 11-12

¹⁵²⁹ vgl. ALBERT 1991, S. 16

3. in einem *Dogma*, wo die Perpektivenbildung weitere Perspektivenbildungen verbietet.

Doch da die Wissenschaft und die Philosophie eine Einheit bilden, ist es besser von einer wissenschaftlichen Philosophie auszugehen. Wenn wir aber unter einer Perspektivenbildung beispielsweise die „Bildung einer Begründung bzw. einer Hypothese“ verstehen, dann müssen wir die Begründung bzw. die Hypothese auch überprüfen können. Diese Erkenntnis scheint bereits schon Thales, der Begründer der Philosophie, gewusst zu haben. Karl Popper schreibt: „Versuchen wir einen Augenblick, uns vorzustellen, was es bedeutet, mit der dogmatischen Tradition der *einen* reinen Schullehre zu brechen und an ihre Stelle die Tradition der kritischen Diskussion zu setzen, der Vielheit der Lehren, des Pluralismus, der verschiedenen konkurrierenden Lehren, die doch alle versuchen, der einen Wahrheit näherzukommen.

Daß es Thales war, der diesen wahrhaft epochalen Schritt machte, sehen wir daraus, daß in der Ionischen Schule, allein unter allen Schulen, die Schüler die Lehre des Meisters ganz offen zu verbessern suchten. Das ist nur dann verständlich, wenn wir uns vorstellen, daß Thales seinen Schülern sagte: >>Das ist meine Lehre. So denke ich mir die Sache. Versucht, sie zu verbessern.<<

Damit schaffte Thales eine neue Tradition – sozusagen eine zweistufige Tradition. Erstens wurde seine eigene Lehre durch die Schultradition weitergegeben und auch die abweichenden Lehren jeder neuen Schüलगeneration; zweitens wurde die Tradition erhalten, daß man seinen Lehrer kritisiert und versucht, es besser zu machen. In dieser Schule gilt also die Änderung, die Überwindung der Lehre als ein Erfolg; und eine solche Änderung wird mit der Nennung des Namens dessen festhalten, der sie eingeführt hat. Damit wird zum erstenmal eine wirkliche Ideengeschichte möglich.

Die zweistufige Tradition, die ich hier beschrieben habe, ist die unserer modernen Wissenschaft. Sie ist eines der wichtigsten Elemente unserer westlichen Welt. Sie wurde meines Wissens nur einmal erfunden. Sie wurde nach etwa zwei- oder dreihundert Jahren verloren, aber nach anderthalb Jahrtausenden von der Renaissance wiederentdeckt – im wesentlichen von Galileo Galilei.¹⁵³⁰

Diese zwei (Letztbegründungs)prinzipien*:

1. Bildung einer Hypothese.
2. Überprüfung der Hypothese.**

, sind wohl als die Letztbegründung einer wissenschaftlichen Philosophie zu verstehen. Wir können ruhig an diesen zwei Prinzipien *zweifeln*. Doch sobald wir versuchen diese zu überprüfen oder neue Hypothesen aufzustellen, welche diese widerlegen sollen, werden wir wohl auf diese zwei Prinzipien zurückgreifen (müssen). *In diesem Sinne ist sie gegen Widerlegungen recht gut „abgesichert“, da sie diese selbst begründen kann.*¹⁵³¹

Dabei stellt das zweite Prinzip (= „Überprüfen der Hypothese“), uns in eine (höhere) Perspektive, wo wir das erste Prinzip (= „Bildung einer Hypothese“) wieder in den Blick nehmen können. (So wird eine

¹⁵³⁰ POPPER 2012, S. 166-167

¹⁵³¹ Dass der kritische Rationalismus bestens gegen Widerlegungen bzw. Gegenargumentationen gewappnet ist, wurde bereits von einigen Philosophen erarbeitet. Auch diese Ansichten werden von Hans Albert kritisch diskutiert. (vgl. ALBERT 1991, S. 232 und 236)

neue Perspektivenbildung von selbst erzeugt. Wenn wir eine Hypothese gleich setzen mit „Aussage mit Wahrheitsanspruch“, dann wird uns auch klar, weshalb diese beiden Prinzipien bewirken bzw. den Eindruck entstehen lassen können, dass man einer absoluten Wahrheit sich stets annähert.¹⁵³²) Außerdem nimmt sie den Unfehlbarkeitsanspruch weg, wodurch ein Deutungsmonopol verhindert wird. So versteckt sich in diesen beiden Prinzipien nicht nur unser Wunsch nach Erkenntnis, sondern auch unsere Toleranz gegenüber verschiedenen Perspektiven. Aber nicht nur unterschiedliche Perspektiven¹⁵³³, sogar einander widersprechende Hypothesen werden erwünscht, denn der Widerspruch zeigt am deutlichsten, wo die Überprüfung der Hypothese(n) stattfinden sollte.¹⁵³⁴

Obwohl Hans Albert unsere Prinzipien wohl nicht als eine Letztbegründung akzeptieren wird, unterstützt sie dennoch seine „*Idee der kritischen Prüfung*“¹⁵³⁵. So können wir auch zur Gänze seinen Worten zustimmen, wenn er schreibt: „Die Lösung des Problems hat sich gerade dadurch ergeben, daß das Begründungsprinzip aus dem Status eines *Dogmas* – oder wenn man so will: einer Selbstverständlichkeit – in den einer zu prüfenden *Hypothese* zurückversetzt und mit einer alternativen Hypothese, dem Prüfungsprinzip, konfrontiert wurde.“

Die neue Konzeption der Rationalität, die sich im Prinzip der kritischen Prüfung verkörpert, unterscheidet sich vor allem insofern von der klassischen Lehre, als sie keinen Rekurs auf irgendwelche Dogmen notwendig macht und die Dogmatisierung von Problemlösungen irgendwelcher Art – von metaphysischen oder wissenschaftlichen Theorien, von ethischen Systemen, historischen Thesen oder praktischen und damit auch politischen Vorschlägen – nicht zuläßt.¹⁵³⁶

*Dadurch, dass wir Descartes Letztbegründung („Ich denke, also bin ich“) durch zwei Prinzipien ersetzen, gelangen wir vom Rationalismus Descartes' zu einem (kritischen) Rationalismus Karl Poppers.*¹⁵³⁷ Dieser beschreibt die Situation folgendermaßen: „Meine gegen mich selbst gerichteten Wahrnehmungen und mein Bekenntnis, daß ich ein Rationalist und Aufklärer bin, hätten wenig Sinn, wenn ich nicht auch kurz erklären würde, was ich unter Rationalismus und Aufklärung verstehe.“

Wenn ich vom Rationalismus spreche, so habe ich *nicht* eine philosophische Theorie im Auge, wie zum Beispiel die von Descartes, und schon gar nicht den höchst unvernünftigen Glauben, daß der Mensch ein reines Vernunftwesen sei. Was ich meine, wenn ich von der Vernunft spreche oder vom Rationalismus, ist weiter nicht als die Überzeugung, daß wir durch die Kritik unserer Fehler und

¹⁵³² Karl Popper schreibt: „Die Idee der *Annäherung an die Wahrheit* ist meiner Meinung nach eine der wichtigsten Ideen der Wissenschaftstheorie. Das hängt damit zusammen, daß die kritische Diskussion von konkurrierenden Theorien, wie wir gesehen haben, für die Wissenschaftstheorie so wichtig ist.“ Karl Popper, S. 39; vgl. auch ALBERT 1991, S. 42

¹⁵³³ Auch Hans Albert betont, wie wichtig es ist stets „*nach Alternativen zu suchen*“.

ALBERT 1991, S. 59; vgl. auch S. 63-64

¹⁵³⁴ Insofern sieht man auch, inwiefern das dialektische Denken, nämlich die Suche nach Widersprüchen, aus den Prinzipien der Letztbegründung entspringen. vgl. dazu ALBERT 1991, S. 50-56

¹⁵³⁵ ALBERT 1991, S. 42

¹⁵³⁶ ALBERT 1991, S. 43

¹⁵³⁷ (Dabei ändert sich beispielsweise die Methode zu Erkenntnissen zu gelangen. Zu Descartes Zeiten gab es wenige wissenschaftliche Erkenntnisse bzw. Hypothesen, so wie wir sie heute kennen. Daher sah Descartes in seinem Rationalismus den besten Weg darin, an allem zu zweifeln, um zu den wahren Erkenntnissen zu gelangen. So versuchte er im Vorhinein sich von allen Vorurteilen zu befreien. Durch den kritischen Rationalismus ist man zwar heute ebenfalls genötigt an allem zu zweifeln, doch sehen wir dabei ein, dass wir eigentlich stets nur „Vorurteile“ haben und haben werden, und wir sie daher stets überprüfen müssen, ob sie von Nutzen sind oder nicht.

Etwas zugespitzter wird das auch von Hans Albert geschildert. vgl. ALBERT 1991, S. 50-51 (und S. 22-24)

Irrtümer *lernen* können und insbesondere durch die Kritik anderer und schließlich auch durch Selbstkritik. Ein Rationalist ist einfach ein Mensch, dem mehr daran liegt zu lernen, als recht zu behalten; der bereit ist, von anderen zu lernen, nicht etwa dadurch, daß er die fremde Meinung einfach annimmt, sondern dadurch, daß er gerne seine Ideen von anderen kritisieren läßt und gerne die Ideen anderer kritisiert. Der Nachdruck liegt hier auf der Idee der Kritik oder genauer der *kritischen Diskussion*.¹⁵³⁸

Es ist schwer zu sagen, ob unsere Letztbegründung genau der entspricht, welche Descartes als den Archimedischen Punkt bezeichnet hatte. Hans Albert schreibt: „Man darf nicht übersehen, daß auch Problemstellungen Voraussetzungen enthalten, die falsch und daher irreführend sein können. Das Problem des archimedischen Punktes der Erkenntnis mag zu den falsch gestellten Problemen gehören.“¹⁵³⁹

Um es in einer *wissenschaftlichen Metapher* zusammenzufassen: Womöglich ging es nie direkt um den archimedischen Punkt, sondern darum mit Hilfe der Letztbegründung zu den physikalischen Gesetzen zu gelangen und somit auch zum Hebelgesetz, welches dem Archimedischen Punkt erst seinen Sinn zuordnet. Und dies ist mit den zwei Prinzipien womöglich gegeben.

Indirekte Beweise bzw. Hinweise für die Letztbegründungsprinzipien:

Die Letztbegründungsprinzipien sind insofern sicher nicht dogmatisch, da sie unsere Kritikfähigkeit nicht einzuschränken versuchen. Der beste indirekte Beweis wäre somit eigentlich, dass sie jede Art von Kritik begründen, und dadurch, nämlich als ihr Befürworter, dagegen immun wird. (Dies alles könnte man als einen Hinweis für die Letztbegründungsprinzipien ansehen.)

Könnte es noch weitere (eher formelle) Hinweise geben? Dass man die Wissenschaftsgeschichte bzw. ihre Entwicklung mit diesen Prinzipien erklären könnte, liegt sehr nah, doch weisen auch fundamentale Strukturen in der Wissenschaft darauf hin? Um das beurteilen zu können, sollten wir uns die Prinzipien der modernen Wissenschaft genauer ansehen.

Paul Dirac beginnt sein Buch ***Die Prinzipien der Quantenmechanik*** mit folgenden Worten: „Die theoretische Physik hat seit Beginn dieses Jahrhunderts ein ganz neues Gesicht bekommen. Die klassische Physik betrachtete die Welt als ein Gefüge aus beobachtbaren Dingen (Teilchen, Flüssigkeiten, Feldern usw.), die sich nach bestimmten Gesetzen bewegen, so daß es möglich war, sich von den physikalischen Vorgängen eine Vorstellung in Raum und Zeit zu machen. So entstand eine Physik, die sich zur Aufgabe machte, Hypothesen über den Mechanismus und die Kräfte aufzustellen, die diese beobachtbaren Gegenstände verbinden, um mit Hilfe dieser Hypothesen in möglichst einfacher Weise über das Verhalten der Dinge Rechenschaft zu geben. Mehr und mehr hat es sich aber in letzter Zeit herausgestellt, daß die Natur nach einem ganz anderen Plan arbeitet. Ihre

¹⁵³⁸ POPPER 2012, S. 159-160

Dass Descartes die kritische Diskussion sucht, lässt sich schwer zeigen. So schreibt er im Widmungsschreiben an die Sorbonne: „Die zwingende Gewalt der Wahrheit selbst wird es nämlich leicht dahin bringen, daß die übrigen geistreichen und gelehrten Köpfe Eurem Urteile beitreten, und Eure Autorität wird erreichen, daß die Atheisten, die gewöhnlich mehr Halbwisser als geistreich oder gelehrt sind, den Mut zu widersprechen verlieren, [...]“ DESCARTES 1965, S. XI-XII

Doch er geht zumindest auf die Kritik seiner Gegner ein. vgl. DESCARTES 1965, S. 81 ff.

¹⁵³⁹ ALBERT 1991, S. 17-18

Grundgesetze beziehen sich nicht ganz unmittelbar auf eine Welt, die wir uns in Raum und Zeit vorstellen können, sondern diese Gesetze gelten für ein Etwas, von dem wir uns keine anschauliche Vorstellung machen können, ohne ganz unwesentliche Züge mit aufzunehmen. Um diese Gesetze zu formulieren, brauchen wir die Transformationstheorie. Die wesentlichen Dinge in der Welt treten als Invarianten (oder allgemeiner als nahezu invarianten Größen oder Größen mit einfachen Transformationseigenschaften) dieser Transformationen auf. Die Dinge, die wir unmittelbar wahrnehmen, sind die Beziehungen dieser nahezu invarianten Größen zu einem bestimmten Bezugssystem, das für gewöhnlich so gewählt wird, daß dadurch gewisse Vereinfachungen entstehen, die vom Gesichtspunkt der allgemeinen Theorie aus unwesentlich sind.

Der allgemeine Gebrauch der Transformationstheorie, die zuerst für die Relativitätstheorie und dann später für die Quantentheorie so wichtig geworden ist, ist das Kernstück des neuen Verfahrens der theoretischen Physik. Der Fortschritt in der Physik geht dahin, unsere Gleichungen so zu verändern, daß sie bei immer allgemeineren Transformationen invariant bleiben. Unter philosophischem Gesichtspunkt ist diese Entwicklung der Physik sehr befriedigend, denn sie läßt immer deutlicher erkennen, bis zu welchem Grade der Beobachter die Regelmäßigkeiten selbst schafft, die er in seinen Beobachtungen vorfindet, und wie gering andererseits die Willkür ist, die in den Naturgesetzen verbleibt; [...]“¹⁵⁴⁰

Wir könnten diese Erkenntnis von Dirac vielleicht folgendermaßen zusammenfassen: *Die (moderne) Naturwissenschaft ist jene Perspektivenbildung, die eine objektive Realität voraussetzt und versucht sie mit jener Struktur zu beschreiben, welche von jeder Perspektive¹⁵⁴¹ aus dieselbe bleiben soll.*

Interessanterweise ist die Transformationstheorie, welche Dirac als das Kernstück der theoretischen Physik bezeichnet, eigentlich eine Perspektivenbildung (bzw. Hypothese), die inhaltlich festsetzt, was in jenen Perspektiven (bzw. Bezugssystemen) gelten soll. Beispielsweise setzt die Lorentz-Transformation voraus, dass in allen Inertialsystemen die Lichtgeschwindigkeit konstant ist. Aus diesem Grund könnte man eigentlich annehmen, dass in Transformationen formell zum Ausdruck kommt, was eine Perspektivenbildung ausmachen könnte. Deshalb wollen wir sie etwas näher untersuchen.

Da Transformationen einen Zirkelschluss (bzw. hintereinander geschaltete Transformationen wieder eine Transformation) bilden, kann man sie als eine Gruppe betrachten. Eine Gruppe wird durch folgende Axiome festgelegt:

¹⁵⁴⁰ DIRAC 1930, S. V

¹⁵⁴¹ Die Perspektive soll natürlich mit der jeweiligen Struktur eine Einheit bilden. Wenn wir das Wort Perspektive durch den Begriff Bezugssysteme ersetzen, so erkennen wir, dass wir in der Newtonschen Mechanik, als auch in der Einsteinschen Mechanik von Inertialsystemen (bzw. nicht beschleunigten Bezugssystemen) sprechen und in der ART von allgemeinen (bzw. beschleunigten) Bezugssystemen ausgehen.

Das Paar¹⁵⁴² (G, \circ) ist dann eine Gruppe, wenn es folgende Eigenschaften erfüllt:

1.	<i>Abgeschlossenheit:</i>	Die Hintereinanderausführung bzw. Verknüpfung ¹⁵⁴³ beispielsweise zweier Elemente einer Menge G , ist wiederum ein Element genau dieser Menge: $a \circ b = c, \quad a, b, c \in G,$
2.	<i>Das Assoziativ(gesetz)¹⁵⁴⁴:</i>	Für alle Elemente von G , beispielsweise $a, b, c \in G$ gilt ¹⁵⁴⁵ : $(a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c)$
3.	<i>Das neutrale Element:</i>	Es gibt ein neutrales Element e der Gruppe G für das gilt ¹⁵⁴⁶ : $e \circ g = g \circ e = g, \quad \forall g \in G$
4.	<i>Das inverse Element:</i>	Für jedes Element g der Gruppe G existiert ein g^{-1} , welches ein inverses bzw. gegenteiliges Element bildet: $g \circ g^{-1} = g^{-1} \circ g = e$

(Eigentlich bräuchten wir die Abgeschlossenheit nicht extra anführen. Sie sorgt aber für ein besseres Verständnis.)

Wir wollen uns nun die einfachste Gruppe anschauen, nämlich die *triviale Gruppe* (G_T, \circ) . Jede Gruppe, auch die triviale Gruppe selbst, enthält die triviale Gruppe als eine Untergruppe¹⁵⁴⁷, welche nur aus einem neutralen Element besteht. (Da sich hier wieder ein Zirkelschluss ergibt, benötigen wir auch nicht mehr tiefer zu graben!) Nehmen wir an das neutrale Element (e) ist die Zahl 0 und die Verknüpfung stellt die Addition (+) dar, dann lassen sich die Eigenschaften dieser Gruppe leicht und verständlich zeigen:

1.) Abgeschlossenheit:

$$0 + 0 = 0$$

2.) Assoziativität:

¹⁵⁴² Wobei G eine Menge – beispielsweise aller Punkte auf einer Ebene – und \circ als Verknüpfung angesehen werden kann.

¹⁵⁴³ vgl. MITSCHKA/STREHL 1979, S. 61 und ROSEBROCK 2010, S. 6

¹⁵⁴⁴ MITSCHKA/STREHL 1979, S. 61

¹⁵⁴⁵ ROSEBROCK 2010, S. 14

¹⁵⁴⁶ ROSEBROCK 2010, S. 14

¹⁵⁴⁷ „Eine Teilmenge U einer Gruppe G heisst Untergruppe von G , wenn U mit der Verknüpfung von G selbst eine Gruppe bildet.“ ROSEBROCK 2010, S. 34

Allgemein gilt: „Jede Gruppe enthält sich selbst als Untergruppe, also $G < G$.“ ROSEBROCK 2010, S. 34

$$(0 + 0) + 0 = 0 + (0 + 0) = 0$$

3.) Neutrales Element:

$$0 + 0 = 0 + 0 = 0$$

4.) Inverses Element:

$$0 - 0 = -0 + 0 = 0$$

Wir können sehen, dass die triviale Gruppe wirklich trivial ist. Doch was benötigen wir, um diese einfache Gruppe zu verstehen? Dazu könnte uns vielleicht eine *Hypothese* weiterhelfen, welche wir gerne aufstellen würden:

Um eine (triviale) Gruppe – und somit auch die elementarste Form einer Transformation – zu verstehen, arbeiten wir mit folgenden Begriffen:

1. *Die Neutralisierung (bzw. Vereinzelung)*¹⁵⁴⁸:

Erst durch das Verstehen vom Vereinzeln, können wir erkennen, was das neutrale Element ist (und, dass die triviale Gruppe ein einzelnes Element enthält.)

2. *Das Inverse (bzw. die Gegensätze)*¹⁵⁴⁹:

Das Verständnis von Gegensätzen erlaubt es uns das inverse Element zu begreifen.

3. *Die Verknüpfung*¹⁵⁵⁰:

Dass die Verknüpfung beispielsweise zweier Elemente ein „neues“ Element ergibt, ist für das Verständnis (des Assoziativgesetzes) fundamental.

4. *Die Abgeschlossenheit (bzw. Gleichheit)*¹⁵⁵¹:

¹⁵⁴⁸ Zu dieser Vorstellung gehört es, dass Dinge *isoliert* betrachtet werden können. Dadurch können wir Gegenstände abgrenzen, wodurch sie in gewissem Sinne (aus ihrer Umgebung) heraustreten. Dass dieser Begriff *Vereinzelung* eine Sonderstellung verdient, sehen wir auch, wenn wir das lateinische *exsistere* ins Deutsche übersetzen: hervortreten, heraustreten usw.

(Mit dem Begriff *ek-sistere* hat sich unter anderem Heidegger auseinandergesetzt.)

¹⁵⁴⁹ Die Bedeutung von Gegensätzen wurde von vielen Philosophen oft betont. Wir verweisen den Leser beispielsweise gerne auf den abendländischen Philosophen Heraklit oder aber auch auf die Begriffe Yin und Yang in der chinesischen Philosophie.

¹⁵⁵⁰ Wenn wir unter einer Verknüpfung Regeln für das Logische schließen usw. verstehen, können wir sagen, dass sich unter anderem die analytische Philosophie damit sehr beschäftigt hat. Verstehen wir darunter aber etwas Dialektisches, dann können wir beispielsweise auf Hegel verweisen usw.

¹⁵⁵¹ Diesem Begriff würden wir verdanken, dass wir uns Elemente vorstellen können, die trotz Entwicklung gleich bleiben können. Beispielsweise sind zwei Element, auch genau dann identisch, wenn sie beide bei gleichen Entwicklungen immer gleich bleiben oder auch ihre Unterschiede (, nämlich keine), gleich bleiben.

Durch den Begriff der Gleichheit wird uns klar, dass auch zwei verschiedene Elemente, etwas gleich haben können. Diese Gleichheit wird durch die Menge, welche die Elemente enthält, dargestellt.¹⁵⁵²

Diese Begriffe insgesamt reichen wahrscheinlich aus, um nicht nur die triviale Gruppe, sondern allgemein Gruppen zu verstehen, und somit auch die Transformationen; *jedenfalls lautet so unsere Hypothese*. Mit anderen Worten: **Erst mit diesen Begriffen ist eine Perspektivenbildung möglich**. (Dabei setzen wir natürlich nicht voraus, dass alle Begriffe bei einer Perspektivenbildung zum Einsatz kommen müssen, sondern können.)

Einsatz der elementaren Begriffe der Perspektivenbildung:

In der Logik

Für die Bedeutung unserer Begriffe nehmen wir Beispielsweise folgendes an:

1. Die Vereinzelung: $0 + 1 = + 1$
2. Das Inverse: \pm
3. Die Verknüpfung: $\pm 0 \pm 1 \pm (\dots) = \dots$
4. Die Gleichheit: $\pm 0 = \pm 0$, $\pm 1 = \pm 1$

Mit diesen Begriffen könnten wir nun versuchen die ganzen Zahlen zu definieren:

$$0 = 0 \text{ Def.}$$

$$0 + 1 = + 1 \text{ Def.}$$

$$0 + 1 + 1 = + 2 \text{ Def.}$$

$$0 + 1 + 1 + 1 = + 3 \text{ Def.,}$$

(*usf.*)

Und

$$0 = 0 \text{ Def.}$$

¹⁵⁵² Dies kann man womöglich so verstehen: Wenn wir Elemente haben, die zum Teil gleiche Eigenschaften haben, wie andere Elemente, dann fassen wir sie in Mengen zusammen. Beispielsweise enthält die Menge der geraden Zahlen (0, 2, 4, 6, 8, ...), nur Elemente bzw. Zahlen, die ohne Rest durch Zwei teilbar sind. Dabei sagt eine Menge aber auch zugleich unter welche Menge sie selbst fällt (, wodurch sie selbst wieder zu einem Element wird). (Wir haben daher einen Zirkelschluss.) Wenn wir beispielsweise die Menge 2 haben, dann meinen wir, dass wir eine Menge haben, dessen Elemente ein Paar bilden. Die Menge 2 ist somit selbst ein Element der Menge von Paaren. So wissen wir, wenn wir von Ehepaaren oder Sockenpaaren sprechen, dass es sich um zwei Personen oder um zwei Socken handelt usw. Denn das ist es, was sie gleich haben, nämlich die Anzahl ihrer Elemente. All diese Mengen fallen in die Menge von Paaren. (Die hier getroffenen Aussagen können natürlich kritisiert werden und haben in keinsten Weise Anspruch auf Vollständigkeit.)

$$0 - 1 = -1 \text{ Def.}$$

$$0 - 1 - 1 = -2 \text{ Def.}$$

$$0 - 1 - 1 - 1 = -3 \text{ Def.,}$$

(*usf.*)

Wir erhalten somit die *ganzen Zahlen* (\mathbb{Z} , wobei dieser Prozess natürlich in beide Richtungen unendlich weit fortgesetzt werden kann): $\mathbb{Z} = (\dots, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots)$

Unser Ergebnis ist genau genommen eigentlich nicht überraschend, denn es ist bereits bekannt, dass die ganzen Zahlen mit der Addition $(\mathbb{Z}, +)$ eine Gruppe bilden.¹⁵⁵³

Doch interessant ist, dass die natürlichen Zahlen

$$\mathbb{N} = (+1, +2, +3, \dots)$$

beispielsweise keine Gruppe bilden können, da sie weder ein neutrales Element (0), noch inverse Elemente $(-1, -2, -3, \dots)$ besitzen.¹⁵⁵⁴ Doch wir können mit unseren Begriffen die Hürde bewältigen, indem wir die Begriffe „Vereinzelung“ oder „Gegensätze“ einfach auslassen, denn wir können diese Begriffe alle auf einmal benützen, doch wir müssen es nicht. Aus diesem Grund können wir mit unseren Begriffen auch zwischen Mengen, welche eine Gruppe bilden können und Mengen, die keine Gruppe bilden können, unterscheiden.

Es kommt aber noch besser! Denn die natürlichen Zahlen und die ganzen Zahlen sind mit diesen Begriffen womöglich zur Gänze beweisbar und vollständig – sie sind also nicht von dem Gödelschen Unvollständigkeitssatz betroffen. Der Grund ist, dass sie nur mit Additionen handelt, und daher keine Meta-Ebene benötigt.¹⁵⁵⁵ *Wenn wir also diese Elemente, welche wahrscheinlich für die Perspektivenbildung nötig sind, anerkennen, dann hätten wir auch zugleich eine Theorie der natürlichen Zahlen, welche vollständig und widerspruchsfrei wäre.* So könnte man die Grenze, ab wo

¹⁵⁵³ ROSEBROCK 2010, S. 19

Wir wollen dies auch hier ganz schnell demonstrieren:

1. Das neutrale Element:

$$n + 0 = 0 + n = n \quad n \in \mathbb{Z}$$

2. Das Assoziativgesetz:

$$(l + m) + n = l + (m + n) \quad l, m, n \in \mathbb{Z}$$

3. Das inverse Element:

$$n + (-n) = 0 = (-n) + n$$

vgl. dazu ROSEBROCK 2010, S. 50-52

Dort werden auch die rationalen Zahlen und die komplexen Zahlen behandelt.

¹⁵⁵⁴ vgl. ROSEBROCK 2010, S. 19

Man könnte natürlich die Zahl 0 noch einbeziehen, doch scheitert es eben eindeutig am Fehlen der negativen Zahlen.

¹⁵⁵⁵ Es ist ein weitverbreitetes Missverständnis, dass die Gödelschen Unvollständigkeitssätze, nur unvollständige formale Systeme erlauben. In der Tat kann man formale Systeme aufstellen, welche vollständig sind!

Die Systeme dürfen nur nicht so stark sein, dass sie die additiven **und** die multiplikativen Eigenschaften der natürlichen Zahlen beinhalten können (oder etwas genauer: die Gödelschen Unvollständigkeitssätze gelten nur für Systeme, welche die Robinson-Arithmetik formalisieren können). Die Presburger-Arithmetik ist beispielsweise ein solches System, das vollständig ist. Sie beinhaltet die natürlichen Zahlen und die Addition aber nicht die Multiplikation!

(vgl. dazu HOFFMANN 2011, S. 229-230)

So wäre auch unser System ein formales System, welches womöglich vollständig ist.

erst die Gödelschen Unvollständigkeitssätze ihre Gültigkeit erhalten, auch mit den fundamentalen Elementen erklären, welche für die Perspektivenbildung zuständig sind.

In der Theorie zur Erkenntnisgewinnung

Wir wollen uns ein Beispiel ansehen, wie es uns diese Elemente bzw. Begriffe womöglich uns gestatten überhaupt zu Erkenntnissen zu gelangen:

Wenn wir die Erkenntnis als eine Menge E betrachten, so können wir die Menge der Erkenntnis (E) und dessen Verknüpfung (\circ) als eine Gruppe (E, \circ) ansehen:

1. (Abgeschlossenheit)

Die Erkenntnis sollte natürlich abgeschlossen sein. Das bedeutet: Jede Verknüpfung der Elemente der Erkenntnis sollte wieder ein Element der Erkenntnis liefern.

2. (Verknüpfung)

Für Elemente der Erkenntnis, beispielsweise $a, b, e, c \in E$ gilt: $(a \circ b) \circ e = a \circ (b \circ e) = c$

Wenn das nicht zutreffen würde, hätten wir größte Schwierigkeiten, beim Zusammenzählen von Zahlen oder Strecken usw.

3. (Neutralisierung)

Es gibt ein $e \in E$, so dass $e + g = g + e = g, \forall g \in E$

Abgesehen davon, dass wir ohne diese Eigenschaft, die Zahl 0 schwer verstehen würden, ist es fundamental für die Erkenntnis zu wissen, dass eine Situation sich nicht ändert, wenn „dieser Situation“ *nichts* passiert.

4. (Inverse)

Zu jedem $g \in E$ gibt es ein $-g \in E$, so dass $g + (-g) = -g + g = 0$

Stellen Sie sich vor, Sie könnten keine Gegensätze mehr erkennen. Erkenntnisse wie arm und reich, warm und kalt wären Ihnen nicht nur fremd, sondern auch unmöglich.

In der Theorie der evolutionären Erkenntnis¹⁵⁵⁶

Wir möchten hier noch zeigen, dass unsere Überlegungen der Erkenntnisgewinnung von kleinen Organismen bis zur Wissenschaftstheorie hinreichen würden:

Neutralisierung: Wir haben ein „isoliertes“ Individuum. Das könnte nun ein Einzeller, Vielzeller oder ein Mensch sein. (Wir haben damit in gewissem Sinne ein *abgeschlossenes System*.)

Individuum_x

Inverse: Dem Individuum steht stets etwas gegenüber, das das Gegenteil von einem Individuum ausmacht, nämlich die Umwelt. (Die Umwelt ist sozusagen die Negation des Individuums). Da das Individuum und die Umwelt nicht als abgeschlossen betrachtet werden können, stellt sie nur eines für das Individuum da, nämlich: **ein Problem**.

Umwelt_y

Verknüpfung: Es beginnen **verschiedene Lösungsversuche**.

Abgeschlossenheit: Das Individuum nimmt jenen Lösungsversuch, welcher gegen das Problem immun ist. Das bedeutet: Das Problem wird neutralisiert:

$$\text{Individuum}_x \circ \text{Umwelt}_y = \text{Individuum}_{xy}$$

Dabei gehen alle Lösungsversuche, die nicht dazu beitragen, verloren bzw. *werden eliminiert*.¹⁵⁵⁷ Wichtig ist zu sehen, dass die Neutralisierung eigentlich eine neue Abgeschlossenheitsform darstellt, wodurch der Kreis geschlossen wird. Wenn man so will ist das neue Individuum besser abgeschlossen bzw. besser angepasst.¹⁵⁵⁸ (Man könnte natürlich auch sagen: Das Individuum ist intelligenter geworden. Denn „*Intelligenz*“ schließt in sich die Fähigkeit ein, aus Erfahrungen zu lernen und sinnvoll zu handeln.“¹⁵⁵⁹)

¹⁵⁵⁶ Diese und weitere Vorstellungen sind sehr an Karl Poppers Ideen angeknüpft. Karl Popper, der das Leben als einen Akt des Problemlösens begreift, stellt eine „vierstufiges Schema“ vor, „welches für die Wissenschaftstheorie charakteristisch ist.

Es sieht also folgendermaßen aus:

1. Das ältere Problem;
2. versuchsweise Theorienbildung;
3. Eliminationsversuche durch kritische Diskussionen, einschließlich experimenteller Prüfung;
4. die neuen Probleme, die aus der kritischen Diskussion unserer Theorien entspringen.“

POPPER 2012, S. 32

¹⁵⁵⁷ Doch ist natürlich das ersetzte Individuum als ein Grenzfall des neuen Individuums stets gegeben:

$$\lim_{y \rightarrow 0} \text{Individuum}_{xy} = \text{Individuum}_x$$

¹⁵⁵⁸ Um dieses Angepasstsein besser zu verstehen, haben wir das Verständnis vom System, welches wir in Gruppen und in Untergruppen usw. unterteilen. Diese Systeme sind sowohl nach räumlicher als auch nach zeitlichen Dimensionen verschieden gegliedert. Daniel Goleman schreibt: „Von den Ökologen wissen wir, dass Natursysteme auf den unterschiedlichsten Ebenen zu finden sind. Auf der Makroebene gibt es globale biogeochemische Kreisläufe wie etwa den Kohlenstoffkreislauf, bei dem Veränderungen im Verhältnis der Elemente nicht nur über Jahre, sondern über Jahrhunderte und geologische Zeitalter hinweg gemessen werden können. Das Ökosystem eines Waldes hält das Zusammenspiel unterschiedlicher Pflanzen-, Tier- und Insektenarten bis hin zu den Bodenbakterien im Gleichgewicht, wobei jede Art eine ökologische Nische findet, die sie nutzen kann und in der sich ihre Gene gemeinsam weiterentwickeln. Auf der Mikroebene vollziehen sich die Kreisläufe im Maßstab von Mili- oder Mikrometern und innerhalb von Sekunden.“ GOLEMAN 2009, S. 51-52

¹⁵⁵⁹ GOLEMAN 2009, S. 48

In der Theorie der Wissenschaftstheorie

Neutralisierung: Gegeben ist ein abgeschlossenes System. Dieses System nennt man eine Theorie.

