

Wissenschaftstheorie II

Die Entwicklung wissenschaftlichen Denkens in der Neuzeit
WS 2004/05

U. Mortensen
FB Psychologie und Sportwissenschaften, Institut III
Westfälische Wilhelms Universität

Letzte Änderung: 15. 06. 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Die Entwicklung wissenschaftlichen Denkens in der Neuzeit	3
2.1	Giordano Bruno (1548 - 1600)	3
2.2	Johannes Kepler (1571 - 1630)	8
2.3	Galileo Galilei (1564 - 1642)	13
2.4	Francis Bacon (1561 - 1626)	21
2.5	Pierre Gassendi (1592 - 1655)	24
2.6	René Descartes (1596 - 1650)	24
2.7	John Locke (1632 - 1704)	29
2.8	Isaac Newton (1642 - 1727)	31
2.8.1	Dynamik und der Kraftbegriff	33
2.8.2	Das allgemeine Gravitationsgesetz	39
2.8.3	Absoluter Raum und absolute Zeit	42
2.8.4	Gesetze und Erklärungen	51
2.9	George Berkeley (1685 - 1753)	53
2.10	David Hume (1711 - 1776)	54
2.11	Immanuel Kant (1724 - 1804)	57
3	Die Rolle religiöser Reformen	68
4	Chemikalien, die Medizin und das Phlogiston	70
4.1	Anatomie, Blutkreislauf, und Linsen	70
4.2	Krankheit, Alchemie und Iatrochemie	74
4.3	Phlogiston	80
5	Zusammenfassung	83
	Literatur	85
	Index	87

1 Einführung

Das eigentliche Thema der Vorlesung ist die Wissenschaftstheorie. Aber wissenschaftstheoretische Vorstellungen sind oft an erkenntnistheoretische Vorstellungen geknüpft. Deswegen werden nicht nur wissenschaftstheoretische, sondern auch erkenntnistheoretische Positionen beschrieben. (J. Locke, G. Berkeley, D. Hume, I. Kant). Wissenschaftler haben i.a. nicht Wissenschaftstheorie studiert, bevor sie mit ihrer Arbeit begannen. Ihre theoretischen Vorstellungen oder einfach auch nur Begriffsbildungen zur Charakterisierung empirischer Beobachtungen hingen oft von Überzeugungen ab, die sich ausgebildet haben, bevor sie mit wissenschaftlicher Arbeit begannen. Die folgenden Abschnitte illustrieren diesen Sachverhalt. Die Ablösung der Phlogistontheorie und die Formulierung der Sauerstofftheorie zur Verbrennung sind zu einem Paradebeispiel für den Wechsel theoretischer Vorstellungen geworden (Kuhn (1962)); dieser Abschnitt illustriert ebenfalls das Wechselspiel von anscheinend verifizierenden oder falsifizierenden Beobachtungen anhand geplanter Experimente.

2 Die Entwicklung wissenschaftlichen Denkens in der Neuzeit

2.1 Giordano Bruno (1548 - 1600)

Einführung: In der mittelalterlichen Philosophie (Scholastik) hatte die Philosophie des Aristoteles, der durch Averroes (Ibn Rushd) den Philosophen wieder zugänglich gemacht worden war, einen kanonischen Rang bekommen; Fragen wurden durch Hinweis auf "den Philosophen" - Aristoteles - aus dessen Lehren, die selbst nicht mehr hinterfragt wurden, abgeleitet. Allerdings läßt sich philosophisches Denken nicht dauerhaft kanonisieren. Nach Aristoteles geht jede Bewegung, jede Veränderung letztlich auf den außerhalb der Welt stehenden Unbewegten Bewegter zurück. Die Natur, d.h. die Materie, ist selbst ohne eigene gestaltende Kraft, sie hat nur "Potenz", d.h. Möglichkeit. Die Form muß hinzukommen, um die Möglichkeit in Aktualität zu transformieren.

Das Nachdenken u.a. über das Wesen Gottes führt aber auf alternative Ideen, etwa die, dass Gott in allem enthalten ist und als Idee wirkt. Die aristotelische Unterscheidung zwischen Form, Materie und Potenz erscheint als zweideutig: Potenz steht einerseits für das Mögliche, also für Ereignisse oder Entwicklungen, die eintreten können, andererseits für eigenständiges Etwas, das aus sich selbst heraus der Verwirklichung entgegenstrebt (Cassirer, s. unten). Bei einigen einflussreichen Denkern, etwa dem Philosophen, Theologen und Mathematiker Nicolaus von Kues (geboren 1401 in Berncastel-Kues, gestorben 1464 in Todi, Italien) führt dieser Gedanke zu einer Rückbesinnung auf Platon und auf die Rolle der Mathematik zu Erklärung der Welt. Neuplatonische Ideen finden sich auch bei Agrippa von

Nettesheim (1486 in Köln, 1535 in Grenoble), der lehrte, dass die Naturgesetze sich aus der Natur selbst heraus ergeben, und der Zugang zu diesen Gesetzen ergebe sich auch aus der Astrologie, der Magie, der Kabbalistik und natürlich auch aus der Alchemie. So wird er schließlich auf den Begriff des Weltorganismus geführt, der durch ihm innewohnende, selbstständige Gesetze geleitet wird.

Wesentlich für diesen Gedanken ist die Frage, was die physikalische Kraft ausmacht: Thomas Campanello (1568-1639) fand, dass die Kraft kein Produkt des Seins, sondern dessen notwendige Voraussetzung sei. Sieht man empirisch auf die Welt, d.h. auf die räumlich und zeitlich ausgedehnten Dinge, so scheinen ihnen Kräfte gewissermaßen als "Samen" innewohnen. Diese Auffassung führt wiederum zur Kritik am Aristotelischen Substanzbegriff (Cassirer, 1994):

Patrizzi:¹ "Man eröffne uns endlich jenes Allerheiligste, jenes Geheimnis aller Geheimnisse, von dem beständig die Rede ist, ohne dass es uns jemals vor Augen gestellt wird. Was ist die Substanz? Nach der Sache, nicht nach dem Namen frage ich. Um zu erfahren, ob die Form in Wirklichkeit, nicht nur dem Namen nach, die Substanz bildet. Gibt aber - so frage ich weiter - nur die Form dem Dinge das Sein oder auch die Materie? Beides, entgegnet man, nur gibt die Materie lediglich ein potentielles, die Form dagegen das aktuelle Sein."

Man kann von dem Ansatz ausgehen, dass die Qualitäten des Warmen und Kalten, des Feuchten und des Trockenem, des Schweren und des Leichten den Körpern ihre spezifische Seinsart geben; aber:

"Man zaudert lange; endlich aber erwidert man, die Form sei das, was das Wesentliche in einer Sache bilde und woraus ihre eigentümlichen Betätigungsweisen entspringen."

Andererseits ist aber doch die Wärme wesentlich für das Feuer; die anderen Eigenschaften des Feuers: das Wärmen, das Dörren, das Verdünnen etc ergeben sich aus der Wärme. Also ist die Wärme die "Form" des Feuers, die sich damit als eine Akkumulation von "Accidentien" auflöst.

"Wenn die Aristoteliker uns alle diese Schwierigkeiten lösen, so wollen wir uns gern vor der Subtilität ihrer Philosophie beugen; lösen sie es nicht, so mögen sie die Richtigkeit unseres Schlusses zugestehen. Man gebe uns endlich nach so viel Jahrhunderten eine allgemeingültige Definition der Substanz, oder man höre auf in der Philosophie jene einförmige alte Weise zu wiederholen: die Form ist die Substanz, weil sie das Wesentliche in der Sache abbildet, weil sie Tätigkeiten, die der Sache eigentümlich sind, hervorbringt, weil sie dem Dinge das Sein gibt, weil sie das Was², den Vernunftbegriff, die Definition

¹ Der italienische Philosoph Francesco Patrizzi (auch: Franciscus Patritius) (1529 – 1597) war ein entschiedener Gegner des Aristotelismus, wie er während der Renaissance aktiviert wurde. Patrizzi entwarf ein naturphilosophisch-physikalisches Weltbild, in dem Wunder keinen Platz haben. Die unendliche Welt ist durchgängig vom göttlichen Lebenshauch (Pneuma) belebt. Oberstes Prinzip ist das Urlicht. Pneuma und Urlicht vermitteln zwischen Geistigem und Körperlichem. Indem vermittelt wird, wird auch belebt. Durch das in die Körperwelt hinein-scheinende Urlicht wird die Körperwelt schön.

²In der mittelalterlichen Philosophie ist auch von der "Quidditas", also der "Washeit" die Rede.

des Gegenstandes enthält.”

So wird die aristotelische ”Potenz” von der unbestimmten Möglichkeit zu einer ”inneren Spannung”, die zu einer Umbildung drängt. Diese Auffassung wird u.a. von Giordano Bruno vertreten, dessen Philosophie nun etwas ausführlicher dargestellt werden soll.

Giordano Bruno (1548 - 1600) ging im Alter von 13 Jahren in die Schule des Klosters Sankt Domenico, in dem schon Thomas von Aquin gelehrt hatte. Bruno wurde selbst Dominikaner, verließ den Orden aber bald wieder, weil er die Kirchenlehre nicht akzeptieren konnte. Er wurde der Ketzerei beschuldigt, flüchtete und lebte zunächst in Oberitalien, dann in Genf (wo er für eine zeitlang Kalviner wurde), und von dort ging es nach Toulouse, Paris, London (wo er von Elizabeth I zum Tee geladen wurde), anschließend lebte er im ”Reich”, d.h. in Marburg, in Wittenberg, wo er sich dem Lutheranismus anschloß, dann in Prag, Helmstedt und in Frankfurt am Main. Er verdiente sich seinen Unterhalt zum Teil als Hochschullehrer und schrieb Bücher, teils in Latein, teils auf italienisch.

Bruno kannte die Kritik an Aristoteles (s. oben) und teilte sie. Er begeisterte sich für die neue kopernikanische Lehre, die er verallgemeinern wollte. Statt des bloßen Daseins muß das Werden, statt des Raumes muß die Zeit in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt werden. Aus der Entfaltung des Materiellen ergibt sich ein Streben nach dem Unendlichen, und so wird das Verhältnis vom Endlichen zum Unendlichen zum Grundproblem seiner Metaphysik. Der Begriff der Entwicklung verleiht der Materie immer neuen Sinn. Die Materie erhält ihre Gestalt nicht von außen, sondern aus dem eigenen Inneren. Nicht die Form zwingt den Stoff, sondern es ist der Stoff selbst, der zur Gestaltung strebt und sich in verschiedenen Formen äußert.

Die Transformation in bestimmte Formen ist zunächst nicht wesentlich, wichtig (im Sinne von wissenschaftlich relevant) ist das zugrundeliegende Prinzip dafür (Entelechien³ kommen und gehen). Bruno greift auf Platon zurück: Wissen ist nur von einem unwandelbaren, ewigen Objekt möglich. Es muß also ein unwandelbarer Grundstoff gefunden werden. Dieser kann nicht sinnlich erfaßt werden, denn nur die Resultate der Transformationen seien sind erfassbar, und der Grundstoff kann nur durch den Intellekt erschlossen werden. Bruno entwickelt also einen rationalistischen Ansatz, der im Widerspruch zum aristotelischen Denken steht. Das räumlich/zeitlich eingegrenzte Dasein ist Gegenstand der Empfindung, nicht des Wissens. Das Wissen über die Natur kann sich nicht in einer Sammlung von einzelnen, vergänglichen Substanzen erschöpfen, sondern es muß um das Eine, überall beständige Urwesen gehen; beim Einzelnen kommt man über das trügerische Meinen nicht hinaus. Das Einzelne dient bestenfalls als historische Kenntnisaufnahme, nicht der wissenschaftlichen Einsicht.

³Entelechie: nach Aristoteles die in einem Seienden angelegten Gestaltungsmöglichkeiten, dh das Prinzip, nach dem spezifische Entwicklungsprozesse gesteuert werden.

In seinem letzten Buch *De triplici minimo et mensura* (Das dreifache Minimum und das Maß) geht Bruno das Problem systematisch an. Die Vielfalt des Seienden, die Arten und Gattungen, müssen aus dem All-Einen erklärt werden. Die Welt des Wahrnehmbaren muß als ein System qualitativ bestimmter, aber verschiedener Einheiten zurückgeführt werden. Jede Art, jede Gattung erfordert ein eigenes "Minimum", aus dem heraus sich die Gegenstände und Objekte entwickeln. Das Minimum muß gedanklich erschlossen werden, es ist der sinnlichen Wahrnehmung nicht unmittelbar zugänglich. Das Denken muß dabei ebenfalls von ursprünglichen, primären Setzungen seinen Ausgang nehmen und die jeweiligen Inhalte des Denkens synthetisch erzeugen. Eben weil sich alle Begriffe aus ursprünglichen Definitionen aufbauen, müssen die Dinge, um von uns erkannt zu werden, auf fundamentale Einheiten - Anfänge - zurückgeführt werden. Es gibt so viele Anfänge, wie es Klassen von Gegenständen und damit von Problemen gibt. Diese Auffassung führt zum Problem der Aufteilung. Der Physiker teilt – Demokritos folgend – die Materie bis zum Atom, dem Grammatiker ist der Buchstabe das letzte, nicht mehr weiter aufteilbare "Teilchen", und für den Geometer ist der Punkt das Minimum, bis zu dem der Raum aufgeteilt werden kann. Nach Bruno benötigt man für den Aufbau des Kontinuums den Begriff des Kontinuums nicht. Die Geometrie, so Bruno, verlangt nur feste Maße. Die Linie ist eine Akkumulation von Punkten, die einerseits nicht weiter teilbar sind, andererseits aber eine bestimmte, endliche Ausdehnung haben. Deswegen kann man mit Punkten eine endliche Ausdehnung erzeugen, - so können nach Bruno die Paradoxien des Zenon vermieden werden⁴. Allgemein wird über den Begriff der Zusammensetzung der Begriff der Größe definiert. Irrationalzahlen (z.B. $\sqrt{2}$) existieren nicht. Am Begriff des "Inkommensurablen" zeige sich, dass die Geometer kein echtes Maß haben, denn jede Größe, die nicht zu einer anderen in einer angebbaren, zahlenmäßigen Proportion steht, ist in sich unfaßbar und daher "undenklich", dh sie kann nicht gedacht werden. Es wird deutlich, dass Bruno den Zenonschen Paradoxien entgehen will und sich deshalb begrifflich an Demokritos hält. Dass er dabei die Mathematik falsch einschätzt, bemerkt er nicht; außer ihm haben noch Hobbes und Berkeley den Begriff der Irrationalzahl (*und damit die Gültigkeit des Satzes des Pythagoras*) bestritten. Das "metaphysische Atom" (Cassirer) ist für Bruno die Wahrheit, nicht die Mathematik. Aus seinen Annahmen ergibt sich, dass das Wachstum der Gestalten demnach an bestimmte arithmetische Regeln gebunden ist: so kann ein Quadrat nur durch Addition von entweder 5, 7, 9 etc, dh einer ungeraden Zahl von Minima vergrößert werden. Denn wenn die Seitenlänge n Minima enthält, so ist n^2 die zugehörige Fläche. Das nächstgrößte Quadrat hat eine Seitenlänge von $n + 1$ und damit eine Fläche von $(n + 1)^2 = n^2 + 2n + 1$; die Differenz zur Fläche des ersten Quadrats ist demnach $n^2 + 2n + 1 - n^2 = 2n + 1$, und dies ist eine ungerade Zahl, unabhängig vom Wert von n . Diese Folgerungen werden von seinen Annahmen impliziert, und man könnte meinen, dass diese leicht abstrusen Aussagen Bruno dazu gebracht haben könnten, seine Annahmen

⁴Aber wie kommt man dann von einem Raum- bzw. Zeitatom zum nächsten?

in Frage zu stellen. Das Interessante an seinen Überlegungen ist aber, dass sie ihn eben nicht dazu bringen, seine Grundannahme zu bezweifeln. Diese haben für ihn einen größeren Evidenzwert als für uns die Folgerungen abstrus sind.

Die einzelnen Gattungen sind in ihrem Aufbau verschieden, und so bleiben sie in ihrem Sein verschieden. Die verschiedenen Arten von Figuren bestehen immer aus einer ungleichen Anzahl von Elementen, - deshalb ist es unmöglich, eine Figur in eine andere zu überführen. Also gibt es auch nur verschiedene Individuen bzw. Objekte. Wenn die Mathematik die Annahme exakt gleicher Formen macht, so beruht diese Annahme, so Bruno, auf der ungenauen Wahrnehmung, das Denken schließt solche exakte Gleichheit aus.

Bruno war weiter der Ansicht, dass das All unendlich ist. Deswegen kann es seiner Ansicht nach entgegen der Lehre des Aristoteles keine den Kosmos umschließende Fixsternsphäre geben. Die Fixsterne sind Sonnen von der Art unserer Sonnen mit Planetensystemen wie dem unseren, - auch von ihnen gibt es beliebig viele. Die Fixsterne sind im Übrigen auch keine Fixsterne; tatsächlich bewegen sie sich. Denn wir können ihre Bewegung nur deshalb nicht wahrnehmen, weil sie so weit von uns entfernt sind. Das All selbst ist beseelt, in ihm äußert sich die Gottheit bzw. es ist selbst göttlich. Denn Gott ist das Urbild, dem ein Abbild entsprechen muß, dass dann ebenfalls unendlich ist. Dieses Universum ist das Abbild, es muß also unbegrenzt sein und unzählige Weltsysteme enthalten.