Inverse: Es tritt ein Phänomen auf, welches sich mit dem abgeschlossenen System nicht verträgt. Der Wissenschaftler hat somit ein Problem.

Verknüpfung: Man stellt sozusagen verschiedenen Lösungsversuche an.

Abgeschlossenheit: Nun wird der Wissenschaftler all seine Methoden anwenden, um diese Lösungsversuche auf die Probe zu stellen. Anschließend wird er genau jene neue Theorie (mit dem einfachsten Lösungsansatz) übernehmen, welche das Problem miteinschließt bzw. auflöst. Somit stellt die neue Theorie eine größere Abgeschlossenheit dar, als die frühere und ist somit *besser*.

Doch besteht denn gar kein Unterschied zwischen der wissenschaftlichen Methode des Menschen und eines primitiven Organismus? Karl Popper, dessen Überlegungen wir zugrunde genommen haben, meint doch, die gibt es und schreibt: „Das entscheidend Neue der wissenschaftlichen Methode und der wissenschaftlichen Einstellung liegt nun darin, daß wir in der Wissenschaft aktiv an der Elimination interessiert und beteiligt sind. Die Lösungsversuche sind objektiviert; wir sind nicht mehr mit unseren Lösungsversuchen identifiziert.“¹⁵⁶⁰ „Anstatt zu warten, bis unsere Umwelt einen Lösungsversuch, eine Theorie, widerlegt, versuchen wir, die Umwelt so zu ändern, daß sie für unseren Lösungsversuch *möglichst ungünstig* wird. In dieser Weise stellen wir sie auf die Probe; und zwar versuchen wir sie auf die schwerste Probe zu stellen. Wir tun alles, um unsere Theorie zu eliminieren, denn wir wollen selbst die Theorien herausfinden, die *falsch* sind.

Die Frage: Worin liegt der entscheidende Unterschied zwischen der Amöbe und Einstein, kann also wie folgt beantwortet werden:

Die Amöbe flieht vor der Falsifikation: Ihre Erwartung ist ein Teil von ihr, und vorwissenschaftlicher Träger von Erwartungen oder Hypothesen werden oft durch die Widerlegung der Hypothese vernichtet. Einstein dagegen hat seine Hypothese objektiviert. Die Hypothese ist etwas außerhalb von ihm; und der Wissenschaftler kann seine Hypothese durch seine Kritik vernichten, ohne selbst mit ihr zugrunde zu gehen. In der Wissenschaft lassen wir unsere Hypothesen für uns sterben.“¹⁵⁶¹

* Es stellt sich natürlich die Frage, ob man die Annahme einer *objektiven Realität* nicht auch als ein Prinzip festhalten sollte. Darüber lässt sich diskutieren. Pietschmann schreibt beispielsweise: „Ich behaupte, dass nur jenes Handeln als „vernünftig“ gilt, welches die Naturgesetze als absolut verlässlich voraussetzt!“ (PIETSCHMANN 2007, S. 246) Doch es ist gerade eines der obersten Ziele des (kritischen) Rationalismus, zu zeigen, dass wir „keine objektive Sicherheit“ erhalten können. (vgl. ALBERT 1991, S. 222) Wenn wir nun eine objektive Realität bzw. Wirklichkeit voraussetzen würden, wozu dann das kritische Denken in Naturwissenschaften? Wozu bräuchten wir dann noch Hypothesen, wenn wir durch unsere Sinne usw. Zugang zur Wahrheit bzw. Realität hätten? Scheint diese Vorstellung, dass sich uns die Natur immer mehr *offenbart* nicht ein Wunschenken zu sein? „Offenbarungen mögen ihre Gewißheit suggerieren, Konstruktionen dagegen machen keinen Anspruch darauf, endgültig und unrevidierbar zu sein.“ (ALBERT 1991, S. 31) So schreibt Hans

¹⁵⁶⁰ POPPER 2012, S. 25

¹⁵⁶¹ POPPER 2012, S. 25-26

Albert ganz radikal: „*Alle Sicherheiten in der Erkenntnis sind selbstfabriziert und damit für die Erfassung der Wirklichkeit wertlos.*“ (ALBERT 1991, S. 36) Wir könnten das Ganze vielleicht so betrachten: Die Naturwissenschaft ist eine Perspektivenbildung, wo die Natur als ein unablässlicher Dialogpartner verstanden wird. Dabei wird der Natur, welche nicht verbal kommuniziert, „Motive“ in Form von Hypothesen zugeschrieben. So können wir experimentelle Untersuchungen auch als eine Forderung an den Dialogpartner verstehen, unsere Perspektive bzw. Hypothese zu belassen oder sie zu falsifizieren. (**Was man aber nicht verleugnen kann, ist, dass die Natur bis jetzt einen verlässlichen, wenn nicht den verlässlichsten Dialogpartner bis jetzt in der Menschheitskultur darstellt!**)

Man könnte aber dennoch Perspektiven wählen, wo entweder die wissenschaftliche oder die philosophische Seite stärker gewichtet wird. Beispielsweise erklärt Karl Popper den (kritischen) Rationalismus (und die Aufklärung) von einer eher wissenschaftlichen Perspektive. Er geht nicht selten von einem evolutionär, erkenntnistheoretischem Ausgangspunkt aus, wo er die wissenschaftliche Methode, als „die Methode von *Versuch und Irrtum*“ (POPPER 2012, S. 15) darstellt. Oder er verwendet Begriffe wie „Problem“, „Lösungsversuche“, „Elimination“ (vgl. POPPER 2012, S. 24) usw., wogegen Hans Albert die philosophische Seite genauer ausführt. Dabei deutet er beispielsweise auf das Münchhausen-Trilemma hin, und setzt auf den konsequenten Fallibilismus, methodischen Rationalismus, kritischen Realismus (vgl. ALBERT 1991, S. 219) usw. Insofern können wir womöglich auch die verschiedenen Interpretationen der Quantenmechanik auf verschiedene Gewichtungen zurückführen. Beispielsweise präsentiert die Kopenhagener Deutung eher die philosophische Seite und die Everett-Interpretation die wissenschaftlichere Position.

Natürlich könnte man auch fragen, ob es nicht wenigstens mathematische Wahrheiten gibt, an denen man nicht zweifeln kann. Doch schreibt Bertrand Russell, Autor des historisch berühmten Werkes ***Principia Mathematica*** (1910-1913): „Die Forderung nach Gewißheit ist, welche dem Menschen natürlich erscheint, dennoch ein intellektuelles Laster“. (Übersetzt von Eren Simsek. Diese Aussage ist in englischer Sprache zu finden bei ALBERT 1991, S. 222, Fußnote 4)

Wir wollen hier zumindest noch auf einen Punkt noch aufmerksam machen, um zu verstehen, weshalb sogar die Mathematik keine Gewissheit bietet:

- Die Begründungsprogramme der Mathematik bzw. ihre Axiomatisierung wird (heute) als gescheitert angesehen. (vgl. ALBERT 1991, S. 55, Fußnote 30). Dies ist der bedeutenden Arbeit von Kurt Gödel (1931) zu verdanken. Dort ist der erste Gödelsche Unvollständigkeitssatz zu finden, welcher in (etwa) aussagt bzw. beweist, dass alle Formalen Systeme, welche die Addition und die Multiplikation der Natürlichen Zahlen erklären können, als unvollständig zu betrachten sind. (Dazu zählt auch das Formale System von Bertrand Russell und Alfred Whitehead, auf welches Gödel in seiner Arbeit hauptsächlich Bezug nahm.) (vgl. HOFFMANN 2011, S. 198 ff. und 226)
Als unvollständig können wir dieses Formalen Systeme deshalb ansehen, weil sie beispielsweise Sätze enthalten, welche (semantisch) folgende Bedeutung ausdrücken: „Ich bin nicht beweisbar.“ (HOFFMANN 2011, S. 220)
Allgemein zeigt dann der zweite Gödelsche Unvollständigkeitssatz, dass diese Formalen Systeme ihre eigene Widerspruchsfreiheit nicht beweisen können. (Deshalb kann man wohl davon ausgehen, dass man die Widerspruchsfreiheit der Mathematik allgemein nicht beweisen kann.) (HOFFMANN 2011, S. 227)

Interessant ist, dass die Axiome, welche in der Mathematik (aber auch in der Naturwissenschaft) eine wichtige Rolle spielen, wovon man andere Sätze, unter bestimmten Regeln, ableitet, eigentlich in den Anfängen der Mathematik (bzw. der Geometrie) zu Recht nicht als etwas betrachtet wurden, die eine selbstevidente Wahrheit darstellen, sondern eher als eine Forderung angesehen wurden, auf welche aber auch der Dialogpartner erst zustimmen sollte. (vgl. ALBERT 1991, S. 54-55)

** Eine Perspektivenbildung, die dieses Prinzip ausklammert, ist diejenige, welche in einem Dogma endet. Ein Zirkelschluss kann, muss jedoch wahrscheinlich nicht das „Überprüfen einer Hypothese“ verhindern. (Viele der kommenden Beispiele sind aus WATZLAWICK 2006, S. 166-191 entnommen.)

Dass der Zirkelschluss allgemein in der Logik einen besonderen bzw. fundamentalen Stellenwert hat, scheint Wittgenstein in seinem ***Tractatus logico-philosophicus*** (1922) bereits klar darzustellen:

„6.1 Die Sätze der Logik sind Tautologien.

6.11 Die Sätze der Logik sagen also nichts. (Sie sind die analytischen Sätze.)“ (vgl. dazu auch 6.12)

Der Satz „Die Sätze der Logik sagen also nichts.“ ist natürlich zutiefst ironisch, da er sich wohl auf sich selbst beziehen müsste. Entweder ist der Satz also logisch, dann könnten wir aber auf ihn verzichten, da sie nichts aussagt, oder er ist „unlogisch“?

Besser können wir womöglich Wittgenstein verstehen, wenn wir annehmen, dass wissenschaftliche Aussagen einen inhaltlichen Wert besitzen können, auch wenn sie in einem Zirkelschluss enden. Nehmen wir zum Beispiel die Aussage „Dieser Satz hat fünfunddreißig Buchstaben.“ (vgl. WATZLAWICK 2006, S. 185) Obwohl dieser Satz in einem Zirkelschluss endet, ist er dennoch überprüfbar. Die Aussage kann falsifiziert werden, denn er hat 37 Buchstaben. Würde die Aussage hingegen heißen „Dieser Satz hat dreißig Buchstaben.“ (vgl. WATZLAWICK 2006, S. 186), könnten wir ihn nicht falsifizieren. Wenn sich irgendwann die Rechtschreibung ändert – zum Beispiel könnte eine Regelung in Kraft treten, die alle „ß“ durch „ss“ oder „sz“ ersetzen lässt – dann wäre auch diese Aussage falsifiziert. Es gibt also Sätze, die auf sich selbstbezogen sein können, aber es nicht verbieten von *außen* überprüft zu werden.

Die Letztbegründungsprinzipien könnten wir in diese Kategorie einordnen.

In (den Naturwissenschaften bzw.) in der Physik spielen Zirkelschlüsse eine ganz besondere Rolle. Sie scheinen sogar für ihre Definition von entscheidender Bedeutung zu sein. So betont Pietschmann: „In diesem Sinn scheint auch die beste „Definition“ – wenn überhaupt eine gegeben werden soll – zirkelschlüssig formuliert zu sein: „Physik ist das, was die Physiker machen!“

So unsinnig diese „Definition“ auf den ersten Blick erscheinen mag, weist sie doch auf einige Punkte deutlich hin: Zunächst darauf, dass eine Zirkeldefinition nur logisch leer ist, im Bereich der Naturwissenschaft aber gewiss Bedeutung hat, wie wir noch sehen werden [...]“ (PIETSCHMANN 2007, S. 18-19)

Weiter schreibt er: „Nun sei noch an einem anderen Beispiel gezeigt, wie in der Naturwissenschaft fruchtbar sein kann, was in der formalen Logik als Zirkelschluss leer bleibt: Das so genannte „Hookesche Gesetz“ beschreibt die Veränderung elastischer Körper unter dem Einfluss einer Kraft; es besagt: Die Ausdehnung ist proportional der Kraft.

In dieser Allgemeinheit gilt das Hookesche Gesetz aber nicht, denn wenn die Kraft einen gewissen Grenzwert übersteigt, beginnt die Fließzone, in der die Proportionalität nicht mehr gegeben ist. Darum muss hinzugefügt werden: Im Hookeschen Bereich ist die Ausdehnung proportional der Kraft.

Nun ist der Hooksche Bereich aber gerade dadurch definiert, dass dort das Gesetz gilt. Also lautet das Hookesche Gesetz eigentlich: Dort, wo die Ausdehnung proportional der Kraft ist, ist die Ausdehnung proportional der Kraft. Logisch gesehen ein deutlicher Zirkel! [...]

Was ist nun die Bedeutung dieses Naturgesetzes? Zunächst stellt es fest, dass es Materialien gibt, bei denen ein Proportionalitätsbereich existiert. Es teilt also die tatsächlich existierenden Materialien ein in „Hookesche“ und „Nicht-Hookesche“. (Schon das allein bedeutet einen Erkenntnisgewinn im Hinblick auf die Materie, weil es eine ganz bestimmte Differenzierung begründet.) Sodann legt es nahe, bei den Hookeschen Materialien die Grenze des Hookeschen Bereiches und die in diesem Bereich geltende Proportionalitätskonstante (den so genannten Elastizitätsmodul) möglichst genau zu messen und zu tabellieren. [...] Solche „Materialkonstanten“ sind nämlich zunächst reine Messergebnisse, die den genauesten Experimenten entnommen werden. Aber sie fordern die theoretische Erklärung auf einer tieferen Stufe geradezu heraus.“ (PIETSCHMANN 2007, S. 155-156)

Bereits bei Descartes ist schon zu finden, welche Bedeutung Zirkelschlüsse in der Naturwissenschaft haben können: „Denn mir scheint, die Begründungen folgen dergestalt aufeinander, dass ebenso wie das letzte durch das erste, d.h. durch seine Ursachen, so auch umgekehrt das erste durchs letzte, d.h. durch seine Wirkungen bewiesen wird. Und man darf nicht glauben, dass ich hierbei den Fehler mache, den die Logiker einen Zirkel nennen; denn die Erfahrung macht den größten Teil dieser Wirkungen zu ganz unbestreitbaren Tatbeständen, [...]“ (zitiert nach PIETSCHMANN 2007, S. 80) Sehr interessant und zutreffend sind wohl die Interpretation und Kritik von Pietschmann von Descartes' Einstellungen. (vgl. PIETSCHMANN 2007, S. 80 f.)

Und schließlich, um noch ein Beispiel zu geben: die Newtonschen Gesetze gelten bekanntlich nur in Inertialsystemen. So setzt das erste Newtonsche Gesetz, mit welchem man Inertialsysteme definieren kann, selbst das Inertialsystem voraus.

Das Ganze lässt sich womöglich aus der philosophischen Perspektive so begreifen: Durch den Zirkelschluss sind wir uns des hermeneutischen Zirkels, dass wir also stets nur Vorurteile hegen, (unbewusst) bewusst. Abschließend findet eine *Dekonstruktion* statt. Denn erst durch das Ausgeschlossene, nämlich Nicht-Hookesche wird verständlich, was das Hooksche Gesetz ausmacht.

Unter diesem Aspekt könnten wir ja auch Wittgenstein interpretieren, wenn er schreibt:

„6.54 Meine Sätze erläutern dadurch, dass sie der, welcher mich versteht, am Ende als unsinnig erkennt, wenn er durch sie - auf ihnen – über sie hinausgestiegen ist. (Er muss sozusagen die Leiter wegwerfen, nachdem er auf ihr hinaufgestiegen ist.)“ (vgl. *Tractatus logico-philosophicus*)

Die tiefe Erkenntnis dieser Aussage kommt besonders gut zur Geltung, wenn man über den ersten Unvollständigkeitssatz von Gödel nachdenkt, *der von sich* behauptet, dass er innerhalb der Mathematik (- welche die Addition und die Multiplikation der natürlichen Zahlen beschreiben kann -) unbeweisbar ist. So schreibt Dirk W. Hoffmann: „Wie um alles in der Welt konnte es Gödel schaffen, einen Satz zu konstruieren, der

seine eigene Unbeweisbarkeit postuliert? Dieser Satz ist anders als alle uns vertrauten Theoreme der Analysis, der Algebra, oder eines anderen Gebiets der gewöhnlichen Mathematik. Es ist ein Satz der Meta-Ebene, schließlich stellt er eine Behauptung über das formale System auf, in dem er selbst formuliert wurde. Indem der Satz über sich selbst spricht, tritt er gewissermaßen aus seinem eigenen formalen System heraus.“
(HOFFMANN 2011, S. 201)

Anhang III

In dieser Arbeit vertreten wir die *Hypothese*, dass sich in der allgemeinen Beschreibung der Natur bzw. beim Lösen der Probleme, im Laufe der Jahrhunderte (mindestens) *drei Strömungen* gebildet haben, die der Natur folgende Gesetze nahelegten:

1) Gesetze der Symmetrie (bzw. Invarianzen)

Pionier: Descartes

2) Gesetze der (Ökonomie oder genauer) Extremalen

Pionier: Fermat

3) Gesetze der Kräfte

Pionier: Newton

Wir möchten in diesem Anhang an Hand eines Beispiels zeigen, dass diese Strömungen als *drei verschiedene Perspektiven* betrachtbar sind – welche für ein und dasselbe Problem drei verschiedene Zugänge zur Lösung anbieten.

Wir nehmen uns ein Beispiel aus einem Thema, welches uns aus dem Alltag oft vertraut ist, nämlich „etwas mit anderen teilen“ – dadurch hat das, was wir besprechen zugleich auch eine *ethische Dimension*. Und zwar möchten wir eine 10 cm lange goldene Schnur für zwei Personen in gerechte Hälften teilen.

Gesetze der Extremalen:

Die Antwort auf diese Frage scheint sehr leicht zu sein – ethische Fragen sind meist sehr schwer oder manchmal gar nicht beantwortbar – man gibt **beiden Personen die höchst mögliche Länge**, die bei einer Teilung durch zwei möglich ist: nämlich genau die Hälfte! So sollten verständlicherweise (im Normalfall) beide maximal zufrieden bzw. minimal enttäuscht sein. Wir haben bei der Lösung die **Gesetze der Ökonomie** angewendet, welche wir auch mathematisch demonstrieren möchten:

Die goldene Schnur, dessen eine Ende wir als *A* und das andere als *C* bezeichnen wollen, soll – wie in der Abbildung 56 dargestellt – am Punkt *E* in zwei Teile zerlegt werden, und zwar so, dass das Produkt der Teile ein Maximum bildet.

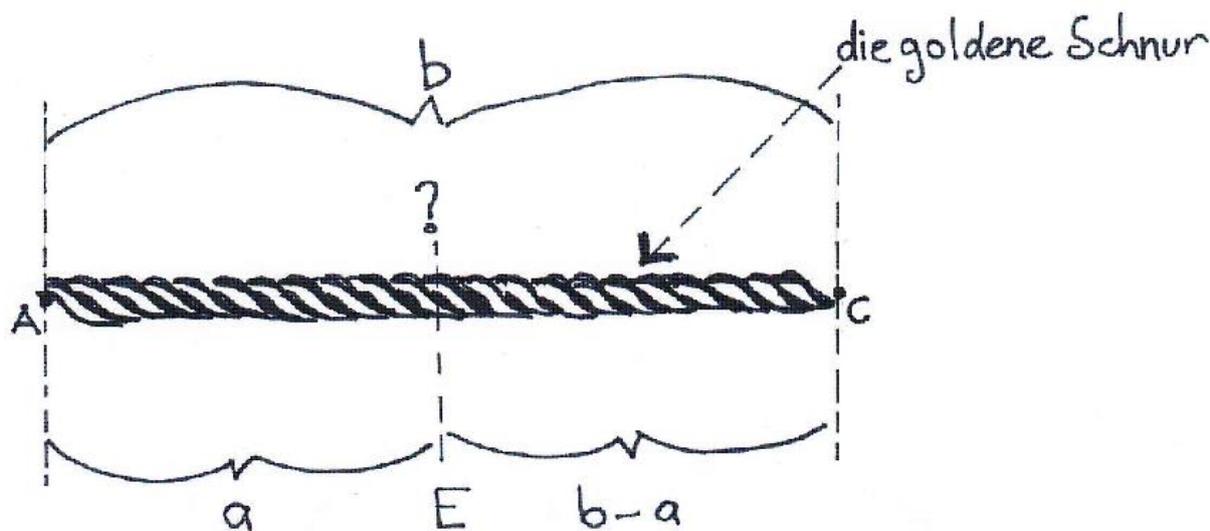


Abbildung 56

Gegeben ist:	$\overline{AC} = b$ $\overline{AE} = a$ $\overline{EC} = b - a$
Gesucht wird:	$\overline{AE} \cdot \overline{EC} = a \cdot (b - a) = a \cdot b - a^2$ soll maximal sein.

Lösungsvorgang¹⁵⁶²:

¹⁵⁶² Der oben verwendete Lösungsvorgang geht auf Pierre de Fermat's Schrift **Abhandlungen über Maxima und Minima** (1629) zurück. vgl. PIERRE DE FERMAT (1934) und WEINRICH 1998, S. 140-143

In (korrekter,) moderner mathematischer Form wäre diese Extremwertaufgabe zu lösen, indem wir einfach die erste Ableitung gleich 0 setzen:

Unsere Funktion lautet $f(a) = a \cdot b - a^2$, wobei f eine Funktion von a ist. Wir leiten nach a ab und erhalten

$$f'(a) = \frac{df(a)}{da} = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{\Delta f(a)}{\Delta a} = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{f(a+\Delta a) - f(a)}{\Delta a} = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{(a+\Delta a)b - (a+\Delta a)^2 - (a \cdot b - a^2)}{\Delta a} =$$

$$\lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{a \cdot b + b \cdot \Delta a - a^2 - 2 \cdot a \cdot \Delta a - \Delta a^2 - a \cdot b + a^2}{\Delta a} = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} b - 2a - \Delta a = b - 2 \cdot a$$

$$b - 2 \cdot a = 0$$

$$b = 2 \cdot a$$

Ob unser Ergebnis nun ein Maximum oder ein Minimum ist lässt sich auch leicht feststellen. Wenn wir unsere Funktion zweimal nach a ableiten und überprüfen, ob das Ergebnis größer oder kleiner Null ist.

$$f''(a) = \frac{d^2 f(a)}{da^2} = \frac{d}{da} \left(\frac{df(a)}{da} \right) = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{\left(\lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{f(a + \Delta a) - f(a)}{\Delta a} \right)}{\Delta a}$$

$$\lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{(b - 2 \cdot (a + \Delta a)) - (b - 2 \cdot a)}{\Delta a} = \lim_{\Delta a \rightarrow 0} \frac{-2 \cdot \Delta a}{\Delta a} = -2$$

Wir bedienen uns eines mathematischen Tricks und ersetzen¹⁵⁶³ a durch $a + e$ in den zu maximierenden Ausdruck $a \cdot b - a^2$ und erhalten:

$$a \cdot b - a^2 = (a + e) \cdot b - (a + e)^2$$

Nun vereinfachen wir und versuchen die Gleichung zu kürzen

$$\cancel{a \cdot b} - \cancel{a^2} = \cancel{a \cdot b} + e \cdot b - \cancel{a^2} + 2a \cdot e + e^2$$

$$e \cdot b = 2a \cdot e + e^2 \quad | \div e$$

$$b = 2a + e$$

Nun ersetzen wir $a + e$ wieder durch a und erhalten unser (angestrebtes) Ergebnis:

$$b = 2a \quad \text{bzw.} \quad a = \frac{1}{2}b$$

Oder in Worten ausgedrückt: Einfach die gesamte Länge b durch *Zwei* teilen. In der obigen mathematischen Methode, die eigentlich auf Fermat zurückgeht, konnten wir sehen, dass beide jene Teile kriegen sollten, deren Produkt maximal wird, und das erreichen wir, wenn wir die Schnur einfach durch *Zwei* teilen. Doch ist dieser Lösungsansatz sicher nicht die leichteste Variante dieses Problem zu lösen.

Gesetze der Invarianzen:

Eine andere Methode wäre, die folgenden Schritte zu befolgen:

1. In Form einer möglichst geraden Linie legen wir die goldene Schnur auf eine ebene Fläche.
2. Dann nehmen wir das eine Ende und legen es über das andere; und zwar so, dass beide Hälften genau über einander liegen. Das bedeutet jedem Punkt der einen Hälfte steht ein Punkt der anderen Hälfte gegenüber.
3. Nun brauchen wir an der gebundenen Seite einfach durchzuschneiden. Und man hat die Schnur exakt in zwei Hälften unterteilt. (In der Praxis könnten wir beispielsweise ein scharfes Messer zwischen den Schnuren durchziehen. Damit hätte wir sogleich zwei Probleme gelöst:
 - Bis die goldene Schnur nachgibt, können wir sie soweit es geht spannen und

Und das ist ein Minimum, denn allgemein gilt:

Maximum: $f''(a) < 0$ und

Minimum: $f''(a) > 0$.

Erwähnenswert ist hier, dass Fermat die Differentialgleichungen – sowie hier angewendet - noch nicht kannte. Sie wurden erst später von Newton und Leibniz entdeckt. Die Methoden von Fermat haben höchstwahrscheinlich den beiden dafür den Weg geebnet.

(Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf WIELEITNER (1929), wo „Fermats Methode der Aufsuchung von Extremwerten“ genauer untersucht wird.)

¹⁵⁶³ Wir könnten stattdessen auch $a - e$ benutzen.

- wenn sie dann nachgibt, weiß man mit Sicherheit, dass man die goldene Schnur genau am richtigen Punkt halbierte.)

Diese Methode hat in der Mathematik eine sehr große Bedeutung. Wir haben nämlich gezeigt, dass die gespannte, goldene Schnur (= gerade Linie) genau an einem Punkt, nämlich in der Mitte (= die Hälfte) aufeinander *klappbar* ist. Die „zwei Seiten werden durch die Klappung miteinander vertauscht. Die beiden Seiten liegen *symmetrisch*“¹⁵⁶⁴ zum Klapppunkt. Wenn man genau in der Mitte einen Spiegel senkrecht zur Achse der Schnur anbringen würde, würde man aufgrund des Spiegelbildes der Schnur die gesamte Schnur sehen. Das bedeutet, da wo die Schnur spiegelsymmetrisch ist, genau da ist der Mittelpunkt! Das können wir auch geometrisch leicht beweisen:

Bezeichnen wir das eine Ende der Schnur mit S und das andere mit S' . Zur besseren Übersicht zeichnen wir in die euklidische Ebene die Kartesischen Koordinaten ein – wie in der Abbildung 57 zu sehen –, die natürlich rechtwinkelig aufeinander stehen.

¹⁵⁶⁴ LORENZEN 1984, S. 34

Natürlich wird im Buch, wie es auch richtig ist, die Symmetrie bei Ebenen dargestellt. Und dadurch auch die Gerade erst definiert: „Nun definieren wir „ebene“ Flächenstücke dadurch, daß sie für jedes (frei) gewählte Endelement klappsymmetrisch sind. Die Klapplinien der ebenen Flächenstücke nennen wir „gerade“. Weil das Endelement, um das geklappt wird, frei wählbar ist, haben wir damit die „ebenen“ Flächenstücke als „frei klappsymmetrische“ Flächenstücke definiert.“ LORENZEN 1984, S. 34-35

Gerade der letzte Satz beinhaltet die Information, dass die Ebene und somit auch der Raum homogen und isotrop ist.

Doch auch wenn eine „Gerade in der Ebene“ „als Klapplinie schon durch jedes ihrer Endelemente eindeutig bestimmt“ ist, können wir dennoch sagen: „Was für eine Ebene gilt, gilt auch für die Gerade. In der Praxis – und daher in der Vorstellung – haben wir nur gerade Linienstücke. Diese sind durch Endpunkte an beiden Seiten begrenzt. Abstrahieren wir von den Endpunkten, dann reden wir von „Geraden“ und die geraden Linienstücke werden „Geradenstücke“. Geradenstücke nennt man kürzer „Strecken“.

Je zwei Strecken passen bis auf Überlappungen zueinander. Zeichnet man auf jeder Strecke einen der zwei „Endpunkte“ als „Anfangspunkt“ aus (und nennt man dann nur noch den zweiten Punkt „Endpunkt“ so passen zwei Strecken sogar stets mit ihren Anfangspunkten zueinander. Nur die Enden der Strecken können sich dann noch überlappen. Diese Passungssätze sind Spezialfälle des Passungssatzes für Ebenen: die Geraden sind ja die Klapplinien der Ebenen, die zueinander passen.“ LORENZEN 1984, S. 38

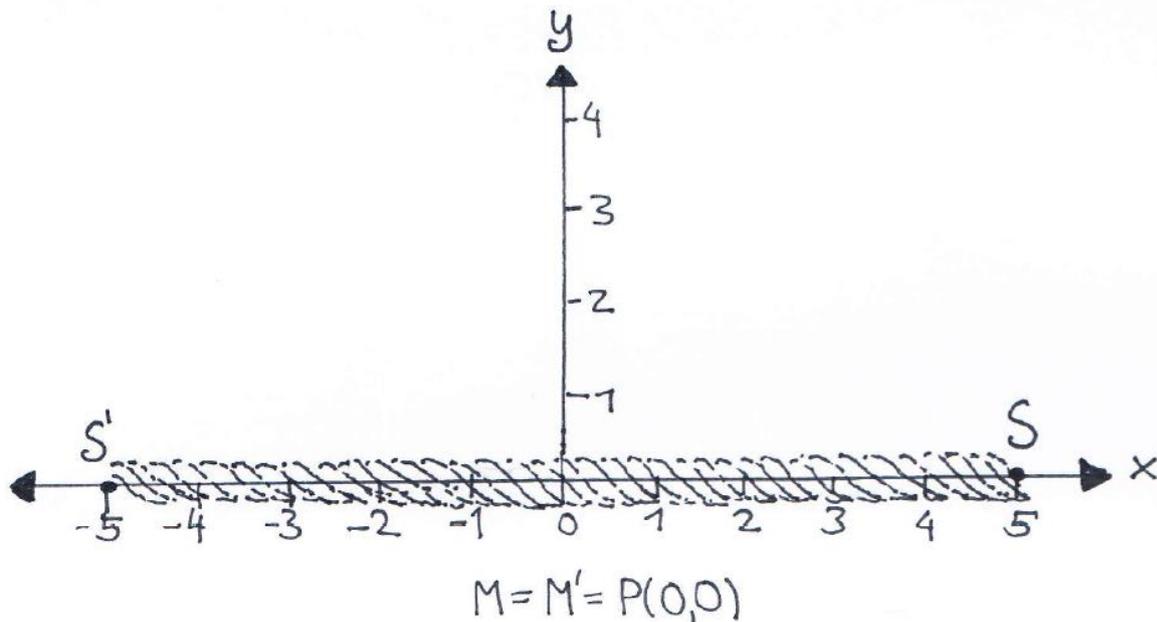


Abbildung 57

Wir sollen nun Folgendes beweisen: Zu unserer goldenen Schnur mit der Länge $\overline{S'S}$ „gibt es genau einen Punkt M “, wobei M verständlicherweise irgendwo auf der goldenen Schnur liegt (– sonst könnten wir die Schnur ja nicht teilen. Wir sagen daher: M ist ein Element¹⁵⁶⁵ von $\overline{S'S}$). Und er teilt die Schnur genau in zwei gleich große Hälften $\overline{S'M}$ und \overline{MS} (bzw. $\overline{S'M} \equiv \overline{MS}$), weshalb wir M als „den *Mittelpunkt* der Strecke“¹⁵⁶⁶ $\overline{S'S}$ bezeichnen.

Wie wir auch aus der Abbildung 57 erkennen können, liegt unsere Schnur nicht auf der Spiegelungsachse(, sonst können wir sie auch nicht spiegeln). Deswegen liegt weder der Anfangspunkt noch der Endpunkt auf der Spiegelungsachse. Die Punkte S' und S sind also keine Elemente der y -Achse. Doch der Mittelpunkt M muss natürlich auf der Spiegelungsachse liegen, damit man die hälften der Schnur an ihr spiegeln kann. Da M ein Element der y -Achse bzw. der Spiegelungsachse ist, so sehen wir, wie der Mittelpunkt in sich selbst übergeht $M = M'$. Außerdem ist uns klar, dass allgemein das Spiegelbild von einem Gegenstand, in unserem Fall ein Stück der goldenen Schnur, genau so lang ist, wie das Stück selbst. Dadurch können die Längen zu M sich wieder auf sich selbst abbilden, so dass $\overline{S'M} \equiv \overline{MS}$ gegeben ist.¹⁵⁶⁷ Dabei lässt sich die *Punktspiegelung* folgendermaßen berechnen. Der Punkt S wird entlang der x -Achse (= einer Geraden) durch den Punkt P gespiegelt¹⁵⁶⁸:

$$Sp(\vec{p}): \vec{s}' = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \vec{s} + 2 \cdot \vec{p}$$

¹⁵⁶⁵ $M \in \overline{S'S}$.

¹⁵⁶⁶ MITSCHKA/STREHL 1979, S. 54

¹⁵⁶⁷ vgl. MITSCHKA/STREHL 1979, S. 46

Man hätte für den Beweise auch Axiome gebraucht, doch haben wir sie aus Gründen der Platzersparnis ausgelassen.

¹⁵⁶⁸ Die Pfeile oberhalb der Buchstaben bedeuten Vektoren.

wobei Sp die Spiegelung, \vec{s}' die Negation von \vec{s} , $\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ die negierte Einheitsmatrix und \vec{p} der Ortsvektor des Punktes P (im \mathbb{R}^2) bedeutet. In unserem Fall haben wir für $S(5,0)$ und für $P(0,0)$

$$Sp(\vec{p}): \vec{s}' = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix} + 2 \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -5 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Wie erwartet sind die Koordinaten für $S' = (-5, 0)$.

Aus der Abbildung 57 können wir erkennen, dass es auch nur *maximal einen Punkt* geben kann, der diese goldene Schnur in genau gleiche Hälften teilt. Denn zu dem Anfangspunkt und Endpunkt dieser Geraden kann es nur eine Symmetrieachse – in unserem Fall ist es aus praktischen Gründen die y -Achse) geben.¹⁵⁶⁹ Und da wo die Symmetrieachse die goldene Schnur schneidet, dort ist die *optimale Teilung!*

Wie wir hier sehr deutlich erkennen können, gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen der Extremalmethode und der Symmetrie! Dies möchten wir noch kurz erläutern, bevor wir zum nächsten Schritt übergehen. Wir wissen bereits aus dem ersten Lösungsversuch

$$\overline{AE} \cdot \overline{EC} = a \cdot (b - a) = a \cdot b - a^2 \text{ soll } \mathbf{maximal} \text{ sein.}$$

Doch statt $a \cdot (b - a) = b$ könnten wir uns denken, dass es auch eine zweite Gleichung gibt, die uns die Lösung bietet, nämlich $e \cdot (b - e) = b$, wobei wir natürlich annehmen, dass $a \neq e$. Wir wollen nun die beiden Gleichungen gleichsetzen:

$$a \cdot (b - a) = e \cdot (b - e)$$

Somit sind beide Seiten (beinahe) „identisch“. Es ist, denken wir, dem Leser auch ohne Beweis verständlich, dass wenn wir ein Gegenstand, der zweimal hintereinander gespiegelt wird, dann zum Schluss wieder so aussieht, wie zu Beginn. Das heißt: zweimal Spiegeln bedeutet auch Identität. Nun ist die obere Gleichung aber „nicht ganz identisch“, denn $a \neq e$. Wir wollen aus diesem Grund, dass dieser „Unterschied“ *minimal* wird, so damit wir sagen können $a = e$. Die Vorgehensweise ist hier analog zur Klappung bei der Symmetrie. Wenn nämlich die beiden Punkte und somit ihre Längen vom Mittelpunkt sehr annähern, dann ergeben die Summen der beiden die Gesamtlänge:

$$a \cdot (b - a) = e \cdot (b - e)$$

$$a \cdot b - a^2 = e \cdot b - e^2 \quad | -e \cdot b \quad | +a^2$$

$$a \cdot b - e \cdot b = a^2 - e^2$$

$$b(a - e) = (a - e) \cdot (a + e) \quad | \div (a - e)$$

$$\frac{b(a - e)}{(a - e)} = \frac{(a - e) \cdot (a + e)}{(a - e)}$$

$$b = (a + e) \quad | a = e$$

$$b = 2 \cdot a$$

¹⁵⁶⁹ vgl. MITSCHKA/STREHL 1979, S. 45

In Form einer Differentialgleichung könnten wir auch schreiben¹⁵⁷⁰

$$\lim_{e \rightarrow a} \frac{f(a) - f(e)}{a - e}$$

(Doch da das Dividieren durch $(a - e)$ gar nicht so einfach ist, setzt Fermat zu Beginn $a + e$ statt e und dividiert später nur durch a . Zum Schluss setzt er dann $e = 0$ ein. Als Differentialgleichung könnten wir schreiben

$$\lim_{e \rightarrow 0} \frac{f(a) - f(a+e)}{e},$$

, obwohl Fermat natürlich damals noch nicht mit einem Grenzübergang argumentieren konnte.) Insofern konnten wir hoffentlich auch zumindest ein Gefühl übermitteln, wie eng die Extremalanwendungen mit den Symmetrieeigenschaften eines Systems verbunden sind. Genau genommen gibt es aber (mindestens) noch eine Möglichkeit das Problem um das Teilen der goldenen Schnur zu lösen.

Gesetze der Kräfte:

Wir könnten die goldene Schnur auch durch das Ausüben von Kräften teilen. Dazu bräuchten wir nur an den beiden Seiten der goldenen Schnur (Abbildung 58) zu ziehen¹⁵⁷¹ – theoretisch müsste sie dann (bei einer idealen Schnur) genau in der Mitte reißen. Um die Schnur aber nicht überzustrapazieren gebe es natürlich auch noch eine andere Taktik. Wir legen die Schnur wie immer in einer geraden Form auf eine Ebene. Anschließend stellen wir an beide Enden jeweils eine Kugel gleicher Art. Dann stoßen wir die beiden Kugeln mit derselben Kraft an, wie in der Abbildung 58 gezeigt. Genau dort wo die Kugeln aufeinander treffen, wird die Hälfte sein. Wir haben somit durch die gleiche Aufteilung der Kräfte auf beiden Seiten, eine gerechte Teilung der Schnur bewirkt.

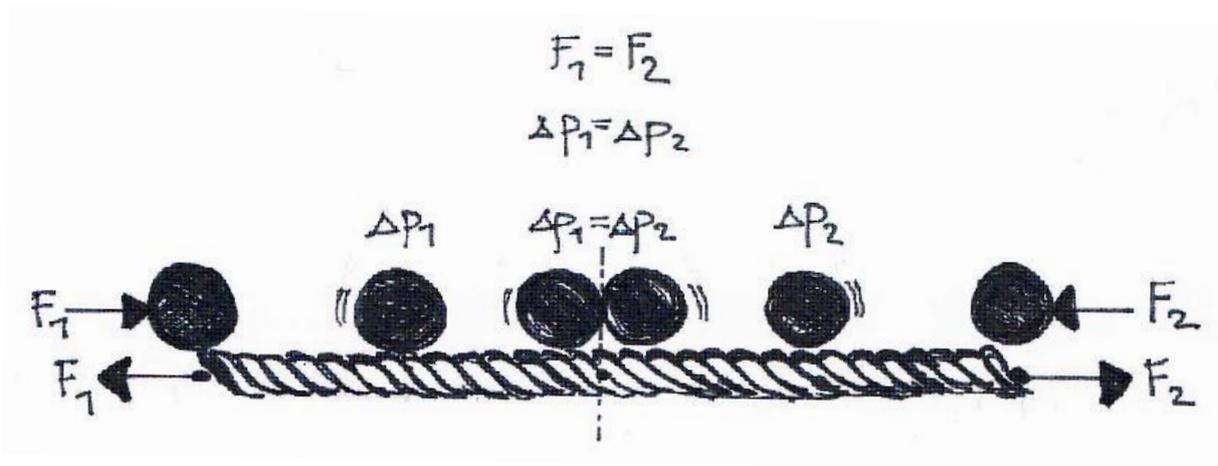


Abbildung 58

¹⁵⁷⁰ vgl. dazu SPRÜSSEL 2004, S. 3

¹⁵⁷¹ Oder einfach auf Grund des 3. Newtonschen Gesetzes nur an einem Ende ziehen und am anderen festhalten.

Wir wenden also eine Zeitlang eine Kraft auf eine Kugel und erhalten deshalb einen bestimmten Impuls:

$$\Delta t \cdot \text{Kraft} = \Delta p_{\text{Impuls beim Start}} \approx m \cdot v = m \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Wie auch aus der Gleichung erkennbar $\left(\frac{\Delta s}{\Delta t}\right)$ müssen die beiden Kugeln dabei stets in gleichen Zeiten gleiche Strecken zurücklegen.¹⁵⁷² Dazu sollte selbstverständlich der gewonnene Impuls immer konstant bleiben – er darf sich nicht mit der Zeit ändern:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta p_{\text{Impuls beim Start}}}{\Delta t} = \frac{dp_{\text{Impuls beim Start}}}{dt} = \textit{konstant} = 0.$$

Dabei haben wir die erste Ableitung nach der Zeit null gesetzt. Wir können also sehen, wie sehr auch dieser Lösungsweg mit Kräften in Form der *Gesetze der Erhaltung*¹⁵⁷³ bzw. in Gesetze der Extremalen¹⁵⁷⁴ übersetzt werden kann, da die Kraft eine Änderung des Impulses bewirkt; der (dadurch entstandene) Impuls stellt wiederum einen Erhaltungssatz dar und jeder Erhaltungssatz setzt ein Minimum an Änderung voraus.

¹⁵⁷² („Ebenso ist eine *Translation*, also eine Verschiebung der Ebene um einen festen Betrag in eine feste Richtung, eine Isometrie. Jeder Punkt der Ebene wird um denselben Betrag in dieselbe Richtung bewegt. Eine Translation lässt sich durch einen Vektor beschreiben, dessen Länge der Beträge der Translation ist und dessen Richtung die Translationsrichtung anzeigt.“ ROSEBROCK 2010, S. 3)

¹⁵⁷³ Da der Impuls konstant bleiben soll.

¹⁵⁷⁴ Da wir die erste Ableitung null setzen.

Anhang IV

Die „Energie“ ist heutzutage natürlich jedem ein Begriff. Um sie, zumindest scheint es so, dreht sich alles in der Wissenschaft. Wir wollen ein paar Gründe aufzählen, weshalb Energie ein solch zentraler Begriff in der Physik ist¹⁵⁷⁵:

- Alle erdenklichen Energieformen können ineinander umgewandelt werden. Aus diesem Grund sind alle Energieformen auch gleichwertig.
- In einem abgeschlossenen System – wir gehen (bis jetzt) davon aus, dass unser Universum ein solches System darstellt – bleibt die Summe aller möglichen Energieformen erhalten bzw. konstant. Sie gehen auch bei Umwandlungen nicht verloren!
- Wir wissen, dass der Begriff der Masse für unser Universum eine wichtige Rolle spielt. Ganz besonders bei größeren Objekten, wie Sternen, Galaxien usw. besitzt sie eine erstrangige Position. Andererseits wissen wir durch die bekannte Formel von Einstein $E = m \cdot c^2$, dass Masse und Energie gleichwertig sind. Die Masse ist somit als eine Erscheinungsform von Energie anzusehen.
- Der Energiebegriff hat einen *praktischen Sinn*! Wir benötigen Energie in Form von Strom, Nahrung usw. Sie ist somit auch für die Wirtschaft letzten Endes sehr wichtig.

Doch von all diesen Gründen hat man in den Anfängen der Physikgeschichte wenig wahrgenommen. So war die Verteidigung von Energiesätzen und ganz besonders vom Energieerhaltungssatz kein so leichtes Pflaster. Wir haben bereits gesehen, dass Descartes den Erhaltungssätzen eine besondere Rolle zuschreibt, doch aufgrund seiner Stoßregeln erkennt man, dass seine Betrachtungen nicht ganz mit den Experimenten übereinstimmen. Huygens, welcher unter anderem die Stoßgesetze mathematisch richtig beschreiben kann, stellt fest, dass bei Stoßgesetzen die Erhaltungssätze wirklich von großer Wichtigkeit sind. Allgemein bemerkt er, das bei Stößen der Gesamtimpuls und bei elastischen Stößen auch eine Bewegungsenergie erhalten bleibt, welche wir heute als kinetische Energie bezeichnen. Wir sahen, dass Newton von den Erhaltungsgesetzen nicht ganz überzeugt ist, außer von der Erhaltung der Materie. So brauchte Gott nach seinen Vorstellungen wohl die Materie nicht stets von Neuem zu erschaffen, dafür aber, das Ganze immer wieder von Neuem in Bewegung zu setzen. Später versucht Leibniz zu zeigen, von Huygens Untersuchungen übernommen¹⁵⁷⁶, dass der Energiebegriff eine sehr wichtige Rolle in der Physik spielt.¹⁵⁷⁷ Doch damals benutzt man den

¹⁵⁷⁵ Die hier gegebenen Beispiele sind aus den Beispielen von SCHÜLERDUDEN PHYSIK 2004, S. 109 entnommen.

¹⁵⁷⁶ vgl. SZABO 1987, S. 63, Fußnote 25

¹⁵⁷⁷ Leibniz setzt sich mit Descartes aufgrund zwei Fragestellungen auseinander. Gottfried Martin schreibt: „Die erste Frage ist die mehr philosophische nach der Natur des materiellen Körpers, die zweite Frage ist die mehr physikalische nach dem konkreten Maß der Kräfte. Die erste Frage geht dahin, ob es richtig ist, wenn Descartes den Körper ausschließlich als res extensa bestimmt, so daß die bloße Ausgedehntheit und damit wesentlich eine geometrische Bestimmung das Wesen des materiellen Körpers ausmacht. Leibniz hat schon früh erkannt, daß diese Bestimmung unzureichend ist. Man muß vielmehr den Körper auch durch seine Kraft bestimmen...In Frage nach dem Kräftemaß, insbesondere um die Feststellung derjenigen Größe, die bei allen mechanischen Veränderungen erhalten bleibt. Diese Größe hat Descartes mit dem Produkt aus der Masse und der Geschwindigkeit bestimmt..., während Leibniz sie als das Produkt aus der Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit bestimmt...“ zitiert nach STAMMEL 1982, S. 6

„In der heutigen Physik werden die Größen mv und mv^2 terminologisch genauer fixiert und nicht mehr unter den Terminus `Kraft` subsumiert. Im Zusammenhang mit der Größe mv spricht man von dem Impuls eines Körpers, im Zusammenhang mit der Größe mv^2 von seiner kinetischen Energie.“ STAMMEL 1992, S. 13

Begriff „Energie“ natürlich nicht¹⁵⁷⁸. So spricht Leibniz´ von aktivem und passiven Kräften¹⁵⁷⁹, wobei er dann die aktiven Kräfte in tote und lebendige Kräfte unterteilt.¹⁵⁸⁰ Doch da einerseits Leibniz Gedanken nicht ganz ausgereift waren¹⁵⁸¹, aber auch vor allem weil Leibniz andererseits die ersten beiden Newtonschen Axiome nicht anerkannte¹⁵⁸², kam es zu Streitereien. Später versuchte man diesen Streit zu schlichten, indem gute mathematische Physiker sagten, dass Leibniz die kinetische Energie meinte und diese mit Newtonschen Axiomen herleitbar waren.¹⁵⁸³ Kant scheint diese Schlichtungsversuche nicht gekannt zu haben und schreibt sein Erstlingswerk **Von der wahren Schätzung der lebendigen Kräfte**¹⁵⁸⁴ (1746) über dieses Thema. (Zu dieser Zeit sind Huygens, Leibniz und Newton selbstverständlich alle bereits gestorben.) Dieses Werk von Kant wollen wir jedoch nicht genauer analysieren, da es nicht sehr gelungen ist.¹⁵⁸⁵ (Er scheint bereits große Schwierigkeiten beim Verständnis des ersten Newtonschen Gesetzes, des Trägheitsprinzips, gehabt zu haben.)¹⁵⁸⁶ Szabo schreibt: „Der Streit, in dem sich der zweiundzwanzigjährige zum Richter aufspielen wollte, war – wie wir sahen – schon seit Jahren entschieden. KANT nahm davon keine Kenntnis, oder, was noch wahrscheinlicher ist, er war nicht imstande, die Problematik zu verstehen, geschweige sie zu lösen. Dazu fehlten ihm neben den mechanischen die unerläßlichen mathematischen Kenntnisse.“¹⁵⁸⁷ Doch sieht man schon, dass Kant bereits in den jungen Jahren, nicht nur bedeutende Probleme erkannte, sich dafür interessierte und mit ihnen auseinandersetzte, sondern auch den Mut fasste, sie zu lösen. (Interessant ist natürlich, weshalb er diese Arbeit von ihm auch später nicht widerrief?)¹⁵⁸⁸ Voltaire hingegen erfasste das Problem und die Lösung richtig und schreibt bereits über zehn Jahre vor Kant:

¹⁵⁷⁸ „Die Bezeichnung `Energie` für die physikalische Größe mv^2 stammt aus dem 19. Jahrhundert, auch wenn Leibniz zuweilen für die Kraftäußerungen eines dynamischen Subjekts den französischen Terminus *energie* verwendet. Leibniz´ Bezeichnungen für die physikalische Größe mv^2 sind ausschließlich *vis motrix*, *potentia motrix* oder *vis viva*.“ STAMMEL 1982, S. 47

¹⁵⁷⁹ „Die passive Kraft ist das der Bewegung widerstehende Moment, die aktive Kraft das die Bewegung verursachende Moment.“ STAMMEL 1982, S. 26

¹⁵⁸⁰ „Die aktiven oder bewegenden Kräfte lassen sich nach Leibniz zweifach unterscheiden: in tote und lebendige Kräfte. Ein Körper, der sich wirklich bewegt, besitzt eine lebendige Kraft. Ein Körper, der ruht, sich jedoch in der Tendenz zur Bewegung befindet, besitzt eine tote Kraft. Anders gefaßt: die lebendige Kraft bringt eine wirkliche Bewegung hervor, die tote Kraft nur die Tendenz zur Bewegung.“ STAMMEL 1982, S. 251

¹⁵⁸¹ Hans Stammel schreibt: „[...] vergleicht man die Sätze von Leibniz´ mathematische Physik mit heute anerkannten Lehrmeinungen, dann zeigt sich, daß fast jeder Satz von Leibniz entweder falsch oder ungenau ist, oder daß Leibniz aus physikalischen Sätzen Folgerungen zieht, die mit Argumenten aus der mathematischen Physik nicht begründet werden können.“ STAMMEL 1982, S. 7

¹⁵⁸² vgl. STAMMEL 1982, S. 47-49

Szabo schreibt hier wohl zu Recht: „Gibt man der Wahrheit den Vorzug und versagt hier DESCARTES und LEIBNIZ den ihnen auf anderen Gebieten gebührenden Respekt, so kann man abschließend behaupten: DESCARTES verstand nicht das grundsätzlich Neue in GALILEIS *Discorsi*, und LEIBNIZ blieb noch die in Newtons drei Axiomen enthaltene <<physiko-mathematische>> Substanz verborgen.“ SZABO 1987, S. 73

¹⁵⁸³ Daniel Bernoulli war der Erste, der versuchte in seiner Schrift *Examen principiorum mechanicea* (1726) durch mathematische Zusammenhänge die verschiedenen Ansichten zu schlichten. Später weist noch D´Alembert (1743) darauf hin, dass es sich lediglich um einen Wortstreit gehandelt habe. vgl. SZABO 1987, S. 71-72

¹⁵⁸⁴ SZABO 1987, S. 75

¹⁵⁸⁵ G.E. Lessing schreibt:

„KANT unternimmt ein schwer Geschäft,
Der Welt zum Unterricht;
Er schätzt die lebendigen Kräfte,
Nur seine schätzt er nicht.“ zitiert nach SZABO 1987, S. 79

¹⁵⁸⁶ vgl. SZABO 1987, S. 77 (und S. 82)

¹⁵⁸⁷ SZABO 1987, S. 75

¹⁵⁸⁸ vgl. SZABO 1987, S. 79

„Die große Frage ist, ob diese von GOTT gegebene Kraft in der Natur immer gleich ist.

Descartes behauptete, ohne einen Beweis zu erbringen und ohne die Kraft zu erwähnen, daß es sich immer um die gleiche Bewegungsmenge handelt. [] [Die ersten Geometer, die die Gesetze vom Stoß der Körper fanden, fanden jedoch, daß diese Meinung irrig ist.

Benoulli, ein Anhänger von *Leibniz* in der Metaphysik, fand, daß, wenn die Bewegungsmenge nicht immer gleich ist, die Summe der Kräfte eine konstante Menge ist. Dazu mußte jedoch die Kraft anders als gewöhnlich bewertet werden.] Anders als *Mersenne*, *Descartes*, *Newton*, *Mariotte*, *Varignon* usw., die nach *Archimedes* die Bewegung eines Körpers durch die Multiplikation seiner Masse mit der Geschwindigkeit gemessen habe, haben *Leibniz*, *Bernoulli*, *Hermann*, *Poleni*, *Gravesande*, *Wolff* usw. die Masse mit dem Quadrat der Geschwindigkeit multipliziert.

Dieser Streit, der der Skandal der Geometrie ist, hat Europa gespalten. Es scheint mir jedoch, daß man endlich erkennt, daß es sich im Grunde um Wortklauberei handelt. Es ist unmöglich, daß sich diese großen Philosophen, wenn ihre Meinungen auch diametral entgegengesetzt sind, in ihren Berechnungen irren. Sie haben gleicherweise recht.“¹⁵⁸⁹

Obwohl somit „die Prinzipien von der Erhaltung der lebendigen Kräfte“¹⁵⁹⁰, welche in etwa synonym zum heutigen Energieerhaltungssatz sind, bekannt wurden, so wurden sie dennoch nicht anerkannt, wenn sie eine Erweiterung in andere physikalische Gebiete fanden. Es lag wohl unter anderem am Begriff „lebendige Kraft“, da sich vor allem Physiker mit dem Thema beschäftigten, welche auch ausgebildete Ärzte waren.¹⁵⁹¹ Mayers „Energiesatz in der Thermodynamik, d.h. in seiner Form als „Erster Hauptsatz der Wärmelehre““¹⁵⁹² blieb einige Zeit unbeachtet. Obwohl er durch seine Annahme „die Gültigkeit des Energiesatzes von der Mechanik auf die Wärmelehre“¹⁵⁹³ übertragen hat. Auch Helmholtz, obwohl er bereits zu seiner Zeit sehr anerkannt war,¹⁵⁹⁴ scheiterte teilweise bei dem Versuch im Jahre 1847 den Energieerhaltungssatz als ein allgemeines Prinzip in die Physik

¹⁵⁸⁹ VOLTAIRE 1997, S. 121

¹⁵⁹⁰ VOLTAIRE 1997, S. 122

¹⁵⁹¹ Sowohl Mayer als auch Helmholtz waren beide Ärzte und Physiker. vgl. HELMHOLTZ 1983, S. 5

¹⁵⁹² HELMHOLTZ 1983, S. 9

¹⁵⁹³ HELMHOLTZ 1983, S. 8

¹⁵⁹⁴ vgl. HELMHOLTZ 1983, S. 5

einzubringen.¹⁵⁹⁵ Sein Vortrag „Über die Erhaltung der Kraft“¹⁵⁹⁶ fand damals wenig Anklang. Im Jahre 1891, zu seinem 70. Geburtstag sagte er in seiner Dankesrede: „Die physikalischen Autoritäten waren geneigt, die Richtigkeit des Gesetzes zu leugnen und in dem eifrigen Kampfe gegen Hegels Naturphilosophie, den sie führten, auch meine Arbeit für eine phantastische Spekulation zu erklären. Nur der Mathematiker C. G. Jacobi erkannte den Zusammenhang meines Gedankengangs mit dem der Mathematiker der vorigen Jahrhunderts, interessierte sich für meinen Versuch und schützte mich vor Mißdeutung“¹⁵⁹⁷. Hier erinnert sich Helmholtz womöglich unter anderem daran, dass man sich sogar zu Beginn weigerte seine Arbeiten in den „Annalen der Physik und Chemie“ zu veröffentlichen, weil man meinte, diese wäre „bloße Philosophie“¹⁵⁹⁸.

Dass diese „bloße Philosophie“¹⁵⁹⁹ mit den Newtonschen Axiomen konform ist, wollen wir anhand eines einfachen Beispiels zeigen. „Das einfachste Beispiel der Energieerhaltung ist ein vertikal fallendes Objekt, eines, das sich nur in vertikaler Richtung bewegt. Ein Objekt, welches seine Höhe

¹⁵⁹⁵ Helmholtz' Ideen besitzen eine Struktur, welche sowohl Descartes' Gedanken von Erhaltungssätzen, als auch das aktive Prinzip von Newton beinhalten. So schreibt er: „Es bestimmt sich also endlich die Aufgabe der physikalischen Naturwissenschaften dahin, die Naturerscheinungen zurückzuführen auf unveränderliche, anziehende und abstoßende Kräfte, deren Intensität von der Entfernung abhängt. Die Lösbarkeit dieser Aufgabe ist zugleich die Bedingung der vollständigen Begreiflichkeit der Natur.“ HELMHOLTZ 1983, S. 17 Und er kann natürlich schließlich dieses Prinzip sowohl der toten, als auch der lebenden Materie ausdehnen. Natürlich weist er auch noch auf fehlende Daten hin: „Es bleiben uns von den bekannten Naturprocessen noch die der organischen Wesen übrig. In den Pflanzen sind die Vorgänge hauptsächlich chemische und außerdem findet, wenigstens in / einzelnen eine geringe Wärmeentwicklung statt. [...] Für die Thiere haben wir schon einige nähere Anhaltspunkte. Dieselben nehmen die complicirten oxydablen Verbindungen, welche *den* von den Pflanzen erzeugt werden, und Sauerstoff in sich auf, geben dieselben meist verbrannt, als Kohlensäure und Wasser, theils auf einfachere Verbindungen reducirt / wieder von sich, verbrauchen also eine gewisse Quantität chemischer Spannkräfte, und erzeugen dafür Wärme und mechanische Kräfte.“ HELMHOLTZ 1983, S. 59

Es gibt natürlich auch Stellen, wo er auf Huygens' Leistungen hinweist: „Bei den Gesetzen dieser Bewegungen ist unser Princip am frühesten erkannt, und am häufigsten benutzt worden. Als die gewöhnlichsten Fälle der Anwendung bei den festen Körpern sind zu erwähnen der elastische Stoß, dessen Gesetze sich leicht aus unserem Princip und dem von der Erhaltung der Schwerpunkts herleiten lassen, [...]“ HELMHOLTZ 1983, S. 28 Doch stellt er auch zugleich fest, dass sein Verständnis von der Energieerhaltung ein wenig weiter und tiefer geht: „*Der erste Satz des ersten Kapitels meiner Abhandlung ist: „Wir gehen aus von der Annahme, daß es unmöglich sei, durch irgend eine Combination von Naturkörpern bewegende Kraft fortdauernd aus nichts zu erschaffen.“* <was offenbar eine ganz andre Behauptung ist, als die frühere aufgestellte, wo dieser Satz <Natur der Kräfte> nur als Bedingung für einen gewissen Erfolg *angenommen wurde* und als einer unter mehreren möglichen Fällen angenommen wurde.“ HELMHOLTZ 1983, S. 62-63

¹⁵⁹⁶ HELMHOLTZ 1983, S. 5

¹⁵⁹⁷ HELMHOLTZ 1983, S. 9

¹⁵⁹⁸ vgl. HELMHOLTZ 1983, S. 6

¹⁵⁹⁹ Weshalb manche Physiker den Energieerhaltungssatz als „bloße Philosophie“ ansahen, könnte auch daran liegen, dass die Energie eine „abstrakte Idee“ (FEYNMAN (I) 2007, S. 45) darstellt. Feynman schreibt: „Es ist wichtig, einzusehen, dass wir in der heutigen Physik nicht wissen, was Energie *ist*. Wir haben kein Bild davon, dass Energie in kleinen Klumpen definierter Größe vorkommt. So ist es nicht. Jedoch gibt es Formeln zur Berechnung einer numerischen Größe, und wenn wir alles zusammenaddieren, ergibt es [...] immer die gleiche Zahl. Es ist eine abstrakte Sache insofern, als es uns nichts über den Mechanismus oder die *Gründe* für die verschiedenen Formeln mitteilt.“ FEYNMAN (I) 2007, S. 46

allein unter dem Einfluss der Gravitation ändert, hat aufgrund seiner Fallbewegung die kinetische Energie¹⁶⁰⁰ $E_{kin.} = \frac{m \cdot v^2}{2}$ „und eine potentielle Energie¹⁶⁰¹ $E_{pot.} = m \cdot g \cdot h$

Uns ist klar, dass sich die Bewegungsenergie bzw. die kinetische Energie des Massenpunktes beim hinunter Fallen mit der Zeit ändern wird $\frac{d E_{kin.}}{dt}$ – da das Objekt immer schneller wird. (Wir gehen natürlich von einem Idealzustand aus, wo auch der Luftwiderstand keine Rolle spielt. Unser einfaches Beispiel findet somit natürlich in einem Vakuum statt.) Wir wollen sehen, ob wir das nicht mathematisch noch einfacher umschreiben können. (Dabei gehen wir wie Newton auch davon aus, dass die Masse konstant ist.¹⁶⁰²)

$$\begin{aligned} \frac{d E_{kin.}}{dt} &= \frac{d \left(\frac{m \cdot \vec{v}^2}{2} \right)}{dt} = \frac{d \left(\frac{m \cdot \vec{v} \cdot \vec{v}}{2} \right)}{dt} = \frac{1}{2} \left(m \cdot \vec{v} \cdot \frac{d \vec{v}}{dt} + m \cdot \vec{v} \cdot \frac{d \vec{v}}{dt} \right) = \frac{1}{2} \left(2 \cdot m \cdot \vec{v} \cdot \frac{d \vec{v}}{dt} \right) \\ &= m \cdot \frac{d \vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} = \vec{F} \cdot \vec{v} \end{aligned}$$

$\vec{F} \cdot \vec{v}$ wird in der Physik auch als *Leistung* bezeichnet. Der kinetischen Energie steht natürlich die Änderung der potentiellen Energie gegenüber, denn während der Massenpunkt fällt, ändert er natürlich mit der Zeit seine vertikale Position bzw. seine Höhe

$$\frac{d E_{pot.}}{dt} = -m \cdot \vec{g} \cdot \frac{d \vec{h}}{dt}$$

Wir haben deswegen ein Minuszeichen davor geschrieben, weil die Kraft nach unten gerichtet ist. Außerdem wissen wir, dass die Höhe auch nur eine Strecke ist. Deswegen können wir

$\frac{d \vec{h}}{dt} = \vec{v}$ schreiben und in die obige Formel einsetzen und bekommen

$$\begin{aligned} -m \cdot \vec{g} \cdot \frac{d \vec{h}}{dt} & \quad \left| \quad \frac{d \vec{h}}{dt} = \vec{v} \right. \\ -m \cdot \vec{g} \cdot \vec{v} & \end{aligned}$$

Da wir wissen, dass \vec{g} die **Erdbeschleunigung** ist, können wir statt $m \cdot \vec{g}$ auch \vec{F} hinschreiben und erhalten zum Schluss

$$\begin{aligned} -m \cdot \vec{g} \cdot \vec{v} & \quad \left| \quad m \cdot \vec{g} = \vec{F} \right. \\ -\vec{F} \cdot \vec{v} & \end{aligned}$$

¹⁶⁰⁰ FEYNMAN (I) 2007, S. 182

Das folgende physikalische Beispiel ist gänzlich von Feynman übernommen. (FEYNMAN (I) 2007, S. 181-183) vgl. auch MACH 1933, S. 377-378

¹⁶⁰¹ FEYNMAN (I) 2007, S. 182

¹⁶⁰² Außerdem bedienen wir uns der folgenden mathematischen Regel: Seien \vec{a} und \vec{b} zwei Vektoren, die beide von der Zeit abhängen, dann ist die Ableitung vom Produkt dieser Vektoren $\vec{a} \cdot \vec{b}$ folgendermaßen gegeben

$$\frac{d (\vec{a} \cdot \vec{b})}{dt} = \vec{a} \cdot \frac{d \vec{b}}{dt} + \vec{b} \cdot \frac{d \vec{a}}{dt}$$

vgl. FEYNMAN (I) 2007, S. 183

Nun stellen wir der kinetischen Energie $E_{kin.}$ die potentielle Energie $E_{pot.}$ gegenüber, wie es der Energieerhaltungssatz verlangt und erhalten:

$$E_{kin.} = -E_{pot.} \quad | \quad E_{kin.} = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad \text{und} \quad -E_{pot.} = -\vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$\vec{F} \cdot \vec{v} = -\vec{F} \cdot \vec{v} \quad | \quad \div v$$

$$\vec{F} = -\vec{F}$$

Wie die Formel zeigt, konnten wir somit den Zusammenhang zwischen dem 3. Newtonschen Axiom und den Erhaltungssätzen zeigen. Wir wollen hier dennoch den Energieerhaltungssatz festhalten – dabei gehen wir ein paar Schritte zurück und leiten nach der Zeit ab

$$E_{kin.} = -E_{pot.} \quad | \quad \frac{d}{dt}$$

$$\frac{d E_{kin.}}{dt} = -\frac{d E_{pot.}}{dt} \quad | \quad + \frac{d E_{pot.}}{dt}$$

$\frac{d E_{kin.}}{dt} + \frac{d E_{pot.}}{dt} = \frac{d E_{ges.}}{dt} = 0$

Anhang V

Herleitung der ersten Stoßregel von Descartes mit dem Schwerpunktsatz.