Wo es eine Vielheit gibt, muß sie aus Einheiten gebildet worden sein. In der Arithmetik ist diese die 1, in der Geometrie ist sie der Punkt, in der Metaphysik ist sie die geistige Monade (Schrift "Über das dreifache Minimum"). Die Monade ist beseelt und wirkt zweckmäßig. Die Monaden bilden insgesamt wieder eine Einheit, und so ist das Universum am Ende selbst eine Monade, und zwar von höherer Ordnung.

Brunos Philosophie gilt als rationalistisch, weil er zu seinen Ansichten durch Deduktion und nicht wie Galilei durch systematische Beobachtungen kommt. Gleichzeitig fällt auf, dass er seine Gedanken nicht aus einigen wenigen, sorgfältig gewählten Grundannahmen ableitet, - ein solcher Ansatz wird erst später von Newton geleistet. Die Brunoschen Gedanken wirken in vielfacher Hinsicht *ad hoc*, weil nicht klar ist, warum und wieso er bestimmte Aussagen macht. Warum ist die Monade beseelt und warum wirkt sie zweckmäßig? Vermutlich, weil der Begriff des Beseelten oder des Seelischen selbst nicht in Frage gestellt wird, dafür aber dann erklärt werden muß, woher es denn nun kommt. Die Suche nach einer durchgängigen Logik beim Aufbau einer Philosophie beginnt erst später, vermutlich mit Leibniz; für die Zeitgenossen Brunos war diese Durchgängigkeit aber kaum ein Problem, sie sahen die Probleme ganz woanders.

Nach vielen Jahren des Herumwanderns wollte Bruno wieder gerne nach Italien: einerseits ist es dort weniger kalt als in den nördlicheren Breitengraden, andererseits konnte er dort die eigene Sprache sprechen. Ein junger Mann namens Mocenigo lud ihn zu sich nach Venedig ein. Unglücklicherweise nahm Bruno die

Einladung an, denn Mocenigo verriet Bruno an die Inquisition, der nun eingeknastet sieben Jahre, von 1593 bis 1600, im Kerker des Papstes verbrachte. Es ist nicht bekannt, was mit ihm in diesen fast sieben Jahren geschah; erst 1600 schrieb der deutsche Gelehrte Schoppius über ihn. Schließlich wurde Bruno vor den Großinquisitor gebracht, der ihn aufforderte, zu widerrufen, wozu ihm vierzig Tage Bedenkzeit gewährt wurden. Bruno widerrief nicht. Auch nach weiteren vierzig Tagen bereute er nicht. Schließlich wurde er zum Tod auf dem Scheiterhaufen verurteilt. Sein Kommentar: "Vielleicht ist die Furcht, die Sie beim Aussprechen dieses Urteils empfinden, größer als die, die ich dabei empfinde." Man gab ihm weitere acht Tage Bedenkzeit, aber er widerrief nicht. Man verbrannte ihn mitten in Rom, auf dem Campo De Fiori, wo heute ein Denkmal an ihn erinnert.

Bruno lieferte keine Theorie, was Wissenschaft denn sei. Er wurde wenig gelesen, aber trotzdem hat sein Werk dazu beigetragen, dass sich Wissenschaft entwickelte, – vielleicht gerade, weil seine Aussagen, etwa über die Nichtexistenz von Irrationalzahlen, für andere Denker provokant waren und sie dazu reizte, ihn zu widerlegen. Auch auf diese Weise kann Wissenschaft entstehen.

2.2 Johannes Kepler (1571 - 1630)

Johannes Kepler wurde am 27. Dezember 1571 als erstes von insgesamt sieben Kindern der Familie Kepler in Weil der Stadt (Schwarzwald) geboren. Sein Vater Heinrich trieb Handel mit Wein, Tuch, Kerzen und Papier, seine Mutter war die Tochter eines Wirts und Schultheißens, also des Gemeindevorstehers oder Bürgermeisters des Nachbarorts Eltingen. Sein Vater hatte auch kriegerische Talente, die er gelegentlich als Söldner für den Kaiser und das Reich einbrachte. 1577 übersiedelte die Familie nach Leonberg, weshalb sich Johannes Kepler auch als "Bürgerssohn von Löwenberg" bezeichnete. Sein Vater starb 1590 bei kriegerischen Aktivitäten in der Nähe von Augsburg im Rang eines Hauptmanns. Sein Sohn Johannes eignete sich für die Tätigkeit eines Soldaten weniger, weil er wie seine Mutter eher zierlich war. Er war eher mit geistigen Talenten ausgestattet und eignete sich kaum für die harte Arbeit auf dem Feld, also sollte er Pfarrer werden und deshalb Theologie studieren. Seine Mutter schickte ihn 1578 auf eine Schule zum "deutschen Lese- und Schreibunterricht" und dann auf eine dreiklassige "lateinische und Particularschule", wo so intensiv Latein gelehrt wurde, dass er sich mit seinen Mitschülern schon nach kurzer Zeit auf Latein unterhalten konnte. Nach einigen anderen Schulbesuchen begann er sein Studium in Tübingen 1589, wobei er in das berühmte Tübinger Stift aufgenommen wurde, das 1536 von Herzog Ulrich von Württemberg gegründet worden war, damit "armer frommer Leut Kinder ains vleissigen, christlichen gotzfürchtigen wesens" kostenlos studieren konnten. Obwohl er an der "Artistenfakultät" Theologie studierte, umfaßte sein Lehrplan gewissermaßen als Vorstudium neben Griechisch und Hebräisch, Rhetorik, Poesie, Ethik und den Lehren des Aristoteles auch Mathematik und Astronomie, an das sich nach zwei Jahren und einem Magisterexamen erst das

dreijährige Theologiestudium anschloß. Sein Mathematiklehrer war der berühmte Professor Mästlin, mit dem er zeitlebens befreundet blieb und der ihn für eine Mathematikprofessur in Graz empfahl, die Kepler 1594 annahm. In Graz entschied sich Kepler dann endgültig gegen die Theologie und für die Astronomie (Gerlach et al (1987)).

Zu Beginn seiner wissenschaftlichen Arbeit ist Kepler noch dem Aristotelischen Denken verhaftet. Seine Auffassungen ändern sich in dem Maße, in dem er sich mit der mathematischen Analyse der Braheschen Daten beschäftigt. Interessant ist, dass ästhetische Aspekte ihn bei seiner Arbeit beeinflussen. Er ist der Ansicht, dass die Entfernungen der Planeten dem Schema der fünf platonischen Körper entsprechen. Hieraus ergibt sich ein musikalisches Gesetz, das die Bewegungen der Planeten regelt und einstimmig macht. Er vermutet die Existenz einer Beziehung zwischen den veränderlichen Geschwindigkeiten der Planeten und den mittleren Geschwindigkeiten einerseits und den Frequenzen der harmonischen Töne andererseits und kommt bei dem Versuch, diese Beziehung mathematisch zu fassen, zur Formulierung seines dritten Gesetzes, in dem die Umlaufzeit eines Planeten als Funktion seines Abstandes von der Sonne ausgedrückt wird. Kepler ist der Ansicht, dass zwischen dem menschlichen Intellekt und den menschlichen Sinnen einerseits und der Gliederung der Himmelskörper andererseits eine Beziehung besteht: beide sind aufeinander bezogen und "durcheinander meßbar" (Cassirer, Bd I, p. 332). Die Harmonien sind keine ontologischen Einheiten, sondern reflektieren die Existenz einer Relation⁵. Wichtig ist ebenfalls die Verwendung des Begriffs der Kraft bei Kepler. Der Kraftbegriff wurde bis dahin oft in Analogie zu der durch Muskelanstrengung erlebten Kraft oder als Ausdruck eines Triebes gedacht. Kepler macht keinen Gebrauch mehr von derartigen Analogien, sondern konzipiert den Begriff einfach als eine funktionale Beziehung zwischen Körpern. Allerdings wird erst Newton diesen Begriff der Kraft in der Definition $K = m \cdot b$, m die Masse eines Körpers und b seine Beschleunigung explizit machen.

Wissenschaftstheoretisch interessant ist Keplers Auffassung vom Begriff der Hypothese. Dieser Auffassung nach sollen Modelle für die Planetenbewegungen nicht nur als Rechenvorschrift verstanden werden, wie die "Aristoteliker" es tun, die hinter den Formeln noch eine spezifische Wesenheit postulieren, die es eigentlich zu erkennen gilt. Denn die mathematische Formel soll über die bloße Anweisung zur Berechnung hinaus noch das physikalische Prinzip repräsentieren. Sofern die Formel eine Hypothese ist, wird sie nicht nur dadurch geprüft, ob sie für den (beschränkten) Bereich der vorliegenden Messungen die richtigen "Vorhersagen" macht, sondern ob sie sich in die Gesamtmenge der Aussagen einfügt. Es geht also nicht nur um die Übereinstimmung mit gegebenen Daten, sondern um die logische Konsistenz der Gesamtmenge von Aussagen bzw. Hypothesen. Damit fordert Kepler die Formulierung einer wissenschaftlichen Mechanik, der der Begriff einer allgemeinen Gravitation zugrundeliegt, - auch wenn er selbst eine

⁵Das heißt, sie existieren nicht für sich, sondern spiegeln eine Menge von Beziehungen zwischen den Körpern.

solche Theorie noch nicht aufstellen kann. Für die Aristoteliker, d.h. für insbesondere für diejenigen Philosophen, die sich der Interpretation der aristotelischen Physik durch Averroes anschließen, ergeben sich die Kräfte des Universums aus Zweckbestimmungen und dem Begriff des Vollkommenen:

- demnach müssen sich Himmelskörper auf Kreisbahnen bewegen, da der Kreis eine vollkommene Figur ist,
- außerdem sind die Himmelskörper in ihrer Substanz unwandelbar und unvergänglich.
- Der menschliche Geist kann nur erkennen, was ihm entspricht, und da er unvollkommen ist, ist ihm die Einsicht in die Wesenheit des Universums sowieso verschlossen.

Die Aristotelikern stellen diese Auffassungen nicht mehr in Frage. Ihre mathematische Analyse ist an den Rahmen, der durch diese Auffassungen definiert wird, gebunden, was sich wiederum negativ auf die Entwicklung der Mathematik auswirkt.

Bei Kepler verändert sich die Auffassungsweise. Im neuen kopernikanischen Modell sieht er nicht nur eine neue Berechnungsweise (wie von Andreas Osiander behauptet), sondern eine neue Theorie über die Kräfte, die im Universum wirken. Die kopernikanische Theorie soll eine einheitliche Theorie sein, die alle Phänomene umspannt und nicht von den wahren himmlischen Körpern absieht. In einem Brief an Mästlin schreibt er, dass alle Hypothesen, die auf Glauben beruhen bzw die Glauben *verlangen*, zu verwerfen seien. Die Explizitheit, mit der diese Forderung gestellt wird, ist für Wissenschaftler zu Keplers Zeiten ungewöhnlich; sie macht deutlich, dass er zu dem allerdings schon von den Vorsokratikern verfolgten Prinzip, die Natur eben aus der Natur heraus zu erklären, zurückgekehrt ist. Diese Rückkehr ist deswegen bemerkenswert, weil sie den Sog der Selbstverständlichkeit religiöser Überzeugungen überwindet. Während die Mathematik ursprünglich (zB bei Agrippa von Nettesheim, auch bei Kepler selbst) ein Teil der Mystik war, dient sie nun zur Formulierung streng kausaler Analysen⁶. Die Mathematik soll nicht nur Symbole liefern, - denn

”durch Symbole wird nichts bewiesen; kein Geheimnis der Natur wird durch geometrische Symbole enthüllt und ans Licht gezogen. Sie liefern uns nur Ergebnisse, die vorher schon bekannt waren.”⁷

⁶Vielleicht hat Kepler in Kausalitäten gedacht. Andererseits drücken seine Gleichungen wechselseitige Beziehungen aus, weshalb nicht mehr klar ist, welche Größe kausal auf welche Größe wirkt. Der Kausalitätsbegriff wird damit relativiert; dies gilt generell immer, wenn dynamische Systeme betrachtet werden.

⁷Man denke an Mephistopheles, dem das Pentagramm ”Pein” macht, - warum?

Der Mystiker Robert Fludd⁸ wendet gegen Kepler ein, die Natur müsse direkt in voller Gegenständlichkeit erfasst werden; nach Kepler muß aber jeder Beweis und jede Deduktion in abstrakten Begriffen erfolgen, die aber die realen *Verhältnisse* der Dinge vollständig ausdrücken sollen. Nach Fludd beruht die wahre Wesenheit der Dinge auf höheren Prinzipien als den mathematischen. Nach Kepler bleiben aber diese inneren Wesenheiten der Substanzen genau dann verschlossen, wenn nicht die *Relationen* zwischen den Dingen erfasst werden, und diese Relationen seien eben *quantitativer Natur*. Diese Abkehr vom Denken in essentiellen Wesenheiten zugunsten eines Denkens in quantitativen Relationen ist revolutionär⁹. Kepler bezieht sich damit wieder auf Platon: Arithmetik und Geometrie seien die Flügel der Astronomie. Kepler überläßt es den "Paracelsisten" und "Alchymisten", über Bilder und Gleichnisse zum qualitativen Wesen der Dinge zu gelangen, für ihn gibt es keine Erkenntnis ohne quantitative, also mathematische Analyse. Die Hieroglyphen und Zeichen der Mystiker bleiben dem Urteil des Verstandes undurchdringlich, - weil sie gewissermaßen *per definitionem* undurchdringlich sind. Kepler kämpft damit nicht nur gegen die Mystik an, sondern gegen die gesamte aristotelische Philosophie, wie sie in der Scholastik rezipiert und reproduziert wurde: - es kommt für ihn darauf an, die Relationen zu ergründen, und nicht die Substanzen zu erfassen. Aristoteles geht vom Grundsatz aus, dass der Gegensatz von Identischem und Verschiedenem der Ausgangspunkt für die Ontologie - das ist die Lehre vom Seienden - sein müsse, wobei die Verschiedenheit in der Materie begründet sei. Für Kepler geht es aber nicht um "Einheit" und "Andersheit", also um qualitative Begriffe, sondern um ein Mehr oder Weniger, also um quantitative Strukturen. In der aristotelischen Ontologie geht es um Wesenheiten, die nach eingepprägten ("immanenten") Zwecken und Entelechien operieren, und das Ziel des Erkennens ist eine übersinnliche Wirklichkeit. Für Kepler geht es bei der Beschreibung der Welt um das Auffinden der der Welt zugrundeliegenden quantitativen und deshalb mathematisch fassbaren Strukturen.

Aus diesem Grund muß auch der Kraftbegriff neu gefasst werden. Den Beginn der Kritik des aristotelischen Potenzbegriffs findet man schon bei den italienischen Naturphilosophen. Bei Kepler werden die Begriffe Naturkraft und Entelechie voneinander getrennt: die Welt wird nicht mehr als ein göttliches Lebewesen aufgefasst, in dem vom Ersten Beweger ausgehend die Bewegungen durch untergeordnete Beweger weitergereicht werden, sondern als göttliches *Uhrwerk*. Es ist nämlich die mathematische Abhängigkeit zwischen den Entfernungen und Geschwindigkeiten der Planeten, die zu der Auffassung führt, dass die bewegende Ursache physikalisch und nicht "lebendig" ist. Kraft ist nicht mehr eine qualitative Substanz, sondern eine relationale Charakteristik der Körperwelt. Es geht um Funktionen und Relationen, nicht um Wesenheiten. Die Kraft eines Pla-

⁸vergl. Cassirer, Bd. I, p. 348

⁹Eine leicht polemische Nebenbemerkung sei erlaubt: Heideggers Denken in qualitativen Wesenheiten kann dementsprechend als konterrevolutionär - um das Wort reaktionär zu vermeiden - aufgefasst werden.

neten wird als Funktion bestimmter Größen aufgefasst, nämlich als Größe der Radienvektoren für die einzelnen Punkte der Bahn, auf der sich der Körper bewegt, durch die Länge des durchlaufenen Bogens, und durch die Zeit, in der eine Weglänge zurückgelegt wird. Der Begriff der Ursache wird gedanklich aufgelöst und in den der mathematischen Bedingung überführt. Auf diese Weise ergibt sich schon bei Kepler der Anfang der Entwicklung einer Theorie der Gravitation, die eben nicht mehr auf irgendwelche Bewegter zurückgeführt wird. Damit wird auch die Rolle des Zwecks, der in der aristotelischen Philosophie einen zentralen Platz einnimmt, zurückgedrängt. Nach Aristoteles beruht die Physik der Körper auf dem Gegensatz von schweren und leichten Körpern. Die schweren streben dem Mittelpunkt der Erde als ihrem "natürlichen Ort" zu, während die leichten nach oben streben, weil sie eben einen immanenten Aufwärtstrieb haben. Diese Annahme wurzelt einfach in der Verschiedenheit von Organempfindungen. Nach Kepler existiert dieser Unterschied nicht, es wird vielmehr von einer fundamentalen Gleichartigkeit der Körper ausgegangen. Der aristotelische Kraftbegriff beruht auf einer Analogie zum "sinnlichen Begehren" (Cassirer, p. 358), bei Kepler wird die Kraft auf arithmetische Prinzipien zurückgeführt. Gilbert (1600) formuliert in einer Schrift "Über den Magneten" die neue Auffassung: Kräfte und Aktionen ergeben sich nicht aus dem Ort im Universum ("oben" und 'unten'), sondern aus der Wechselbeziehung zwischen Körpern:

"Nicht der Ort ist es, der in der Natur der Dinge wirkt und schafft, der über die Ruhe und Bewegung der Körper entscheidet. Denn er (der Ort) ist an sich weder ein Sein, noch eine wirkende Ursache; vielmehr bestimmen die Körper sich erst vermöge der Kräfte, die ihnen einwohnen, ihre gegenseitige Stellung und Lage. Der Ort ist ein Nichts, er existiert nicht und übt keine Kraft aus, sondern alle Naturgewalt ist in den Körpern enthalten und begründet."

Schwere geht demnach von allen Massen gleichmäßig und unabhängig vom Ort aus, wobei sich die Kraft mit größerer Entfernung abschwächt. Kepler wendet dieses Prinzip auf die Beziehung zwischen Erde und Mond an und kommt so zu einer Erklärung von Ebbe und Flut (wie später Newton). Für Gilbert sind magnetische Pole noch Ausdruck eines seelischen Prinzips, für Kepler spielt dieses Prinzip schon keine Rolle mehr. Schwere ist kein seelisches Prinzip, sondern Ausdruck einer Wechselwirkung: die Erde zieht nicht nur den Stein an, sondern der Stein auch die Erde. Damit sind es nicht mehr "innere", animistische bzw. metaphysische Prinzipien, sondern funktionale Relationen zwischen den Objekten, die das "Wesen" der Wirklichkeit ausmachen. Bei Kepler taucht zuerst der Gedanke auf, dass die Gravitation mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Er formuliert diese Idee aber noch nicht endgültig, weil er annimmt, dass sich die Gravitation nur in der Ebene, in der die Planeten liegen, ausbreitet, und nicht kugelförmig.

Der hier beschriebene Denkansatz Keplers war für Kepler nicht von vornherein selbstverständlich. Kepler hat sich diesen Ansatz gewissermaßen erkämpft. Er

begann seine Untersuchungen in der Überzeugung, dass die geometrische Vollkommenheit der Planetenbahn, also ihre Kreisförmigkeit, anzunehmen sei. Auch Kopernikus ist noch von dieser Annahme ausgegangen. Kepler berichtet, er sei erst durch seine Beobachtungen gezwungen worden, diese Annahme aufzugeben. Er konnte seine Formeln nur finden, weil er es schaffte, die vorgefasste Axiomatik der aristotelischen Philosophie aufzugeben. Man könnte argumentieren, dass Kepler durch Induktion zu seiner neuen Konzeptualisierung der physikalischen Realität gelangt ist, da er eben durch die Daten (Tycho Brahes) dazu gezwungen wurde. Man muß sich aber klarmachen, dass dieser Gebrauch des Wortes Induktion nicht dem von D. Hume und später von K. Popper kritisierten Begriff der Induktion entspricht, denn Kepler schließt ja nicht vom Besonderen auf das Allgemeine, sondern er konstruiert (im Sinne von konzipiert) eine neue Denkweise, die ihm dann die Formulierung seiner mathematischen Gesetze der Planetenbewegung erlaubt. Vielleicht lassen sich diese Gesetze auch "aristotelisch" interpretieren; die Gesetze spezifizieren dann nur die Entelechien und Substanzen, von denen im aristotelischen System die Rede ist. Vermutlich würde das aristotelische System dann aber nur als umständliche Begrifflichkeit überleben, die "neue" Denkweise würde trotzdem den Kern der so formulierten Theorie bilden. Der Übergang zur Sprache der Relationen besteht so gesehen "nur" in einer Anwendung des Ockhamschen Prinzips der begrifflichen Sparsamkeit.

2.3 Galileo Galilei (1564 - 1642)

Galileo Galilei wurde zunächst Klosterschüler und wollte Novize werden, doch sein Vater wünschte, dass er Arzt würde. Seine wirklichen Interessen lagen aber bei der Naturphilosophie und Mathematik, und so studierte er eigentlich mehr bei Filippo Fantoni, dem Professor für Mathematik in Pisa, als Medizin. Er studierte dann insbesondere die Werke von Euklid und Archimedes nach den Übersetzungen von Tartaglia, verließ aber 1585 die Universität, ohne einen Abschluß zu haben. Er unterrichtete privat Mathematik, bekam eine Anstellung in Siena und publizierte 1586 sein erstes Buch (La Balancitta) über die Archimedische Methode, spezifische Gewichte zu bestimmen. 1589 übernahm er den Lehrstuhl von Fantoni. 1592 wurde er Professor in Padua, wo er in erster Linie Euklidische Geometrie und (klassische, dh geozentrische, also aristotelische) Astronomie lehrte; - die Studenten brauchten dieses Wissen, um Astrologie praktizieren zu können.

Im Jahr 1604 hielt er drei Vorlesungen über den "Neuen Stern" (die von Kepler beobachtete Supernova), in denen er sich gegen die Aristotelische Theorie wandte. Dieser Theorie zufolge konnten Bewegungen von Himmelskörpern nur in der Nähe des Mondes stattfinden, - die Fixsternsphäre war dieser Theorie zufolge ja invariant. Galilio benützte Argumente aus der Theorie der Parallaxe um zu zeigen, dass der neue Stern nicht nahe bei der Erde sein konnte. 1598 hatte er bereits in einem Brief an Kepler geschrieben, er sei "Kopernikaner", dh dass er an die Kopernikanische und nicht an die Aristotelische Theorie glaube. Öffent-

lich bekannte er sich aber nicht zu dieser Ansicht. In den Jahren 1602 und 1604 arbeitete er über Bewegung (geneigte Ebenen, Pendel) und fand heraus, dass Geschosse eine parabolische Bahn nehmen, – eine Einsicht, die er erst 35 Jahre später publizierte. 1609 bekam er einen Brief von Paolo Sarpi, in dem dieser ihm von einem Holländer namens Fleming erzählte, der eine Art Fernglas erfunden haben sollte. Galileo ließ sich das Linsenschleifen beibringen und hatte bald ein Fernglas mit acht- bis neunfacher Vergrößerung gebaut. Im Dezember 1609 und im Januar 1610 beobachtete er damit den Nachthimmel; seine Entdeckungen veröffentlichte er in einem Buch (*Sidereus Nuncius*). Darin behauptete er, Berge auf dem Mond gesehen zu haben, dass die Milchstraße aus vielen kleinen Sternen bestehe, und dass er beim Jupiter vier kleine Körper gesehen habe. Er nannte sie die Medici-Sterne, in der Hoffnung, dass die Medici ihm zum Dank eine Stelle in Florenz anbieten würden. Das taten sie nicht, aber er wurde Chefmathematiker in Pisa (ohne Lehrverpflichtungen). Am 25. Juli 1610 entdeckte er drei Körper in der Nähe des Saturn, - dass es sich dabei um Ringe handelt, konnte er wegen der noch mangelhaften Qualität seines Fernrohres nicht sehen. Ebenso entdeckte er, dass die Venus Phasen zeigte wie der Mond, woraus er folgerte, dass die Venus die Sonne und nicht die Erde umkreist. Für Galilei waren diese Beobachtungen Evidenz, aber kein Beweis für die Kopernikanische Theorie. Beweis für diese Theorie sah er in seinen Experimenten mit fallenden Körpern. Die Aristoteliker behaupteten nämlich, die Hypothese einer sich bewegenden Erde impliziere, dass ein Körper, den man von einem hohen Turm fallen läßt, hinter dem Turm zurückbleiben muß. Diese Vorhersage entsprach aber nicht den Beobachtungen, weshalb die These, die Erde bewege sich *nicht*, als bewiesen angenommen wurde. 1612/1613 publizierte Galilei seine Beobachtungen von Sonnenflecken. 1618 nahm er an einer Kontroverse über die Natur der Kometen teil. Auf der Basis bekannter optischer Effekte argumentierte er, die Kometen bewegten sich in Erdnähe, womit er allerdings die Jesuiten auf sich aufmerksam machte, die ihn nun für ein gefährliches Subjekt hielten.

Galilei hatte vermieden, öffentliche Aussagen zur kopernikanischen Theorie zu machen. Aber ein ehemaliger Schüler von ihm, Castelli, wurde 1613 Professor für Mathematik in Pisa. Im Dezember 1613 sollte dieser dem Großherzog Cosimo II in Florenz die Widersprüche zwischen der kopernikanischen Theorie und der Heiligen Schrift erläutern. Castelli schrieb einen Brief an Galilei und teilte ihm mit, dass er die kopernikanische Theorie im besten Licht dargestellt habe. Galilei glaubte aber nicht, dass Castelli den Großherzog überzeugt hatte, und schrieb zurück, dass die Bibel im Lichte der Wissenschaft interpretiert werden müsse. Galileis Gegner sorgten nun dafür, dass dieser Brief an die Inquisition in Rom gelangte. In Rom galt Kardinal Robert Bellarmine als Hauptautorität in Sachen korrekter Bibelinterpretation, und der sah die Theorie des Kopernikus als elegante Mathematik an, die die ewigen Fragen der Bibel nicht in Frage stellte. 1616 schrieb aber Galileo einen Brief an die Großherzogin Christina von Lothringen, in dem er argumentierte, die Bibel sei überhaupt nicht wörtlich zu

interpretieren, insbesondere dann nicht, wenn sie mathematisch bewiesenen Tatsachen widerspräche. Die Theorie des Kopernikus sei demnach mehr als nur eine mathematische Methode, die Bewegungen der Himmelskörper zu berechnen, sondern sie repräsentiere eine physikalische Realität.

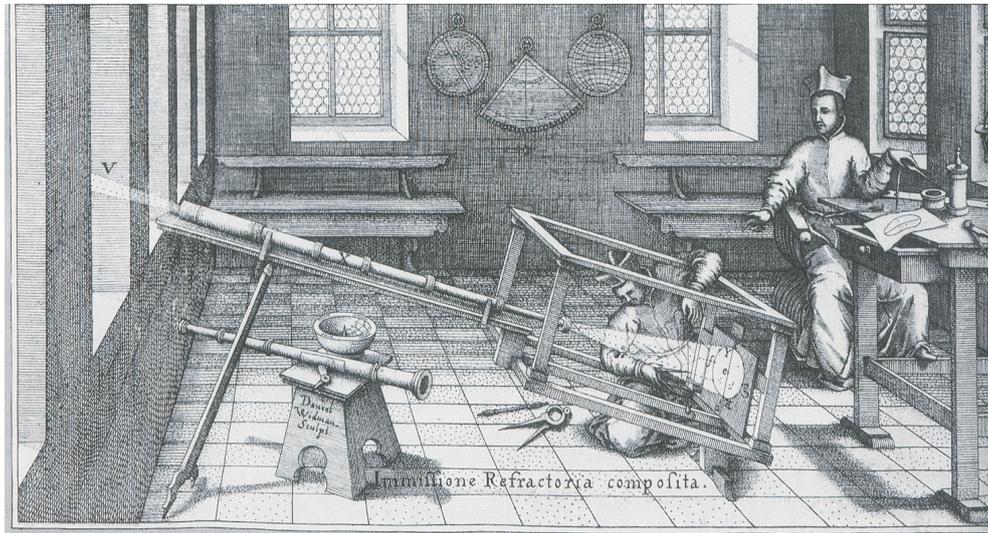
Daraufhin befahl Papst Paul V dem Kardinal Bellarmine, die Heilige Kongregation einzuberufen und sie über die Kopernikus-Theorie befinden zu lassen; das tat sie am 24. Februar 1616. Die Heilige Kongregation befand, die kopernikanische Theorie sei nicht mit der Bibel kompatibel. Bellarmine teilte dieses Ergebnis Galileo mit und verbot ihm, die kopernikanische Theorie zu vertreten. Allerdings wurde dann Maffeo Barberini als Urban VIII zum Papst gewählt, der wiederum ein Bewunderer Galileis war, also machte Galilei sich keine Sorgen. Er widmete sein gerade erschienenen Buch *Il Saggiatore* dem neuen Papst. In diesem Buch beschreibt Galilei seine neue Methode:

„... Philosophie ist in einem großen Buch, dem Universum, geschrieben, das ständig vor unserem Auge liegt. Aber das Buch kann nicht verstanden werden, wenn man nicht die Sprache lernt, in denen es geschrieben ist. Es ist in der Sprache der Mathematik geschrieben, und seine Buchstaben sind Dreiecke, Kreise und andere geometrische Figuren, ohne die kein einziges Wort verstanden werden kann; ohne Kenntnis dieser Buchstaben wandert man in einem dunklen Labyrinth.“

Galilei fühlte sich sicher und schrieb seinen berühmten Diskurs zwischen Simplicio, dem Vertreter der aristotelischen Philosophie, und Salviati, dem Vertreter des neuen kopernikanischen Systems (der er selber ist). Der Dialog wurde 1630 publiziert. Als stärksten Beweis für die Theorie, dass sich die Erde bewege, führt Salviati/Galilei seine Theorie über die Entstehung von Ebbe und Flut an. Galilei nahm an, dass Ebbe und Flut als Hin- und Herschwappen der Ozeane als Resultat von Kräften zu erklären seien, die sich aus der Kombination von zwei Bewegungen ergäben: der täglichen Umdrehung der Erde um die eigenen Achse und der jährlichen Reise der Erde um die Sonne. Diese Theorie ist leider falsch. Die korrekte Theorie Johannes Keplers hat Galileo entweder nicht gekannt oder nicht wahr haben wollen. Unabhängig von der Wahr- oder Falschheit der Galileischen Tidentheorie schritt 1633 die Inquisition ein, angeblich, weil er die Bedingungen, die ihm 1616 auferlegt worden waren, nicht eingehalten habe. Nachdem man ihm die "Instrumente" (d.h. die Folterwerkzeuge) gezeigt hatte, widerrief er und wurde zu lebenslangem Gefängnis verurteilt. Die Strafe mußte er aber nicht im Gefängnis absitzen, sondern sie wurde in Hausarrest verwandelt. Zuerst wohnte er beim Erzbischof von Siena, später konnte er in sein Haus in Arcetri bei Florenz zurückkehren. Der *Diskurs* wurde nach Leyden in Holland geschmuggelt, wo er publiziert wurde. Galilei starb 1642. Erst am 31. Oktober 1992, 350 Jahre nach Galileis Tod, gab Papst Paul II bekannt, dass die Kirche im Falle Galileo Galileis einen Fehler begangen hat.

Wissenschaftstheoretische Aspekte: Substanz versus Relation Galilei hat

Abbildung 1: Beobachtung der Sonnenflecken durch Professor Scheiner im Turmzimmer der Heilig-Kreuz-Kirche zu Ingolstadt mittels eines Heliotrops im Jahre 1611



nicht explizit über Wissenschaftstheorie geschrieben. Die ausgezeichnete Rolle der Mathematik in der Wissenschaft war ihm evident, er hat sie nicht aus irgendwelchen Prinzipien abgeleitet. Seine Ansichten zur Natur der Wissenschaft kommen u.a. im Briefwechsel mit Kepler zum Ausdruck. Galilei hatte das Fernrohr "erfunden" und seine neuen Ein- und Ansichten zur Begründung der Gültigkeit des kopernikanischen Systems herangezogen. Kepler und Galilei sind sich einig in der Kritik der Syllogistik, die von der philosophischen Mehrheit als das einzig zulässige System der Logik aufgefasst wurde. Sie erregen sich darüber, dass ihre Gegner noch nicht einmal durch das Fernrohr sehen wollen, dass sie meinen, die Philosophie sei ein "Buch wie die Aeneis oder die Odyssee", dass ihre Gegner meinen, die Wahrheit sei durch den Vergleich von Texten zu erforschen. Galilei macht sich lustig über den derzeit angesehensten Philosophen seiner Hochschule, Cremonini, der die neuen Planeten durch logische Argumente wegzudiskutieren sucht; durch das Fernglas will Cremonini nicht sehen, weil "das seinen Kopf nur verwirren würde". Der Professor Scheiner¹⁰ will die von ihm selbst beobachteten Sonnenflecken nicht der Sonne selbst zuordnen. Denn die Sonne ist perfekt und kann eben deshalb keine Flecken haben; die Flecken müssen deshalb andere Ursachen haben, s. Abbildung 1. Für Galilei ergibt sich die Notwendigkeit,

¹⁰Christoph Scheiner (1575 - 1650), Naturwissenschaftler, Mathematiker, Astronom und Jesuit. In seinem in Rom 1626-1630 erschienen Hauptwerk *Rosa Ursina sive Sol* beschreibt er genauestens die Sonnenflecken, außerdem Fernrohre, und Projektionsmethoden, u.a. das Heliotrop, mit dem die Sonnenflecken sichtbar gemacht werden können. Darüber hinaus stellt er die Optik eines Fernrohres der Optik des Auges gegenüber.

das scholastisch-aristotelische Ideal des Begreifens (in Termen von Substanzen und Qualitäten) aufzulösen. Die aristotelische Lehre wird nicht wegen mangelnder empirischer Orientierung angegriffen, sondern weil sie die Notwendigkeit zur Abstraktion nicht zuläßt. Man wirft Galilei in der Tat vor, dass er versuche, die Natur unter allgemeinen Gesetzen und Prinzipien zu begreifen und den Einzelfall in seiner Individualität zu vernachlässigen. Es sei nicht angebracht, die Natur der Bewegung von Körpern in eine einzige Formel pressen zu wollen: die Bewegung von Fischen, Pferden, Menschen u.a. seien zu verschieden, um ein solches Vorgehen zu rechtfertigen. Die wahre Aufgabe der Physik bestehe in der Sammlung und Inspektion der Einzelfälle, "einfache" mathematische Formeln würden der Tiefe und Reichhaltigkeit der Phänomene nicht gerecht, weil sie die Wirklichkeit auf einen bloßen Zusammenhang von Begriffen reduziere. Dieser Streit wiederholt sich am Ende des 19-ten und im 20-ten Jahrhundert in den Methodendiskussionen der Psychologie.