Schwerpunktsatz:

Christopher Wren (1632-1723) schreibt: „Der Stoß zweier Körper mit ihren eigentümlichen Geschwindigkeiten läßt sich mit einem Hebel vergleichen, der um seinen Schwerpunkt oszilliert.“¹⁶⁰³ Aus diesem Grund ist es sicher passend, wenn wir gleich zu Beginn klären wie genau wir den Schwerpunktsatz berechnen können. Nehmen wir an, wir haben ein System von 2 Massen(punkten). Diese können wir als m_1 und m_2 bezeichnen und deren Orte (bzw. horizontale Positionen) mit den Ortsvektoren \vec{x}_1 und \vec{x}_2 angeben. Daraus folgernd definieren wir jetzt den Schwerpunkt:

$$m_{Gesamtmasse} \cdot \overrightarrow{x_{Schwerpunkt}} = m_1 \cdot \vec{x}_1 + m_2 \cdot \vec{x}_2$$

bzw.

$$m_{Gesamtmasse} \cdot \overrightarrow{x_{Schwerpunkt}} = \sum_i m_i \cdot \vec{x}_i$$

Wobei $m_{Gesamtmasse} = m_1 + m_2 = \sum_i m_i$ die Gesamtmasse des Systems bedeutet.¹⁶⁰⁴

¹⁶⁰³ SZABO 1987, S. 445

¹⁶⁰⁴ Die Summe könnten wir auch durch ein Integral ersetzen:

$$m_{Gesamtmasse} \cdot \overrightarrow{x_{Schwerpunkt}} = \int \vec{x} \cdot dm \quad \text{bzw.} \quad \overrightarrow{x_{Schwerpunkt}} = \frac{\int \vec{x} \cdot dm}{\int dm}$$

vgl. TIPLER/MOSCA 2009, S. 167 – 168 bzw. SCHÜLERDUDEN PHYSIK 2004, S. 364-365

Wollen wir nun den Ortsvektor für den Schwerpunkt der beiden bestimmen, formen wir ganz einfach um und erhalten:

$$\vec{x}_{\text{Schwerpunkt}} = \frac{m_1 \cdot \vec{x}_1 + m_2 \cdot \vec{x}_2}{m_{\text{Gesamtmasse}}}$$

Um uns das besser vor Augen führen zu können, ist es zweckmäßig, wenn wir dazu eine Skizze anfertigen – siehe dazu die Abbildungen 59 und 60. Dabei zeichnen wir (aus Gründen der Bequemlichkeit) unsere Koordinaten so, dass m_1 sich im Ursprung unseres Koordinatensystems befindet und m_2 irgendwo auf der positiven x -Achse liegt. Nun können wir schreiben $x_1 = 0$ und $x_2 = d$, wobei d den Abstand zwischen den beiden Massenpunkten angibt.¹⁶⁰⁵ Der (gemeinsame) Schwerpunkt ist dann beispielsweise gegeben durch

$$x_{\text{Schwerpunkt}} = \frac{m_1 \cdot 0 + m_2 \cdot d}{m_{\text{Gesamtmasse}}} = \frac{m_2 \cdot d}{m_1 + m_2}$$

Aus den Abbildungen¹⁶⁰⁶ können wir schnell dreierlei Kenntnisse gewinnen:

- Wenn wir nur zwei Massen haben, dann liegt der Schwerpunkt auf der Verbindungslinie zwischen ihnen.
- Sind die zwei Massen noch dazu gleich groß, dann liegt der Schwerpunkt sogar genau in der Mitte der beiden Massen. (Insofern sind die Massen um den Schwerpunkt auch klappsymmetrisch. Oder wir können noch allgemeiner sagen: Bei Systemen mit hoher Symmetrie ist der Schwerpunkt zugleich auch der Symmetriemittelpunkt.)¹⁶⁰⁷
- Sind die Massen hingegen verschieden groß, dann wird der Schwerpunkt, wie aus der Abbildung 60 entnehmbar, näher bei der höheren Masse liegen.

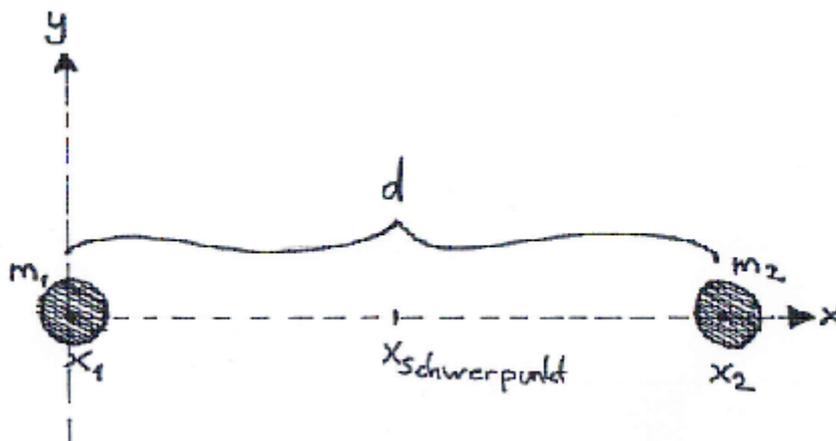


Abbildung 59

¹⁶⁰⁵ vgl. dazu TIPLER/MOSCA 2009, S. 167

¹⁶⁰⁶ vgl. dazu TIPLER/MOSCA 2009, S. 168, Abbildung 5. 43

¹⁶⁰⁷ vgl. dazu auch TIPLER/MOSCA 2009, S. 168

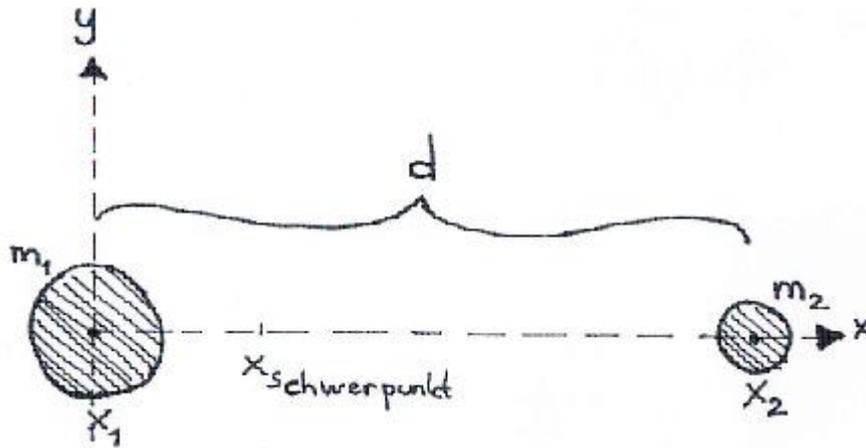


Abbildung 60

Bei unseren Stoßgesetzen sind unsere beiden Massen jedoch in Bewegung. Das bedeutet, damit wir das Gleichgewicht wahren können, sollten wir auch den Schwerpunkt bewegen bzw. ihm einen Impuls geben. Das erhalten wir, indem wir einfach die Ortsvektoren – zur Bestimmung des (gemeinsamen) Schwerpunktes – durch die Geschwindigkeitsvektoren austauschen¹⁶⁰⁸:

$$m_{\text{Gesamtmasse}} \cdot \overrightarrow{x_{\text{Schwerpunkt}}} = m_1 \cdot \overrightarrow{x_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{x_2} = \sum_i m_i \cdot \overrightarrow{x_i} \quad | \quad \overrightarrow{x_i} \text{ durch } \overrightarrow{v_i} \text{ austauschen}$$

$$m_{\text{Gesamtmasse}} \cdot \overrightarrow{v_{\text{Schwerpunkt}}} = m_1 \cdot \overrightarrow{v_1} + m_2 \cdot \overrightarrow{v_2} = \sum_i m_i \cdot \overrightarrow{v_i}$$

Nun sind wir ausgerüstet, um Descartes' erste Stoßregel sorgfältig zu untersuchen.

Das Schwerpunktsystem und Descartes' erste Stoßregel

Bereits Huygens konnte feststellen, dass die Geschwindigkeit des Schwerpunktes eines Systems (aus beispielsweise zwei Körpern bzw. Massen) sich geradlinig, gleichmäßig weiterbewegt, wenn keine äußeren Einflüsse bzw. Kräfte auf das System einwirken. Wir können daher auch sagen, dass die Geschwindigkeit des Schwerpunktes konstant ist. Für die Betrachtung von Stoßgesetzen ist es sehr vorteilhaft, wenn wir uns in ein sich bewegendes Bezugssystem ($\overrightarrow{v_{\text{Schwerpunktsystem}}}$) bzw. Koordinatensystem hineinversetzen – welches natürlich zugleich ein Inertialsystem ist –, dessen Ursprung genau mit dem des Schwerpunktes übereinstimmt. Dieses Bezugssystem wird in der Fachsprache deshalb auch als *Schwerpunktsystem* bezeichnet. Wir merken uns daher: *Im Schwerpunktsystem ist die Geschwindigkeit des Schwerpunktes stets null. Daraus folgt aber auch, dass der Gesamtimpuls des Systems (im Schwerpunktsystem) immer null ist.*¹⁶⁰⁹

Wir müssen selbstverständlich dieses Schwerpunktsystem nicht benutzen. Nehmen wir an, wir hätten ein Physikkolabor. Dort hätten wir auf einem (idealen, reibungsfreien) Tisch zwei Körper bzw. Massen mit m_1 und m_2 . Dann geben wir dem einen Körper m_1 einen kleinen Stoß (bzw. bestimmten Impuls), so dass es die Geschwindigkeit $\overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Stoß}}$ besitzt und der Körper m_2 während dessen

¹⁶⁰⁸ Natürlich differenzieren bzw. leiten wir mathematisch gesehen den Ortsvektor nach der Zeit ab:

$$m_{\text{Gesamtmasse}} \cdot \frac{d \overrightarrow{x_{\text{Schwerpunkt}}}}{dt} = m_1 \cdot \frac{d \overrightarrow{x_1}}{dt} + m_2 \cdot \frac{d \overrightarrow{x_2}}{dt} = \sum_i m_i \cdot \frac{d \overrightarrow{x_i}}{dt} = \sum_i m_i \cdot \overrightarrow{v_i}$$

¹⁶⁰⁹ vgl. dazu auch TIPLER/MOSCA 2009, S. 301

ruht ($\vec{v}_2 \text{ vor dem Sto\ss} = 0$) . Dieses Bezugssystem nennt man, was auch sehr nahe liegend ist, das *Laborsystem*.¹⁶¹⁰

Wenn nun der Körper m_1 im Laborsystem die Geschwindigkeit $\vec{v}_1 \text{ vor dem Sto\ss}$ hat, dann ist sie auch im Schwerpunktsystem folgendermaßen gegeben:

$$\vec{v}_{\text{vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)}} = \vec{v}_{\text{vor dem Sto\ss (Laborsystem)}} - \vec{v}_{\text{Schwerpunktsystem}} .$$

Das ganze Verfahren wirkt beim ersten Mal Hinsehen zwar sehr kompliziert, doch erleichtert das Schwerpunktsystem die Untersuchungen bei Stoßproblemen ganz wesentlich.¹⁶¹¹ Um uns mit dem Verfahren vertraut zu machen, gehen wir es am besten Schritt für Schritt durch. Wir betrachten dazu zwei Körper m_1 und m_2 , welche (im Schwerpunktsystem) folgende Geschwindigkeit

$$\vec{v}_1 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} \quad \text{und} \quad \vec{v}_2 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)}$$

besitzen. Für den Impuls beider Massen erhalten wir somit

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} \quad \text{und} \quad m_2 \cdot \vec{v}_2 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} .$$

Da der Gesamtimpuls im Schwerpunktsystem stets null sein muss, sollte der Impuls der beiden Massen selbstverständlich entgegengesetzt sein:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} = - m_2 \cdot \vec{v}_2 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} .$$

Wir formen diese Gleichung um und erhalten

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} + m_2 \cdot \vec{v}_2 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} = 0 = \textit{konst.}$$

Diese Gleichung sagt uns, dass sich bei einem elastischen Stoß (in einer Dimension) zwischen zwei Körpern nach dem Schwerpunktsystem der Betrag der Geschwindigkeiten nicht ändert, aber die Richtungen sich genau umkehren¹⁶¹²:

$$\vec{v}_1 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} = - \vec{v}_1 \text{ nach dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)}$$

und

$$\vec{v}_2 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} = - \vec{v}_2 \text{ nach dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)} .$$

Schauen wir uns nun die erste Stoßregel von Descartes an: „Erstens: Wenn diese zwei Körper (Fig. 6), zum Beispiel B und C, völlig gleich wären und sich gleich rasch bewegten, nämlich B von rechts nach links, und C ihm entgegen von links nach rechts, dann würden sie, wenn sie aufeinander aufträfen, reflektiert werden und danach fortfahren, sich zu bewegen, B nach rechts und C nach links, wobei sie nichts von ihrer Geschwindigkeit verlören.“¹⁶¹³

¹⁶¹⁰ vgl. dazu auch TIPLER/MOSCA 2009, S. 301

¹⁶¹¹ vgl. dazu TIPLER/MOSCA 2009, S. 301

¹⁶¹² vgl. dazu TIPLER/MOSCA 2009, S. 301

¹⁶¹³ DESCARTES 2005, S. 151 (II/46)



Fig. 6

Abbildung 61; Quelle: DESCARTES 2005

Wie wir aus der Abbildung 61 erkennen können, ist für Descartes der Impuls als Betrag deutlich klar. So ist der Holzklötz C zwar nicht so hoch wie B, doch dafür etwas länger, womit die Massen sich ausgleichen. Und hier kommt auch Descartes' geometrische Sichtweise zum Einsatz, dass nämlich die Ausdehnungen der Körper in gewissem Sinne eine besondere Rolle spielen. Was aber völlig fehlt, ist eine geometrische bzw. quantitative Darstellung der Geschwindigkeiten. Heutzutage wissen wir, dass wir die Geschwindigkeit als einen Vektor betrachten können und ihr daher sowohl einen Betrag als auch eine Richtung zuschreiben. Wir wollen daher in Descartes' Zeichnung die Geschwindigkeitsvektoren ergänzend einfügen. Und da wir schon dabei sind, werden wir auch sogleich den Schwerpunkt und dessen Geschwindigkeit einzeichnen. (Siehe Abbildung 62 und 63.)

Vor dem Stoß:

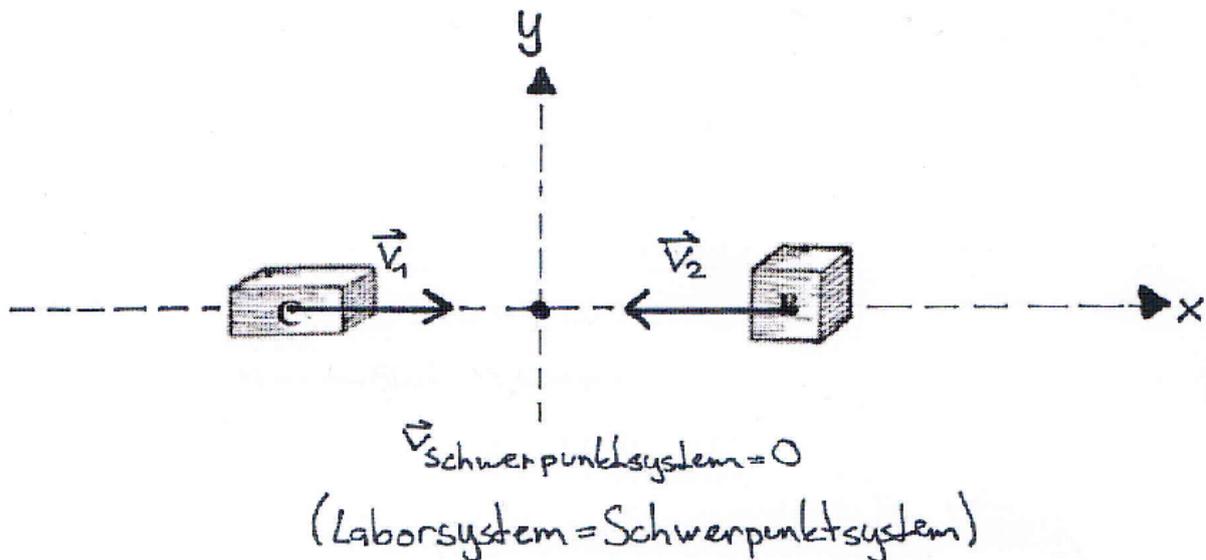


Abbildung 62

Nach dem Stoß:

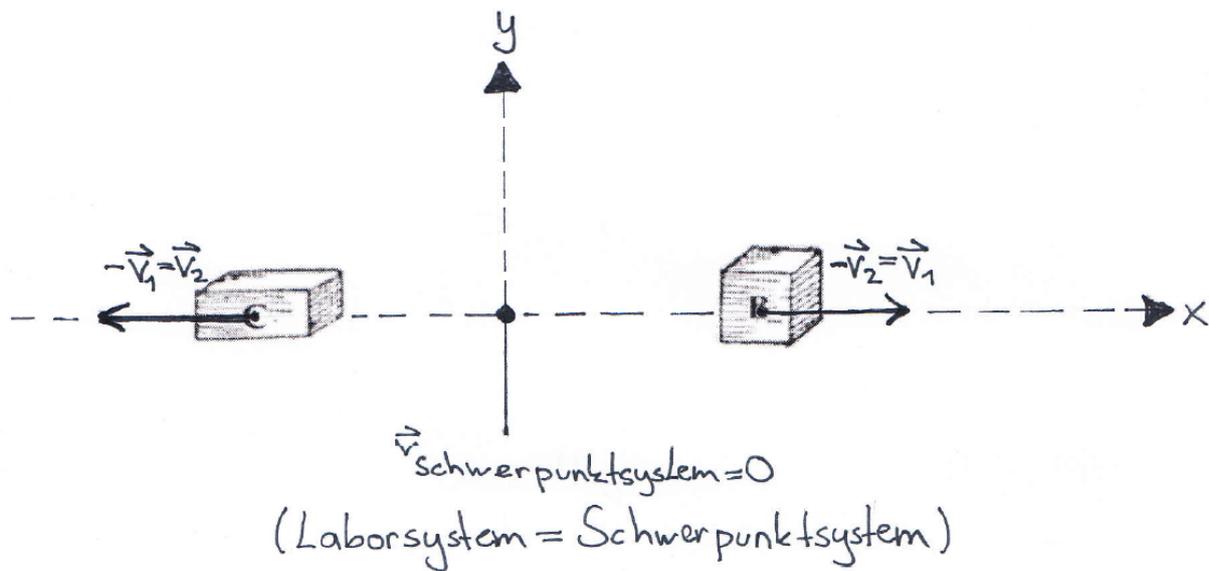


Abbildung 63

Die große Sensation ist, wie man aus den Abbildungen erkennen kann, dass die einzige Stoßregel, welche Descartes für die rein elastischen Stöße¹⁶¹⁴ richtig aufstellt, jene ist, **wo das Laborsystem und Schwerpunktsystem gleich sind!** Das bedeutet für beide Beobachter – Beobachter im Labor und Beobachter, welcher sich mit dem Schwerpunkt mitbewegt – sehen die Ereignisse der Zusammenstöße exakt gleich aus. **Somit hat sich unsere These bewährt, dass Descartes sich schwer tut, die Rolle verschiedener Beobachter einzunehmen. Nur da wo die Sichten bzw. Perspektiven der beiden Beobachter zusammenfallen, gelingt es Descartes die Natur richtig zu beschreiben.**

So können wir das Scheitern Descartes' an den Stoßregeln auf das Fehlen von *Theory of Mind* zurückführen. Oder mit anderen Worten: *Durch das Fehlen des Einsatzes verschiedener Bezugssysteme (bzw. der Inertialsysteme) gelingt es Descartes nicht zu besseren Stoßregeln zu gelangen.*

Wir wollen noch kurz die erste Regel von Descartes klarerweise auch rechnerisch bestätigen:

$$m_{\text{Gesamtmasse}} \cdot \overrightarrow{v_{\text{Schwerpunkt}}} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + (-m_2 \cdot \vec{v}_2) = \sum_i m_i \cdot \vec{v}_i = 0$$

Der Ausdruck $-m_2 \cdot \vec{v}_2$ ist negativ, weil der Impulsvektor in die negative Koordinatenrichtung zeigt. Wenn wir durch die Gesamtmasse dividieren, ergibt sich:

$$\overrightarrow{v_{\text{Schwerpunktsystem}}} = \frac{m_1 \cdot \vec{v}_1 + (-m_2 \cdot \vec{v}_2)}{m_{\text{Gesamtmasse}}} = \frac{0}{m_{\text{Gesamtmasse}}} = 0$$

Anschließend wechseln wir vom Schwerpunktsystem ins Laborsystem

$$\overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Stoß (Schwerpunktsystem)}} = \overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Stoß (Laborsystem)}} - \overrightarrow{v_{\text{Schwerpunktsystem}}} =$$

¹⁶¹⁴ Bei einem vollständig inelastischen Stoß wären die Teilchen nach dem Stoß in Ruhe bzw. am Schwerpunkt vereint. vgl. dazu TIPLER/MOSCA 2009, S. 301 und FEYNMAN (I) 2007, S. 139

$$\overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem)}} - 0 = \overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}};$$

und

$$\begin{aligned} \overrightarrow{v_2 \text{ vor dem Sto\ss (Schwerpunktsystem)}} &= \overrightarrow{v_2 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem)}} - \overrightarrow{v_{\text{Schwerpunktsystem}}} = \\ \overrightarrow{v_2 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem)}} - 0 &= \overrightarrow{v_2 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}}. \end{aligned}$$

Unser Resultat lautet also:

$$\overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}} = - \overrightarrow{v_1 \text{ nach dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}}$$

bzw.

$$\overrightarrow{v_2 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}} = - \overrightarrow{v_2 \text{ nach dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}}$$

Da wir voraussetzen können, dass die Masse stets erhalten bleibt, bekommen wir:

$$\begin{aligned} & m_1 \cdot \overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}} \\ = & - m_2 \cdot \overrightarrow{v_2 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}} \end{aligned}$$

bzw.

$$\begin{aligned} & - m_1 \cdot \overrightarrow{v_1 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}} \\ = & + m_2 \cdot \overrightarrow{v_2 \text{ vor dem Sto\ss (Laborsystem=Schwerpunktsystem)}} \end{aligned}$$

Wir sehen, dass Descartes Aussage hier natürlich richtig ist: *Die Körper bewegen sich nach dem Stoß in die umgekehrte Richtung und verlieren dabei nicht an Geschwindigkeit. Der Betrag des Impulses ist für das Gesamtsystem erhalten. So wie es sich Descartes wohl auch gewünscht hat.*

Anhang VI

Das Prinzip bzw. „göttliche“ der experimentellen Naturwissenschaft

Einem aufgeweckten Leser wird natürlich aufgefallen sein, dass wir nur die Theoretische Physik besprochen haben, doch was ist dann mit der experimentellen Physik; denn diese hat doch eine genauso wichtige Rolle in der Physik.

Wenn nun die theoretischen Physiker versuchen alle Schranken mit Hilfe ihrer Prinzipien aufzuheben, um zu ihren Idealen bzw. zu den abstrakten Formeln zu gelangen, was ist nun das Ideal der experimentellen Physiker – was müssen sie abstrahieren? Bevor wir das überhaupt analysieren können, sollten wir versuchen zu verstehen was „abstrahieren“ eigentlich bedeutet. *Abstrahieren* kommt vom lateinischen Wort *abstrahere*, was so viel bedeutet wie ab- bzw. wegziehen.¹⁶¹⁵ Das heißt „abstrahieren“ könnten wir auch mit „wegnehmen“ übersetzen. Wenn wir also abstrahieren, dann nehmen wir die Schranken weg.¹⁶¹⁶ *Bei Gott sind es nach Feuerbach die „menschlichen Schranken“, bei theoretischen Physiker könnten wir sagen die „körperlichen Schranken“. Doch welche Schranken werden in der experimentellen Physik weggenommen bzw. abstrahiert?*

In gewissem Sinne beschäftigt sich die theoretische Physik und die experimentelle Physik auf gegensätzlichen Standpunkten bzw. Bereichen der Erkenntnis. Denn während die theoretische Physik durch die Abstraktion das Universelle, also in gewissem Sinne das Abbild des Göttlichen zu erfassen versucht und dazu auch immer wieder ein paar Vorschläge macht, untersucht die experimentelle Physik, ob dieses Göttliche bzw. Universelle wirklich unter spezifischen Voraussetzungen gegeben ist. Und um diese spezifischen Gegebenheiten zu erreichen, ist natürlich die Abstraktionskraft von Nöten. Galilei, der nicht nur die theoretische, sondern auch die experimentelle Physik schätzte, ist ein galantes Beispiel der Abstraktionskunst. Pietschmann schreibt: „Nach Galilei fallen alle Körper gleich schnell; es gilt das quantitative Gesetz

$$s = g \cdot t^2 / 2 \quad (5.4)$$

wobei s die beim Fall zurückgelegte Wegstrecke, t die dabei verstrichene Zeit und g die Erdbeschleunigung bedeutet.

Es kann nicht deutlich genug betont werden, dass dieses Gesetz *unserer Erfahrung direkt widerspricht!* Es gilt nur im Vakuum; abgesehen davon, dass es zur Zeit Galileis noch unmöglich war, ein (wenn auch schlechtes) Vakuum herzustellen, ja dass schon der Gedanke daran eigentlich verpönt war, können wir auch heute der Erdbeschleunigung g nur annähernd evakuieren. Daher ist die Behauptung berechtigt, dass das obige Fallgesetz streng genommen nirgends gilt! Trotzdem ist es eines der wichtigen Gesetze der Physik! Dieser Widerspruch löst sich erst auf, wenn wir uns daran erinnern, dass die Größen s , t und g keine *Zahlen*, sondern *Messgrößen* sind. Sie sind daher mit Fehlern behaftet, ohne die sie keine vernünftige Bedeutung haben [...]“¹⁶¹⁷

Wir sehen also, dass Galilei sich für sein Gesetz ein *idealisiertes Vakuum* vorstellte. Dabei „abstrahierte“ er das Vakuum, indem er die Luft ganz einfach (gedanklich) „wegnahm“.

¹⁶¹⁵ vgl. DUDEN

¹⁶¹⁶ vgl. LORENZEN 1984, S. 37

¹⁶¹⁷ PIETSCHMANN 2007, S. 99

In gewissem Sinne ist der Experimentator über die Natur herrschend, da er weiß, wie er was zu manipulieren hat, um zu seinen Vorrausagen zu gelangen. So gesehen wäre doch Newtons herrschender Gott als eine Idealisierung der experimentellen Physik denkbar! Das mag womöglich stimmen.

Genau genommen folgt der Experimentator dennoch stets der Theorie! Sein Handeln ist sozusagen der Theorie untergeordnet, denn die Anwendung der Theorie ist in gewissem Sinne seine Perspektive. (Wenn eine Theorie falsifiziert wäre, so hätte der Theoretiker bereits die Annahme, dass es eine bessere Theorie geben müsste.) So kann der Gott der modernen Physik nicht herrschend sein und auch kein Lückenbüßer. Er sollte aus abstrakter Struktur gesponnen sein.

Passend zum Abschluss wollen wir hier Voltaire wiedergeben, der schreibt: „Wahre Physik besteht also in der richtigen Bestimmung aller Wirkungen. Die letzten Ursachen werden wir erkennen, wenn wir Götter sind. Uns ist gegeben zu rechnen, zu wagen, zu messen und zu beobachten. Das ist Naturphilosophie, fast alles übrige ist Spekulation.“¹⁶¹⁸

¹⁶¹⁸ VOLTAIRE 1997, S. 65

Anhang VII

Das Noether-Theorem vereinfacht erklärt: *Er gibt den Zusammenhang zwischen dem Kosmologischen Prinzip- woraus die räumliche und die zeitliche Symmetrie der physikalischen Gesetze folgen – den Erhaltungssätzen (Impuls-, Drehimpuls- und Energieerhaltungssatz) und den Extremalprinzipien.*

Symmetrien der physikalischen Gesetze:

Zu Beginn möchten wir klären, was die Symmetrien der physikalischen Gesetze zu bedeuten haben. Feynman schreibt: „Das Wort „Symmetrie“ wird hier mit einer speziellen Bedeutung gebraucht und muß daher definiert werden. Wann ist ein Ding symmetrisch – wie können wir es definieren? Wenn wir ein symmetrisches Bild haben, so ist die eine Seite irgendwie gleich der anderen Seite. Professor Hermann Weyl hat diese Definition der Symmetrie aufgestellt: Ein Ding ist symmetrisch, wenn man es einer bestimmten Operation aussetzen kann und es danach als genau das gleiche erscheint wie vor der Operation. Betrachten wir z.B. eine Vase, die rechts-links-symmetrisch ist. Wenn wir sie um 180° um die vertikale Achse drehen, so ist ihr Anblick der gleiche wie vor der Drehung. Wir werden die Definition der Symmetrie in Weyls allgemeiner Form adoptieren und in dieser Form werden wir die Symmetrie physikalischer Gesetze diskutieren.“¹⁶¹⁹

Die Homogenität des Raumes führt zur Translationssymmetrie (bzw. dem Gleichbleiben der physikalischen Gesetze bei Verschiebungen) und begründet somit den Impulserhaltungssatz¹⁶²⁰:

Damit wir das 2. Newtonsche Gesetz $\left(\vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \frac{d^2\vec{x}}{dt^2}\right)$ anwenden können, benötigen wir den Ort und die Geschwindigkeit. Doch von wo aus messen wir diese Werte? Ganz einfach: Wir können sie messen, von wo aus wir wollen, denn die Naturgesetze sind an jedem Ort (bzw. für jeden Beobachter) gleich! Nun wollen wir unsere Annahme natürlich auch physikalisch demonstrieren.

Nehmen wir an Galilei misst aus seinem (Inertial)system einen Punkt \vec{x} , welchen wir gleich in Vektorschreibweise wiedergeben wollen. Und Newton, dessen (Inertial)system sich ein wenig weiter rechts von Galilei befindet, misst für den gleichen Punkt den Abstand \vec{x}' . Die Differenz zwischen der Messung \vec{x} von Galilei und der Messung \vec{x}' von Newton besitzt selbstverständlich genau den gleichen Wert, wie der Abstand \vec{b} von Galilei zu Newton. (Siehe dazu die Abbildung 64.)

$$\vec{x}' = \vec{x} - \vec{b}$$

¹⁶¹⁹ FEYNMAN (I) 2007, S. 147

¹⁶²⁰ vgl. dazu auch TARASSOW 1993, S. 126

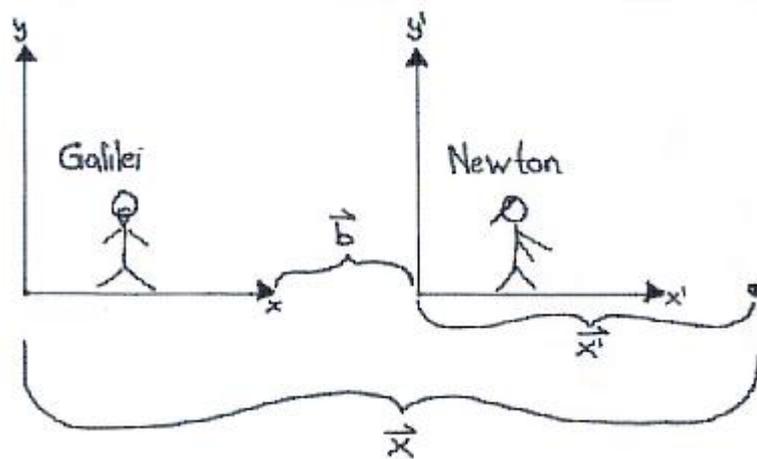


Abbildung 64

Gehen wir nun ein bisschen weiter und wenden unsere Messmethoden auf physikalische Systeme an. Galilei möchte nun nicht mehr den Punkt \vec{x} messen, sondern misst einen Gegenstand, der an diesem Ort \vec{x} auch einen Impuls $\vec{p} = m \cdot \frac{d\vec{x}}{dt} = m \cdot \vec{v}$ besitzt, wie in der Abbildung 65 dargestellt. Nun gibt er seine Messdaten an Newton weiter.

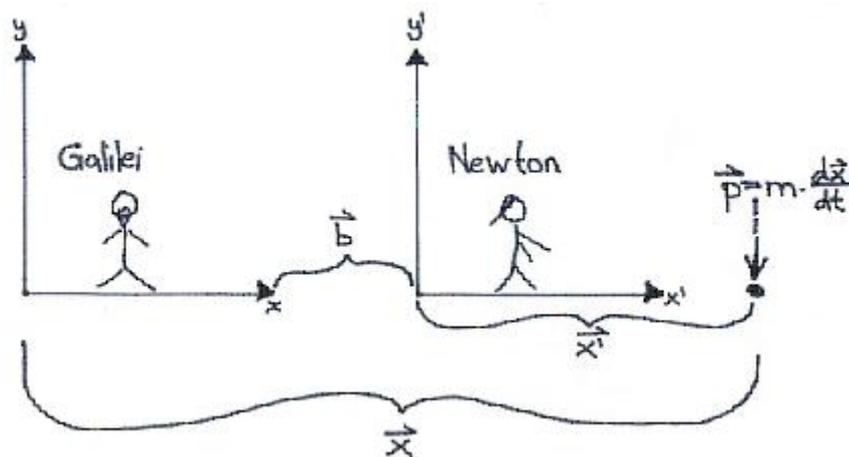


Abbildung 65

Doch gelten sie auch in Newtons System? Sind die Naturgesetze überall gleich? Damit Newton sicher gehen kann, sollte er natürlich zur gleichen Zeit auch messen. Von ihm aus gesehen ergibt sich folgender Impuls

$$\vec{p} = m \cdot \frac{d\vec{x}'}{dt} = m \cdot \frac{d}{dt}(\vec{x} - \vec{b}) = m \cdot \left(\frac{d\vec{x}}{dt} - \frac{d\vec{b}}{dt} \right)$$

Da wir davon ausgehen können, dass der Abstand \vec{b} zwischen Galilei und Newton sich mit der Zeit nicht verändert hat ($\frac{d\vec{b}}{dt} = 0$), erhält auch Newton für den Impuls genau die gleiche Lösung wie Galilei

$$\vec{p} = m \cdot \left(\frac{d\vec{x}}{dt} - \frac{d\vec{a}}{dt} \right) \quad \left| \frac{d\vec{b}}{dt} = 0 \right.$$

$$\vec{p} = m \cdot \frac{d\vec{x}}{dt}$$

Unsere Voraussetzung, dass der *Impuls* in einem abgeschlossenen System bei unterschiedlichen Beobachtern gleich bzw. *erhalten bleibt*, war eine ganz simple, nämlich dass der *Abstand* zwischen Galilei und Newton *stets gleich bleibt*. Nun nehmen wir an, dieses ganze System von Galilei, Newton und dem sich bewegenden Gegenstand würde in einem sehr großen Raumschiff stattfinden, welches sich ebenso gleichmäßig, gleichförmig, das bedeutet mit konstantem Impuls, durch das Weltall bewegt. (Betrachten wir dazu die Abbildung 66.)