Im Dialog über die Weltsysteme (der oben genannte Diskurs) werden die Einwände der Aristoteliker seziert. Diese Einwände sind an sich nicht falsch, - aber es kommt gar nicht auf sie an. So betrachte man den Einwand, dass eine Kugel nur in der Mathematik eine Ebene nur in einem Punkt berührt, niemals aber in der Wirklichkeit. Es wird damit ein Dualismus von Wahrheit und Wirklichkeit behauptet. Nach Galilei macht es aber keinen Sinn, den mathematischen Definitionen eine andersartige Wirklichkeit entgegenzusetzen. Denn Galilei stellt fest, dass die Wissenschaft aus einem System von Sätzen besteht, in denen Bedingungen ausgedrückt werden. Tatsächlich ist es so, dass das Abstrakte, dh die Theorie, und das von ihr beschriebene Phänomen nicht perfekt übereinstimmen. Aber dieser Mangel an Übereinstimmung ergebe sich nicht aus den "zwei Naturen" (der abstrakten und der "wirklichen"). Die Wissenschaft schreitet vielmehr fort, indem sie den Unterschied zwischen Theorie und Wirklichkeit reduziert¹¹. Der Unterschied "fällt dem Rechner zur Last, der die Rechnung nicht richtig anzuwenden weiß". Denn wenn die Rechnung eine Abweichung zur beobachteten Wirklichkeit zeigt, so muß der Rechner - dh der Wissenschaftler - den Zusammenhang, um den es geht, durch Einführung entsprechender Größen herstellen (also durch Modifikationen der Theorie oder weitere Annahmen). Die Theorie ist demnach nie abgeschlossen. Wo die Theorie aber richtig ist, da ist sie so richtig wie die reine Mathematik. Der Begriff der Ursache verwandelt sich bei Galilei - wie schon bei Kepler - in den der kausalen Bedingtheit.

Galilei folgerte aus seinen Daten, dass

$$s(t) = \frac{1}{2}gt^2 \tag{2.1}$$

gilt, s die nach der Zeit t zurückgelegte Wegstrecke, g die Gravitationskonstante. Ein bemerkenswerter Aspekt dieses *Fallgesetzes* ist, dass die Masse eines fallenden Körpers nicht in die Beziehung zwischen durchfallener Strecke s und der

¹¹Dies ist die *Konvergenztheorie* der Wahrheit.

Zeit t einget. Daraus folgt, dass zwei verschieden schwere Körper eine gegebene Strecke gleichschnell durchfallen, – dies ist ein kontraintuitiver Sachverhalt, weshalb Aristoteles' Behauptung, ein schwerer Körper falle schneller zu Boden als ein leichter als selbstverständlich akzeptiert wurde, bis Galilei seine Experimente berichtete. Dabei ist das Gesetz rein empirisch gewonnen worden, er folgt nicht aus irgendwelchen theoretischen Betrachtungen Galileis. Allerdings lieferte der flämische Mathematiker, Physiker und Ingenieur Simon Stevin die folgende Argumentation¹² für eine Unabhängigkeit vom Gewicht:

Stevins Argument Die erste Frage, die man stellen kann, ist ob leichte Körper langsamer fallen als schwere; die Intuition legt diese Vermutung nahe. Die folgende Überlegung geht auf Simon Stevin (1548/49 – 1620), zurück. Es sei v_s die Geschwindigkeit, mit der ein schwerer Körper K_s fällt, und v_l sei die Geschwindigkeit, mit der ein im Vergleich dazu leichter Körper K_l falle. Die Annahme ist nun, dass $v_s > v_l$ gilt. Nun bindet man die Körper K_s und K_l zusammen. Zusammen sind sie schwerer als jeder für sich allein. Deswegen müßte $v_{s+l} > v_s$ gelten. Da aber K_l nach Voraussetzung *langsamer* fällt als der Stein, folgt ebenfalls, dass $v_{s+l} < v_s$ gilt, denn K_l muß den Fall von K_s *bremsen*. Diese Folgerung steht aber im Widerspruch zu ersten Folgerung $v_{s+l} > v_s$, d.h. die Annahme, schwere Körper fallen schneller als langsame hat inkonsistente Implikationen. Dies darf nicht sein, also muß die Annahme $v_s > v_l$ falsch sein, so dass

$$v_s = v_l = v,$$

folgt, d.h. die Fallgeschwindigkeiten unterschiedlich schwerer Körper sind gleich!

Die Frage ist, auf welche Weise Galilei das Fallgesetz aus seinen Daten folgerete. In diesem Zusammenhang - der Formulierung allgemeiner Sätze anhand von gegebenem Datenmaterial - wird gelegentlich von Induktion gesprochen. Diese Art von Induktion besteht nicht darin, dass eine bestimmte Aussage immer wieder bestätigt wird, sondern sie besteht in der Abstraktion einer Gesetzmäßigkeit aus den Daten. Wie diese Abstraktion geschieht, ist im Einzelnen nicht klar, - ein Forscher kommt eben irgendwie auf eine Idee, die zunächst als Hypothese formuliert die Daten "erklären" könnte.

Die Rolle von Deduktion und Induktion: Galilei ist seiner eigenen Darstellung in *Discorsi e dimonstrationi matematiche intorno a duo muove scienze attementi alla meccanica e ai movimenti locali* nach im Prinzip wie folgt vorgegangen (Szabó (1976)): er betrachtete verschiedene Annahmen über $v(t)$ und testete sie in Bezug auf seine Daten. Um die jeweilige Hypothese zu testen, mußte er die nach einer Zeit t durchmessene Wegstrecke $x(t)$ für die jeweilige Hypothese vorhersagen, da er $v(t)$ nicht direkt messen konnte. Er betrachtete zunächst den Fall $v(t) = k$, k eine Konstante. Da $v(t) = \Delta x / \Delta t$, wobei Δx die im Zeitabschnitt Δt durchfallene Wegstrecke ist, folgt $\Delta x = k \Delta t$, d.h. die zum Zeitpunkt t durchfallene Strecke $x(t)$ ist proportional zur Zeit t , und $x(t)$ ist die Summe der Δx , wenn t die Summe der Δt ist. Diese Beziehung entsprach nicht seinen Daten. Dann setzte er den nächst einfachen Fall $v(t) = kt$ an. Wieder kann man für

¹²vergl. Reinhard Lang, Vorlesung WS 99/00, Mathematik für Physiker, Frankfurt

hinreichend kleine Δt , die Beziehung $v(t) = \Delta x / \Delta t$ ansetzen, wobei $v(t)$ genau genommen die durchschnittliche Geschwindigkeit während des Zeitabschnitts Δt ist. Das heißt aber $\Delta x = v(t)\Delta t = kt\Delta t$. Jetzt ist Δx also eine lineare Funktion von t . Um den Wert von x zur Zeit t zu finden, müssen die Δx aufsummiert werden. Die Gleichung $\Delta x = v(t)\Delta t$ besagt aber, dass Δx gerade die Fläche eines Rechtecks mit den Seitenlängen $v(t) = kt$ und Δt ist. Zeichnet man $v(t)$ in ein rechtwinkliges Koordinatensystem mit den Koordinaten t und v ein, so ergibt sich für t ein rechtwinkliges Dreieck mit den Katheten t und $v(t)$ und der Hypotenuse $\sqrt{t^2 + v^2(t)}$. Die Summe dieser Flächen ist gerade die Fläche dieses Dreiecks. Nach der elementaren Formel für die Flächen von Dreiecken ist dann $x(t) = kt^2/2$. Man bemerke, dass in dieser Lösung Galileis die Grundidee der Integration bereits enthalten ist; Galilei hat den Ansatz leider nicht zuende geführt, die Differential- und Integralrechnung wurde erst von Isaac Newton (1642/1643 – 1726/1727) und unabhängig von Newton von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) er- bzw. gefunden.

Man könnte bei dieser Herleitung als von einem Beispiel für die Rolle der Induktion beim Auffinden von Gesetzmäßigkeiten sprechen: Induktion besteht hier in einem Wechselspiel von Deduktion und Überprüfung der jeweilig deduzierten Hypothese an den Daten, der Prozess endet nach einer Reihe von Falsifikationen. Bei der Diskussion der Philosophie Karl R. Poppers wird deutlich werden, dass nicht alle Philosophen mit dieser Charakterisierung des Induktionsbegriffs einverstanden sind.

Die Unabhängigkeit des freien Falls von der Masse des fallenden Körpers ist von Galilei anscheinend nicht erklärt worden, erst Newton bietet eine Erklärung mit seinem Gravitationsgesetz, das wiederum im Rahmen der Relativitätstheorie (Einstein, 1915) erklärt wird; auf Details kann und muß an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Für endliche Geschwindigkeiten wird man einen perfekten (bis auf Meßungenauigkeiten) statistischen "Fit" finden, aber für $t \rightarrow \infty$ folgt $v(t) \rightarrow \infty$, - was nicht sein kann, wenn Einstein mit seiner Relativitätstheorie recht hat, der zufolge es keine Geschwindigkeit geben kann, die größer als die des Lichtes ist. Die "Falsifikation" der Formel $x(t) = gt^2/2$ erfolgt nicht durch Messungen endlicher Geschwindigkeiten bzw. ihnen entsprechender Wegstrecken, (die die Theorie (das Gesetz) eher bestätigen), sondern sie folgt (i) aus Messungen der Geschwindigkeit des Lichtes, und (ii) aus einer Theorie, die die Implikationen der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit charakterisieren.

Zusammenfassung: Einige wesentliche Punkte einer Theorie der Wissenschaft werden bereits deutlich:

1. Eine Naturwissenschaft basiert auf Empirie. Die Daten werden i.a. systematisch gesammelt. Im Fall der Astronomie ergibt sich die Systematik in gewisser Weise von selbst, im Falle der Mechanik sind es zunächst systema-

tisch durchgeführte Experimente (zB Galileis Experimente zum freien Fall bzw. zur Bewegung auf einer schiefen Ebene),

2. Erklärungen durch Bezug auf etwas Göttliches haben keinen naturwissenschaftlichen Erklärungswert; die Naturwissenschaft sucht nach Erklärungen eben aus der Natur. Das bedeutet noch keine Ablehnung der Religion. Ein Physiker kann der Meinung sein, dass es einen Gott gibt, der das Universum so geschaffen hat, wie es ist. Aber wenn er die Eigenschaften von Schwarzen Löchern erforschen will, wird er – als Naturwissenschaftler – keine Spekulationen über Gottes Willen anstellen, sondern Schlußfolgerungen aus physikalischen Beobachtungen ziehen wollen. Die in Zusammenhang mit göttlichen Eigenschaften definierte Vollkommenheit von Körpern macht keinen physikalischen Sinn, - es sei denn, der Begriff der Vollkommenheit wird in Bezug auf nicht-metaphysische Begriffe definiert, was aber im Falle der Galileischen Untersuchungen nicht notwendig ist. Das gleiche gilt für die Bewegung von Körpern: sie soll aus den Interaktionen mit anderen Körpern erklärt werden, nicht durch den Begriff der vollkommenen Bewegung.
3. Aussagen über das Wesen eines Objekts im aristotelischen Sinn erlauben keine relevanten Schlußfolgerungen, da das Wesen ja eigentlich erst untersucht werden soll.
4. Die Kraft K ist keine Eigenschaft von Körpern; Schwere oder Leichtigkeit ist kein wesenhaftes Merkmal eines Körpers, das ihn entweder zum Erdmittelpunkt oder in die entgegengesetzte Richtung zieht. Sie ist eine Konsequenz anderer Merkmale (Masse) oder ergibt sich durch die Interaktion zwischen Körpern. Nach Newton gilt insbesondere $K = mb$, m Masse, b Beschleunigung = Veränderung der Geschwindigkeit. Die Kraft ist nicht das Streben eines Körpers nach einem ihm zugehörigen Ort; die Orientierung der Kraft ist nicht Definitionsmerkmal der Kraft.
5. Zumindest in der Physik kommt es auf die funktionalen Beziehungen zwischen bestimmten Größen oder Merkmalen an, und diese Beziehungen gelten für alle Objekte einer Klasse. Die Mathematik ist das geeignete Werkzeug, um funktionale Beziehungen abzubilden.
6. Der Mathematiker Otto Toeplitz (1881 - 1940) hat den wissenschaftstheoretisch relevanten Aspekt von Galileis Arbeit auf den Punkt gebracht:

”Nie wird ein Mensch etwas entdecken, der sich vor einen Apparat setzt, beobachtet und ein Gesetz sucht, so wenig wie der, der nur nachdenkt, wie es sein könnte, ohne je die Natur zu befragen. Was GALILEI die Physiker gelehrt hat, ist dieses Ineinandergreifen von Idee und Experiment, auf dessen Raffinement die ganze Physik beruht.”¹³

¹³zitiert nach Scabó, I. (1976), p. 53)

Kepler und Galilei waren in vieler Hinsicht weiter in ihrer Auffassung als der im folgenden Abschnitt vorgestellte Francis Bacon, der zwar als Gründungs- vater der empirischen Wissenschaft gilt, aber noch tief dem aristotelischen Denken verhaftet war.

2.4 Francis Bacon (1561 - 1626)

F. Bacon (1561 - 1626) gilt als erster Philosoph, der das Experiment zur Basis der Entwicklung der Wissenschaft machte. Obwohl Zeitgenosse von Galileo Galilei (1564 - 1642) und Johannes Kepler (1571 - 1630), hat er deren Leistungen nicht wahrgenommen bzw. nicht in seine Philosophie inkorporiert.

Eine der Ideen der mittelalterlichen Philosophie war, dass man sich nur dem reinen Geist verschreiben müsse, um den Dingen auf den Grund zu kommen, und dass hierbei die Mathematik besonders hilfreich sein kann. Bacons Interesse ist zunächst praktischer bzw. technischer Art, er will sich die Natur dienstbar machen, und das heißt, die Natur zu unterwerfen. Wissen dient seiner Ansicht nach der praktischen Betätigung, und so formuliert er "Wissen ist Macht". Dabei scheint ihm die Mathematik unwichtig zu sein. Platon gilt ihm dann auch als "schwülstiger Poet" und "toller (im Sinne von außer Rand und Band) Theologe". Aristoteles habe die Naturlehre durch seine Dialektik, und Proklus durch seine Mathematik "entstellt". Bacon kommt so zu seiner *Vestandeskritik*: der Verstand kann irren, also kann man sich nicht auf ihn verlassen.

Das "Innerste der Natur" (*viscera naturae*) erkennt man nach F. Bacon, wenn man zu den Grundqualitäten der Stoffe durchdringt. Die Grundqualitäten sind nach Bacon *polar*: warm - kalt, feucht - trocken, dick - dünn, etc.¹⁴ Bacon schlägt als Methode der Erfassung dieser Qualitäten das folgende Verfahren vor: man stelle alle warmen Dinge zusammen und finde durch Abstraktion von den Spezifitäten der Objekte heraus, was das Wesen der Wärme ausmacht. Dergleichen verfähre man mit den kalten Dingen, die durch Abwesenheit von Wärme definiert sind, z.B. Mondstrahlen, kalte Blitze, Elmsfeuer. Generell nimmt er an, dass die "Form" der Wärme ein dingliches Etwas ist, das bei verschiedenen Objekten mehr oder weniger vorhanden ist. Das Verfahren des Abstrahierens ist bei Bacon auch die "Induktion".

So will er auch die Natur der Fallbewegung erforschen. Er argumentiert, dass dazu die verschiedenen fallenden Körper in Klassen eingeteilt werden müßten, dass die Objekte in den Klassen dann gesondert beobachtet werden sollten und anschließend induktiv aus diesen Beobachtungen das Wesen des Fallens herausgezogen werden könne. Dies ist genau das Vorgehen, dass die Gegner Galileis von Galilei verlangten. Denn man könne nicht von einer allgemeinen mathematischen Beziehung ausgehen, sondern von den "inneren Unterschieden der Subjekte", die

¹⁴Geht das Polaritätsprofil auf Bacon zurück? Eine interessante Frage für Historiker der Psychologie!

in Bewegung begriffen sind. Dies ist aristotelisches Denken. Obwohl er sich gerade von Aristoteles absetzen will, bleibt Bacon den Lehren des Aristoteles verhaftet.

Es sei angemerkt, dass dieses Vorgehen zumindest auf den ersten Blick einer häufig in der experimentellen Psychologie verwendeten Strategie gleicht. Man kann z.B. die Reaktionszeit bei (i) männlichen und weiblichen Versuchspersonen und (ii) verschiedenen Altersgruppen bestimmen. Man erhält ein 2×2 -Design, und erhält, wendet man die Varianzanalyse an, dann Aussagen über Haupt- und Wechselwirkungseffekte in Bezug auf die mittlere Reaktionszeit. Bacon wußte noch nichts von der Varianzanalyse, hätte es dieses Verfahren zu seiner Zeit bereits gegeben, hätte er es womöglich als Standardmethode der wissenschaftlichen Erkenntnis gelobt. Andererseits muß man fairerweise zugeben, dass die varianzanalytische Fragestellung nicht ganz identisch mit dem Baconschen Vorschlag ist: er will das Wesen des Fallens induktiv gewinnen, während Psychologen mit der ANOVA¹⁵ Unterschiede zwischen Gruppen und nicht das Wesen der Reaktionszeit bestimmen wollen.

Die Anzahl der "Formen" (Grundqualitäten) ist nach Bacon endlich. Deshalb können sie durch begrenzte Beobachtung erfasst werden. Beobachtung und Theorie sind dabei völlig voneinander getrennt. Nach Bacon steht am Anfang nur die einfache Konstatierung des Phänomens, losgelöst von der philosophisch-spekulativen Deutung. Theorien können erst gebildet werden, wenn alle relevanten Fakten gesammelt wurden. Sein Freund Harvey ((Wieder-)Entdecker des Blutkreislaufs, wovon Bacon aber keine Kenntnis nahm): "Er philosophiert wie ein Lord-Kanzler" (zitiert nach B. Russell ((1971)), - das war Bacon auch gewesen, bevor er sich dem Schreiben von Büchern widmete. Bacon gibt keinerlei Regel an, nach der bestimmte Einheiten in der Natur beobachtet werden sollen. Da er quantitative Gesetzmäßigkeiten für unwesentlich hält, kommt er zu eigenartigen Deutungen der Natur. So unterscheidet er 19 verschiedene Arten von Bewegung, die durch die jeweilige Art des inneren Antriebs gekennzeichnet seien, z.B.