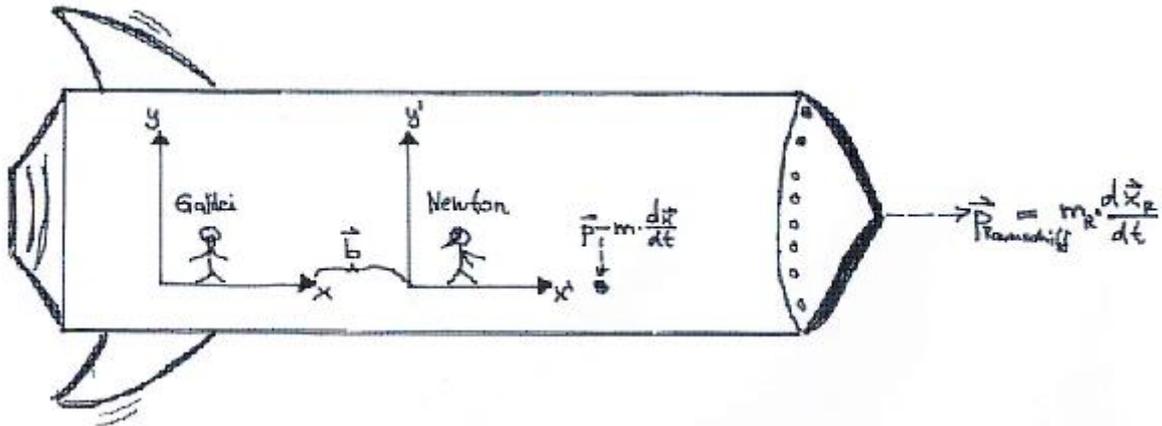


Abbildung 66

Und während das Schiff sich von Ort zu Ort weiterbewegt, soll gewährleistet sein, dass der Abstand zwischen Galilei und Newton stets gleich bleibt. Und das ist gegeben, wenn der Raum (durch den das Schiff fliegt) keine „Falten“, „Zerknitterungen“, „Dehnungen“, „keine Schwankungen in seiner Dichte“ aufweist usw. **Man spricht dann von der Homogenität des Raumes.** Wir können zusammenfassend schreiben:

„Der Impulserhaltungssatz ist eine Folge der Homogenität des Raumes oder, anders gesagt, eine Folge der Invarianz der physikalischen Gesetze gegenüber räumlichen Translationen. Der Impuls kann somit als eine physikalische Größe definiert werden, deren Erhaltung die Folge der genannten Symmetrie der physikalischen Gesetze ist.“¹⁶²¹

Feynman betont: „Das bedeutet aber, daß es keinen eindeutigen Weg gibt, um den Anfangspunkt der Welt zu bestimmen, weil die Gesetze gleich erscheinen, von welcher Position sie auch beobachtet werden.“

Dies gilt ebenfalls: Wenn sich eine Anlage mit einer gewissen Art von Maschinerie darin an einem Ort befindet, dann wird sich die gleiche Ausrüstung an einem anderen Ort auf die gleiche Weise verhalten. [...] Da die *Gleichungen* dieselben sind, erscheint das *Phänomen* als das gleiche. Damit ist der Beweis, daß sich eine Anlage in einer neuen Position ebenso verhält wie in der alten Position, der gleiche wie der Beweis, daß sich die Gleichung der Verschiebung im Raum reproduzieren. Daher sagen wir, daß die *Gesetze der Physik gegenüber Translation symmetrisch sind*, symmetrisch in dem Sinn, daß sich die Gesetze nicht ändern, wenn wir eine Translation unserer

¹⁶²¹ TARASSOW 1993, S. 126

Koordinaten vornehmen. Natürlich trifft es offensichtlich intuitiv zu, daß dies wahr ist, aber es ist interessant und unterhaltsam, die darin enthaltene Mathematik zu diskutieren.“¹⁶²²

Die Isotropie des Raumes führt zur Rotationssymmetrie (bzw. das Gleichbleiben der physikalischen Gesetze bei Drehungen) und begründet somit den Drehimpulserhaltungssatz¹⁶²³:

Drehsymmetrie bedeutet, „daß es keinen Unterschied machen sollte, in welcher *Richtung* wir die Achsen wählen. Mit anderen Worten, wenn wir eine Anlage an einem Ort bauen und ihre Funktion beobachten und wenn wir in der Nähe eine Anlage der gleichen Art, jedoch unter einem Winkel gegen die erste geneigt aufbauen, wird sie auf die gleiche Weise funktionieren? Offensichtlich wird das nicht der Fall sein, wenn es sich z.B. um eine Sanduhr handelt. Wenn eine Pendeluhr aufrecht steht, so funktioniert sie sehr schön. Aber wenn sie geneigt wird, stößt das Pendel an das Gehäuse und nichts passiert. Das Theorem ist dann für den Fall einer Pendeluhr nicht zutreffend, solange wir nicht die Erde, die auf das Pendel einwirkt, einschließen. [...] Wir wissen in der Tat, daß eine Pendeluhr z.B. oben in einem künstlichen Satelliten auch nicht ticken würde, weil dort keine Kraft wirksam ist, und auf dem Mars würde sie mit einer anderen Geschwindigkeit gehen.“¹⁶²⁴ Bei Pendeluhren *spielt* etwas mehr als nur die innere Maschinerie eine Rolle, etwas an der Außenwelt ist im Spiel. Wenn wir diesen Faktor erkannt haben, sehen wir, daß wir die Erde zusammen mit der Anlage drehen müssen. Natürlich müssen wir darüber nicht besorgt sein, dies ist leicht auszuführen; man wartet einfach einen oder zwei Momente und dabei dreht sich die Erde; dann tickt die Pendeluhr wieder in der neuen Position, so wie sie es vorher tat. Während wir uns im Raum drehen, ändern sich unsere absoluten Winkel ständig; diese Änderung scheint uns nicht sehr viel zu behindern, denn in der neuen Position scheinen wir die gleichen Bedingungen wie in der alten zu haben. Dies hat eine gewisse Tendenz, einen zu verwirren, weil es wahr ist, daß in der neuen Position die Gesetze die gleichen sind wie in der nicht gedrehten Position; aber es ist *nicht* wahr, daß ein Ding, welches wir drehen, die gleichen Gesetze befolgt wie im nicht gedrehten Zustand. Wenn wir hinreichend empfindliche Experimente ausführen, können wir nachweisen, daß die Erde *rotiert*, aber nicht, daß sie sich gedreht hat. Mit anderen Worten, wir können die Winkelposition nicht lokalisieren, aber wir können sagen, daß sich diese ändert.“¹⁶²⁵

„Nun wollen wir den Einfluß der Winkelorientierung auf die physikalischen Gesetze diskutieren.“¹⁶²⁶ Um die Situation wieder so einfach wie möglich zu beschreiben, gehen wir diesmal davon aus, dass Galilei und Newton sich am gleichen Orte befinden (– dass die physikalischen Gesetze an verschiedenen Orten dieselben sind, konnten wir bereits zeigen.) Nun nehmen wir an, dass das

¹⁶²² FEYNMAN (I) 2007, S. 150

¹⁶²³ vgl. dazu auch TARASSOW 1993, S. 126

¹⁶²⁴ Wir möchten an dieser Stelle passende Zeilen von Voltaire zitieren, um zu zeigen, dass der Zusammenhang zwischen einem Pendel und der Schwerkraft bereits sehr früh bekannt war: „Bereits *Copernicus* hatte davon eine schwache Vorstellung. *Kepler* teilte seine Meinung, hatte jedoch keine Methode, Kanzler *Bacon* sagte deutlich, daß wahrscheinlich von den Körpern zum Mittelpunkt der Erde und von diesem Mittelpunkt zu den Körpern eine Anziehung besteht. Er schlug in seinem ausgezeichneten Buch „*Novum Organon Scientiarum*“ vor, auf den höchsten Türmen und in den größten Tiefen Experimente mit Pendeln zu machen. Denn wenn ein und dieselben Pendel, sagte er, auf dem Grund des Brunnens schnellere Schwingungen vollführen als auf einem Turm, muß gefolgert werden, daß die Schwerkraft, die die Ursache dieser Schwingungen ist, im Erdmittelpunkt, dem der Brunnen näher ist, viel stärker ist.“ VOLTAIRE 1997, S. 180

¹⁶²⁵ FEYNMAN (I) 2007, S. 150-151

¹⁶²⁶ FEYNMAN (I) 2007, S. 151

(Inertial)system von Newton sich gegenüber dem von Galilei genau um den Winkel α neigt. (Wir drehen quasi Newtons (Inertial)system um diesen Winkel gegen Galileis (Inertial)system.) Wir können uns bei unserer Betrachtung auf zwei Dimensionen beschränken, wie in der Abbildung 67 zu sehen ist.

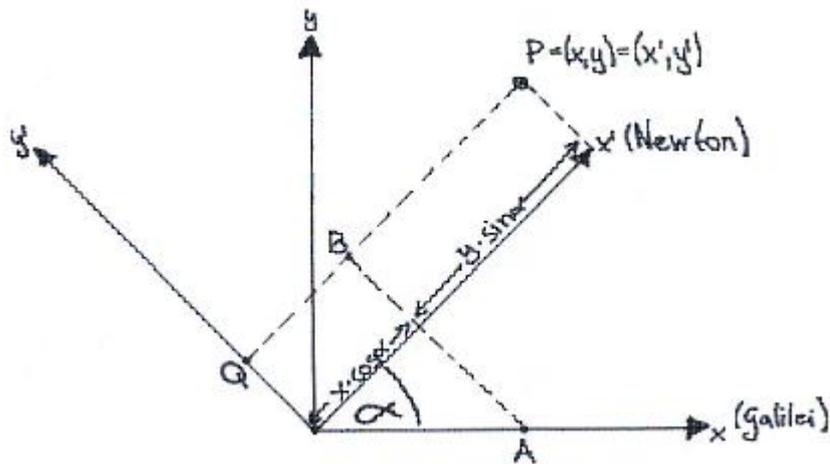


Abbildung 67

Beginnen wir wieder damit, dass Galilei einen Punkt P in seinem (Inertial)system bzw. Koordinatensystem betrachtet. Die Koordinaten für den Punkt P aus Galileis (Inertial)system sind (\vec{x}, \vec{y}) . Wenn Newton aus seinem (Inertial)system den gleichen Punkt P misst, dann erhält er die Koordinaten (\vec{x}', \vec{y}') . Damit Newton davon ausgehen kann, ob Galilei auch wirklich den gleichen Punkt misst wie er, wird Newton versuchen seine Koordinaten (\vec{x}', \vec{y}') mit den Koordinaten von Galilei (\vec{x}, \vec{y}) und dem Winkel α auszudrücken. Dazu zeichnet er die Linie \overline{QP} und zieht senkrecht dazu die Linie \overline{BA} . Aus der Skizze kann Newton sogleich die Verhältnisse der beiden (Inertial)systeme ablesen

$$\vec{x}' = \vec{x} \cdot \cos(\alpha) + \vec{y} \cdot \sin(\alpha)$$

$$\vec{y}' = \vec{y} \cdot \cos(\alpha) - \vec{x} \cdot \sin(\alpha)$$

(Dabei wäre natürlich die Koordinate $\vec{z} = \vec{z}'$. Alle Punkte auf \vec{z} sind daher *neutrale Elemente*.)

Nun wollen wir wieder unsere Messmethoden auf physikalische Systeme erweitern. Newton möchte inzwischen nicht mehr den Punkt \vec{P} , sondern einen Gegenstand messen, der an diesem Ort (\vec{x}', \vec{y}') auch einen Drehimpuls $\vec{L}' = \vec{r}' \times \vec{p}'$ besitzt. (Siehe dazu die Abbildung 68.) Dieser hat für Newton die Komponenten $\vec{r}'_x \times \vec{p}'_x$ und $\vec{r}'_y \times \vec{p}'_y$. Anschließend gibt er seine Messdaten an Galilei weiter.

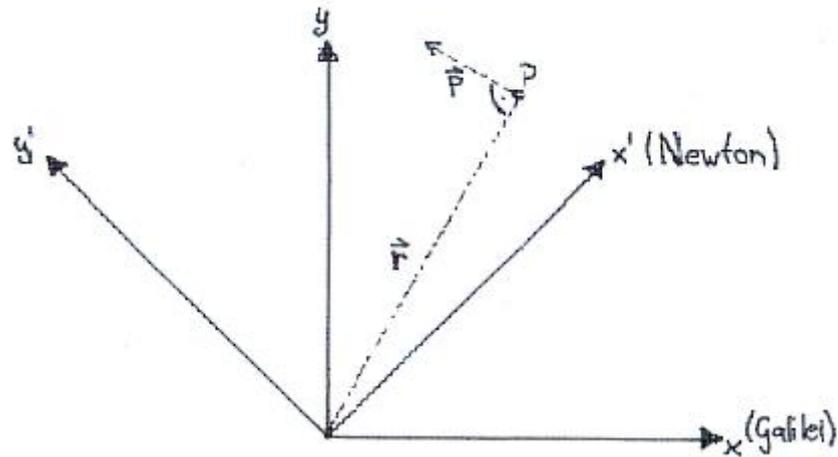


Abbildung 68

Galilei sieht in seiner Skizze, dass die Impulskomponenten von Newton und seine Impulskomponenten folgenden Verhältnissen genügen:

$$\vec{L}_{x'} = \vec{r}_{x'} \times \vec{p}_{x'} = (\vec{r}_x \cdot \cos(\alpha) + \vec{r}_y \cdot \sin(\alpha)) \times ((\vec{p}_x \cdot \cos(\alpha) + \vec{p}_y \cdot \sin(\alpha)))$$

$$\vec{L}_{y'} = \vec{r}_{y'} \times \vec{p}_{y'} = (\vec{r}_y \cdot \cos(\alpha) - \vec{r}_x \cdot \sin(\alpha)) \times ((\vec{p}_y \cdot \cos(\alpha) - \vec{p}_x \cdot \sin(\alpha)))$$

Doch wir wollen es überprüfen. Wir nehmen an die beiden Gleichungen sind richtig. Wenn also Galilei den Drehimpuls berechnet, bekommt er auch denselben Drehimpuls wie Newton?

$$m \cdot \left(\vec{r}_{x'} \times \frac{d\vec{x}'}{dt} \right) = (\vec{r}_{x'} \times \vec{p}_{x'}) = \vec{L}_{x'} \quad \text{Gl. (31)}$$

$$m \cdot \left(\vec{r}_{y'} \times \frac{d\vec{y}'}{dt} \right) = (\vec{r}_{y'} \times \vec{p}_{y'}) = \vec{L}_{y'} \quad \text{Gl. (32)}$$

Wir werden versuchen die linke und die rechte Seite der Gleichungen unabhängig voneinander zu überprüfen. Zur Überprüfung der linken Seite – in roter Farbe – nehmen wir die Gl. (31) und Gl. (32). Wir bilden mit ihnen und dem Vektor \vec{r} das Kreuzprodukt und die differenzieren wir anschließend einmal nach der Zeit, wobei wir den Winkel α als konstant ($\frac{d\alpha}{dt} = 0$) annehmen. Zum Schluss multiplizieren wir das Ganze mit der Masse des Gegenstandes m und wir erhalten

$$m \cdot \frac{d(\vec{r}_{x'} \times \vec{x}')}{dt} = \left(\frac{d\vec{r}_x}{dt} \cdot \cos(\alpha) + \frac{d\vec{r}_y}{dt} \cdot \sin(\alpha) \right) \times \left(m \cdot \left(\frac{d\vec{x}}{dt} \cdot \cos(\alpha) + \frac{d\vec{y}}{dt} \cdot \sin(\alpha) \right) \right) = (\vec{r}_{x'} \times \vec{p}_{x'}) = \vec{L}_{x'}$$

$$m \cdot \frac{d(\vec{r}_{y'} \times \vec{y}')}{dt} = \left(\frac{d\vec{r}_y}{dt} \cdot \cos(\alpha) - \frac{d\vec{r}_x}{dt} \cdot \sin(\alpha) \right) \times \left(m \cdot \left(\frac{d\vec{y}}{dt} \cdot \cos(\alpha) - \frac{d\vec{x}}{dt} \cdot \sin(\alpha) \right) \right) = (\vec{r}_{y'} \times \vec{p}_{y'}) = \vec{L}_{y'}$$

Für die rechte Seite – in blauer Farbe – der Gl. (31) und Gl. (32) ergibt sich

$$(\vec{r}_x \cdot \cos(\alpha) + \vec{r}_y \cdot \sin(\alpha)) \times ((\vec{p}_x \cdot \cos(\alpha) + \vec{p}_y \cdot \sin(\alpha))) = \vec{r}_{x'} \times \vec{p}_{x'} = \vec{L}_{x'}$$

$$(\vec{r}_y \cdot \cos(\alpha) - \vec{r}_x \cdot \sin(\alpha)) \times ((\vec{p}_y \cdot \cos(\alpha) - \vec{p}_x \cdot \sin(\alpha))) = \vec{r}_{y'} \times \vec{p}_{y'} = \vec{L}_{y'}$$

Wir sehen, es kommt auf beiden Seiten das gleiche heraus!

Unsere Voraussetzung, dass der Drehimpuls in einem abgeschlossenen System bei unterschiedlich geneigten Beobachtern gleich bzw. erhalten bleibt, war eine ganz simple, nämlich dass der Winkel zwischen Galilei und Newton stets gleich bleibt ($\frac{d\alpha}{dt} = 0$). Galilei und Newton ist natürlich auch klar, dass der Abstand des Gegenstandes zu ihnen beiden stets die gleiche Länge haben wird, da der Gegenstand ja um sie herum kreist. Das bedeutet $|\vec{r}| = |\vec{r}'|$. Oder wir schreiben, dass sich die Differenz mit der Zeit nicht ändert, da es keine Differenz gibt ($\frac{d|\vec{r}|-|\vec{r}'|}{dt} = 0$).

Nehmen wir an, dieses ganze System „Galilei, Newton und der sich bewegender Gegenstand“ würde in einem sehr großen Raumschiff stattfinden, wie in der Abbildung 69 dargestellt, welches sich ebenso gleichmäßig, das bedeutet mit konstantem Drehimpuls, um den Anfangspunkt von Galilei und Newton dreht, jedoch mit einer anderen Geschwindigkeit als der Gegenstand.¹⁶²⁷

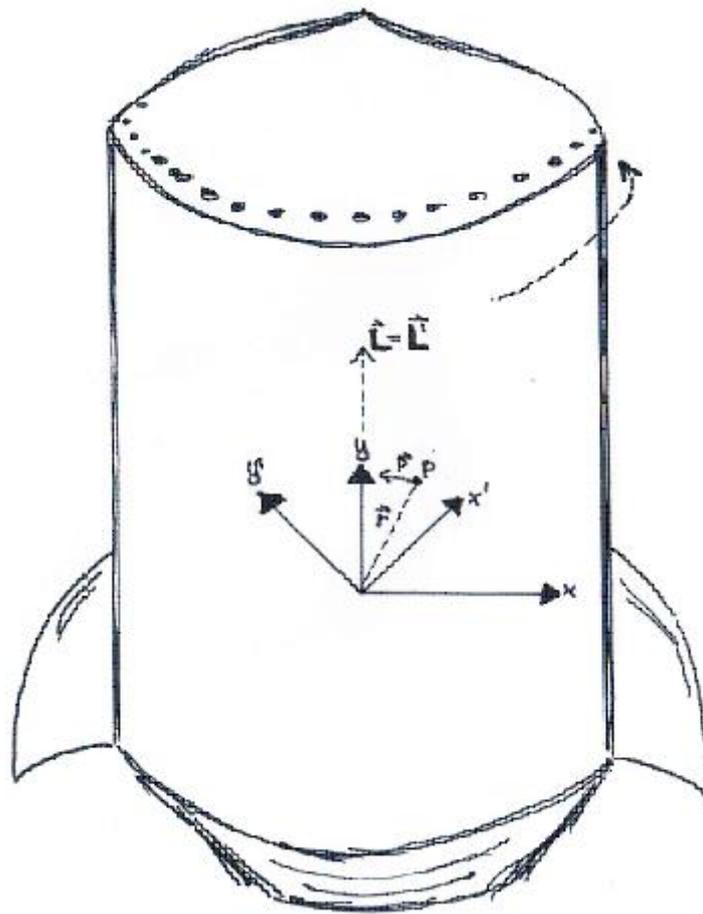


Abbildung 69

Und während das Schiff sich dreht sollte gewährleistet sein, dass sowohl der Winkel ($\frac{d\alpha}{dt} = 0$) als auch der Abstand zwischen Galilei bzw. Newton und dem Gegenstand gleich ($\frac{d|\vec{r}|-|\vec{r}'|}{dt} = 0$) bleibt. Und das ist nur dann gegeben, wenn der Raum keine Richtungsabhängigkeit ausweist bzw. der Raum

¹⁶²⁷ Dabei nehmen wir an, dass die dadurch erzeugte Zentrifugalkraft, welche aufgrund der Drehung des Schiffes beispielsweise auf das rotierende Objekt wirken könnte, vernachlässigbar klein ist.

in jede Richtung gleich ist. **Man spricht dann von der Isotropie des Raumes.** Wir können zusammenfassend schreiben:

„Der Drehimpulserhaltungssatz ist eine Folge der Homogenität des Raumes oder, anders gesagt, eine Folge der Invarianz der physikalischen Gesetze gegenüber räumlichen Drehung. Beim Drehimpuls handelt es sich somit um eine physikalische Größe, deren Erhaltung aus der genannten Symmetrie der physikalischen Gesetze folgt.“¹⁶²⁸

Feynman erläutert: „Also schließen wir, wenn die Newtonschen Gesetze für einen Satz von Achsen korrekt sind, so gelten sie auch für irgendeinen anderen Satz von Achsen. Dieses Resultat, das nun sowohl für Translation als auch für die Drehung von Achsen erzielt wurde, hat gewisse Konsequenzen.“¹⁶²⁹

1. Niemand „kann für sich beanspruchen, daß seine besonderen Achsen eindeutig sind, aber sie können natürlich für gewisse besondere Probleme *bequemer* sein.“¹⁶³⁰
2. Bedeutet „es, daß irgendeine Apparatur, die vollkommen abgeschlossen ist, mit allem krafterzeugenden Gerät komplett innerhalb der Anlage, genau so funktionieren würde, wenn sie um einen Winkel gedreht wird.“¹⁶³¹

¹⁶²⁸ VOLTAIRE 1997, S. 126-127

¹⁶²⁹ FEYNMAN (I) 2007, S. 164

¹⁶³⁰ FEYNMAN (I) 2007, S. 152-153

¹⁶³¹ FEYNMAN (I) 2007, S. 153

Die Homogenität der Zeit führt zur Zeittranslationssymmetrie (bzw. das Gleichbleiben der physikalischen Gesetze bei zeitlichen Verschiebungen) und begründet somit den Energieerhaltungssatz¹⁶³²:

Beim Impulserhaltungssatz war uns wichtig, dass der Raum *homogen* ist; beim Drehimpulserhaltungssatz hingegen, dass der Raum *isotrop* ist. Doch was ist mit der Zeit? Betrachten wir den Energieerhaltungssatz:

$$\frac{dE_{kin.}}{dt} + \frac{dE_{pot.}}{dt} = 0$$

Wir sehen, die Gesamtenergie ändert sich mit der Zeit nicht bzw. ist „von der Zeit unabhängig“. Doch verschiedene Formen von Energien wandeln sich mit der Zeit ineinander um:

$$+ \frac{dE_{kin.}}{dt} = - \frac{dE_{pot.}}{dt}$$

So verliert beim freien Fall ein Körper die potentielle Energie $E_{pot.}$ und gewinnt dabei kinetische Energie $E_{kin.}$. Sowohl die Abnahme der kinetischen Energie als auch die Zunahme der potentiellen Energie ist an eine Änderung bzw. an ein gleichmäßiges Fortlaufen der Zeit gebunden. Doch damit die Umwandlung von Energien ineinander „gut abgestimmt“ ist, darf nun die Zeit keine „Falten“, „Zerknitterungen“, „Dehnungen“, „keine Schwankungen in ihrer Dichte“ aufweisen usw. **Man spricht dann von der Homogenität der Zeit.** Wir können zusammenfassend schreiben:

„Der Energieerhaltungssatz ist eine Folge der Homogenität der Zeit oder, anders gesagt, eine Folge der Invarianz der physikalischen Gesetze gegenüber zeitlichen Verschiebung.“¹⁶³³

¹⁶³² TARASSOW 1993, S. 126

¹⁶³³ TARASSOW 1993, S. 127

Der Zusammenhang zwischen den Extremalen und den Erhaltungssätzen: Hamiltonsches Prinzip

Wir haben bereits auf der Seite 100 den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Erhaltungssätzen und der Wirkung gezeigt, welchen wir an dieser Stelle wieder in Erinnerung rufen möchten:

Descartessche Erhaltungsgröße:	$p = m \cdot v$
Maupertuissche Wirkung:	$Menge\ der\ Wirkung = m \cdot v \cdot s = m \cdot v \cdot v \cdot t = m \cdot v^2 \cdot t$
Huygenssche (bzw. Leibnizsche) Erhaltungsgröße:	$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot v$
Wir können daher schreiben:	
$Menge\ der\ Wirkung = Impuls \cdot Weg$ oder $Menge\ der\ Wirkung = Energie \cdot Zeit$	

Nun wollen wir zugleich auch den Zusammenhang zwischen dem Maupertuisschen „Prinzip der kleinsten Wirkung“ und den „Erhaltungssätzen“ zeigen.¹⁶³⁴ Wir nehmen dazu die Huygenssche (bzw. Leibnizsche) Erhaltungsgröße:

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot v$$

Diese stellt, wie wir wissen, die kinetische Energie $E_{kin.}$ dar. Außerdem wissen wir, dass für $Menge\ der\ Wirkung = Energie \cdot Zeit$ gilt. So multiplizieren wir die obige Gleichung mit der Zeit

$$E_{kin.} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad | \cdot dt$$

$$E_{kin.} \cdot dt = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \cdot dt = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot v \cdot dt$$

Dabei ist die Geschwindigkeit v die Ableitung des Ortes nach der Zeit $v = \frac{ds}{dt}$. Diese setzen wir bei einer der beiden Geschwindigkeiten ein:

$$E_{kin.} \cdot dt = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot v \cdot dt \quad | v = \frac{ds}{dt}$$

$$E_{kin.} \cdot dt = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot \frac{ds}{dt} \cdot dt$$

$$E_{kin.} \cdot dt = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot \frac{ds}{dt} \cdot dt = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot ds$$

Anschließend multiplizieren wir mit 2 und erhalten:

$$E_{kin.} \cdot dt = \frac{1}{2} m \cdot v \cdot ds \quad | \cdot 2$$

$2 \cdot E_{kin.} \cdot dt = m \cdot v \cdot ds = p \cdot ds = Impuls \cdot Weg = Menge\ der\ Wirkung$
--

¹⁶³⁴ Die nachfolgenden theoretischen Überlegungen wurden Großteils von BORZESZKOWSKI 1998, S. 29-31 übernommen.

Es sollte natürlich erwähnt werden, dass Maupertuis selbst gegenüber den Erhaltungssätzen wohl eher skeptisch gegenüber stand. So war er erfreut, dass bei inellastischen Stößen die kinetische Energie bzw. die Leibnizsche Erhaltungsgröße nicht mehr galt - sein Prinzip hingegen schon. vgl. BORZESZKOWSKI 1998, S. 21

Wir konnten dadurch zeigen, wie der Zusammenhang zwischen der Erhaltungsgröße der (kinetischen) Energie und der Menge der Wirkung ist. Doch das Extremalprinzip von Maupertius ist damit noch nicht erklärt.

Doch bevor wir weitergehen, wollen wir noch kurz die Variationsrechnungen besprechen. Bei Variationrechnungen verlangen wir im Grunde, dass wir von allen möglichen Kurven bzw. „varierenden“ Kurven genau jene auswählen, „die einen mit ihr gebildeten Integralausdruck zu einem Extremum (Maximum oder Minimum) macht.“¹⁶³⁵ In einfacher Form können wir schreiben

$$W = \int_a^b F(x, y, y') dx = \text{Extremum}$$

Wobei wir sehen können, dass $F(x, y, y')$ eine Funktion ist, welche von einer Variable x , von einer unbekanntem Funktion y und von ihrer Ableitung y' abhängt. In der Physik können wir natürlich auch schreiben: Die Funktion $L(t, x, x') = L(t, x, v)$ hängt von der variablen Zeit t , von der unbekanntem Funktion Ort x und schließlich von ihrer Ableitung der Geschwindigkeit $x' = \dot{x} = \frac{dx}{dt} = v$ ab. Wir erhalten also

$$W = \int_{t_1}^{t_2} L(t, x, v) dt = \text{Extremum}$$

(Wir könnten natürlich auch für $L(t, x, v) = L(x, \dot{x}, t) = L(x(t), v(t))$ schreiben. Diese Schreibweisen bedeuten alle dasselbe. Deshalb werden wir weiter unten, um den Überblick zu bewahren stattdessen manchmal auch ganz einfach L schreiben.)

Diese Gleichung können wir natürlich auch als eine Differentialgleichung aufschreiben:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L(x, \dot{x}, t)}{\partial x} = 0$$

Die gelang zum ersten Mal Leonhard Euler. Daher nennt man sie auch die Eulergleichung.¹⁶³⁶

Was bedeutet W ? Die Wirkung W – wir können sie auch als die „Menge der Wirkung“ oder auch als „Wirkungsintegral“ bezeichnen – ist natürlich vom Weg $x(t)$ und der Geschwindigkeit $\dot{x}(t) = v(t)$ abhängig:

$$W = W(x(t), \dot{x}(t))$$

Unser *Wirkungsprinzip* lautet nun: Von allen möglichen Wegen bzw. Variationen, die beispielsweise zwischen zwei Punkten x_1 und x_2 liegen, nimmt die Natur jenen wirklichen Weg, für den die Wirkung W am kleinsten ist, oder genauer: *für den die Wirkung stationär ist!* Somit verschwindet die erste Variation der Wirkung: $\delta W = 0$.

Natürlich werden sich einige Fragen, was das Zeichen δ zu bedeuten hat. Wir lassen hier deshalb Lagrange zu Wort kommen, der es eingeführt hat: „Hier findet man eine Methode, welche nur einen sehr einfachen Gebrauch von den Prinzipien der Differential- und Integralrechnung verlangt; vor allem muß ich aber darauf aufmerksam machen, daß ich, da diese Methode verlangt, daß dieselben

¹⁶³⁵ SZABO 1987, S. 112

¹⁶³⁶ vgl. SZABO 1987, S. 115

Größen auf zwei verschiedene Arten variieren, um diese Variationen nicht zu verwechseln, in meinen Rechnungen ein neues Symbol δ eingeführt habe. So soll δZ ein Differential von Z ausdrücken, welches nicht dasselbe wie dZ ist, welches aber doch nach denselben Regeln gebildet wird, so daß man, wenn irgendeine Gleichung $dZ = m dx$ besteht, ebenso $\delta Z = m \delta x$ hat, und dasselbe gilt von anderen Gleichungen.¹⁶³⁷

Wir können die obige Gleichung auch in folgender Form schreiben:

$$\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = 0$$

Es ist deutlich zu sehen, dass beim *Hamiltonschen Prinzip* die Zeit gar nicht variiert¹⁶³⁸, da $\delta t = 0$ gilt. Das bedeutet ganz einfach, dass ein Teilchen während es beispielsweise entlang einer „wirklichen“ Bahn fällt, quasi zur gleichen Zeit auch alle „mögliche bzw. variierende“ Bahnen durchläuft.

Doch nun zum Schluss wollen wir noch darauf eingehen, was L für eine Funktion darstellt. L ist die Langrange Funktion $L = E_{kin.} - E_{pot.}$ und ist in der Physik von ganz besonderer Bedeutung. Weshalb die Langrange Funktion L die Differenz zwischen der kinetischen und der potentiellen Energie ist, lässt sich wohl am besten zeigen, wenn wir uns die mathematischen Zusammenhänge ansehen und sie bis zum Schluss verfolgen.¹⁶³⁹

¹⁶³⁷ SZABO 1987, S. 119

¹⁶³⁸ vgl. GREINER (II) 2003, S. 320

¹⁶³⁹ Dwight E. Neuenschwander gibt noch zwei zusätzliche Gründe an, welche wir dem Leser nicht vorenthalten möchten (vgl. NEUENSCHWANDER 2011, S. 47-49). Dabei ist der erste Grund eher hilfreich für das Verständnis und sicher auch ein gutes Hilfsmittel die Langrange-Funktion zu merken. Und der Zweite dagegen ist mathematisch bzw. physikalisch begründet.