- *Motus Antitypiae*: Diese Art der Bewegung ergibt sich aus dem Streben der Materie, ihren Ort zu behaupten,
- *Motus fugae*: Diese Art der Bewegung resultiert aus dem Versuch zweier feindlicher Körper, sich voneinander zu entfernen,
- *Motus congregationis minoris*: Dieser Bewegung zufolge bildete sich der Rahm auf der Oberfläche der Milch bzw. sammelt sich die Hefe auf dem Wein, denn " die einen Teile streben infolge ihrer Leichtigkeit in die Höhe, die anderen sinken infolge ihrer Schwere in die Tiefe, und die Gleichartigen haben den Wunsch, sich miteinander zu vereinen."
- *Motus congregationis majoris*: Dieser Bewegung zufolge streben Teile schwerer Massen zueinander.

¹⁵Analysis Of Variance

Die Frage, ob sich die Erde um die Sonne oder die Sonne um die Erde dreht, kann nach Bacon nur beantwortet werden, wenn man zuvor die Natur der spontanen Kreisbewegung begriffen hat. Unter der spontanen Rotation versteht er eine Bewegung, kraft deren die Körper, die sich "an ihrem gehörigen Ort" befinden, "ihre eigene Natur genießen". Denn die Körper ruhen entweder, oder sie streben einem bestimmten Ziel zu:

"Was sich nun am rechten Platz befindet, das bewegt sich, sofern es an der Bewegung eine Freude hat, im Kreise, weil dies allein eine ewige und unendliche Bewegung ist."

Die Unterschiede zwischen Bacons Philosophie der Naturerkenntnis und dem Vorgehen Galileis sind fundamental. Bacon denkt in qualitativen Termen, man kann sagen, er sei aristotelisch geprägt. Er schlägt eine universelle Forschungsstrategie vor, während Galilei sich zunächst auf spezifische, zunächst höchst bescheiden anmutende Phänomene wie das Rollen von Kugeln auf schiefen Ebenen konzentriert. Wichtiger noch ist ein anderer Unterschied. Bacon appelliert an menschliche Erlebnisse, wenn er Bewegung erklären will: "...sofern es an der Bewegung eine Freude hat ...". Freude als Antrieb für eine Handlung mag bei Menschen gelten, aber warum sie einem Stein innewohnen soll, wenn er in einen Brunnen fällt, ist unklar. Natürlich kann man davon ausgehen, dass Bacon nicht annahm, dass Steine Freude haben, er drückt sich nur metaphorisch aus, – aber welche Erklärung liefert eine solche Rhetorik? Bewegung wird nicht erklärt. Bei Galilei wird ein Körper einfach konstant beschleunigt, wenn er fällt. Woher diese Beschleunigung kommt, wird zwar nicht gesagt und insofern wird das Fallen auch nicht erklärt, aber es wird in funktionaler, nicht in essentieller (dh wesenhafter) Weise beschrieben. In der funktionalen Beschreibung werden Relationen, hier etwa zwischen Zeit und durchfallenem Weg, spezifiziert, ohne Bezug auf irgendwelche Wesenheiten. Anders formuliert: das Wesen des Fallens wird durch eine Relation spezifiziert, und diese Relation gilt für alle Körper, unabhängig davon, ob es sich um ein Stück Bienenstich oder um eine unverdauliche Bleikugel handelt.

Nun geht es in der Wissenschaft nicht nur um fallende Körper. Die Frage, worin der Unterschied zwischen einem Stück Bienenstich und einer Kugel aus Blei besteht, darf gestellt werden. Setzt man den galileischen Ansatz fort, so wird man den Unterschied nicht durch Bleiheit und Bienenstichheit, dh nicht durch Hinweis auf Qualitäten erklären wollen, denn diese Qualitäten müssen ihrerseits in ihrer Unterschiedlichkeit erklärt werden. Statt dessen wird man versuchen, sie auf verschiedene Relationen zwischen Stoffen gleicher Art zurückzuführen. Dass diese Rückführung hier sehr weit geht, nämlich auf bestimmte Moleküle oder gar Atome, tut der Idee zunächst keinen Abbruch, man wird allenfalls auf die Frage, warum verschiedene Relationen verschiedene Qualitäten erzeugen, geführt. Beim Baconschen Ansatz, der sich eben auf Qualitäten beruft, wird der Unterschied zwischen Qualitäten letztlich nicht erklärt werden können, denn wenn Qualitäten Erklärungen liefern sollen, müssen Unterschiede zwischen Erklärungen wieder auf

Qualitäten zurückgeführt werden, etc., so dass man in einem infiniten Regress landet.

Wissenschaftstheoretisch ist die Unterscheidung von qualitativer und relationaler Begrifflichkeit von Bedeutung, weil die Entscheidung für die eine oder die andere Art der Beschreibung bzw. Analyse von Phänomenen die Methodik der Forschung mitbestimmt. Das Selbstverständnis der Geisteswissenschaft, insbesondere auch der geisteswissenschaftlich orientierten Psychologie beruht nicht zuletzt auf dieser Unterscheidung und impliziert Entscheidungen für die entsprechende Methodik.

2.5 Pierre Gassendi (1592 - 1655)

Pierre Gassendi (1592-1655) kann schon eher als Begründer des Empirismus gelten. Gassendi war Theologe, promovierte in Avignon im Fach Theologie, studierte dann 2 Jahre Philosophie und wurde 1617 Professor für Philosophie in Aix en Provence. 1645 wurde er zum Professor der Mathematik am Collège Royale in Paris ernannt. Gassendi beobachtete als erster die Venus Transition, schrieb auch über Astronomie und fallende Körper. Mit einem Galileischen Teleskop beobachtete er den von Kepler vorhergesagten Transit von Merkur, indem er das Bild der Sonne auf einen Papierschirm projizierte. Er konnte alle Einwände, die gegen das Kopernikanische System vorgebracht wurden, widerlegen.

Gassendi wurde auch der "der Bacon Frankreichs" genannt, auch bzw. obwohl er ein Gegner der aristotelischen Philosophie war, aber wie Bacon wollte er die zu seiner Zeit vorherrschenden aprioristischen Methoden durch experimentelle Beweise ersetzt wissen. Gassendi versucht, die Wissenschaft aus der Atomistik zu begründen und die Ergebnisse der Physik (Galilei) mit der Philosophie in Einklang zu bringen.

Dabei übernimmt er im wesentlichen die Lehre Epikurs, nach der die sinnliche Wahrnehmung die Basis des Wissens ist. Nach Epikur lösen sich ständig von den Dingen kleine Teile ab, die zum sinnlichen Organ gelangen und auf dieses einwirken. Diese Teile sind die "Idole". Sie sind unendlich klein, korrespondieren aber in ihren Eigenschaften zu den Körpern, von denen sie abgesondert werden. Diese Ausflüsse sind nach Gassendi eben die Atome.

2.6 René Descartes (1596 - 1650)

Descartes wurde in einer heute nach ihm benannten kleinen Stadt in der Nähe von Tours geboren und im Alter von 10 Jahren auf das Jesuitenkollegium von La Flèche in Anjou geschickt, wo er neun Jahre lang blieb. Er studierte dort die klassische Literatur, Geschichte, Rhetorik und Naturphilosophie auf der Basis des aristotelischen Systems.

Descartes bezeichnete die Schule als einer der besten in Europa, befand aber,

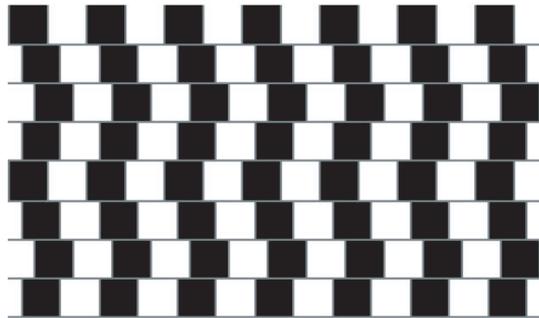
dass die Philosophie, "obwohl über Jahrhunderte von den besten Köpfen kultiviert, nichts enthält, was nicht diskutiert und daher bezweifelt werden kann". Mit 22 Jahren legte er ein Juraexamen ab (in Poitiers) und begab sich auf ausgedehnte Reisen durch Europa, um Wissen zu erlangen, das in ihm selbst und im "großen Buch der Welt" zu finden sei. Es entwickelte sich eine Freundschaft mit dem Niederländer Isaak Beeckman, der sein Interesse an der Mathematik erweckte. Am 10. November 1619 befand er sich einer süddeutschen Stadt. Er hatte den ganzen Tag lang scharf nachgedacht ("meditiert"), und hatte dann, "in einem ofengeheizten Raum", eine Reihe von lebhaften Träumen, die ihn davon überzeugten, dass er ein neues wissenschaftliches und philosophisches System begründen müsse, um das aristotelische System zu überwinden. Er kehrte nach Paris zurück, emigrierte aber 1628 nach Holland. Dort erreichte ihn 1649 eine Einladung der Königin Christina von Schweden, nach Stockholm kommen, um sie in Philosophie zu unterrichten. Nach einigem Zögern folgte er der Einladung, mußte seine Philosophiektionen aber jeweils morgens um 5.00 h leisten. Er war es gewohnt, bis spät in den Morgen im Bett zu bleiben, und diese Forderung war eine schwere Störung seines natürlichen Rythmus, die zu einer Schwächung seines Immunsystems führte mit der Folge, dass er, kurz vor seinem vierundfünfzigsten Geburtstag, an Lungenentzündung starb.

1633 hatte Descartes eine Abhandlung *Le Monde* über Kosmologie und Physik fertiggestellt, in der er u.a. das geozentrische Weltbild in Frage stellte. Als er von der Verurteilung Galileos durch die Inquisition erfuhr, zog er das Werk allerdings von der Publikation zurück. 1637 veröffentlichte er Teile (über Optik, Meteorologie und Geometrie) davon. 1641 erschienen seine *Meditationen über die Erste Philosophie* (Descartes (1954)), in denen er seine universellen Zweifel und die daraus resultierenden Versuche, die Existenz Gottes, seiner eigenen Existenz und die der externen Welt nachzuweisen beschreibt.

Descartes beschrieb die Philosophie als einen Baum, dessen Wurzeln die Metaphysik sei, der Stamm sei die Physik, und die Zweige und Äste seien die einzelnen Spezialwissenschaften einschließlich der Mechanik, der Medizin und der Morallehre. Damit betont Descartes die Einheit des Wissens, und zwar im Widerspruch zu Aristoteles, demzufolge die Wissenschaften einzelne Disziplinen mit ihren je eigenen Methoden sind. Ein zweiter Aspekt seiner Metapher ist der Hinweis auf die Nützlichkeit der Philosophie für das tägliche Leben. Ein Baum wird nämlich wegen seiner Früchte geschätzt, und die, so Descartes, werden von den Enden der Zweige aus gesammelt, nicht von den Wurzeln her. Der unmittelbare Nutzender Philosophie resultiert also aus den Spezialwissenschaften. Deshalb soll man nicht abstrakte Spekulationen betreiben, sondern solches Wissen sammeln, das für das praktische Leben nützlich ist. Die Wurzeln repräsentieren die *Erste Philosophie*, also die Metaphysik. Denn Descartes nahm an, dass das Wissen gewissermaßen von Grund auf entwickelt werden müsse, - kein Gedanke, keine Hypothese, keine Theorie kann als etabliert betrachtet werden, wenn sie nicht auf die ersten Wurzeln zurückgeführt werden kann.

Den Sinnen kann man nicht trauen, denn Descartes hat bemerkt, dass diese manchmal trügen (Punkt 5 der ersten Meditation), - man vergewissere sich dieses Sachverhalts anhand der Abbildung 2. Der Tatsache, dass er am Kaminfeuer sitzt,

Abbildung 2: Zur Täuschung durch die Sinne: sind die horizontalen Linien parallel oder nicht?



kann er auch nicht trauen, denn es gäbe keine Garantie, dass er dies nicht träume (Punkt 7 der ersten Meditation). Dies ist das Descartessche *Traumargument*. Dieses Argument läßt sich, so Descartes, auf jede Erfahrung anwenden, nur auf die Mathematik nicht, denn auch im Traum sind " $2 + 3 = 5$ " (Punkt 9 der ersten Meditation). In Punkt 11 der ersten Meditation stellt Descartes die Frage, ob Gott nicht gewollt habe, dass er sich täusche, denn Gott heiße ja auch der "Allgütige". Nun täusche man sich aber manchmal, und es gäbe ja noch das Argument (in Punkt 12 vorgebracht), dass es Gott gar nicht gebe. Dann schulde er, Descartes, seine Existenz nicht einem intelligenten Schöpfer, sondern einer zufälligen Folge von Ursachen, und dann gäbe es auch keinen Grund, anzunehmen, dass die Mathematik zuverlässig sei, man könne sich dann stets täuschen. In Punkt 13 stellt Descartes dann fest, dass er prinzipiell an allem zweifeln könne. In Punkt 16 spielt er dann die Idee durch, dass

"irgendein böser Geist, der zugleich höchst mächtig und verschlagen ist, allen seinen Fleiss darauf verwendet habe, mich zu täuschen; ich will glauben, Himmel, Luft, Erde, Farben, Gestalten, Töne und alle Außendinge seien nichts als das täuschende Spiel von Träumen, durch dieser meiner Leichtgäubigkeit Falen stellt; mich selbst will ich so ansehen, als hätte ich keine Hände, keine Augen, kein Fleisch, kein Blut, überhaupt keine Sinne, sondern glaubt nur fälschlich, dies alles zu besitzen. Und ich werde hartnäckig an dieser Betrachtung festhalten und werde so zwar nicht imstande sein, irgendeine Wahrheit zu erkennen, aber doch entschlossenen Sinnes mich in acht zu nehmen, soviel an mir liegt, nichts Falschem zuzustimmen, noch von jenem Betrüger mich hitnergehen zu lassen, so mächtig und verschlagen er auch sein mag."

So zweifelt Descartes an allem und hofft "auf Großes" (zweite Meditation, Punkt

1), wenn er auch nur das geringste findet, "das von unerschütterlicher Gewissheit ist"; dieses entspräche dem festen und unbewegten Punkt, den Archimedes verlangt habe, um die ganze Erde von ihrer Stelle zu bewegen. In Punkt 3 der zweiten Meditation notiert er dann den Gedanken, dass selbst der übelste Täuscher ihn nicht darüber hinwegtäuschen kann, dass er überhaupt *ist*, - denn sonst könnte er ja nicht getäuscht werden. Es bleibt die Frage, was er denn sei, "ein Mensch", oder ein "vernünftiges Wesen", - nur muß er dann ja erklären, was ein Mensch oder ein vernünftiges Wesen denn sei, und über diese Begriffe könne er ja bereits getäuscht worden sein. Descartes beschließt, sein Augenmerk darauf zu richten, was sich "ganz von selbst" seinem Bewußtsein (*cogitatio*) darbietet, und er findet: "Das Denken ist's, es allein kann nicht von mir getrennt werden: Ich bin, ich existiere, das ist gewiß" (Punkt 8, zweite Meditation). In Punkt 9 stellt er fest, dass er im Zweifel nur so lange existiert, wie er denkt: "Ich bin aber genau nur ein denkendes Ding (*res cogitans*), dh Geist (*mens*), Seele (*animus*), Verstand (*intellectus*), Vernunft (*ratio*), - lauter Ausdrücke, deren Bedeutung mir früher unbekannt war. Ich bin aber ein wahres und wahrhaft existierendes Ding, aber was für ein Ding? Nun, ich sagte es bereits - ein denkendes." Dies ist das *Cogito ergo sum*-Argument.

In der Dritten Meditation macht sich Descartes Gedanken über das Dasein Gottes. Dazu fertigt er ein Inventar der Ideen an, die er in seinem Geist vorfindet. Eine davon ist die eines perfekten, größten Wesens. Descartes schließt nun, dass der repräsentationale Inhalt (die "objektive Realität") dieser Idee so groß ist, dass diese Idee nicht von ihm selbst, dh von seinem unvollkommenen Geist, erzeugt worden sein kann, sondern dass sie ihm von einem aktuell existierenden perfekten Wesen, eben Gott, implantiert worden sein muß. Von diesem Schluß ausgehend kann Descartes den Glauben an die Welt um ihn herum wieder aufbauen. Denn da Gott perfekt ist, wird er nicht systematisch täuschen, und unsere Neigung, dass viele andere Ideen von externen Objekten erzeugt werden, kann uns deshalb eben nicht systematisch täuschen. Deshalb, so befindet Descartes in der Sechsten Meditation, existiert die externe Welt. Gott hat sogar eine verlässliche Methode bei den Menschen implantiert. Da die Menschen endlich und unvollkommenen sind, machen sie Fehler, insbesondere die Sinnesdaten sind "obskur und konfus". Wir können aber Fehler vermeiden, wenn wir in zweifelhaften Fällen unser Sinnesurteil zurückhalten und auf die "klaren und distinkten" Aktionen des reinen Intellekts vertrauen. Dieser Intellekt sei Gottes Gabe an die Menschen, und dieser Intellekt bewahrt uns davor, Fehler zu begehen (Vierte Meditation).