1. Begründung durch die Gleichverteilung:

Wenn wir eine Münze werfen, dann ist die Chance, dass wir Kopf oder Zahl bekommen 50%. Der Grund ist, dass jedes mögliche Ergebnis mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten kann. (Da alle Möglichkeiten mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftreten können, bezeichnet man diese Fälle der Möglichkeiten auch als *symmetrisch*. Nun können wir uns auch vergleichsweise folgendes vorstellen: Das *Prinzip der kleinsten Wirkung* bzw. das *Hamiltonsche Prinzip* ist gleichbedeutend damit, dass wir uns eine zeitliche (, möglichst genaue) Gleichverteilung (der Mittelwerte) zwischen der potentiellen und der kinetischen Energie wünschen. Wir können den Mittelwert der kinetischen Energie $\langle E_{kin.} \rangle$ auf folgende Weise angeben:

$\langle E_{kin.} \rangle = \int_{t_1}^{t_2} E_{kin.} \cdot \frac{dt}{T}$, wobei T die Zeitdauer $T = t_2 - t_1$ bedeutet. Ebenso könnten wir das auch bei der potentiellen Energie $\langle E_{pot.} \rangle$ machen. Unser Wunsch von der Gleichverteilung lässt sich nun so aufschreiben $\langle E_{kin.} \rangle - \langle E_{pot.} \rangle = \text{Minimum}$ oder besser $\int_{t_1}^{t_2} (E_{kin.} - E_{pot.}) \cdot dt = 0 = \text{Minimum}$. Das bezeugt natürlich das „Prinzip der kleinsten Wirkung“.

(Dieser Erklärungsversuch hat jedoch einen Haken. Wir wissen das „Prinzip der *kleinsten* Wirkung“ ist nicht ganz richtig, weshalb wir eigentlich von der *stationären* Wirkung sprechen sollten, denn die Wirkung kann in manchen Fällen auch am größten sein usw. Wenn wir uns aber passend dazu nun den zeitlichen Mittelwert zwischen der kinetischen und potentiellen Energie als ein Maximum uns wünschen würden, hätten wir beispielsweise $\langle E_{kin.} \rangle = \langle E_{pot.} \rangle + \text{Maximum}$. Das ist schon ein Problem, denn wenn ein einfaches Teilchen gar keine potentielle Energie hätte $E_{pot.} = 0$, bräuhete es schon unendlich große, kinetische Energie $\langle E_{kin.} \rangle = 0 + \text{Maximum}$.)

2. Begründung durch das Korrespondenzprinzip:

Bertrand Russell spricht von der „kosmologischen Faulheit“ und zwar ist der Grund dafür die *Einstein-Hilbert-Wirkung*. Sie ist das „Prinzip der kleinsten Wirkung“ für die Allgemeine Relativitätstheorie. Man

Wir wissen in einem abgeschlossenen System bleibt die Gesamtenergie stets gleich bzw. konstant.

$$E_{Ges.} = E_{kin.} + E_{pot.} \quad \text{bzw.} \quad E_{Ges.} = konst.$$

Stattdessen könnten wir natürlich sagen, alle Variationen von möglichen Gesamtenergien, die sich mit der Zeit verändern könnten, verschwinden, so dass die Gesamtenergie erhalten bleibt:

$$\delta E_{Ges.} = 0 \quad \text{bzw.} \quad \delta E_{kin.} + \delta E_{pot.} = 0$$

oder, wenn wir $E_{pot.}$ auf die andere Seite bringen:

$$\delta E_{kin.} = -\delta E_{pot.}$$

Nehmen wir jetzt wieder unsere Langrangefunktion:

$$L = E_{kin.} - E_{pot.} \quad \text{bzw.} \quad \delta L = \delta E_{kin.} - \delta E_{pot.}$$

Und setzen wegen der Gleichung $\delta E_{kin.} = -\delta E_{pot.}$ statt $-\delta E_{pot.}$ $\delta E_{kin.}$ ein und erhalten:

$$\delta L = \delta E_{kin.} - \delta E_{pot.} \quad | \quad -\delta E_{pot.} = \delta E_{kin.}$$

$$\delta L = \delta E_{kin.} + \delta E_{kin.} = 2 \cdot \delta E_{kin.}$$

Jetzt ist uns der Zusammenhang ganz klar! Denn wir konnten ganz oben in der Gleichung sehen, dass folgende Beziehung gilt:

$$2 \cdot E_{kin.} \cdot dt = m \cdot v \cdot ds = p \cdot ds = \text{Impuls} \cdot \text{Weg} = \text{Menge der Wirkung}$$

Des Weiteren sind wir auch zu dieser Gleichung

$$\delta L = \delta E_{kin.} + \delta E_{kin.} = 2 \cdot \delta E_{kin.}$$

gelangt. Wir können also erkennen, dass $\delta L \cdot dt = 2 \cdot \delta E_{kin.} \cdot dt = \text{Menge der Wirkung}$ zutrifft. Deswegen können wir schlussendlich beweisen, dass

$$\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = 2 \cdot \delta \int_{t_1}^{t_2} E_{kin.} \cdot dt = 0$$

bezeichnet sie auch als *Prinzip der maximalen Eigenzeit*. Das soll einfach bedeuten, dass wenn ein Objekt zu Boden fällt, dann nimmt es jenen Weg, wo die (Eigen)-Zeit ein Maximum darstellt. Das Ganze können wir auch mathematisch formulieren $\int_A^B d\tau = max.$, wobei A und B einfach Ereignisse bedeuten. Wenn jedoch die Gravitationsfelder sehr schwach sind, wie beispielsweise die von unserer Erde, und das (auf die Erde) fallende Objekt keine große Geschwindigkeit besitzt – das beutet wenn sie deutlich unterhalb der Lichtgeschwindigkeit liegt, was für die makroskopischen Objekte zutrifft, die auf die Erde fallen - dann geht dieses „Prinzip der maximalen Eigenzeit“ – auf Grund des Korrespondenzprinzips - in das uns bekannte „Prinzip der kleinsten Wirkung“ $\int_{t_1}^{t_2} (E_{kin.} - E_{pot.}) \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = 0$ über.

gilt. Wodurch natürlich nicht nur der Zusammenhang zwischen dem Energieerhaltungssatz und den Extremalen gezeigt wurde, sondern auch bewiesen wurde, dass die Variation der *Hamiltonschen Wirkung* mit der Variation der *Maupertuisschen Wirkung* gleichbedeutend sind.

Zusätzlich mathematisch, physikalische Informationen & Beispiele:

Eine knappe Erwähnung wollen wir hier zum Verständnis noch hinzufügen. Der Leser wird womöglich aus seiner Schulzeit sehr viel zu den Reibungskräften gelernt haben. Wie sind nun diese Kräfte in dieser Formel noch hineinzunehmen? Man kann die Arbeit A , die solche Kräfte erfordert, ganz einfach in die Formel als δA noch hinzufügen:¹⁶⁴⁰

$$\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} (\delta L + \delta A) dt = \delta \int_{t_1}^{t_2} (L + A) dt$$

Das Prinzip von Hamilton ($\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = 0$) ist in Integralform wiedergegeben – weshalb es auch als *Integralprinzip* bezeichnet wird. Natürlich kann es auch in Differentialform wiedergegeben werden, so wie es Euler und Langrange bereits getan hatten. Das *Differentialprinzip*¹⁶⁴¹, auch als Euler-Langrange-Gleichung (oder ganz einfach als Langrange-Gleichung 2. Art) bezeichnet, sieht so aus¹⁶⁴²:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L(x, \dot{x}, t)}{\partial x} = 0$$

Wir wollen uns nun ein wenig mit der Beziehung zwischen dem *Differentialprinzip* und dem *Integralprinzip* auseinandersetzen. Dadurch werden wir womöglich auch besser verstehen, was das Symbol δ zu bedeuten hat. Wir werden daher

- (1) zuerst kurz und bündig allgemein das Variationsprinzip durchbesprechen¹⁶⁴³,
- (2) dann uns anschauen, wie wir aus dem Hamiltonschen Prinzip die Euler-Langrange-Gleichung herleiten können.¹⁶⁴⁴

- (1) Wir gehen von einer integrierbaren Funktion $F = F(y(x), y'(x))$ aus. Nun sollte natürlich die gesuchte Funktion $y = y(x)$ das Integral zu einem Extremwert führen:

¹⁶⁴⁰ vgl. SZABO 1987, S. 136

¹⁶⁴¹ vgl. SZABO 1987, S. 134

¹⁶⁴² vgl. FLIEßBACH (NOETHER-THEOREM), S. 12

¹⁶⁴³ Die dazu verwendete mathematische Beweiskette wurde fast zur Gänze aus GREINER (II) 2003, S. 314-315 übernommen

¹⁶⁴⁴ Die dazu verwendete mathematische Beweiskette wurde fast zur Gänze aus GREINER (II) 2003, S. 320-321 übernommen

$$J = \int_{x_1}^{x_2} F(y(x), y'(x)) dx = \text{Extremwert} = 0$$

Wir müssen nun alle „physikalisch sinnvollen Wege durch eine Parameterdarstellung erfassen:

$$y(x, \varepsilon) = y_0(x) + \varepsilon \eta(x) \text{ }^{1645}$$

Dabei ist¹⁶⁴⁶

- ✓ ε ein für jede Bahn konstanter Parameter und
- ✓ $\eta(x)$ eine beliebig differenzierbare Funktion, welche sowohl am Anfangspunkt als auch im Endpunkt verschwindet: $\eta(x_1) = \eta(x_2) = 0$

In der Abbildung 70 ist sowohl unsere gesuchte Bahn, als auch alle andere mögliche Bahnen von x_1, y_1 bis x_2, y_2 angegeben:

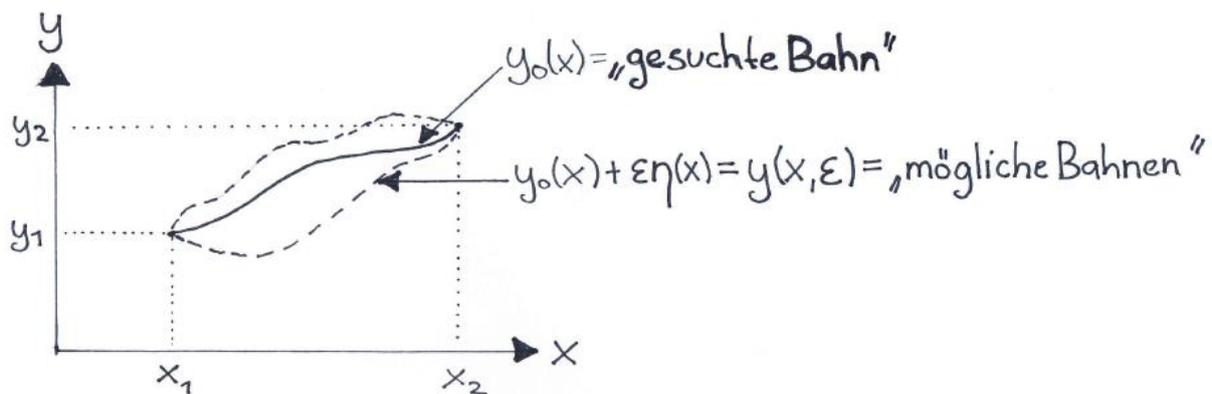


Abbildung 70

Aus der Skizze können wir deutlich sehen, dass unsere gesuchte Bahn somit die Form $y_0(x) = y(x, 0)$ besitzt. Das ist nämlich genau jene Form, wo der Parameter ε für die übrigen Bahnen verschwindet: $y_0(x) + \varepsilon \eta(x) = y(x, \varepsilon)$

Diese Bedingung für den Extremwert unseres Integrals wollen wir natürlich auch mathematisch festhalten

$$\left. \frac{dJ}{d\varepsilon} \right|_{\varepsilon=0} = 0$$

Für die Differentiation unter dem Integralzeichen erhalten wir¹⁶⁴⁷:

$$\frac{dJ}{d\varepsilon} = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial F}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial F}{\partial y'} \frac{\partial y'}{\partial \varepsilon} \right) dx = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial F}{\partial y} \eta + \frac{\partial F}{\partial y'} \eta' \right) dx.$$

Das zweite Glied lässt sich partiell integrieren und es ergibt sich

¹⁶⁴⁵ GREINER (II) 2003, S. 314

¹⁶⁴⁶ vgl. GREINER (II) 2003, S. 314

¹⁶⁴⁷ Wir gehen natürlich davon aus, dass die Funktion F stetig in ε differenzierbar ist. vgl. GREINER (II) 2003, S. 315

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial F}{\partial y'} \frac{\partial \eta}{\partial x} dx = \left[\frac{\partial F}{\partial y'} \eta \right]_{x_1}^{x_2} - \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} \right) \eta dx.$$

Da wir aber den Anfangs- und Endpunkt bereits fixiert haben und dadurch $\eta(x_1) = \eta(x_2) = 0$ auch gleichzeitig festlegten, verschwindet natürlich somit der ausintegrierte Term und wir erhalten

$$\int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} \right) \eta dx = 0$$

„Da $\eta(x)$ eine beliebige Funktion sein kann, ist diese Gleichung allgemein nur dann erfüllt, wenn

$$\frac{d}{dx} \frac{\partial F(y(x), y'(x))}{\partial y'} - \frac{\partial F(y(x), y'(x))}{\partial y} = 0$$

gilt.“¹⁶⁴⁸ Diese Gleichung wird auch einfach als *Euler-Lagrange-Gleichung* bezeichnet. (Sie ist eine Differentialgleichung 2. Ordnung.) Wir fragen uns natürlich die ganze Zeit: Wo ist nun das Symbol δ geblieben? Dieses Symbol dient nur dazu unsere Schreibweise zu vereinfachen. Wir können nämlich die Variation einer Funktion δy als eine Differenz zwischen den „möglichen Bahnen“ $y(x, \varepsilon)$ und der „wirklichen Bahn“ $y(x, 0)$ ausdrücken:

$$\delta y = y(x, \varepsilon) - y(x, 0) = \left. \frac{\partial y}{\partial \varepsilon} \right|_{\varepsilon=0} \cdot \varepsilon$$

(Natürlich für sehr kleine ε). Deshalb können wir unsere Variationsaufgabe auch so schreiben:

$$\delta \int_{x_1}^{x_2} F(y(x), y'(x)) dx = \text{Extremwert} = 0.$$

(2) Nun wollen wir aus dem Hamiltonschen Prinzip die Langrange-Gleichung herleiten. Wir haben also unser Integral

$$\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = 0$$

Die Variation der Bahn können wir folgendermaßen mathematisch festhalten¹⁶⁴⁹

$$x(t) \rightarrow x(t) + \delta x(t)$$

Wobei natürlich, wie bei der allgemeinen Variation bereits gezeigt, $\delta x(t)$ am Anfangs- und Endpunkt verschwindet: $\delta x(t_1) = \delta x(t_2) = 0$.

Da die Zeit nicht variiert, können wir auch schreiben

¹⁶⁴⁸ GREINER (II) 2003, S. 315

¹⁶⁴⁹ Wir gehen hier, um es einfach zu halten, nicht auf Freiheitsgrade ein. Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf GREINER (II) 2003, S. 320.

$$\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} \delta L \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial L}{\partial x} \delta x + \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \delta \dot{x} \right) dt.$$

Dabei gilt die Regel

$$\frac{d}{dt} \delta x = \frac{d}{dt} (x(t, \varepsilon) - x(t, 0)) = \frac{d}{dt} (x(t, \varepsilon)) - \frac{d}{dt} (x(t, 0)) = \delta \frac{d}{dt} x(t) = \delta \dot{x}(t)$$

Mit dieser Regel integrieren wir den zweiten Term partiell und erhalten die Gleichung

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \delta \dot{x} dt = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \cdot \frac{d}{dt} \delta x dt = \left[\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \delta x \right]_{t_1}^{t_2} - \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) \delta x dt.$$

Wir wissen, dass δx am Anfangspunkt und Endpunkt (bzw. bei Integralgrenzen) $\delta x(t_1) = \delta x(t_2) = 0$ verschwindet. Für die Variation des Integrals erhalten wir

$$\delta W = \int_{t_1}^{t_2} \left[\left(\frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) \delta x \right] dt = 0$$

Das ist somit zugleich auch die die (Euler)-Langrange-Gleichung

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} - \frac{\partial L}{\partial x} = 0$$

oder in der etwas verständlicherer Form¹⁶⁵⁰

$$m \cdot \frac{dx^2}{dt^2} + \frac{\partial E_{pot.}(x, t)}{\partial x} = 0$$

Wir könnten nun genauso gut das *Hamiltonsche-Prinzip* aus den *Newtonschen Gleichungen* herleiten, doch wollen wir uns das ersparen.¹⁶⁵¹

Zum Schluss werden wir noch ein sehr einfaches Beispiel wiedergeben, um das *Hamiltonsche-Prinzip* in Einsatz zu sehen.¹⁶⁵² Stellen wir uns ein Teilchen vor, welches in einem (weitgehend homogenen) Schwerfeld fallen gelassen wird. Wir zeichnen dafür wieder unsere Kartesische Koordinaten auf, wobei die *y*-Achse die Höhe angibt.

¹⁶⁵⁰ vgl. FLIEßBACH (NOETHER-THEOREM), S. 12

Um die verschiedenen Beziehungen sichtbar zu machen, möchten wir den Impuls aber auch die Gesamtenergie mit Hilfe der Langrangefunktion wiedergeben:

$$p = \frac{\partial L(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x}}$$

$$E_{Ges.} = \dot{x} \frac{\partial L(x, \dot{x}, t)}{\partial \dot{x}} - L$$

vgl. dazu GREINER/MÜLLER 2005, S. 2-3

¹⁶⁵¹ Den interessierten Leser verweisen wir gerne auf GREINER (II) 2003, S. 321 ff.

¹⁶⁵² Das hier berechnete Beispiel wurde beinahe zur Gänze aus NEUENSCHWANDER 2011, S. 27-28 entnommen.

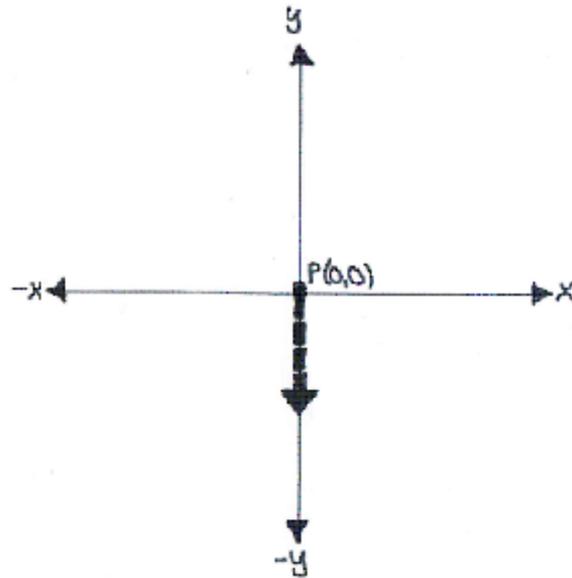


Abbildung 71

Das Teilchen ist zum Zeitpunkt des Loslassens in Ruhe. Wir lassen es, wie in der Abbildung 71 zu sehen, genau am Punkt $y = 0$ (und $x = 0$) aus. Zu diesem Zeitpunkt hat das Teilchen ausschließlich potentielle Energie. Aufgrund der Erhaltung der Gesamtenergie wissen wir, dass sich die potentielle Energie mit der Zeit in kinetische Energie umwandeln wird – deshalb dürfen wir die beiden auch gleichsetzen

$$E_{kin.} = -E_{pot.} \quad \text{oder} \quad E_{kin.} = -m \cdot g \cdot y$$

So können wir sicher gehen, dass $E_{kin.} \geq 0$ gilt. Für unsere Langrange-Funktion $L = E_{kin.} - E_{pot.}$ ergibt das

$$L = E_{kin.} - E_{pot.} \quad | \quad -E_{pot.} = E_{kin.}$$

$$L = 2 \cdot E_{kin.}$$

Wodurch wir auch sicher gehen können, dass $2 \cdot E_{kin.} \geq 0$ bzw. $J \geq 0$ gelten muss. So können wir also erst mit der Annahme der Energieerhaltung davon ausgehen, dass ein Extremal von J bei 0 liegt. Um nun die „tatsächliche“ Bahn zu finden, müssen wir jene Funktion $y(t)$ finden, die aus unserem Funktional (in Betrachtung aller Zeiten) ein Extremum macht: $J = 0$.

Nehmen wir an, die Lösung unserer Funktion hat die Form $y = A \cdot t^n$, wobei wir eben A und n noch bestimmen sollen. So setzen wir sie in unser Integral J ein, von welchem wir natürlich ein Extremal verlangen und erhalten

$$J = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot y^2 - m \cdot g \cdot y \right) dt = 0 \quad | \quad y = A \cdot t^n$$

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot n^2 \cdot t^{2n-1} (2n-1)^{-1} - m \cdot g \cdot A \cdot t^{n+1} (n+1)^{-1} = 0 \quad | \quad +m \cdot g \cdot A \cdot t^{n+1} (n+1)^{-1}$$

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot A^2 \cdot n^2 \cdot t^{2n-1} (2n-1)^{-1} = m \cdot g \cdot A \cdot t^{n+1} (n+1)^{-1}$$

$$J = \frac{1}{2} \cdot A \cdot n^2 \cdot t^{n-1} (2n-1)^{-1} = g \cdot t \cdot (n+1)^{-1}$$

Wenn wir nun davon ausgehen, dass es für alle t gilt, dann können wir für n eigentlich nur 2 ($n = 2$) wählen und bekommen

$$\frac{1}{2} \cdot A \cdot n^2 \cdot t^{n-1} (2n-1)^{-1} = g \cdot t \cdot (n+1)^{-1} \quad | n = 2$$

$$\frac{1}{2} \cdot A \cdot 4 \cdot t^1 \cdot (3)^{-1} = g \cdot t \cdot (3)^{-1} \quad | \cdot (3)^1 \quad | \div t$$

$$2 \cdot A = g \quad | \div 2$$

$$A = \frac{1}{2} g$$

Das können wir natürlich in die gesuchte Funktion einsetzen erhalten schließlich

$$y = A \cdot t^n \quad | A = \frac{1}{2} g \quad | n = 2$$

$$y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

(Sie können dieses Beispiel auch bei Ernst Mach finden. Auch sein Lösungsweg ist kurz und bündig, wobei er aber die parabolische Wurfbahn ausrechnet.¹⁶⁵³) Dieses Ergebnis für den freien Fall ist für uns natürlich keine große Überraschung. Wir kennen bereits den Zusammenhang von Weg \vec{x} , Geschwindigkeit \vec{v} und Beschleunigung \vec{a} in differentieller Form

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = \dot{\vec{x}} = \vec{v}, \quad \frac{d^2\vec{x}}{dt^2} = \ddot{\vec{x}} = \vec{a}. \quad \text{bzw.} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\dot{\vec{x}}}{dt} = \frac{d^2\vec{x}}{dt^2} = \ddot{\vec{x}}$$

Oder sehen wir uns den Zusammenhang in integraler Form an

$$\vec{x} = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\vec{x}} \cdot dt = \iint_{t_1}^{t_2} \ddot{\vec{x}} \cdot dt \cdot dt \quad \text{bzw.} \quad \vec{x} = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\vec{v}} \cdot dt = \iint_{t_1}^{t_2} \ddot{\vec{a}} \cdot dt \cdot dt$$

Nun ist die Newtonsche Bewegungsgleichung natürlich leicht erkennbar

$$x(t) = x_0 + v \cdot t + \frac{1}{2} at^2$$

Für unser Beispiel haben wir statt der Funktion $x(t)$ die $y(t)$ gewählt, da diese Koordinate für uns die Höhe angegeben hat. Weiters haben wir statt der Beschleunigung a die Erdbeschleunigung g verwendet. Wir setzen ein und erhalten

$$y(t) = y_0 + v \cdot t + \frac{1}{2} at^2$$

Da wir sowieso bei $y_0 = 0$ begonnen haben, können wir y_0 auslassen. Außerdem sind wir davon ausgegangen, dass unser Teilchen in Richtung der Beschleunigung keine zusätzliche Geschwindigkeit hatte. So können wir auch v streichen und erhalten

$$y(t) = y_0 + v \cdot t + \frac{1}{2} at^2 \quad | y_0 = 0 \quad | v = 0$$

¹⁶⁵³ MACH 1933, S. 364

$$y(t) = 0 + 0 \cdot t + \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}at^2$$

Wir kommen somit sowohl vom *Hamiltonschen-Prinzip* als auch von den *Newtonschen Bewegungsgleichungen* auf dieselbe Lösung. Interessant ist bei der Lösung, wenn das Teilchen senkrecht zur Erdbeschleunigung eine Geschwindigkeit dazu hätte, so würde es dennoch nach derselben Funktion fallen. Das bedeutet es fliehe zwar zur selben Zeit aber dafür etwas weiter rechts.¹⁶⁵⁴

¹⁶⁵⁴ Vgl. dazu in dieser Arbeit S. 56 f.

Anhang VIII

Wir wollen hier eine ganz interessante Stelle aus einem österreichischen Schulbuch wiedergeben, wo man sogar angeblich Einsteins Originalarbeit "zitiert".

Im Schulbuch wird Einstein folgendermaßen zitiert: „Nach der Auffassung, dass das einfallende Licht aus Quanten der Energie $E = h \cdot f$ bestehe, lässt sich die Erzeugung von Elektronen durch Licht folgendermaßen auffassen. In die oberflächliche Schicht des Körpers dringen Lichtquanten ein, und deren Energie verwandelt sich wenigstens zum Teil in kinetische Energie von Elektronen. Die einfachste Vorstellung ist die, dass ein Lichtquant seine ganze Energie an ein einziges Elektron abgibt. Außerdem muss jedes Elektron, beim Verlassen des Körpers eine für den Körper charakteristische) Arbeit W verrichten.“¹⁶⁵⁵

Nun wollen wir die Originalstelle von Einstein richtig wiedergeben: „Nach der Auffassung, daß das erregende Licht aus Energiequanten von der Energie $(R/N)\beta\nu$ bestehe, läßt sich die Erzeugung von Kathodenstrahlen durch Licht folgendermaßen auffassen. In die oberflächliche Schicht des Körpers dringen Energiequanten ein, und deren Energie verwandelt sich wenigstens zum Teil in kinetische Energie von Elektronen. Die einfachste Vorstellung ist die, daß ein Lichtquant seine ganze Energie an ein einziges Elektron abgibt; wir wollen annehmen, daß dies vorkomme. Es soll jedoch nicht ausgeschlossen sein, daß Elektronen die Energie von Lichtquanten nur teilweise aufnehmen. Ein im Innern des Körpers mit kinetischer Energie versehenes Elektron wird, wenn es die Oberfläche erreicht hat, einen Teil seiner kinetischen Energie eingebüßt haben. Außerdem wird anzunehmen sein, daß jedes Elektron beim Verlassen des Körpers eine (für den Körper charakteristische) Arbeit P zu leisten hat, wenn es den Körper verläßt.“¹⁶⁵⁶

Dem aufmerksamen Leser ist es sicher nicht entgangen, dass im Schulbuch nicht nur die Formel anders wiedergegeben wird, sondern Wörter verändert und ausgelassen werden. Es fehlen sogar zwei ganze Sätze!! Natürlich kann man aus *didaktischen Gründen* den Originaltext ein wenig ändern bzw. dem Niveau der Schüler anpassen. Doch darf dabei dann nicht der Eindruck entstehen, als würde man die Arbeit von Einstein richtig zitieren (für welche er – unter anderem – sogar 1921 den Nobelpreis bekam). Auch gibt es im Buch keinerlei Stellen, die irgendwie darauf hinweisen, dass hier inkorrekt zitiert wurde!

Nun wollen wir aber klarstellen, was die Formel $(R/N)\beta\nu$ genau bedeutet. Dazu wird es für uns sehr hilfreich sein, wenn wir uns den Beginn einer weiteren Arbeit ***Zur Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption*** (1906) von Einstein anschauen, welche er etwa ein Jahr später veröffentlichte: „In einer letztes Jahr erschienen Arbeit habe ich gezeigt, daß die Maxwellsche Theorie der Elektrizität in Verbindung mit der Elektronentheorie zu Ergebnissen führt, die mit den Erfahrungen über die Strahlung des schwarzen Körpers im Widerspruch sind. Auf einem dort dargelegten Wege wurde ich zu der Ansicht geführt, daß Licht von der Frequenz ν lediglich in Quanten von der Energie $(R/N)\beta\nu$ absorbiert und emittiert werden könne, wobei R die absolute Konstante der auf das Grammolekül angewendeten Gasgleichung, N die Anzahl der wirklichen Moleküle in einem Grammolekül, β den Exponentialkoeffizienten der Wienschen (bez. der Planckschen) Strahlungsformel und ν die Frequenz des betreffenden Lichtes bedeutet. Diese Beziehung wurde entwickelt für einen Bereich, der dem Bereich der Gültigkeit der Wienschen Strahlungsformel entspricht.“

¹⁶⁵⁵ SEXL (7) 2012, S. 43

¹⁶⁵⁶ EINSTEIN (06. / 1905), S. 145-146

Damals schien es mir, als ob die Plancksche Theorie der Strahlung in gewisser Beziehung ein Gegenstück bildete zu meiner Arbeit. Neue Überlegungen, welche im § 1 dieser Arbeit mitgeteilt sind, zeigten mir aber, daß die theoretische Grundlage, auf welcher die Strahlungstheorie von Hrn. Planck ruht, sich von der Grundlage, die sich aus der Maxwellschen Theorie und Elektronentheorie ergeben würde, unterscheidet, und zwar gerade dadurch, daß die Plancksche Theorie implizite von der eben erwähnten Lichtquantenhypothese Gebrauch macht.¹⁶⁵⁷

Bei dieser zitierten Stelle ist natürlich auch sehr interessant, dass Einstein selbst beschreibt, wie er ein Jahr zuvor die Strahlungstheorie von Planck auffasste.

Wir wollen natürlich noch klären, welche physikalische Bedeutung β hat. Den Wert für β gibt Einstein auf der Seite 136 an.¹⁶⁵⁸ Doch was für eine Bedeutung der Faktor besitzt, sieht man, wenn man sich die Arbeit von Planck aus dem Jahre 1900 anschaut.¹⁶⁵⁹ β setzt sich aus folgenden Naturkonstanten zusammen, auf welche Planck eben dort hinweist¹⁶⁶⁰:

$$\beta = \frac{\text{Planck'sche Konstante}}{\text{Boltzmann-Konstante}} = \frac{h}{k}$$

Da $k = \frac{R}{N}$ ist, können wir somit Einsteins Formel umformen und erhalten

$$\left(\frac{R}{N}\right) \cdot \beta \cdot \nu = \left(\frac{R}{N}\right) \cdot \frac{h}{k} \cdot \nu = \left(\frac{R}{N}\right) \cdot \frac{h}{\left(\frac{R}{N}\right)} \cdot \nu = h \cdot \nu = h \cdot f$$

Wir sehen, dass Einsteins Formel $(R/N)\beta\nu$ gleichwertig ist mit der Formel $h \cdot f$. Und das zu zeigen ist nicht so schwer bzw. umständlich, dass man deshalb die Originalarbeit von Einstein verändert wiedergibt.

Eine sehr interessante Frage ist wohl: Wieso benützte Einstein nicht die von Planck präsentierten Naturkonstanten?

Die Frage ist wirklich berechtigt. Denn in seiner Arbeit aus dem Jahr 1906 gibt er folgende Formel $\varepsilon = (R/N)\beta\nu$ an.¹⁶⁶¹ Die ist wohl auch deshalb so gewählt, damit sie einen direkten Vergleich mit der von Planck eingeführten Formel $\varepsilon = h \cdot \nu$ erlaubt.¹⁶⁶² Doch weshalb führt er selbst diese Formel nirgends an? (Ein halbes Jahr später schreibt er eine Arbeit und benützt lediglich seine Formel: „Setzt man noch $\varepsilon = (R/N)\beta\nu$ (gemäß der Quantenhypothese), so erhält man hieraus [...]“¹⁶⁶³

Wir wollen hier lediglich zwei mögliche Gründe angeben, weshalb Einstein die Formel ($E = h \cdot f$) von Planck in seinen früheren Arbeiten nirgends angegeben hat (- sie könnten natürlich beide zugleich eine Rolle gespielt haben -):

¹⁶⁵⁷ EINSTEIN (12. / 1906), S. 199

¹⁶⁵⁸ vgl. EINSTEIN (06. / 1905)

¹⁶⁵⁹ vgl. PLANCK (I) 1901, S. 563

¹⁶⁶⁰ (Dabei ist natürlich darauf zu achten, dass in der Originalarbeit von Planck die Naturkonstanten nicht nur in anderen Einheiten angegeben wurden, sondern von den heutigen Werten geringfügig abweichen. Der Grund liegt wohl an der damaligen Messgenauigkeit usw.)