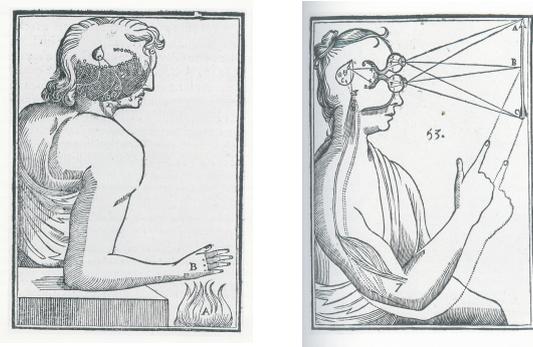
Descartes ist wegen seiner Argumentation angegriffen worden und geht sorgfältig auf alle Einwände ein. Insbesondere liegt ihm sein Gottesbeweis am Herzen, und in seiner Rechtfertigung *Gedanken zum Beweise des Daseins Gottes und der Unterschiedenheit der Seele von meinem Körper, nach geometrischer Methode*¹⁶ geordnet macht er, wie der Titel bereits verrät, Gebrauch vom Definition - Annahme - Satz - Beweis - Schema, das in der Geometrie - heute allgemein in der

¹⁶more geometrico

Mathematik - üblich ist. So ist das Bewußtsein (cogitatio, pensée) alles das, "was so in uns ist, dass wir uns seiner unmittelbar bewußt werden". Unter "Idee" versteht er "die Form eines jeden Bewußtseins, durch deren unmittelbare Erfassung ich eben dieses Bewußtseins bewußt bin", unter der "objektiven Realität einer Idee" versteht er den "Seinsgehalt (entitas) der durch die Idee vorgestellten Sache". Und "jede Sache, der unmittelbar, als in ihrem Subjekte, etwas innewohnt, oder durch die etwas existiert, was wir erfassen, d.h. irgendeine Eigenschaft oder Beschaffenheit oder Attribut, wovon wir in uns die reale Idee haben, heißt Substanz". "Die Substanz, der unmittelbar das Bewußtsein innewohnt, heißt Geist ...", "Die Substanz, die das unmittelbare Subjekt der örtlichen Ausdehnung und der diese Ausdehnung voraussetzenden Accidentien, wie Figur, Lage, örtliche Bewegung usw. ist, heißt Körper. Ob aber das, was Geist und Körper heißt, ein und dieselbe Substanz ist oder zwei verschiedene, wird weiter unten zhu behandeln sein." Die höchste Substanz ist dann Gott, und zwei Substanzen sind dann verschieden, wenn die eine unabhängig von der anderen existieren kann.

Wie er in seinen *Prinzipien er Philosophie* ausführt, versucht Descartes wo immer es möglich ist natürliche Phänomene durch quantitative Beschreibungen im Rahmen der Arithmetik und der Geometrie zurückzuführen. Im Gegensatz zum aristotelischen Ansatz der Scholastik will er die Wissenschaft mathematisieren. Die Welt besteht danach aus unendlichen Variationen von Gestalten, Größen und Bewegungen einer einzigen, einfachen und homogenen Substanz, der *res extensa*, dh der ausgedehnten Substanz. Dazu gehören alle physikalischen und biologischen Phänomene, auch das komplexe Verhalten von Tieren, hinter dem sich lediglich mechanische Prozesse verbergen; Tiere sind mechanische Automaten. Nur die bewußte Erfahrung ist nicht von dieser Art. Gedanken sind nicht extensiv, denn sie benötigen keinen Raum, sind unteilbar. Sie bilden die *res cogitans*, die denkende Substanz. Diese Substanz ist völlig unabhängig von der *res extensa*. Jedes denkende, bewußte Individuum ist ein Unikat. Descartes hat damit einen *Dualismus* eingeführt. Descartes ist schon von zeitgenössischen Denkern wegen dieses

Abbildung 3: Zur Descarteschen Hypophysentheorie



Dualismus kritisiert worden, und in seinen späteren Schriften spricht Descartes dann von der Einheit von Seele und Körper. Es gibt Eigenschaften wie die Länge eines Körpers, die zum Körper gehören, und es gibt Eigenschaften wie einen Zusammenhang verstehen, die dem Geist angehören, und dann gibt es Phänomene, die weder das eine noch das andere sind: sie sind *psychophysisch*. Der Erklärung dieser Phänomene hat sich Descartes in seiner letzten Arbeit gewidmet. Hier entwickelt er die Theorie, dass die *res cogitans* und die *res extensa* in der Hypophyse, die der Sitz der Seele sei, gekoppelt werden.

Die Descartesche Philosophie hat einen starken Einfluß auf Wissenschaftler und Philosophen gehabt. Insbesondere der Gedanke, dass es auf die Quantifikation von Relationen zwischen den jeweils betrachteten Einheiten anstatt auf eine qualitative Beschreibung ankommt hat sich insbesondere in den Naturwissenschaften durchgesetzt. Sein Versuch, das Wissen von der Welt auf der subjektiven Bewußtheit aufzubauen polarisierte und setzte deswegen eine fruchtbare, klärende Diskussion in Gang. In der heutigen *philosophy of mind* scheint sich die Ansicht durchzusetzen, dass der Decartesche Dualismus von *res cogitans* und *res extensa* mehr Probleme erzeugt als er löst. Die Ansicht, dass sich Bewußtseinsphänomene nicht auf rein physikalische Prozesse reduzieren lassen, wird bis heute diskutiert; eine endgültige Entscheidung über seine Position ist noch nicht gefallen.

2.7 John Locke (1632 - 1704)

John Locke gilt als einer der größten Philosophen des 17-ten Jahrhunderts. Er studierte Philosophie und Naturwissenschaften in Oxford und promovierte zum Doktor der Medizin. Sein wichtigstes Buch ist der *Essay Concerning Human Understanding*, das als Reaktion auf die Ideen von René Descartes gelten kann. Descartes postulierte die Existenz angeborener Ideen, aber Locke bezweifelt deren Existenz. Denn hätten wir solche Ideen, so wären wir uns ihrer bewusst, aber Kinder, Wilde¹⁷ und nicht-studierte Menschen seien sich solcher Ideen nicht bewusst, hätten auch die Gottesidee nicht; diese Ideen würden überdies von Person zu Person und von Zeit zu Zeit variieren. Also folgerte Locke, würde man derartige Ideen erwerben. Die Frage ist dann, von wem man sie erwirbt. Locke ist der Ansicht, dass sich die Ideen aus Repräsentationen von Sinneseindrücken ergeben; der "Geist" ist zum Zeitpunkt der Geburt eine *tabula rasa*. Locke muß nun plausibel machen, wie sich aus den Repräsentationen die Ideen ergeben.

Locke postuliert, dass die Erfahrung von zentraler Bedeutung sei. Nach Locke können Erfahrungen entweder extern oder intern sein, und sie sind entweder einfach oder komplex. Eine Erfahrung heißt einfach, wenn sie nicht reduzierbar ist, und sie heißt komplex, wenn sie aus nicht weiter reduzierbaren, also einfachen Erfahrungen aufgebaut ist. Einfache Erfahrungen korrespondieren zu einfachen Prädikaten wie "weiß" oder "rund", während die Wahrnehmung eines Apfels eine komplexe

¹⁷Eingeborene anderer Länder, etwa Afrikas oder Amerikas, galten bekanntlich als Wilde.

Erfahrung ist, denn diese Wahrnehmung setzt sich aus einfachen Erfahrungen, nämlich der Form, der Farbe, des Geschmacks etc zusammen.

Der "Geist" (*the mind*) hat die Funktion, Erfahrungen zu machen und zu kombinieren, dh Ideen zu formen. In bezug auf einfache Erfahrungen ist der Geist passiv: niemand kann die Idee eines Klanges haben, wenn sie oder er niemals einen Klang gehört (also erfahren) hat. In bezug auf komplexe Erfahrungen ist der Geist dagegen aktiv, denn er kann komplexe Erfahrungen zerlegen und neue Ideen aus diesen Elementen konstruieren.

Locke unterscheidet drei Arten von komplexen Ideen:

1. *Ideen der Substanz*: sie repräsentieren konstante oder stabile Kombinationen einfacher Ideen, die sich auf ein mysteriöses, vereinigendes Zentrum beziehen,
2. *Ideen des Modus*: sie repräsentieren Kombinationen von Ideen, die durch den Intellekt erzeugt werden, z.B. die Dankbarkeit,
3. *Ideen der Beziehung*: sie werden durch den Vergleich von Ideen erzeugt, zB zeitliche und räumliche Beziehungen, oder Ursache-Wirkung-Beziehungen.

Weiter haben Ideen logische und metaphysische Werte. Der logische Wert ergibt sich durch den Vergleich zweier Ideen auf Gleichheit. Der Vergleich ist entweder intuitiv oder demonstrativ: Intuitiv sind Ideen wie (i) $2 + 2 = 4$, (ii) Ein Dreieck ist kein Quadrat. Demonstrativ sind Werte dann, wenn sie auf Zwischenideen zurückgeführt werden müssen.

Der metaphysische Werte ergibt sich aus der Analyse der Beziehungen zwischen Ideen. Diese Analyse führt zu logischen Wahrheiten; dies sind Wahrheiten, die nur im Bereich des Bewusstseins gelten: "It is evident the mind knows not things immediately, but only by intervention of the ideas it has of them." - "We have knowledge of our own existence by intuition; of the existence of God by demonstration; and of other things by sensation."

Dass Ideen erfahrungsbasiert sind bedeutet noch nicht, dass sie auch wahr sind. So ist auch die Idee, dass es einen Gott gibt, erfahrungsbasiert, aber ob sie auch wahr ist, muß noch bewiesen werden. Locke argumentiert:

"Man knows by an intuitive certainty that bare nothing can no more produce any real being than it can be equal to two right angles....If, therefore, we know there is some real being, and that nonentity cannot produce any real being, it is an evident demonstration that from eternity there has been something; since what was not from eternity had a beginning, and what had a beginning must be produced by something else...." (Essay, IV, x, 3.)
"Thus from the consideration of ourselves, and what we infallibly find in our own constitutions, our reason leads us to the knowledge of this certain and evident truth, that there is an eternal, most powerful, and most knowing Being." (Essay, IV, x, 6.)

Dieser "Beweis" erinnert an den *ontologischen Gottesbeweis* des Bischofs Anselm von Canterbury (1033-1109):

1. Definitionsgemäß ist Gott ein Wesen, das größer ist als jedes andere Wesen, das man sich vorstellen kann.
2. Gott existiert als Idee im Geist des Menschen.
3. Ein Wesen, das einerseits als Idee im Geistes des Menschen existiert und andererseits in der Realität existiert, ist größer als ein Wesen, das nur als Idee im Geiste existiert.
4. Wenn also Gott nur als Idee im Geiste existiert, dann können wir uns ein Wesen vorstellen, das größer ist als Gott (das größte Wesen, das überhaupt existieren kann).
5. Aber wir können uns nichts vorstellen, das größer ist als Gott; denn die Annahme, dass wir uns ein Wesen vorstellen können, das größer ist als das größtmögliche Wesen, ist ein Widerspruch in sich.
6. Also existiert Gott.

Die (endgültige) Widerlegung dieses Beweises geht auf I. Kant zurück.

In Lockes Beweis wird intuitiv auf das Prinzip von Ursache und Wirkung zurückgegriffen. Locke hat allerdings bei seiner Analyse des Bewusstseins festgestellt, dass das Kausalitätsprinzip auf der Aktivität der Gedanken beruht und deshalb nur in der Logik, deshalb aber noch nicht in der externen Welt valide ist. Dies kann bedeuten, dass externe, von uns unabhängige Objekte und Wesen gar nicht existieren, sondern eben nur Vorstellungen unseres Geistes sind, der etwa wieder nur als Gottes Vorstellung existiert (vergl. die Lehrmeinung des Bischofs Berkeley, Abschnitt 2.9). Nach Locke wird aber die Existenz externer, von uns unabhängiger Dinge durch die Empfindungen der Sinne zwingend nahegelegt. Die Existenz von realen Dingen außer uns und unabhängig von uns wird wiederum *überzeugend* gespürt, weil wir sie passiv wahrnehmen; also müssen sie existieren. Dieses Wissen bezieht sich allerdings nur auf die primären Qualitäten der Dinge, die zu durch die Aktivität des Geistes erzeugten komplexen Eindrücken führen können.

Komplexeren Ideen, wie sie u.a. in Wissenschaft und Philosophie entwickelt werden, komme aber nicht notwendig Wahrheitsgehalt zu; sie seien im Wesentlichen Vermutungen, da sie notwendig auf Annahmen beruhen.

2.8 Isaac Newton (1642 – 1727)

Newtons Einfluß auf die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens nicht nur in der Physik kann kaum überschätzt werden. Es ist insbesondere der schon von Kepler und Galilei verfolgte Ansatz, aus Beobachtungen, d.h. Messungen, quantitative

Gesetze ohne Rückgriff auf unklare Substanz- und Essenzbegriffe zu formulieren, der seine Arbeit zu einem Meilenstein der Wissenschaftsgeschichte macht. Man ist versucht, darüber hinaus zu sagen, dass er metaphysische Begriffe ebenfalls vermieden hat, wären da nicht seine Annahmen über die Struktur des Raumes und der Zeit, denen das Prädikat 'metaphysisch' durchaus zukommt, allerdings zeigt die Diskussion von Ansätzen wie denen der Philosophen des Logischen Empirismus, dass es kaum möglich ist, jede Form von Metaphysik zu vermeiden (Stegmüller (1959)), worauf in einem späteren Kapitel noch ausführlich eingegangen wird. Was Newton vermeidet sind metaphysische Annahmen der Art, dass die Existenz eines Weltenschöpfers postuliert wird, der den Lauf der Planeten nur auf Kreisbahnen zulässt, weil der Kreis eine "vollkommene Figur" sei. Newtons Gesetze charakterisieren Relationen zwischen Größen, etwa zwischen Kraft und Masse, ohne dass auf göttliches Wirken oder auf das "Wesen" der Masse bzw. der Kraft Rekurs genommen wird. Bevor allerdings auf Newtons Ansatz näher eingegangen wird, ein kurzer Blick auf Newtons Entwicklung geworfen werden.

Newton (vergl. Cohen (1999)) hatte keine angenehme Kindheit und galt in der Schule als "idle" und "inattentive". Im Alter von 19 Jahren schrieb er alle seine Sünden auf und nannte: "... Threatening my father and mother Smith to burn them and the house over them, ... setting my heart on money, learning, and pleasure more than Thee ...", er hatte also schon in jungen Jahren eine Leidenschaft für das Lernen, seine "idleness" war tatsächlich nur scheinbar, wie die Geschichte seiner frühen Jahre lehrt. Im Juni 1661 beginnt er seine Studien in Trinity College Cambridge, mit dem Ziel, einen Grad in der Jurisprudenz zu erwerben. Die Philosophie des Aristoteles dominierte die Lehre in Cambridge, aber im dritten Jahr hatte er ein paar Freiheiten bei der Wahl der Fächer. Er studierte die Arbeiten von Descartes, Hobbes, Gassendi und insbesondere die von Boyle. Er wandte sich dann dem kopernikanischen Modell und den Arbeiten Galileis und Keplers zu, wobei er seine Gedanken zu diesen Bereichen in einem Buch niederschrieb, das er *Quaestiones Quaedam Philosophicae* (Gewisse philosophische Fragen) betitelte; demnach formierten sich die Ideen, die er später ausarbeitete, bereits um das Jahr 1664, also im Alter von ungefähr 24 Jahren. Dem Text dieses Buches ging in lateinischer Sprache der Satz "Platon ist mein Freund, Aristoteles ist mein Freund, aber mein bester Freund ist die Wahrheit" voran; die großen Philosophen waren für ihn keine Autoritäten, deren Ansichten man zu übernehmen hatte, sondern die Anregungen zum eigenen Denken lieferten. Sein Interesse für Mathematik begann, als er ungefähr 23 Jahre alt war: Er hatte auf einem Jahrmarkt in Cambridge ein Buch über Astrologie gekauft und konnte die darin vorkommende Mathematik nicht verstehen. Er wollte dann ein Buch über Trigonometrie lesen, hatte aber nicht die zum Verständnis notwendigen Voraussetzungen in Geometrie. Also las er Euklids *Elemente* in einer Ausgabe von Barrow, seinem (späteren) Lehrer. Das war der Beginn einer beeindruckenden intellektuellen Karriere, in deren Folge er u.a. noch vor Leibniz die Grundbegriffe der Differential- und Integralrechnung entwickelte, der sie später und unabhängig von Newton "erfand". Bezüglich der

Differential- und Integralrechnung ergab sich ein Prioritätsstreit zwischen Newton und Leibniz, der als einer der ersten in der Geschichte der Wissenschaft gilt; Newton verstand es, Leibniz als Plagiator zu denunzieren. Die Details des Streits sind in vielerlei Hinsicht interessant, worauf an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden soll; die damit verbundenen Aktivitäten Newtons verweisen allerdings auf einige eher unangenehme Seiten der Newtonschen Persönlichkeit¹⁸. Mittlerweile gilt als gesichert, dass Leibniz den *Calculus* unabhängig von Newton entwickelte¹⁹.

Es kann hier nicht auf Newtons gesamtes Werk eingegangen werden, es soll vielmehr ein wissenschaftstheoretischer Fokus gesetzt werden. Dieser Fokus ergibt sich aus der Frage, wie für eine Wissenschaft, hier der Physik, ein begrifflicher Rahmen bestimmt werden kann, innerhalb dessen empirische Beobachtungen und theoretische Überlegungen auf konzeptuell sparsame Weise im Sinne William von Ockhams aufeinander bezogen werden können. Für die Physik ist wiederum der Begriff der Kraft von zentraler Bedeutung. Dieser Begriff steht deshalb im Zentrum der folgenden Betrachtungen.