¹⁶⁶¹ EINSTEIN (12. / 1906), S. 202

¹⁶⁶² PLANCK (I) 1901, S. 361

¹⁶⁶³ EINSTEIN (15. / 1907), S. 183

1. Er befürchtet womöglich einen Plagiatsstreit!? (Das könnte auch der Grund sein, dass er im Jahre 1905 die „Lorentz-Transformationen“ benützt, und auf Lorentz jedoch nirgends hinweist.) Würde er nämlich die Formel $E = h \cdot f$ benützen, so könnte man sehr schnell bemerken, dass die Quantenhypothese mit der von Planck neu entdeckten Naturkonstante h in sehr bedeutendem Zusammenhang steht. Denn, wenn man sich ein wenig Mühe geben würde, könnte man aus der Hypothese von Planck eine Quantenhypothese herauslesen.¹⁶⁶⁴ Obwohl natürlich die Quantenhypothese zum ersten Mal von Einstein ausgesprochen wird. Planck hingegen sprach noch von „Complexionen“¹⁶⁶⁵, worauf auch Einstein hinweist.¹⁶⁶⁶ Ob und welche Rolle dabei die Arbeit **Über die Elementarquanta der Materie und der Elektrizität** (1900) von Planck gespielt habe könnte, wollen wir in dieser Arbeit nicht diskutieren.
2. *Viel wahrscheinlicher ist diese Theorie*: Einstein erkannte in seiner Originalarbeit von 1905 die enge Beziehung zwischen seinen Gedanken und dem Planckschem Strahlungsgesetz gar nicht. In seiner Arbeit schreibt er ja schließlich, wie bereits oben zitiert: „Damals schien es mir, als ob die Plancksche Theorie der Strahlung in gewisser Beziehung ein Gegenstück bildete zu meiner Arbeit.“¹⁶⁶⁷
Womöglich kam er auf die Quantenhypothese, durch den photoelektrischen Effekt (Photoeffekt). Aus diesem Grund behielt er einfach seine eigene Formel.

Die zweite Hypothese, wenn sie stimmen würde, wäre auch *didaktisch* interessant und von großer Bedeutung. Sie zeigt ganz einfach die Menschlichkeit großer Geister wie Einstein! Sie können sich irren und können das auch zugeben. Schon aus diesem Grund benötigen wir die Arbeiten von Einstein nicht zu modellieren. Wir sollten lieber versuchen zu begründen, weshalb die historischen Tatsachen so sind, wie sie wirklich sind! (Lieber stets die Theorien dazu ändern, als die Originalarbeiten, damit ein Stück Physikgeschichte nicht irgendwann zur Gänze verloren geht!)

¹⁶⁶⁴ vgl. PLANCK (I) 1901, S. 557-558

¹⁶⁶⁵ vgl. PLANCK (I) 1901, S. 557

¹⁶⁶⁶ EINSTEIN (12. / 1906), S. 202

¹⁶⁶⁷ EINSTEIN (12. / 1906), S. 199

Anhang IX

An dieser Stelle möchten wir betonen, dass das zweite Prinzip der QM nach Naturkonstanten verlangt, und nicht nach dem *Anthropologischen Prinzip*, welches nach J. D. Barrow und F. J. Tipler folgendermaßen lautet: „Das Universum muss so beschaffen sein, dass in gewissen Phasen seiner Entwicklung die Entstehung von Leben möglich wird.“¹⁶⁶⁸ Oder etwas einfacher formuliert lautet dieses Prinzip: „*Daß die Welt so ist, wie sie ist, ergibt sich daraus, daß wir in ihr leben.*“¹⁶⁶⁹ Tatsächlich scheint es beispielsweise so zu sein, dass in einem theoretischen Universum, dessen Naturkonstanten in ihren Werten (relativ) geringfügig von den unseren abweichen, in seiner Entwicklung völlig anders wäre als das unsere. Dass also Leben in unserem Universum existiert, verdanken wir (unter anderem) *prinzipiell* den Werten unserer Naturkonstanten. Paul Tipler und Ralph Llewellyn schreiben dazu: „Vielleicht verhält es sich so, wie manche Kosmologen vorschlagen: Hätte sich das Universum nur ein wenig anders entwickelt, etwa aufgrund geringfügig anderer Werte für h , e oder einer anderen Naturkonstante, so hätte kein Leben auf der Erde entstehen können, möglicherweise nicht einmal die Erde selbst. Dieses *anthropische Prinzip* besagt, dass wir unsere Welt nur eingeschränkt durch die Bedingungen beobachten können, die gleichzeitig die Voraussetzung für unsere Existenz bilden: Die Welt ist, wie sie ist, weil wir da sind, um sie zu sehen und zu beschreiben.“¹⁶⁷⁰ Barrow selbst betont: „Kosmologen sehen das Schwache Anthropologische Prinzip als eine Einschränkung des berühmten Verdikts von Kopernikus, der Mensch nehme im Universum keine Mittelpunktstellung und keine besonders ausgezeichnete Position ein. Zwar haben wir uns völlig zu Recht von dem Vorurteil befreit, daß unsere Position im Universum in *jeder* Hinsicht etwas Besonderes sei, aber wir sollten die Möglichkeit nicht ausschließen, daß sie in *irgendeiner* Hinsicht etwas Besonderes an sich haben könnte.“¹⁶⁷¹

Das *Prinzip der Besonderheit* der QM verlangt aber nicht nach dem Anthropologischen Prinzip und somit auch nicht genau nach diesen Werten, sondern allgemein nach Naturkonstanten.

Wir können aber natürlich schon sagen, dass die zwei Prinzipien der Quantenmechanik *direkt* auf dem **Kosmologischen Prinzip** und *indirekt* auf dem **Anthropologischen Prinzip** gründen.

Somit wäre auch in gewissem Sinne die Beziehung zwischen dem Kosmos und den Menschen grob nachgezeichnet. Womöglich wäre **Thales** mit dieser *Perspektive* schon zufrieden gewesen. Jedenfalls hätte er so der thrakischen Magd entgegen können: „Die Prinzipien der Natur (QM) gründen direkt auf dem Kosmologischen Prinzip und nur indirekt auf dem Anthropologischen Prinzip. So blicke nach oben.“

¹⁶⁶⁸ zitiert nach REBHAN (II) 2012, S. 589

¹⁶⁶⁹ REBHAN (II) 2012, S. 589

¹⁶⁷⁰ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 875

¹⁶⁷¹ vgl. BARROW 1992, S. 211

Anhang X¹⁶⁷²

Quantenmechanik:

Wir geben an dieser Stelle ein nettes Beispiel aus einer Vorstufe der Quantenmechanik zur Veranschaulichung. Bevor die Quantentheorie entwickelt wurde, gab es Theorien, die auf einer Zwischenstufe standen, welche wir in dieser Arbeit auch als *semiquantenmechanisch* bezeichnen können. Eine ganz berühmte Theorie dieser Art ist das Bohrsche Atommodell (für das Wasserstoffatom)¹⁶⁷³, wo das Elektron nur auf bestimmten (bzw. quantisierten) Bahnen um den Kern (bzw. das Proton) kreist.¹⁶⁷⁴ Diese Theorie besagt, dass das Atom in seinem Grundzustand einen gewissen Radius besitzt, welche wir durch die Formel

$$\text{Bohrscher Radius} = r = \frac{\hbar}{m \cdot k \cdot e^2}$$

angeben können.¹⁶⁷⁵ Wir sehen also, dass der Radius des Wasserstoffatoms *direkt* mit der Planckschen Wirkungskonstante zusammenhängt: $r \sim \hbar$.

Nun schauen wir uns ein Beispiel aus der Quantentheorie an, nämlich die Heisenbergsche Unschärferelation:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}.$$

Bei dieser Unschärferelation setzt also deutlich nur das Plancksche Wirkungsquantum eine untere Grenze fest. Wir dürfen somit zwar den *Ort* und den *Impuls* zugleich messen, aber nur bis zu einem gewissen Grad – es gibt sozusagen eine untere Grenze. Das Produkt vom Ort und Impuls darf dabei nur größer gleich, wie diese Naturkonstante sein. Benötigen wir beispielsweise nur den Impuls, dann können wir ihn natürlich beliebig genau messen; doch sollten wir dann davon ausgehen, dass der Ort dabei immer *unschärfer* wird. Wir sehen aus dieser Formel auch zugleich, weshalb die (meisten) QM Phänomene – wie Interferenzerscheinungen usw. – erst im Mikrobereich aufscheinen. Es liegt ganz allein am (relativ niedrigen) Wert der Naturkonstante $\hbar \approx 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]$.

Relativistische Quantenmechanik:

Seit Einstein wissen wir, dass Materie und Energie gleichwertig sind:

$$E = m \cdot c^2.$$

¹⁶⁷² vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 874-876, und REBHAN (II) 2012, S. 518-519

¹⁶⁷³ Für die Erklärung des Wasserstoffspektrums bekam Niels Bohr 1922 den Nobelpreis. vgl. TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 201, Fußnote 7

¹⁶⁷⁴ Dieses Atommodell ist nicht mit der klassischen Physik zu verstehen, da das Elektron, welches auf seiner Kreisbahn um den Kern, ständig Photonen abstrahlen müsste. Quantenmechanisch kann es natürlich auch nicht sein, da die Heisenbergsche Unschärferelation solche bestimmte Bahnen *prinzipiell* nicht zulassen würde. vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 203

(Das Bohrsche Atommodell, welches grundsätzlich einem Planetenmodell sehr ähnelt, zeigt natürlich wieder den Wunsch des Menschen sowohl im Makrokosmos als auch im Mikrokosmos dieselben Strukturen zu erkennen – wie wir sie auch schon bei Descartes gesehen haben.)

¹⁶⁷⁵ vgl. dazu auch TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 225-226

Wir können schon aus dieser Formel $E \sim c^2$ sehen, dass die Energieerhaltung verletzt werden würde, wenn die Lichtgeschwindigkeit nicht konstant wäre. Und *Impuls-* und *Energieerhaltungssätze* sind natürlich ganz wichtig um Streuprozesse überhaupt beschreiben zu können. Beispielsweise gelang es erst Compton durch diese Erhaltungssätze die Kollision eines Elektrons mit einem Photon zu interpretieren. Dabei erkannte er, dass das Photon – welches vor dem Stoß eine gewisse Wellenlänge besitzt – „während“ des Stoßes mit einem Elektron eine gewisse Energie an das Elektron abgibt, und dadurch das Photon nach dem Stoß weniger Energie besitzt oder anders gesagt: eine größere Wellenlänge hat, als nach dem Stoß.¹⁶⁷⁶ Dies wird durch die *Compton-Gleichung* ausgedrückt:

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{2\pi \cdot \hbar}{m_{\text{Elektron}} \cdot c} (1 - \cos\theta).$$

Dabei gilt:

$$\frac{2\pi \cdot \hbar}{m_{\text{Elektron}} \cdot c} = \lambda_c = \text{Compton Wellenlänge des Elektrons.}$$

Wir können an dieser relativ einfachen Gleichung schon erkennen, wie das Zusammenspiel der beiden Naturkonstanten \hbar und c den Verlauf der Natur (bis zu einem gewissen Grad) diktiert.¹⁶⁷⁷

Als Descartes oder Newton die Stoßgesetze betrachteten, konnten sie natürlich noch nicht ahnen, dass auf dem Niveau der Elementarteilchen dabei Naturkonstanten eine besondere Rolle spielen würden.

Quantengravitation:

Wie wir bereits wissen, hat das Gravitationsgesetz von Newton die folgende Form:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Dieses Gesetz gibt die Kraft an, wenn zwei Massen gravitativ miteinander wechselwirken. Nach dem heutigen Wissensstand der Naturwissenschaften gehen wir davon aus, dass es vier Wechselwirkungskräfte gibt. Nach ihrer Stärke gereiht sind das die *starke*, die *elektromagnetische*, die *schwache* und die *gravitative* Wechselwirkung. Tipler und Llewellyn schreiben: „An der Gravitationswechselwirkung nehmen alle Teilchen teil. Sie ist aber so schwach, dass sie für die Diskussion von Elementarteilchen keine Rolle spielt. Wie bereits erwähnt, macht ihre Stärke nur 10^{-38} derjenigen der starken Wechselwirkung aus.“¹⁶⁷⁸ Dass die Gravitationskraft derart schwach ist, könnten wir beispielsweise mit dem relativ niedrigen Wert der Gravitationskonstante

$$G \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \right] \text{ begründen.}$$

Wir sehen auch, dass die Lichtgeschwindigkeit in der Formel der Gravitationskraft gar nicht vorkommt. Nach Newtons Theorie ziehen sich also die Massen instantan bzw. ohne eine

¹⁶⁷⁶ Diesen Effekt bezeichnet man auch als Compton-Effekt. Für seine physikalische Erklärung dieses Effektes wurde (unter anderem) Arthur Compton 1927 der Nobelpreis verliehen. Auch kam von ihm der Vorschlag, die Lichtquanten als Photonen zu bezeichnen. vgl. dazu TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 172, Fußnote 15

¹⁶⁷⁷ An dieser Gleichung interessierte Leser verweisen wir sehr gerne auf TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 172.

¹⁶⁷⁸ TIPLER/LLEWELLYN 2010, S. 750

Zeitverzögerung an – gleich aus welcher Entfernung. Die Spezielle Relativitätstheorie zeigt dann Jahrhunderte später, dass Informationen allgemein nur mit Lichtgeschwindigkeit weitergegeben werden können. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie von Einstein breiten sich daher auch die Gravitationswellen nur (höchstens) mit Lichtgeschwindigkeit aus. Zwei Massen können nach dieser Theorie somit nur zeitverzögert aufeinander reagieren. Dass die Lichtgeschwindigkeit in der ART eine wichtige Stellung besitzt, erkennen wir schon, wenn wir uns die Formel für den Schwarzschildradius ansehen:

$$\text{Schwarzschildradius} = r_s = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2}.$$

Wenn ein Körper mit einer gewissen Masse auf seinen Schwarzschildradius komprimiert wird, dann kann von ihm, nach dieser Gleichung, nicht einmal das Licht entweichen. Man bezeichnet diese Körper daher auch als *Schwarze Löcher*. Wie wir sehen können, ist in dieser Formel natürlich nirgends die Plancksche Wirkungskonstante zu sehen. Das bedeutet, dass die QM in diese Theorie noch nicht einbezogen wurde. Der hochbegabte theoretischer Physiker Stephen Hawking konnte später (1974) – zumindest mathematisch – zeigen, dass die Schwarzen Löcher womöglich gar nicht so schwarz sind, sondern eine gewisse *Hawking-Strahlung* emittieren. So schreibt Hawking in seinem Bestseller **Eine kurze Geschichte der Zeit** (1988): „Doch im nächsten Kapitel werde ich zeigen, daß Schwarze Löcher am Ende gar nicht wirklich schwarz sind: Sie glühen wie ein heißer Körper, und je kleiner sie sind, desto intensiver ist ihre Glut. So paradox es klingt: Es könnte sich herausstellen, daß kleinere Schwarze Löcher leichter zu entdecken sind als große.“¹⁶⁷⁹ Diese Theorie ergibt sich, wenn man neben den Aussagen der ART auch (einige) Effekte der QM mitberücksichtigt. Oder wie Hawking sagt: „Die Idee, daß Schwarze Löcher strahlen, war das erste Beispiel für eine Vorhersage, die wesentlich auf *beiden* großen Theorien des 20. Jahrhunderts beruhte – der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantenmechanik.“¹⁶⁸⁰ Durch diese beiden Theorien ist es möglich einem Schwarzen Loch eine Strahlungstemperatur zu zuordnen, wobei wir die wunderschöne Formel

$$\text{Hawking Temperatur} = T = \frac{\hbar \cdot c^3}{8\pi \cdot G \cdot M \cdot k_B}$$

erhalten, welche die Naturkonstanten in eine Beziehung zueinander stellt. Da Körper aufgrund ihrer Wärme stets Strahlung emittieren, können wir nach dieser Theorie eben davon ausgehen, dass auch Schwarze Löcher eigentlich *strahlen*. Diejenigen Strahlen, die vom Schwarzen Loch nicht eingefangen und somit tatsächlich abgestrahlt werden, bezeichnen wir als *Hawking-Strahlen*. Diese Formel besagt (unter anderem), dass die Temperatur des Schwarzen Loches eigentlich nur von seiner Masse und den Naturkonstanten abhängt; wobei k_B die *Boltzmann Konstante* ist. Allgemein gilt nach dieser Gleichung $T \sim \frac{1}{M}$. Das bedeutet: Schwarze Löcher mit weniger Masse haben eine größere Temperatur und strahlen demgemäß auch viel mehr als massereiche Schwarze Löcher. Zu erwähnen ist natürlich noch, dass sich diese Theorie von Hawking experimentell noch nicht bewähren konnte. Auch gibt es bis heute noch keine Theorie, welche die ART mit der QM erfolgreich vereint. So gesehen ist es doppelt schwer der Theorie von Hawking eine Berechtigung zu zusprechen. Doch wir können zumindest zur Zeit auf Grund der ART sagen, dass wenn Massen in ihrer Größe so klein sind wie ihr Schwarzschildradius ($r_s = \frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2}$), dann können wir die Ereignisse in ihrer Umgebung nicht sehen.

¹⁶⁷⁹ HAWKING 2007, S. 125

¹⁶⁸⁰ HAWKING 2007, S. 141

Auch die Unbestimmtheitsrelation der QM gibt uns eine solche Grenze, nämlich die Compton-Wellenlänge:

$$\frac{\hbar}{m \cdot c} \approx \lambda_C.$$

Wenn wir nun physikalische Ereignisse betrachten möchten, in welchen sowohl die Gravitationseffekte als auch die Quanteneffekte gleichermaßen eine Rolle spielen, dann können wir diese beiden Längen natürlich auch gleichsetzen $r_s \approx \lambda_C$. Dieser Fall ist gar nicht so uninteressant. Beispielsweise wissen wir, dass der Impuls eines Teilchens immer unschärfer wird, wenn wir den Ort zu messen versuchen. Dadurch wird natürlich auch dessen Energie und somit auch dessen Masse unschärfer. Es ist deshalb nicht so abwegig, dass wir solche Sonderfälle wie $r_s \approx \lambda_C$ gedanklich durchgehen. Formen wir die Gleichung $\frac{2 \cdot G \cdot m}{c^2} = \frac{\hbar}{m \cdot c}$ nach der Masse um, dann erhalten wir

$$m = \sqrt{\frac{\hbar \cdot c}{G}}.$$

Diese Masse wird auch als die *Planck-Masse* bezeichnet. Setzen wir diese wieder in die Compton Wellenlänge ein

$$\lambda_C \approx r_s \approx \frac{1}{\sqrt{\frac{\hbar \cdot c}{G}}} \cdot \frac{\hbar}{m \cdot c} = \sqrt{\frac{\hbar \cdot G}{c^3}} = l_{\text{Planck-Länge}}$$

erhalten wir *Planck-Länge*. Das Licht durchläuft diese Länge in der *Planck-Zeit*:

$$\frac{l_{\text{Plancklänge}}}{c} = \frac{\sqrt{\frac{\hbar \cdot G}{c^3}}}{c} = \sqrt{\frac{\hbar \cdot G}{c^5}} = t_{\text{Planck-Zeit}}.$$

Die ART und QM verbieten uns nach dem heutigen Stand der Wissenschaft, eine physikalische Länge unter der Plancklänge zu definieren und von Zeitintervallen zu sprechen, die unter der Planckzeit liegen. Die Hoffnung vieler Naturwissenschaftler ist die Antwort auf die Frage, wie diese Grenzen am besten zu verstehen sind. Beispielsweise sagt uns das Urknallmodell, dass wenn wir in der Zeit zurück gehen, und somit die Entwicklung des Kosmos rückwärts laufen lassen, dann werden wir an einem Punkt angelangen, wo die Dichte des Universums der *Planck-Dichte* entspricht:

$$\rho_{\text{Planck-Dichte}} = \frac{c^5}{\hbar \cdot G^2}$$

haben wird. Spätestens ab diesem Punkt, wo die Gravitations- und Quanteneffekte gleiche Bedeutung erhalten, wird eine Theorie der *Quantengravitation* notwendig werden. Wir können (in guter Hoffnung) schon davon ausgehen, dass die Singularität¹⁶⁸¹, welche die Allgemeine

¹⁶⁸¹ Mit Singularität ist gemeint, dass die Theorie ab da keine Definitionen mehr liefern kann. In gewissem (naturwissenschaftlichem) Sinne verliert die Allgemeine Relativitätstheorie an diesem Punkt die Gültigkeit ihrer Anwendung.

Relativitätstheorie sowohl für Schwarze Löcher¹⁶⁸² als auch für den Anfang des Universums¹⁶⁸³ voraussagt, ihre Gültigkeit nicht beibehalten wird. Mit der Einbeziehung der Quanteneffekte können wir (theoretisch) nichtsinguläre Ergebnisse bekommen. Ein solches Modell gelang beispielsweise Hartle und Hawking. Dadurch brauchen wir nicht notgedrungen an einem schöpferischen Gott festhalten, da die Physik bzw. die Allgemeine Relativitätstheorie ihre (alleinige) Zuständigkeit verlor. So können wir uns womöglich vor einem Fehler bewahren, den Gott als Lückenbüßer zu benützen (, wie es beispielsweise schon Newton – aus heutiger Sicht ohne Erfolg – probiert hat). Stephen Hawking schreibt: „Gott mag wissen, wie das Universum begonnen hat, aber wir können keinen triftigen Grund für die Annahme nennen, daß dies eher auf die eine als auf die andere Weise geschehen ist. Dagegen hat die Quantentheorie der Gravitation die Möglichkeit eröffnet, daß die Raumzeit keine Grenze hat. Es wäre also gar nicht notwendig, das Verhalten an der Grenze anzugeben. Es gäbe keine Singularitäten, an denen die Naturgesetze ihre Gültigkeit einbüßten, und keinen Raumzeitrand, an dem man sich auf Gott oder irgendein neues Gesetz berufen müßte, um die Grenzbedingungen der Raumzeit festzulegen. Man könnte einfach sagen: >>Die Grenzbedingung des Universums ist, daß es keine Grenze hat.<< Das Universum wäre völlig in sich abgeschlossen und keinerlei äußeren Einflüssen unterworfen. Es wäre weder erschaffen noch zerstört. Es würde einfach SEIN.“¹⁶⁸⁴

¹⁶⁸² In einer neuen Theorie (2014) erklärt Stephen Hawking, dass in Schwarzen Löchern die Materie bzw. die Energie nur vorübergehend gefangen gehalten und mit der Zeit allmählich (in Form einer Strahlung) wieder freigegeben wird. Nach diesem Modell wird die Annahme einer Singularität nicht mehr benötigt.

vgl. HAWKING 2014; und NATURE (II) bzw. die deutsche Übersetzung von diesem Artikel SPEKTRUM (III)

¹⁶⁸³ James Hartle, Stephen Hawking und Thomas Hertog konnten bereits (2008) ein theoretisches Modell des Kosmoses präsentieren, wo auf die Singularitäten verzichtet werden konnten.

Vgl. dazu HAWKING, wo einige Artikel zu diesem Thema zu finden sind. Einen kurzen Überblick zu diesem Thema gewährt auch HAWKING (DER URSPRUNG DER ZEIT).

¹⁶⁸⁴ HAWKING 2007, S. 170

Literatur- und Quellenverzeichnis

ACZEL 2002:

Aczel, Amir D.: Die göttliche Formel. Von der Ausdehnung des Universum. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 2002

ALBERT 1991:

Albert, Hans: Traktat über die kritische Vernunft. J.C.B. Mohr, Tübingen, 5. Auflage 1991

APEL 2011:

Apel, Karl-Otto: Paradigmen der Ersten Philosophie. Zur reflexiven – transzendentalpragmatischen – Rekonstruktion der Philosophiegeschichte. Suhrkamp Verlag, Berlin, 2011

APEL 2000:

Apel, Karl-Otto: Das cartesianische Paradigma der Ersten Philosophie: Eine kritische Würdigung aus der Perspektive eines anderen (des nächsten?) Paradigmas. In: Niebel, Wilhelm Friedrich (Hrsg.) / Horn, Angelica (Hrsg.) / Schnädelbach, Herbert (Hrsg.): Descartes im Diskurs der Neuzeit. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1. Auflage 2000, S. 207-229

BARROW 1992:

Barrow, John D.: Theorien für Alles. Die philosophischen Ansätze der modernen Physik. Spektrum, Heidelberg, Berlin und New York, 1992

BAUMGARTNER 2010:

Bernhard, Baumgartner: Quantenphysik. Teil 1b der Vorlesung L2. 2010

BIALAS 2004:

Bialas, Volker: Johannes Kepler. C.H. Beck, München, 2004

BORN 1933:

Born, Max: Moderne Physik. Julius Springer, Berlin, 1933

BORZESZKOWSKI 1998:

Borzeszkowski, Horst-Heino von: Der epistemologische Gehalt des Maupertuisschen Wirkungsprinzip. In: Wahsner, Renate / Borzeszkowski, Horst-Heino von: Maupertuis. Eine metaphysische Diskussion über eine neue Physik. Preprint 109 / Max-Planck-Institut für Wissensgeschichte, Berlin, 1998, S. 17-31

BRÜNE/BENDER 2012:

Brüne, Martin, Bender, Max: Zur Evolution der Theory of Mind – evolutionsbiologische Aspekte und neuronale Mechanismen. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 53-60

CLARKE (2003):

Clarke, Desmond M.: Descartes' s Theory of Mind. Oxford University Press, New York, 2003

DAMASIO 2012:

Damasio, Antonio R.: Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn. List, München, 7. Auflage 2012

DAMASIO 2013:

Damasio, Antonio R.: Selbst ist der Mensch. Körper, Geist und die Entstehung des menschlichen Bewusstseins. Pantheon-Verlag, München, 2013

DESCARTES 2005:

Descartes, René / Wohlers, Christian (übers. u. hrsg.): Die Prinzipien der Philosophie. Felix Meiner Verlag, Hamburg, 2005

DESCARTES 1965:

Descartes, René: Meditationen über die Grundlagen der Philosophie mit den sämtlichen Einwänden und Er widerungen. Akademie-Verlag, Berlin, 1965

DESCARTES 1969:

Descartes, René / Roths Schuh, Karl Eduard (übers. u mit Einl. u. Anm. vers.): Über den Menschen (1632). Sowie: Beschreibung des menschlichen Körpers (1648). Lambert Schneider, Heidelberg, 1969

DIRAC 1930:

Dirac, Paul A. M.: Die Prinzipien der Quantenmechanik. S. Hirzel, Leipzig, 1930

DOSE/WEBER 2012:

Dose, Matthias / Weber, Katja: Autismus, Asperger-Syndrom und schizotypische Persönlichkeitsstörung. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 347-359

DREIZLER/LÜDDE (I) 2008:

Dreizler, Reiner M. / Lüdde, Cora S.: Theoretische Physik 1. Theoretische Mechanik. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2008

DREIZLER/LÜDDE (III) 2008:

Dreizler, Reiner M. / Lüdde, Cora S.: Theoretische Physik 3. Quantenmechanik I. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2008

EINSTEIN 1920:

Einstein, Albert: Äther und Relativitäts-Theorie. Julius Springer, Berlin, 1920

EINSTEIN 1969:

Einstein, Albert: Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie. Akademie Verlag, Berlin, 21. Auflage 1969

FALKENBURG 2013:

Falkenburg, Brigitte: Was sind subatomare Teilchen? In: Esfeld, Michael (Hrsg.): Philosophie der Physik. Suhrkamp, Berlin, 4. Auflage 2013, S. 158-184

FERSTL 2012:

Ferstl, Evelyn: Theory of Mind und Kommunikation: Zwei Seiten derselben Medaille?. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 121-134

FEUERBAH 1969:

Feuerbach, Ludwig: Geschichte der neuern Philosophie von Bacon von Verulam bis Benedikt Spinoza. Akademie-Verlag GmbH, Berlin, 1969

FEUERBACH 2011:

Feuerbach, Ludwig: Das Wesen des Christentums. Reclam, Stuttgart, 2011

FEYNMAN (I) 2007:

Feynman, Richard P. / Leighton, Robert B. / Sands, Matthew: Feynman Vorlesungen über Physik. Band I: Mechanik, Strahlung, Wärme. Oldenburg, München, 5. Auflage 2007

FEYNMAN (II) 2007:

Feynman, Richard P. / Leighton, Robert B. / Sands, Matthew: Feynman-Vorlesungen über Physik. Band II: Elektromagnetismus und Struktur der Materie. Oldenburg, München, 5. Auflage 2007

FEYNMAN (III) 2007:

Feynman, Richard P. / Leighton, Robert B. / Sands, Matthew: Feynman-Vorlesungen über Physik. Band III: Quantenmechanik. Oldenburg, München, 5. Auflage 2007

FEYNMAN 2005:

Feynman, Richard P.: QED. Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie. Piper, München, 11. Auflage 2005

FEYNMAN 2012:

Feynman, Richard P.: Vom Wesen physikalischer Gesetze. Piper, München, 12. Auflage 2012

FLIEßBACH (I) 2007:

Fließbach, Torsten: Mechanik. Spektrum Akademischer Verlag, München, 5. Auflage 2007

FLIEßBACH (II) 1995:

Fließbach, Torsten: Quantenmechanik. Lehrbuch zur Theoretischen Physik III. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin und Oxford, 2. Auflage 1995

FÖRSTL 2012:

Förstl, Hans: Theory of Mind: Anfänge und Ausläufer. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 3-11

FUHRER/MARX/HOLLÄNDER/MÖBES 2000:

Fuhrer, Urs / Marx, Alexandra / Holländer, Antje / Möbes, Janine: Selbstentwicklung in Kindheit und Jugend. In: Greve, Werner (Hrsg.): Psychologie des Selbst. Beltz, Psychologie-Verlags-Union, Weinheim, 2000, S. 39-57

GALILEI 2004:

Galilei, Galileo: Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend. In: Hawking, Stephen: Die Klassiker der Physik. Ausgewählt und eingeleitet von Stephen Hawking. Hoffmann und Campe, Hamburg, 2004, S. 335-524

GELDSETZER 2008:

Geldsetzer, Lutz: Chinesische Philosophie. Reclam, Stuttgart, 2008

GENZ/DECKER 1991:

Genz, Henning / Decker, Roger: Symmetrie und Symmetriebrechung in der Physik. Vieweg, Braunschweig, 1991

GLEICK 2004:

Gleick, James: Isaac Newton. Die Geburt des modernen Denkens. Artemis & Winkler, Düsseldorf und Zürich, 2004

GOETHE 1996:

Goethe, Johann Wolfgang: Faust. Der Tragödie zweiter Teil. Reclam, Stuttgart, 1996

GOLEMAN 2009:

Goleman, Daniel: Ökologische Intelligenz. Wer umdenkt, lebt besser. Droemer, München, 2009

GREINER 2002:

Greiner, Walter: Klassische Elektrodynamik. Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 6. Auflage 2002

GREINER (I) 2003:

Greiner, Walter: Klassische Mechanik I. Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 7. Auflage 2003

GREINER/MÜLLER 2005:

Greiner, Walter / Müller, Berndt: Quantenmechanik. Symmetrien. Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 4. Auflage 2005

HARRISON 2010:

Harrison, Peter: The cultural authority of natural history in early modern Europe. In: Alexander, Dennis R. / Numbers, Roland L.: Biology and ideology from Descartes to Dawkins. The University of Chicago Press, Chicago, 2010, S. 11-35

HAWKING 2007:

Hawking, Stephen: Eine kurze Geschichte der Zeit. Spiegel, Hamburg, 2007

HAWKING 2004:

Hawking, Stephen: Die Klassiker der Physik. Ausgewählt und eingeleitet von Stephen Hawking. Hoffmann und Campe, Hamburg, 2004

HELD 1998:

Held, Carsten: Die Bohr-Einstein-Debatte. Quantenmechanik und physikalische Wirklichkeit. Schönigh, Paderborn, 1998

HELMHOLTZ 1983:

Helmholtz, Hermann: Über die Erhaltung der Kraft. Physik-Verlag, Weinheim, 1983

HEUSER 2005:

Heuser, Harro: Der Physiker Gottes. Isaac Newton oder Die Revolution des Denkens. Herder, Freiburg im Breisgau, 2005

HILDEBRANDT/TROMBA 1996:

Hildebrandt, Stefan / Tromba, Anthony: Kugel, Kreis und Seifenblasen. Optimale Formen in Geometrie und Natur. Birkhäuser, Basel, 1996

HOFFMANN 1997:

Hoffmann, Banesh: Einsteins Ideen. Das Relativitätsprinzip und seine historischen Wurzeln. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin und Oxford, 1997

HOLITSCHER 1965:

Holitscher, Walter: Die Natur im Weltbild der Wissenschaft. Globus Verlag, Wien, 3. Auflage 1965

HORN 2000:

Horn, Angelica: Das Experiment der Zentralperspektive. Filippo Brunelleschie und René Descartes. In: Niebel, Wilhelm Friedrich (Hrsg.) / Horn, Angelica (Hrsg.) / Schnädelbach, Herbert (Hrsg.): Descartes im Diskurs der Neuzeit. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1. Auflage 2000, S. 9-32

KANT 2003:

Kant, Immanuel: Kritik der praktischen Vernunft. Felix Meiner Verlag, Hamburg, 2003

KANITSCHIEDER 1991:

Kanitschieder, Bernulf: Kosmologie. Geschichte und Systematik in philosophischer Perspektive. Reclam, Stuttgart, 2. Auflage 1991

KAULBACH 1990:

Kaulbach, Friedrich: Philosophie des Perspektivismus. Wahrheit und Perspektive bei Kant, Hegel und Nietzsche. J.C.B. Mohr, Tübingen, 1990

KEENAN 2005:

Keenan, Julian Paul: Das Gesicht im Spiegel. Auf der Suche nach dem Ursprung des Bewusstseins. Ernst Reinhardt Verlag, München, 2005

KINNEBROCK 2011:

Kinnebrock, Werner: Bedeutende Theorien des 20. Jahrhunderts. Relativitätstheorie, Kosmologie, Quantenmechanik und Chaostheorie. Oldenburg, München, 3. Auflage 2011

KUHN 2012:

Kuhn, Thomas: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Suhrkamp, Frankfurt am Main, 23. Auflage 2012

KULL 1995:

Kull, Ulrich: Evolution und Optimierung. In: Kull, Ulrich (Hrsg.) / Ramm, Ekkehard (Hrsg.) / Reiner, Rolf (Hrsg.): Evolution und Optimierung. Strategien in Natur und Technik. Hirzel, Stuttgart, 1995, S. 11-61

LIDDLE 2009:

Liddle, Andrew: Einführung in die moderne Kosmologie. Wiley-VCH, 2009

LORENZEN 1960:

Lorenzen, Paul: Die Entstehung der exakten Wissenschaften. Springer, Berlin, Göttingen und Heidelberg, 1960

LORENZEN 1984:

Lorenzen, Paul: Elementargeometrie. Das Fundament der Analytischen Geometrie. Bibliographisches Institut, Mannheim, Wien und Zürich, 1984

MACH 1933:

Mach, Ernst: Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Brockhaus, Leipzig, 9. Auflage 1933

MAINZER 2012:

Mainzer, Klaus: Computer, künstliche Intelligenz und Theory of Mind: Modelle des Menschlichen? In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 135-148

MITSCHKA/STREHL 1979:

Mitschka, Arno / Strehl, Reinhard: Einführung in die Geometrie. Kongruenz- und Ähnlichkeitsabbildungen in der Ebene. Herder, Freiburg, 2. Auflage 1979

NASSEHI 2012:

Nassehi, Armin: Mentalizing theories oder theories of mentalizing? In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 39-52

NEUENSCHWANDER 2011:

Neuenschwander, Dwight E.: Emmy Noether's wonderful theorem. John Hopkins University Press, 2011

NEWEN/VOGELEY 2012:

Newen, Albert / Vogeley, Kai: Menschliches Selbstbewusstsein und die Fähigkeit zur Zuschreibung von Einstellungen. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 161-180

NEWTON 1983:

Newton, Isaac: Optik oder Abhandlung über Spiegelungen, Brechungen, Beugungen und Farben des Lichts. Vieweg, Braunschweig, 1983

NEWTON 2004:

Newton, Isaac: Mathematische Prinzipien der Naturlehre. In: Hawking, Stephen: Die Klassiker der Physik. Ausgewählt und eingeleitet von Stephen Hawking. Hoffmann und Campe, Hamburg, 2004, S. 637-958

PFEIFER 2009:

Pfeifer, Volker: Ethisch argumentieren. Eine Anleitung anhand von aktuellen Fallanalysen. Schöningh, Paderhorn, 2009

PIETSCHMANN 2003:

Pietschmann, Herbert: Quantenmechanik verstehen. Eine Einführung in den Welle-Teilchen-Dualismus für Lehrer und Studierende. Springer, Berlin und Heidelberg, 2003

PIETSCHMANN 2007:

Pietschmann, Herbert: Phänomenologie der Naturwissenschaft. Wissenschaftstheoretische und philosophische Probleme der Physik. Ibero/European University Press, 2. Auflage 2007

PLATON 2004:

Platon. Sämtliche Werke in drei Bänden. (Band II). Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2004

PLOOG 2012:

Ploog, Detlev: Ich, der andere und mein Wille. Anmerkungen zur Theory of Mind. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 429-440

POPPER 2005:

Popper, Karl R.: Logik der Forschung. Mohr Siebeck, Tübingen, 11. Auflage 2005

POPPER 2012:

Popper, Karl R.: Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis, Geschichte und Politik. Piper, München, 15. Auflage 2012

QUANTENUNIVERSUM:

Hey, Anthony / Walters, Patrick: Quantenuniversum. Die Welt der Wellen und Teilchen. Spektrum, Heidelberg, 1998

REBHAN (I) 2006:

Rebhan, Eckhard: Theoretische Physik: Mechanik. Spektrum Akademischer Verlag, München, 1. Auflage 2006

REBHAN 2008:

Rebhan, Eckhard: Theoretische Physik: Quantenmechanik. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2008

REBHAN (II) 2012:

Rebhan, Eckhard: Theoretische Physik: Relativitätstheorie und Kosmologie. Spektrum-Verlag, Berlin, 2012

REBHAN (III) 2010:

Rebhan, Eckhard: Theoretische Physik: Relativistische Quantenmechanik, Quantenfeldtheorie und Elementarteilchentheorie. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2010

ROSEBROCK 2010:

Rosebrock, Stephan: Geometrische Gruppentheorie. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2. Auflage 2010

RUSSELL 1988:

Russell, Bertrand: Philosophie des Abendlandes. Ihr Zusammenhang mit der politischen und der sozialen Entwicklung. Europaverlag, Wien und Zürich, 5. Auflage 1988

SALTZER 2000:

Saltzer, Walter G.: Zu Descartes' *Principia Philosophiae* und Newtons Axiomatik. In: Niebel, Wilhelm Friedrich (Hrsg.) / Horn, Angelica (Hrsg.) / Schnädelbach, Herbert (Hrsg.): Descartes im Diskurs der Neuzeit. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1. Auflage 2000, S. 33-50

SCHNEIDER 2006:

Schneider, Peter: Einführung in die extragalaktische Astronomie und Kosmologie. Springer, Berlin und Heidelberg, 2006

SCHÜTZ 2000:

Schütz, Astrid: Das Selbstgefühl als soziales Konstrukt: Befunde und Wege der Erfassung. In: Greve, Werner (Hrsg.): Psychologie des Selbst. Beltz, Psychologie-Verlags-Union, Weinheim, 2000, S. 189-207

SCHWABL 2007:

Schwabl, Franz: Quantenmechanik (QM I). Eine Einführung. Springer, Berlin und Heidelberg, 7. Auflage 2007

SHAKESPEAR 1999:

Shakespear, William: Hamlet. Reclam, Stuttgart, 1999

SHAKESPEAR 2003:

Shakespear, William: König Lear. Reclam, Stuttgart, 2003

SIMON 2000:

Simon, Josef: Descartes' >>cogito<< unter zeichenphilosophischem Aspekt. In: Niebel, Wilhelm Friedrich (Hrsg.) / Horn, Angelica (Hrsg.) / Schnädelbach, Herbert (Hrsg.): Descartes im Diskurs der Neuzeit. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1. Auflage 2000, S. 77-102

SODIAN/PERST/MEINHARDT 2012:

Sodian, Beate / Perst, Hannah / Meinhardt, Jörg: Entwicklung der Theory of Mind in der Kindheit. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 61-77

SOMMER/DÖHNEL/SCHUHWERK/HAJAK 2012:

Sommer, Monika / Döhnel, Katrin / Schuhwerk, Tobias / Hajak, Gören: Funktionell-neuroanatomische Grundlagen der Theory of Mind. In: Förstl, Hans (Hrsg.): Theory of Mind. Neurobiologie und Psychologie sozialen Verhaltens. Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg, 2. Auflage 2012, S. 89-102

SPINOZA 1987:

Spinoza, Benedictus de / Bartuschat, Wolfgang (Hrsg.)¹⁶⁸⁵: Descartes' Prinzipien der Philosophie auf geometrische Weise begründet mit dem „Anhang, enthaltend metaphysische Gedanken“. Felix Meiner Verlag, Hamburg, 6. Auflage 1987

STAMMEL 1982:

Stammel, Hans: Der Kraftbegriff in Leibniz' Physik. Dissertation Universität Mannheim. 1982

STÖCKLER 2013:

Stöckler, Manfred: Demokrits Erben. Der Atomismus zwischen Philosophie und Physik. In: Esfeld, Michael (Hrsg.): Philosophie der Physik. Suhrkamp, Berlin, 4. Auflage 2013, S. 137-157

SZABO 1987:

Szabó, István: Geschichte der mechanischen Prinzipien und ihrer wichtigsten Anwendungen. Birkhäuser, Basel, Boston und Berlin, 3. Auflage 1987

TARASSOW 1993:

Tarassow, Lev: Symmetrie, Symmetrie! Strukturprinzipien in Natur und Technik. Spektrum, Heidelberg, 1993

TIPLER/MOSCA 2009:

Tipler, Paul A / Mosca, Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Spektrum, Heidelberg, 6. Auflage 2009

TIPLER/LLEWELLYN 2010:

Tipler, Paul A. / Llewellyn, Ralph A.: Moderne Physik. Oldenburg, München, 2. Auflage 2010

ULRICH/EKKEHARD/ROLF 1995:

Kull, Ulrich (Hrsg.) / Ramm, Ekkehard (Hrsg.) / Reiner, Rolf (Hrsg.): Evolution und Optimierung. Strategien in Natur und Technik. Hirzel, Stuttgart, 1995, S. 7-9

ÜBER DEN ÄTHER IN DER PHYSIK:

Schröder, Wilfried (HRSG.): Über den Äther in der Physik. (Bemerkungen zur Diskussion zwischen Albert Einstein, Gustav Mie und Emil Wiechert). Science Edition, Bremen-Rönnebeck, 2001

VOLTAIRE 1997:

Voltaire / Wahsner, Renate (Hrsg.) / Borzeszkowski, Horst-Heino von (Hrsg.): Elemente der Philosophie Newtons. Verteidigung des Newtonianismus. Die Metaphysik des Neuton. Walter de Gruyter, Berlin, 1997

¹⁶⁸⁵ Übersetzt von Artur Buchenau. Einleitung und Anmerkung von Wolfgang Bartuschat.

VOLTAIRE 2006:

Voltaire / Sander Ernst (übers. u. Nachw.): Candid oder die Beste der Welten. Reclam, Stuttgart, 2006

WAGNER/REISCHL/STEINER 2010:

Wagner, Paul E. / Reischl, Georg P. / Steiner, Gerhard: Einführung in die Physik. Facultas, Wien, 2010

WEINRICH 1998:

Weinrich, Klaus: Die Lichtbrechung in den Theorien von Descartes und Fermat. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 1998

WEISCHEDEL 1989:

Weischedel, Wilhelm: 34 große Philosophen in Alltag und Denken. Die philosophische Hintertreppe. Nymphenburger, München, 12. Auflage 1989

WOHLERS 2002:

Wohlers, Christian: Wie unnützlich ist Descartes? Zur Frage metaphysischer Wurzeln der Physik. Königshausen & Neumann, Würzburg, 2002

WÖHRLE 2009:

Wöhrle, Georg (Hrsg.) / Strohmaier, Gotthard: Die Milesier: Thales. Walter de Gruyter GmbH & Co, Berlin, 2009

ZEH 2005:

Zeh, H. Dieter: Entropie. Fischer, Frankfurt am Main, 2005

ZEH 2012:

Zeh, H. Dieter: Physik ohne Realität: Tiefsinn oder Wahnsinn? Springer, Berlin und Heidelberg, 2012

Schulbuchquellen:

APOLIN (6) 2008:

Apolin, Martin: Big Bang 6. ÖBV, Wien, 1. Auflage 2008

APOLIN (7) 2008:

Apolin, Martin: Big Bang 7. ÖBV, Wien, 1. Auflage 2008

APOLIN (8) 2008:

Apolin, Martin: Big Bang 8. ÖBV, Wien, 1. Auflage 2008

DUDEN SCHULWISSEN:

MEYER, Lothar / Schmidt, Gerd-Dietrich: Duden. Schulwissen Physik 5. bis 10. Klasse. Dudenverlag, Mannheim, 2. Auflage 2011

SCHÜLERDUDEN PHILOSOPHIE 2002:

Krüger, Heike et. al.: Schülerduden Philosophie. Dudenverlag, Mannheim, 2. Auflage 2002

SCHÜLERDUDEN PHYSIK 2004:

Bergmann, Martin et. al.: Schülerduden Physik. Dudenverlag, Mannheim, 5. Auflage 2004

SEXL (7) 2012:

Roman U. Sexl et al.: Physik 7. Für die 7. und 8. Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen. ÖBV, Wien, 2012

SEXL (8) 2007:

Roman U. Sexl et al.: Physik 8. Für die 7. und 8. Klasse der allgemein bildenden höheren Schulen. ÖBV, Wien, 2007

Internetquellen:

ATOM- UND MOLEKÜLPHYSIK SKRIPT:

Bloch, Immanuel:

http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.quantum-munich.de%2Ffileadmin%2Fmedia%2Flecturenotes%2FSS2010_Atomphysik-DISABLE%2FAtomphysik.pdf&ei=yMG7U6nYBY-Q4gSG8oHgDg&usq=AFQjCNH1TiJoLEKtK_DJ88SI9VhriKluiw (08.07.2014, 11:20)

BILD: BERTRAND RUSSELL:

<http://www.geistundgegenwart.de/2013/06/fuhle-dich-keiner-sache-absolut-gewiss.html>
(05.07.2014, 14:40)

BILD: KARL-OTTO APEL:

http://www.karl-otto-apel.de/deut_home.htm (05.07.2014, 14:45)

BILD: KARL POPPER:

<http://euterpe.blog.br/page/20> (05.07.2014, 14:50)

BILD: HANS ALBERT:

<http://www.parlament.gv.at/SERV/FOTO/VER/502668/2984984.shtml> (05.07.2014, 14:55)

BILD: RENÉ DESCARTES:

http://en.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes (05.07.2014, 16:00)

BILD: JOHANNES KEPLER:

http://de.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler#mediaviewer/Datei:Johannes_Kepler_1610.jpg
(05.07.2014, 16:05)

BILD: PIERRE DE FERMAT:

<http://kids.britannica.com/comptons/art-142197/Pierre-de-Fermat-portrait-by-Roland-Lefevre-in-the-Narbonne> (05.07.2014, 16:10)

BILD: ERNST MACH:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Ernst_Mach#mediaviewer/Datei:Mach,_Ernst_\(1905\).jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Ernst_Mach#mediaviewer/Datei:Mach,_Ernst_(1905).jpg) (05.07.2014, 16:15)

BILD: GALILEO GALILEI:

http://de.wikiquote.org/wiki/Galileo_Galilei#mediaviewer/Datei:Galileo-sustermans.jpg (05.07.2014, 16:20)

BILD: ISAAC NEWTON:

http://de.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton#mediaviewer/Datei:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg (05.07.2014, 16:25)

BILD: STEPHEN HAWKING:

http://photoblog.nbcnews.com/_news/2012/01/06/10013730-remembering-stephen-hawkings-zero-g-journey (05.07.2014, 16:30)

BILD: LOUIS DE BROGLIE:

http://de.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie#mediaviewer/Datei:Broglie_Big.jpg (05.07.2014, 16:35)

BILD: MAX PLANCK:

<http://planck.bbaw.de/> (05.07.2014, 16:40)

BILD: EMMY NOETHER:

http://en.wikipedia.org/wiki/Emmy_Noether#mediaviewer/File:Noether.jpg (05.07.2014, 16:40)

BILD: NIKOLAUS KOPERNIKUS:

Quelle: <http://www.spiegel.de/fotostrecke/nikolaus-kopernikus-revoluzzer-wider-willen-fotostrecke-47540-2.html> (05.07.2014, 16:45)

BILD: ERWIN SCHRÖDINGER:

<http://topyaps.com/top-10-interesting-facts-about-erwin-schrodinger> (05.07.2014, 16:50)

BILD: ALBERT EINSTEIN:

<http://www.celebratingeinstein.com/pictures.php> (05.07.2014, 16:55)

BILD: RICHARD FEYNMAN:

http://it.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman#mediaviewer/File:RichardFeynman-PaineMansionWoods1984_copyrightTamikoThiel_bw.jpg (05.07.2014, 17:00)

BILD: MURRAY GELL-MANN:

<http://www.achievement.org/autodoc/photocredit/achievers/gel0-003> (05.07.2014, 17:05)

BILD: WERNER HEISENBERG:

<http://the-history-of-the-atom.wikispaces.com/Werner+Heisenberg> (05.07.2014, 17:10)

BILD: PAUL DIRAC:

http://en.wikiquote.org/wiki/Paul_Dirac (05.07.2014, 17:15)

CASSING:

CASSING, WOLFGANG: theorie.physik.uni-giessen.de/documents/skripte/Cassing_Mechanik.pdf
(04.07.2014, 14:40)

CLARKE 1977:

Clarke, Desmond M.: The Impact Rules of Descartes' Physics.
<http://www.jstor.org/discover/10.2307/230373?uid=3737528&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&sid=21104412106363> (02.07.2014, 13:50)

COOLEY 1902:

Cooley, Charley Horton: Human nature and the social order. Scribner, New York, 1902.
<https://archive.org/details/humannaturesocia00cooluoft> (01.07.2014, 12:50)

DIDAKTIK DER SRT:

<https://www.yumpu.com/de/document/view/25335808/didaktik-der-relativitatstheorie-v20-didaktik-der-physik> (04.07.2014, 14:45)

DIE ERSTAUSGABE DES DIALOGS:

<http://www.library.ethz.ch/exhibit/galilei/galileoa1.html> (02.07.2014, 13:25)

EDISON ZITAT:

http://www.focus.de/wissen/mensch/geschichte/erfindungen/tid-5352/gluehbirne_aid_51240.html
(02.07.2014, 13:05)

EINSTEIN (06. / 1905): Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.

EINSTEIN (08. / 1905): Zur Elektrodynamik bewegter Körper.

EINSTEIN (09. / 1905): Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?

EINSTEIN (12. / 1906): Zur Theorie der Lichtezeugung und Lichtabsorption.

EINSTEIN (13. / 1906): Das Prinzip von der Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und die Trägheit der Energie.

EINSTEIN (15. / 1907): Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme.

EINSTEIN (20. / 1907): Über die vom Relativitätsprinzip geforderte Trägheit der Energie.

EINSTEIN (21. / 1908): Über die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte Körper.

All diese Dateien bzw. Arbeiten von Einstein sind zu finden unter: <http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/Einstein-in-AdP.htm> (01.07.2014, 12:00)

EINSTEIN (AN MAX BORN):

<http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww-thphys.physics.ox.ac.uk%2Fpeople%2FJohnCardy%2Fseminars%2Fborn1.pdf&ei=7eG6U9LfBbCg7AaAmYGoCQ&usq=AFQjCNG0naAKqpyreuZaUSN8YS4fnfclng> (06.07.2014, 16:20)

EINSTEIN (NEW YORK TIMES):

http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Obits2/Noether_Emma_Einstein.html (04.07.2014, 14:25)

FLIEßBACH (NOETHER-THEOREM):

<http://www2.uni-siegen.de/~flieba/pdf/noether.pdf> (04.07.2014, 14:30)

GALILEI 1891:

Galilei, Galileo / Emil Strauss (übers. u. erläut.): Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische. Teubner, Leipzig, 1891.

<https://archive.org/details/dialogberdiebe00galiuoft> (01.07.2014, 12:35)

GEOMETRIE DER RELATIVITÄTSTHEORIE:

Dragon, Robert: Geometrie der Relativitätstheorie. www.itp.uni-hannover.de/~dragon/stonehenge/relativ.pdf (05.07.2014, 15:05)

GOETHE (I) 1948:

Goethe, Johann Wolfgang: Zur Farbenlehre.

<http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Naturwissenschaftliche+Schriften/Zur+Farbenlehre/Materialien+zur+Geschichte+der+Farbenlehre/5.+Abteilung.+Siebzehntes+Jahrhundert/Renatus+Cartesius> (01.07.2014, 10:00)

GOETHE (II) 1948:

Goethe, Johann Wolfgang: Zur Farbenlehre.

<http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Naturwissenschaftliche+Schriften/Zur+Farbenlehre/Anzeige+und+%C3%9Cbersicht+des+Goethischen+Werkes+zur+Farbenlehre/Historischer+Teil> (01.07.2014, 09:00)

GOETHE (III) 1960:

[http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Gedichte/Gedichte+\(Ausgabe+letzter+Hand.+1827\)/Epigrammatisch/Spruch,+Widerspruch](http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Gedichte/Gedichte+(Ausgabe+letzter+Hand.+1827)/Epigrammatisch/Spruch,+Widerspruch) (06.07.2014, 15:10)

GOETHE (IV) 1960:

[http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Gedichte/Gedichte+\(Ausgabe+letzter+Hand.+1827\)/Epigrammatisch/Demut](http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Gedichte/Gedichte+(Ausgabe+letzter+Hand.+1827)/Epigrammatisch/Demut) (06.07.2014, 15:15)

GOETHE (V) 1948:

<http://www.zeno.org/Literatur/M/Goethe,+Johann+Wolfgang/Autobiographisches/Aus+meinem+Leben.+Dichtung+und+Wahrheit/Dritter+Teil/Elftes+Buch> (08.07.2014, 15:20)

HEGEL 1979:

[http://www.zeno.org/Philosophie/M/Hegel,+Georg+Wilhelm+Friedrich/Wissenschaft+der+Logik/Erster+Teil.+Die+objektive+Logik/Erstes+Buch%3ADie+Lehre+vom+Sein/Erster+Abschnitt%3ABestimmtheit+\(Qualit%C3%A4t\)/Erstes+Kapitel%3ASein/C.+Werden/c.+Aufheben+des+Werdens](http://www.zeno.org/Philosophie/M/Hegel,+Georg+Wilhelm+Friedrich/Wissenschaft+der+Logik/Erster+Teil.+Die+objektive+Logik/Erstes+Buch%3ADie+Lehre+vom+Sein/Erster+Abschnitt%3ABestimmtheit+(Qualit%C3%A4t)/Erstes+Kapitel%3ASein/C.+Werden/c.+Aufheben+des+Werdens) (08.07.2014, 16:25)

HEIKO:

Knechtel, Heiko: Mathematikunterricht mit Computeralgebrasystemen: Gedanken zu didaktischen Prinzipien, methodischen Folgerungen und neuen algebraischen Kompetenzen. www.uni-muenster.de/IVV5DM/madin/weigandh/cimu/media/nli.pdf (02.07.2014, 13:10)

HOLOGRAPHISCHE PRINZIP:

<http://www.holoversum.org/modules.php?name=Content&pid=9> (05.07.2014, 15:00)

HÖLDERLIN:

Hegel, Georg Wilhelm Friedrich / Hölderlin, Friedrich / Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph: [Das älteste Systemprogramm des deutschen Idealismus.]

<http://www.zeno.org/Literatur/M/H%C3%B6lderlin,+Friedrich/Theoretische+Schriften/%5BDas+%C3%A4lteste+Systemprogramm+des+deutschen+Idealismus%5D> (01.07.2014, 12:40)

IBN SAHL:

<http://www.historyofinformation.com/expanded.php?id=2413> (02.07.2014, 13:15)

JAMES 1890:

James, William: The principles of psychology. Henry Holt & Co, 1890.

<https://archive.org/details/theprinciplesofp01jameuoft> (01.07.2014, 12:45)

KUPFERSTICH VON STEFANO DELLA BELLA (1610-1664):

http://de.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei#mediaviewer/Datei:Galilei-weltsysteme_1-621x854.jpg (02.07.2014, 13:20)

LEIFIPHYSIK (KEPLER GESETZE):

<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/weltbilder-keplersche-gesetze> (03.07.2014, 13:35)

MACH 1917:

Mach, Ernst: Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung. Barth, Leipzig, 3. Auflage 1917. <http://www.zeno.org/Philosophie/M/Mach,+Ernst/Erkenntnis+und+Irrtum> (01.07.2014, 12:30)

MAUPERTUIS (BIOGRAPHIE I):

http://www.preussenchronik.de/person_jsp/key=person_pierre+louis+moreau+de_maupertuis.html
(05.07.2014, 12:15)

MAUPERTUIS (BIOGRAPHIE II):

<http://www.deutsche-biographie.de/sfz59203.html> (05.07.2014, 12:20)

NATURE (I):

<http://www.nature.com/news/physics-quantum-quest-1.13711> (06.07.2014, 15:15)

NEWTON (I):

<https://archive.org/stream/newtonspmathema00newtrich#page/n67/mode/2up> (04.07.2014, 10:00)

NEWTON (II):

http://books.google.at/books?id=UsXAJAB2mPQC&pg=PA21&lpg=PA21&dq=die+mathematischen+prinzipien+der+physik&source=bl&ots=0h1F1-1hfH&sig=cYybgynBiHoMXIAPvvxLyBxvfyA&hl=de&sa=X&ei=SOe3U_6lPOLF7Ab_koHoDg&sqi=2&ved=0CCoQ6AEwAg#v=onepage&q=die%20mathematischen%20prinzipien%20der%20physik&f=false
(04.07.2014, 14:20)

NEWTONPROJECT (I):

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/prism.php?id=45> (03.07.2014, 13:40)

NEWTONPROJECT (II):

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00039> (03.07.2014, 13:45)

NEWTONPROJECT (III):

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00051> (03.07.2014, 13:50)

NEWTONPROJECT (IV):

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/catalogue/record/NATP00055> (03.07.2014, 13:55)

NEWTONPROJECT (V):

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/normalized/NATP00070> (03.07.2014, 14:00)

NEWTONPROJECT (VI):

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/prism.php?id=46> (03.07.2014, 14:05)

NEWTONPROJECT (VII):

<http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/prism.php?id=44> (03.07.2014, 14:10)

NOBELPREIS 2011:

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/ (04.07.2014, 14:35)

PFADINTEGRALMETHODE (I):

theory.gsi.de/~vanhees/faq-pdf/Pfadintegrale.pdf (08.07.2014, 11:25)

PFADINTEGRALMETHODE (II):

<http://scienceblogs.de/hier-wohnen-drachen/2011/10/17/qft-fur-alle-vom-doppelspalt-zum-pfadintegral/> (08.07.2014, 11:30)

PIERRE DE FERMAT (1934):

<https://www.uni-due.de/imperia/md/content/didmath/ag.../fermat.pdf> (08.07.2014, 16:40)

RAMACHANDRAON/WILLIAM (1998)

Ramachandran, W.S. / Hirstein, William. The perception of phantom limbs. 1998,
<http://brain.oxfordjournals.org/content/121/9/1603.full.pdf+html?sid=608b7a71-b36e-41aa-8a4d-b78a95b2663e> (07.07.2014, 18:20)

SCHRÖDINGER (I) 1926:

Schrödinger, Erwin: Quantisierung als Eigenwertproblem. (Erste Mitteilung). In: Annalen der Physik. Leipzig, 1926, S. 361-376. <http://www.zbp.univie.ac.at/digitallibrary/view.asp?id=185> (01.07.2014, 11:00)

SCHRÖDINGER (II) 1926:

Schrödinger, Erwin: Quantisierung als Eigenwertproblem. (Zweite Mitteilung). In: Annalen der Physik. Leipzig, 1926, S. 489-527. <http://www.zbp.univie.ac.at/digitallibrary/view.asp?id=185> (01.07.2014, 11:05)

SCHRÖDINGER (III) 1926:

Schrödinger, Erwin: Quantisierung als Eigenwertproblem. (Dritte Mitteilung). In: Annalen der Physik. Leipzig, 1926, S. 437-490. <http://www.zbp.univie.ac.at/digitallibrary/view.asp?id=185> (01.07.2014, 11:10)

SCHRÖDINGER (IV) 1926:

Schrödinger, Erwin: Quantisierung als Eigenwertproblem. (Vierte Mitteilung). In: Annalen der Physik. Leipzig, 1926, S. 109-139. <http://www.zbp.univie.ac.at/digitallibrary/view.asp?id=185> (01.07.2014, 11:15)

SHAKESPEAR:

http://www.shakespeare-online.com/plays/lear_1_2.html (03.07.2014, 14:15)

SHAPIRO EFFEKT:

<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/shapiro-effekt/13248> (05.07.2014, 14:50)

SHAPIRO EFFEKT ANIMATION:

<https://einstein.stanford.edu/Media/ShapiroDelay-Flash.html> (05.07.2014, 14:55)

SIMULATION ZU DEN KEPLERGESETZEN:

<http://arxiv.org/abs/1307.5830> (03.07.2014, 13:35)

SPEKTRUM (I):

<http://www.spektrum.de/alias/theoretische-physik/die-quantenherausforderung/1208495>
(07.07.2014, 15:15)

SPEKTRUM (II):

Esfeld, Michael. 2011. Das Wesen der Natur. In: Spektrum der Wissenschaft.
www.spektrum.de/artikel/1069971 (02.07.2014, 13:00)

SPRÜSSEL 2004:

Sprüssel, Phillipp: Der Fürst der Amateure. www.hs.uni-hamburg.de/DE/GNT/seminar/pdf/fermat.pdf (05.07.2014, 16:45)

TIMES (wählt Einstein zur Person des 20. Jahrhunderts):

<http://content.time.com/time/magazine/article/0,9171,993017,00.html> (01.07.2014, 13:00)

WIELEITNER (1929):

Wieleitner, Heinrich: Bemerkungen zu Fermats Methode der Aufsuchung von Extremwerten und der Bestimmung von Kurventangenten. <http://gdz.sub.uni-goettingen.de/dms/load/img/?PPN=GDZPPN002128632&IDDOC=248639> (07.07.2014, 18:00)

WINKELMANN:

Winkelmann, Adolph (Hrsg.): Handbuch der Physik.
<https://archive.org/details/handbuchderphys02auegoog> (04.07.2014, 10:00)

ZEILINGER 1996:

Zeilinger, Anton: On the Interpretation and Philosophical Foundation of Quantum Mechanics. 1996.
<http://vcq.quantum.at/research/people/anton-zeilinger/read-some-texts.html> (08.03.2014, 12:35)

ZEILINGER 1999:

Zeilinger, Anton: A Foundational Principle for Quantum Mechanics. 1999.
<http://vcq.quantum.at/research/people/anton-zeilinger/read-some-texts.html> (08.03.2014, 12:35)

Allgemein möchte ich im Zusammenhang mit den Quellenangaben an dieser Stelle nicht unerwähnt lassen, dass *ich mich bemüht habe, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit einzuholen. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.*

Danksagung

Zu aller erst möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, deren Werke mir bei meiner Arbeit sehr geholfen haben. Ein Blick auf das Literatur- und Quellenverzeichnis genügt, um zu sehen, dass ich auf den Schultern von Riesen sitzen durfte. Diese großen Persönlichkeiten und ihre Arbeiten ermöglichten eine Perspektive, welche ich versucht habe, in dieser Arbeit wiederzugeben. Ob sie für Andere von Nutzen sein wird, oder nicht, das kann und wird die Zukunft zeigen...

Des Weiteren bin ich meinem Diplomarbeitsbetreuer *ao. Univ.-Prof. Dr. Bernhard Baumgartner* in großer Dankbarkeit verpflichtet. Ohne seiner Güte, seiner Geduld und seiner Weisheit hätte diese Arbeit wohl niemals entstehen können. Durch sein Vertrauen in mich, bekam ich erst die Möglichkeit, mich mit diesen Themen selbstständig auseinanderzusetzen. Rückblickend betrachtet kann ich heute sagen, dass ich keinen besseren Diplomarbeitsbetreuer hätte haben können. Glückliche und geehrte bin ich, dass ich diese Arbeit bei ihm abgeben darf.

Besonderen Dank schulde ich auch *Mag. Sarah Mirna Bakk.*, die meine ganze Diplomarbeit, ohne Mühen zu scheuen, durchgelesen und die Rechtschreibung korrigiert hat. Ihre Unterstützung – auch im alltäglichen Leben – haben Vieles bei der Entstehung der Arbeit erleichtert.

Letzten Endes möchte ich mich bei meiner Familie bedanken und bei allen, die mich als einen Teil ihrer Familie ansehen. Genau genommen bin ich eigentlich dankbar für alles, was mich umgibt, seien es die Menschen, die Natur, die Welt oder der ganze Kosmos.

Anhang: Abstract und Lebenslauf

Abstract

Die Arbeit setzt sich mit den „Grundlagen“ bzw. „Prinzipien“ der *Philosophie*, der *Psychologie* und der *Physik* auseinander. Die *Einleitung* (und das *Inhaltsverzeichnis*) geben dem Leser dabei einen kurzen Überblick über den Inhalt.

Lebenslauf

SCHULISCHER WERDEGANG:

	Volksschule (teilweise in der Türkei) u. Hauptschule in Österreich (Abschluss: <i>Ausgezeichneter Erfolg</i>)
2000-2006	BORG Mittersill <ul style="list-style-type: none">• Schulsprecherstellvertreter• Der Zeichner der <i>Libelle</i> als „Markenzeichen“ für den Nationalpark: <i>Wasenmoos</i>. (www.alpen-mooralianz.eu/libelle)• Reifeprüfung mit einer Fachbereichsarbeit in Philosophie mit dem Thema: <i>Schöpfung ohne Schöpfer</i>.
Seit WS 2007	Studium für das Lehramt Physik, Psychologie & Philosophie <i>Während des Studiums angestellt als Tutor an der Uni Wien für die folgenden VO:</i> <ul style="list-style-type: none">• SS 2011 <i>Prinzipien der modernen Physik</i>• WS 2011/12 <i>Physik der Materie I</i>• SS 2012 <i>Prinzipien der modernen Physik</i>• WS 2012/13 <i>Physik der Materie I</i>• WS 2012 <i>Einführung in die Physikalischen Rechenmethoden</i> <i>Andere Aktivitäten an der Fakultät für Physik in Wien:</i> <ul style="list-style-type: none">• (gewählter) Mitglied der Studentenvertretung für Physik• Journaldienst

Beruflicher Werdegang:

Seit 2011	Oberstufenlehrer für Physik an der ORG Hegelgasse 14 (im 1. Bezirk Wien)
2013/2014	Mathematiktrainer für WIFI