2.8.1 Dynamik und der Kraftbegriff

Eine große Schwierigkeit bei der Entwicklung der Physik war die Fassung des Begriffs der Kraft. Intuitiv assoziiert man mit diesem Begriff die Anstrengung, die man spürt, wenn man z.B. einen Körper zu bewegen versucht, - oder auch tatsächlich bewegt. Menschen und Tiere ermüden, wenn sie einige Zeit lang Kraft aufgewendet haben, und da geworfene Steine und Kanonengeschosse nach einiger Zeit zu Boden fallen liegt es nahe, zu vermuten, dass Kraft sich bei ihrer Anwendung aufbraucht, - man erinnere sich an den Kraftbegriff des Aristoteles oder an den Impetusbegriff des Philoponos. Abstrakt formuliert ist Kraft notwendig, um den gegebenen Zustand eines Körpers zu verändern; der Zustand eines Körpers kann auch darin bestehen, eine bestimmte Bewegung auszuführen. Dementsprechend wird Kraft benötigt, um die Bewegung – die im Grenzfall gleich Null ist – eines Körpers zu ändern. Das unerwartet schwierige Problem ist allerdings, dass man überhaupt erst einmal auf diese abstrakte Definition kommen muß. Das mentale Gestrüpp umgangssprachlich vorformulierter Kraftbegriffe (Lebenskraft, Geisteskraft, natürliche Kraft, etc.) hat Philosophen und Naturforscher immer wieder daran gehindert, den gedanklichen Kern von dem, was Kraft ist, definitiv zu fassen und das Gesetzmäßige an ihm zu formulieren.

So werden in den Schriften etwa von Descartes, Leibniz und anderen, die an der Diskussion über das "wahre Kraftmaß" teilnahmen, aber auch in den Schriften Newtons verschiedene Ausdrücke synonym für den Kraftbegriff benutzt, wodurch die Klärung der Frage nach der Kraft außerordentlich erschwert wurde. Leibniz

¹⁸Eine interessante Lektüre in diesem Zusammenhang ist Djerassi & Pinner (2004)

¹⁹s. z.B.: Hall, A.R.: Isaac Newton, Adventurer in Thought. Cambridge 1992

insbesondere führte die Begriffe der toten ("conatus") und der lebendigen ("impetus") Kraft ein. Eine Kraft ist "tot", wenn sie keine Bewegung verursacht und nur das Bestreben hat, eine Bewegung hervorzurufen; die tote Kraft ist also eine virtuelle Kraft. Eine Kraft ist "lebendig", wenn sie mit einer wirklichen Bewegung verbunden ist. Mit der toten Kraft lasse sich nur die Statik diskutieren, ihr Maß sei die "Bewegungsgröße", die durch mv definiert sei, wobei m die Masse und v die Geschwindigkeit eines Körpers sei. Die lebendige Kraft führe über die Statik hinaus in eine wirkliche Bewegung, und das Maß für die lebendige Kraft sei mv^2 . Heute definiert mv den Impuls und mv^2 die kinetische Energie.

Auf die Details des Streits über das wahre Kraftmaß kann und muß hier nicht eingegangen werden (vergl. Szabó (1976), p. 45 - 79); wesentlich bei diesem Streit sind immer wieder die in den verschiedenen Argumentationen auftauchenden metaphysisch-ontologischen Elemente. Derartige Argumente in bezug auf den Begriff der Kraft fehlen bei Newton, obwohl, wie oben schon angedeutet, seine Aussagen über den absoluten Raum und die absolute Zeit durchaus als metaphysisch charakterisiert werden können. Der newtonsche Ansatz und die damit verbundene Leistung, die Verallgemeinerung des Fallgesetzes Galileis zu einem allgemeinen Gesetz der Massenanziehung, soll kurz skizziert werden, zumal das Resultat in Bezug auf den in Wissenschaftstheorie III diskutierten Begriff der Erklärung von Interesse ist.

Newtons Ansatz beruht auf den Arbeiten Galileo Galileis (1565 - 1642), Nicolaus Copernicus' (1473 - 1543), Tycho Brahes (1546 - 1601) und Johannes Keplers (1571 - 1630); auch die Arbeiten von René Descartes (1596 - 1659) haben Newton beeinflusst (z.B. das Trägheitsgesetz Galileis). Die berühmten Axiome²⁰ werden den folgenden Betrachtungen vorangestellt, da sie in die Argumentationen eingehen. Jedes der Axiome bezieht sich auf den Kraftbegriff.

Die Formulierungen sind der englischen Übersetzung (Cohen & Whitman (1999)) der Principia entnommen worden.

- I. Jeder Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder gleichförmigen Bewegung, es sei denn, er wird durch eine einwirkende Kraft gezwungen, diesen Zustand zu verlassen.
- II. Ein Wechsel der Bewegung ist proportional einer auf ihn einwirkenden Kraft (Newton: "motive force impressed") längs der geraden Linie, in deren Richtung die Kraft wirkt.
- III. Wirkt ein Körper A mit der Kraft F auf den Körper B ein, so wirkt B auf A mit der gleichen Kraft ein²¹.

²⁰Newton benutzt die Ausdrücke 'Axiom' und 'Gesetz' als äquivalent; das Kapitel in seiner *Principia* in englischer Übersetzung *Axioms, or the laws of motion* (Cohen & Whitman, 1999).

²¹Eine direkte Übersetzung der an das lateinische Original angelehnten englischen Übersetzung ist im Deutschen nicht sehr klar: To any action there is always an opposite and equal reaction; in other words, the actions of two bodies upon each other are always equal and always opposite

Das erste Axiom (oder Gesetz) ist schon von Galilei formuliert worden; seine Behandlung des freien Falls von Körpern basiert u.a. auf diesem Prinzip. Auch Descartes hat das Prinzip 1644 erwähnt, aber Newton hat dieses Trägheitsprinzip als Erster auf alle Körper, also auch auf Himmelskörper, angewandt. In modernen Darstellungen wird das Gesetz durch den Ausdruck

$$\mathbf{v}(t) = \dot{\mathbf{x}}(t) = \frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \text{const.} \quad (2.2)$$

repräsentiert, wobei \mathbf{v} ein Geschwindigkeitsvektor ist, der die Richtung und Größe der Bewegung abbildet, und $\mathbf{x}(t)$ ist ein Ortsvektor (allgemein bezeichnen fett gedruckte Buchstaben Vektoren). Die Schreibweise $\dot{\mathbf{x}}(t)$ geht auf Newton, die Schreibweise $d\mathbf{x}(t)/dt$ geht auf Leibniz zurück. Natürlich wird bei dieser Begriffsbildung implizit ein Koordinatensystem angenommen, – nämlich eines, in Bezug auf das sich der Körper kräftefrei und damit gleichförmig bewegt oder eben in Ruhe ist ($v(t) = 0$ für alle t bis zu einem Zeitpunkt, zu dem eine Kraft auf den Körper einwirkt). Solche System heißen *Inertialsystem* (von inertia = Trägheit); dieser Begriff wurde allerdings erst nach Newton in die Physik eingeführt.

Für das zweite Gesetz findet man auch die Formulierung

$$\mathbf{F} = m\dot{\mathbf{p}}. \quad (2.3)$$

Dabei steht m für die Masse des Körpers und $\dot{\mathbf{p}}$ ist bei Newton für

$$\frac{d\mathbf{p}(t)}{dt} = \ddot{\mathbf{v}}(t) = \frac{d^2\mathbf{x}(t)}{dt^2}, \quad (2.4)$$

wobei $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ heute als Impuls bezeichnet wird. Die Kraft \mathbf{F} ist also proportional zur Veränderung des Impulses und damit proportional zur Veränderung der Geschwindigkeit; die heute vielfach verwendete Formulierung

$$\mathbf{F}(t) = mb(t), \quad \mathbf{b}(t) = \frac{d\mathbf{v}(t)}{dt} = \frac{d^2\mathbf{x}(t)}{dt^2} \quad (2.5)$$

wurde erst 1750 von Leonhard Euler eingeführt (\mathbf{b} steht für Beschleunigung, weshalb man auch die Schreibweise $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ mit a für acceleration findet). Im Folgenden wird auch von der Schreibweise $F(t)$, $b(t)$, etc Gebrauch gemacht, wenn nämlich nur skalare Größen gemeint sind.

Das dritte Gesetz ("actio = reactio") spezifiziert die Beziehung zwischen einem Körper ("Massepunkt") und seiner Umgebung: Die Kraft, die aus der Umgebung auf den Körper einwirkt, entspricht der Kraft, mit der der Körper auf die Umgebung wirkt. Hat man zwei Massepunkte und wirkt der erste mit der Kraft \mathbf{F}_{12} auf den zweiten ein, so wirkt der zweite auf den ersten mit der Kraft $-\mathbf{F}_{21}$ ein:

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}. \quad (2.6)$$

in direction.

Newton formulierte ein Zusatzprinzip, das die Wirkung mehrerer Kräfte F_1, \dots, F_n auf einen Körper charakterisiert:

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i = \mathbf{F}, \quad (2.7)$$

d.h. die Kräfte überlagern sich additiv (Superpositionsprinzip).

Diese drei Gesetze (Axiome) erfordern die Definition eines Koordinatensystems, in Bezug auf das Geschwindigkeiten und Beschleunigungen gemessen werden können. Zu diesem Zweck fügte Newton den ersten drei Axiomen zwei weitere hinzu, auf die aber in einem gesonderten Abschnitt (Abschnitt 2.8.3) eingegangen wird.

Szabó (1976) weist darauf hin, dass die Beziehung (2.5) in der *Principia Mathematica* von 1687 nicht vorkommt – sie wurde erst von Euler 1750 formuliert, auch nicht die Worte "Masse" oder "Beschleunigung" kommen nicht vor. Cohen et al. in *Guide to Newton's Principia* führen aus, dass Newton eine Reihe verschiedener Kraftbegriffe gebrauchte, dass die Bildung des Kraftbegriffs bei ihm gewissermaßen eine Entwicklung durchläuft: es gibt "aktive" und "passive" Kräfte, chemische Kräfte und solche, die sich auf den Äther beziehen (Cohen et al. (1999), p. 54). Die Aussage, aus der (2.5) gefolgert werden kann, ist das zweite Gesetz: *Die Änderung der Bewegungsgröße ist die Einwirkung der bewegendenden Kraft proportional und erfolgt in der Richtung, in der diese Kraft wirkt.* Newton hat auch nicht von der Differentialrechnung Gebrauch gemacht. Die Formel (2.5) ergibt sich erst, indem man die verschiedenen Definitionen und Gesetze in Newton's *Principia* zusammenfassend diskutiert. Szabó argumentiert, dass das Gesetz (2.5) aus einem bestimmten Grund nicht explizit in der *Principia* auftaucht: Newton habe diese Beziehung als selbstverständlich - also als evident - empfunden. Das mag so sein.

Die Entwicklung des Kraftbegriffs ist von wissenschaftstheoretischem Interesse, weil sie die Bedeutung einer rationalen Analyse in Hinblick auf eine empirische Überprüfung illustriert. Offenbar können Begriffe nicht beliebig definiert werden; zunächst umgangssprachlich und implizit definierte Begriffe wie der der Kraft, von dem jeder zunächst eine Vorstellung aus dem täglichen eigenen Erleben hat, müssen auf die Implikationen hin analysiert werden, die sie durch die jeweilige strengere Fassung, die in einem wissenschaftlichen Kontext erforderlich ist, haben.

Es ist immer wieder argumentiert worden, (2.5) stelle kein Gesetz, sondern einfach eine Definition dessen dar, was unter "Kraft" verstanden werden soll. Ernst Mach (1916) spricht von *Bewegender Kraft*, die das "Produkt aus dem Massenwert eines Körpers in die an demselben bestimmte Beschleunigung" sei, und bezeichnet diese Formulierung als Definition. Westphal (1956) in seinem Standardwerk *Physik* stellt ausdrücklich fest, die Aussage $F = mb$ sei kein Gesetz, sondern eine Definition. Dieser Auffassung ist auch Max Planck (1916) sowie Paul Lorenzen (1976). Sommerfeld (1962) weist in seinem Standardwerk darauf hin, dass in der

Gleichung $F = mb$ die Masse m als bisher nicht definierte Größe auftritt. Das legt nahe, dass die Gleichung auch als Definition des Massebegriffs aufgefasst werden kann, aber nach Sommerfeld steckt doch mehr in der Gleichung, da die Begriffe 'Masse' und 'Kraft' in gewissermaßen wechselseitiger Abhängigkeit voneinander definiert werden. Stephani und Kluge (1975) argumentieren dementsprechend, dass es eine von der Gleichung $F = mb$ unabhängige Definition von Masse innerhalb der Mechanik gar nicht gäbe. Andere Autoren wie Goldstein (1963) sind der Auffassung, die Gleichung $F = mb$ könne sowohl als ein grundlegendes Postulat als auch als eine Definition von Kraft und Masse angesehen werden, während Ludwig (1974) diese Gleichung, für sich allein genommen, für eine "leere Aussage" hält.

Hoyer (1977), p. 295, stellt eine Liste von Auffassungen zusammen: $F = mb$ bedeutet

1. eine Definition der Kraft,
2. eine Definition der Masse,
3. eine implizite Definition der darin enthaltenen Größen,
4. eine leere Aussage,
5. ein Naturgesetz, und
6. sowohl eine Definition wie auch ein Naturgesetz dar.

Hoyer argumentiert, dass die Aussage $F = mb$ empirisch überprüft werden müsse, wenn sie ein Gesetz definiert, und für eine solche Überprüfung müssen die Größen F , m und b unabhängig voneinander gemessen werden, was aber eine Definition nicht nur von b , sondern eben auch von F und m voraussetzt. Dazu muß die Frage beantwortet werden, wie denn nun die Kraft F definiert ist und was unter der Masse m verstanden werden soll. Hoyer argumentiert weiter, dass $F = mb$ sowohl eine Definition wie auch ein Gesetz sei. Man kann argumentieren, dass zu Newtons Zeiten Masse so viel wie spezifische Schwere bedeutet habe, und die sei mit einer Waage zu messen. Damit hätte man eine vom Kraftbegriff unabhängige Definition von Masse, womit eine empirische Überprüfung des Kraftbegriffs, wie sie in der Gleichung $F = mb$ zum Ausdruck gebracht wird, möglich werde. Dazu könne man Federn oder Gewichte als Kraftnormale verwenden (Hoyer, p. 297). Diese Federn halten einen Körper in Ruhe, d.h. sie hindern ihn am Fallen. Das Maß für das Gewicht ist dann ein Maß für die Kraft. Stegmüller (1974) hält derartige Ansätze für fehlerhaft, weil sie auf der fiktiven Annahme beruhten, dass man die Werte von Orts-, Kraft und Massenfunktionen unabhängig von einer Theorie messen könne; die Größen *Masse* und *Kraft* seien nur in theorienabhängiger Weise meßbar. Diederich kontert: die Tatsache, dass an einer ruhenden, gespannten Feder überhaupt Kräfte auftreten, stelle einen Zugang zum Kraftbegriff dar, der unabhängig vom Begriff der Beschleunigung sei, der ja in der Gleichung $F = mb$ auftritt.

Geht man davon aus, dass der Begriff der Kraft nur eine Sache der Definition ist, wird man allerdings auf Schwierigkeiten geführt. Denn reine Definitionen

sind in gewisser Weise beliebig, – man hat im Prinzip die Freiheit, den Begriff der Kraft auch anders als durch die Gleichung $F = mb$ zu definieren. Man könnte sich für Descartes' Konzeption von Kraft, nämlich $F = mv$ entscheiden, wobei v die Geschwindigkeit eines Körpers ist. Ist die Geschwindigkeit des Körpers gleich Null, $v = 0$, so folgt $F = 0$, auf den Körper wirkt dann keine Kraft ein. Für $v \neq 0$ folgt wiederum für $m \neq 0$ die Beziehung $F \neq 0$, d.h. die Bewegung eines Körpers impliziert stets, dass auch eine Kraft wirkt, – im Widerspruch zum Galileischen Trägheitsprinzip, demzufolge ein Körper eine Geschwindigkeit ungleich Null haben kann, ohne dass eine Kraft auf ihn einwirkt. Die Charakterisierung eines Begriffs wie dem der Kraft wird also kaum durch eine bloße Nominaldefinition zu erreichen sein. Andererseits wird in einigen Texten (z.B. Fließbach (1996)) die Beziehung $F = mb$ als Axiom derart eingeführt, dass (i) eine *Definition* der Masse, eine *Definition* der Kraft, und (ii) eine physikalische Aussage über die Bahnbewegung beinhaltet. Demnach ist die Masse ein Maß für den Widerstand, die ein Körper der Änderung seiner Geschwindigkeit entgegensetzt; die Masse heißt demnach auch *träge Masse*. Sie wird begrifflich getrennt von der *schweren Masse*, die proportional zur Stärke der Gravitationskraft auf einen Körper ist.

Andererseits kann man die Gültigkeit von $F = mb$ empirisch nachweisen (vergl. Susskind und Hrabovsky (2014), p. 66). Die Beschleunigung eines Körpers läßt sich messen. Weiter befestige man eine Spiralfeder an einem Körper A mit gegebener Masse und ziehe die Spiralfeder bis zu einer bestimmten Marke aus, die eine bestimmte Kraft angibt (Hookes (1676) Gesetz); überläßt man die Feder wieder sich selbst, so erfährt A eine bestimmte Beschleunigung b . Man könnte jetzt die Spiralfeder weiter ausziehen, aber es ist nicht klar, ob die dadurch auf A ausgeübte Kraft proportional zu dieser weiteren Ausdehnung ist. Statt dessen kann man einen weiteren Körper mit der gleichen Masse an der Spiralfeder befestigen und nun die Feder bis zur selben Marke wie vorher auseinanderziehen, so dass man sagen kann, dass die auf die beiden Körper wirkende Kraft dieselbe ist. Man findet, dass die Beschleunigung der beiden Körper die Hälfte der Beschleunigung nur eines Körpers beträgt, in der b durch messbare Größen bestimmt wird). Man kann in dieser Weise weiter verfahren, indem man drei Körper mit identischer Masse (sagen wir: 1 kg) beschleunigt, indem man die Feder bis zu der gesetzten Marke auseinanderzieht. Die Kraft, die auf die Körper wirkt, ist wieder identisch zu der Kraft, die auf einen bzw. zwei Körper eingewirkt hat. Man findet, dass die Beschleunigung der drei Körper nur noch ein Drittel der Beschleunigung beträgt, die bei nur einem Körper festgestellt wurde. Man kann in dieser Weise fortfahren und die empirischen Befunde in der Formel $F = mb$ zusammenfassen (F ist bei diesem Experiment gleich einer Konstanten und $F = km \cdot b/k = mb$, mit $k = 1, 2, \dots$). Dieser Befund spricht für $F = mb$ als einem Gesetz.

Es ist nicht uninteressant, sich klar zu machen, dass diese Charakterisierung des Kraftbegriffs eben *nicht* aristotelisch ist. Der aristotelische Kraftbegriff basierte auf der unmittelbaren Wahrnehmung: um einen Karren zu bewegen, muß Kraft auf ihn ausgeübt werden. Ohne Kraft bewegt sich der Karren nicht. Beim

newtonschen Kraftbegriff muß Kraft aufgewendet werden, um die Bewegung eines Körpers zu *ändern*. Man stelle sich eine sehr glatte Kugel auf einer sehr glatten Ebene vor – "sehr glatt" soll heißen, dass Reibungseffekte vernachlässigbar sind. Einmal angestoßen, bewegt sich die Kugel auch dann noch, wenn keine Kraft mehr auf sie ausgeübt wird. Mit dem aristotelischen Kraftbegriff läßt sich dieses Verhalten der Kugel nicht erklären. Für eine Änderung der Bewegungsrichtung muß Kraft aufgewendet werden, ebenso muß eine Kraft wirken, wenn die Rollbewegung der Kugel langsamer wird. In diesem Fall wirken Reibungskräfte. Die Kugel rollt nicht in eine bestimmte Richtung, um den ihr entsprechenden Ort zu finden, – derartige teleologische Aspekte der Kraft tauchen bei Newton nicht auf und müssen deshalb auch nicht weiter erklärt werden.

Über die Axiome hinaus hat Newton eine allgemeine Formel zur Gravitation hergeleitet, aus der sich grundlegende Aussagen ableiten lassen. Sie wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

2.8.2 Das allgemeine Gravitationsgesetz

Galilei fand empirisch, dass ein Körper unabhängig von seinem Gewicht mit konstanter Beschleunigung zu Boden fällt, ohne eine Erklärung für diesen Sachverhalt angeben zu können. Unklar blieb auch die Beziehung zwischen der Trägheit eines Körpers einerseits und seinem Gewicht andererseits. Newton postulierte nun (implizit!), dass die Kraft durch die Beziehung $F = mb$ gegeben sei²², wobei F und b Funktionen der Zeit sein können. Newtons große und in seiner Zeit keineswegs selbstverständliche Einsicht war, dass es eine Beziehung zwischen den Kräften, die die Planeten auf ihren Bahnen um die Sonne halten und der Kraft, die ein zu Boden fallender Körper erfährt geben muß. Der Legende nach ist Newton der entscheidende Gedanke gekommen, als er im Garten einen Apfel zu Boden fallen sah; sein Freund William Stukeley hat die Geschichte aufgeschrieben (zitiert nach Hall (1996)):

William Stukeley: "After dinner, the weather being warm, we went into the garden [of Newton's last residence, in Kensington] and drank thea, under the shade of some appletrees, only he and myself. Amidst other discourse, he told me, he was just in the same situation, as when formerly, the notion of gravitation came into his mind. It was occasion'd by the fall of an apple, as he sat in a contemplative mood. Why should that apple always descend perpendicularly to the ground, thought he to himself. Why should it not go sideways or upwards, but constantly to the earth's centre? Assuredly, the reason is, that the earth draws it. There must be a drawing power in matter: . . . If matter thus draws matter, it must be in proportion of its quantity. Therefore the apple draws the earth, as well as the earth draws the apple. [And thus] there is a power, like that we here call gravity, which extends its self thro' the universe." Der Obstgarten hinter dem Geburtshaus

²²Es genügt für das Folgende, den skalaren Fall zu betrachten.

Abbildung 4: Isaac Newton und der fallende Apfel; japanische Darstellung aus dem 19-ten Jahrhundert



in Woolsthorpe/Lincolnshire, dem Geburtsort Newtons, existiert noch, und Pomologen sind der Ansicht, es habe sich um einen grünen, säuerlichen Apfel mit dem Namen "Flower of Kent" gehandelt. Die Geschichte könnte sich aber auch in Obstgärten der Babingtons (eine mit Newtons Familie befreundete Familie) oder in einem Obstgarten in Boothby Pagnell, einem Woolsthorpe benachbarten Dorf, abgespielt haben.

Newton selbst hat den Zusammenhang zwischen Planetenbewegung und fallenden Körpern in der *Principia* auf andere Weise veranschaulicht (zitiert nach Szabó (1976), p. 5)

"Dass durch die Zentralkräfte die Planeten in ihren Bahnen gehalten werden können, ersieht man aus der Bewegung der Wurfgeschosse. Ein (horizontal) geworfener Stein wird, da auf ihn Schwere wirkt, vom gerade Wege abgelenkt und fällt, indem er eine krumme Linie beschreibt, zuletzt zur Erde. Wird er mit größerer Geschwindigkeit geworfen, so fliegt er weiter fort, und so könnte es geschehen, dass er zuletzt über die Grenzen der Erde hinausflöge und nicht mehr zurückfiele. So würden die von einer Bergspitze mit steigender Geschwindigkeit fortgeworfenen Steine immer weitere Parabelbögen beschreiben und zum Schluß - bei einer bestimmten Geschwindigkeit - zur Bergspitze zurückkehren und auf diese Weise sich um die Erde bewegen."

Wenn man bei einem zu Boden fallenden Körper von *schwerer Masse* spricht und bei einem Körper, der etwa auf einer Ebene bewegt werden soll, von *träger Masse*, so ist also Newtons Idee, dass schwere und träge Masse gleich groß oder zumindest proportional zueinander sind. Ein Nachweis für diesen Gedanken ergibt sich aus

Newtons allgemeiner Gravitationsformel

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.8)$$

wobei m_1 und m_2 die Massen zweier Körper sind und r der Abstand zwischen ihnen ist. G ist eine allgemeine Naturkonstante. Im Anhang, Abschnitt ??, wird eine kurze Herleitung dieser Beziehung gegeben. In ihr wird deutlich, wie Newton das dritte Keplersche Gesetz benutzte, um die Formel (2.8) zu gewinnen. Für einen fallenden Körper mit der Masse m ist $m_1 = m_E$, die Masse der Erde, $m_2 = m$, und $r = r_E$ der Erdradius, so dass

$$F = m \frac{G m_E}{r_E^2} = mg, \quad g = \frac{G m_E}{r_E^2} \quad (2.9)$$

Hieraus folgt sofort

Galileis Befund: Körper mit verschieden großen Massen haben gleiche Fallzeiten.

So sei $m_1 = m$ die Masse des leichteren, und M sei die Masse des schwereren Körpers, und beide Körper haben denselben Abstand $r > r_E$ zum Erdmittelpunkt, wobei r_E der Erdradius sei. m_E sei die Masse der Erde. Auf die Körper wirken nun die Kräfte $F_1 = mg$ und $F_2 = Mg$ in Richtung auf der Erdmittelpunkt und wegen $M > m$ ist sicherlich $F_2 > F_1$. Nun folgt sofort

$$b = \frac{F_1}{m} = \frac{F_2}{M} = \frac{G m_E}{r_E^2} = g, \quad (2.10)$$

d.h. beide Körper erfahren dieselbe Beschleunigung, – also fallen sie gleich schnell.

Träge und schwere Masse: Das erste newtonsche Axiom besagt, dass ein Körper, der – relativ zu einem Koordinatensystem – in Ruhe ist oder sich gleichförmig bewegt, diesen Zustand nur dann aufgibt, wenn eine Kraft auf ihn einwirkt; je größer die Masse m_i des Körpers ist, desto größer muß die Kraft $F = m_i b$ sein, die aufgewendet werden muß, um ihn aus der Ruhe oder der gleichförmigen Bewegung zu bringen. m_i ist die träge Masse; der Index i steht für inertia, lat. für träge. Die Beschleunigung eines Körpers läßt sich messen. Insbesondere gelte nun

$$F = F_g = m_i g = m_i \frac{d^2 x(t)}{dt^2}, \quad \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = g.$$

Für den freien Fall desselben Körpers mit Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 0$ gilt nun

$$F_g = m_g \frac{d^2 s(t)}{dt^2},$$

wobei $s(t)$ der Ort über der Ebene ist, auf die der Körper fällt. Nach Voraussetzung gilt also

$$m_i g = m_g g, \quad (2.11)$$

d.h. aber, dass $m_i = m_g$; schwere und träge Masse sind also identisch. Nimmt man umgekehrt an, dass träge und schwere Masse identisch sind, so sagt man voraus, dass Körper mit verschiedener Masse beim freien Fall gleich beschleunigt werden (wenn der Luftwiderstand vernachlässigt werden kann bzw. wenn sie in einem Vakuum fallen), denn dann muß $F_1 = m_1g$, $F_2 = m_2g$ gelten und man hat

$$\frac{F_1}{m_1} = \frac{F_2}{m_2} = g. \quad (2.12)$$

Diese Beziehung läßt sich empirisch überprüfen, und bis jetzt ist sie stets mit großer Genauigkeit bestätigt worden.

Die Äquivalenz von träger und schwerer Masse ist als *Äquivalenzprinzip* bekannt; Einstein hat dieses Prinzip zur Grundlage seiner Allgemeinen Relativitätstheorie gemacht.

2.8.3 Absoluter Raum und absolute Zeit

Bis zum Beginn des 17-ten Jahrhunderts glaubte man, dass das Universum durch eine Art Schale begrenzt sei, an der die Fixsterne befestigt seien, noch Nikolaus Kopernikus und Johannes Kepler glaubten an diese Theorie, und jede Bewegung konnte als Bewegung relativ zu dieser Schale aufgefasst werden. Ab 1609 hatte Galilei den Sternenhimmel mit dem Fernrohr betrachtet und war zur Einsicht gekommen, dass sich die Erde wie alle anderen Planeten um die Sonne bewegt, und zusammen mit der Wiederentdeckung der Theorien von Leukipp und Demokritos, denen zufolge sich Atome in einem leeren Raum bewegen führten Galileis Beobachtungen dazu, dass die "Schalen"theorie in Frage gestellt wurde (Barbour (1999), p. 61). René Descartes (1596 – 1650) hatte begonnen, sich grundsätzliche Gedanken über die Natur der Bewegung von Körpern zu machen, die er 1632 in einem Buch zusammenfasste. Ein zentrales Resultat der Descarteschen Überlegungen war, dass Körper, auf die keine Kräfte wirken, sich mit konstanter Geschwindigkeit längs einer geraden Linie bewegen; vor ihm hatte noch niemand diese These formuliert (zumindest hat sie anscheinend niemand vor Descartes aufgeschrieben). Diese These ist offenbar das Trägheitsgesetz. Allerdings publizierte Descartes seinen Text nicht, denn 1633 hatte die Inquisition Galilei zu lebenslanglichem Hausarrest verurteilt, weil er seine Ansichten über die Bewegung der Erde veröffentlicht hatte, und Descartes wollte sich das Schicksal Galileis ersparen. Allerdings publizierte Descartes seine Überlegungen in seinem Buch *Prinzipien der Philosophie*, die auch Betrachtungen über relative Bewegungen enthielten. Demnach sind alle Bewegungen Bewegungen relativ zu anderen Körpern. Barbour (1999), p. 61 argumentiert, dass diese Betrachtungen Descartes' eine Art von Versicherungspolice darstellen, die ihn vor der Inquisition schützt. Jeder Körper kann einen Referenzpunkt darstellen, und jeder Körper kann ganz verschiedene Bewegungen ausführen. Was Descartes ausschloß war die Möglichkeit, dass ein Körper eine "wahre philosophische" Bewegung haben könnte, womit er eine Bewegung relativ zu der ihn unmittelbar umgebenden Materie meinte. Tatsächlich

ging Descartes davon aus, dass es keinen leeren Raum gibt, der Raum ist überall mit Materie gefüllt, die die Erde in einer Wirbelbewegung um die Sonne trägt. Er argumentierte, dass die Erde sich nicht bewegt, – weil sie sich angeblich nicht relativ zu der die Erde umgebenden Materie bewegt. Mit dieser Argumentation hielt Descartes sich die Inquisition vom Leibe. Dann schrieb er das bereits 1632 formulierte Trägheitsgesetz auf.

Newton studierte das Werk um das Jahr 1670 herum und bemerkte einen Widerspruch in der Argumentation Descartes. Das Trägheitsgesetz setzt die Existenz einen festen Bezugsrahmens voraus, und genau diese Existenz hatte Descartes verneint. Newton nahm das Trägheitsgesetz als erstes Axiom in seine Axiomatik der Mechanik auf und fügte, ohne Descartes weiter zu erwähnen, zwei weitere Axiome hinzu: eines über den absoluten Raum und eines über die absolute Zeit.

Newton schreibt im Kommentar zu seinen drei Axiomen, dass diese der direkten Erfahrung entsprächen (s. Cohen et al. (1999)), die Axiome aber gleichwohl unvollständig seien. So wird im ersten Axiom ("Trägheitsgesetz") zwar von einem ruhenden oder in einer geradlinigen, konstanten Geschwindigkeit befindlichem Körper gesprochen, aber es wird nicht gesagt, was 'ruhend' oder 'gleichförmig' (im Sinne von geradlinig und konstant) bedeuten sollen. Man würde heute sagen, dass damit ein Bezug auf ein Koordinatensystem gemeint sei, aber bei Newton tritt dieser Begriff nicht auf. Statt dessen postuliert Newton, wie gerade angemerkt, (i) eine absolute Zeit, und (ii) einen absoluten Raum. Diese beiden Postulate spielen die Rolle eines vierten und fünften Axioms (in englischer Übersetzung des ursprünglich lateinischen Textes, s. Cohen et al., (1999), p. 408):

- IV. *Absolute Zeit:* Absolute, true, and mathematical time, in and of itself and of its own nature, without reference to anything external, flows uniformly and by another name is called duration. Relative, apparent, and common time is any sensible and external measure (precise or imprecise) of duration by means of motion; such a measure – for example, an hour, a day, a month, a year – is commonly used instead of true time.
- V. *Absoluter Raum:* Absolute space, of its own nature without reference to anything external, always remains homogeneous and immovable. Relative space is any movable measure or dimension of this absolute space; such a measure or dimension is determined by our senses from the situation of the space with respect to bodies and is popularly used to immovable space, as in the case of space under the earth or in the air or in the heavens, where the dimension is determined from the situation of the space with respect to the earth.

Newton fügt noch an:

"the motion of a whole is the same as the sum of motions of the parts; that is, the change in position of a whole from its place is the same as the sum of the changes in position of its parts from their places, and thus the place of a whole is the same as the sum of the places of the parts is internal in the whole body."

Newton unterscheidet absolute von relativer Bewegung: Absolute Bewegung ist der "Wechsel der Position eines Körpers von einem absoluten Ort zu einem anderen; relative Bewegung ist der Wechsel der Position eines Körpers von einem relativen Ort zu einem anderen relativen Ort". Als Beispiel verweist Newton auf "ein Schiff unter Segeln": der relative Ort eines Körpers ist der Ort auf dem Schiff, an sich ein Körper befindet und der sich mit dem Schiff bewegt, aber der absolute Punkt der Ruhe ist das Verweilen des Körpers an demselben Ort im unbeweglichen Raum, in dem das Schiff sich bewegt.

Die Forderung, dass der absolute Raum "unbeweglich" sein soll, ist nahelegend, denn würde er sich bewegen, würde sich die Frage, relativ zu was er sich denn bewege, sofort stellen; um einen infiniten Regress zu vermeiden, muß man also gleich annehmen, dass der Raum unbeweglich ist. Die Forderung, dass er sich überall selbst ähnlich sein soll bedeutet wohl, dass etwa die Entfernung zwischen zwei Punkten unabhängig vom Ort, an dem sich die beiden Punkte befinden, sein soll. Man kann kurz sagen, dass der Raum *isotrop* sein soll, d.h. er soll in allen Richtungen dieselbe Struktur haben, d.h. die Distanz $d(x, y)$ zwischen zwei Punkten oder Objekten ist unabhängig vom Ort im Raum. Dann kann man die Distanz zwischen den beiden Körpern durch die euklidische Distanz $d(x, y) = (\sum_{i=1}^3 (x_i - y_i)^2)^{1/2}$ ausdrücken, wobei $x = (x_1, x_2, x_3)$ und $y = (y_1, y_2, y_3)$ die Koordinaten der Punkte in einem absoluten Koordinatensystem repräsentiert.²³ Absolute Bewegung ist Bewegung relativ zum absoluten Raum, wobei immer noch zu klären ist, was ein *absoluter* Raum sein soll, und relative Bewegung ist Bewegung relativ zu einem anderen Körper, und im Gegensatz zur absoluten Bewegung kann relative Bewegung direkt gemessen werden.

Newton schreibt, dass die ersten drei Axiome auf Erfahrung beruhen, und so sucht er eine empirische Rechtfertigung zunächst für den absoluten Raum. Diese findet er in der Konzeption des Eimerexperiments. Dabei wird ein nicht vollständig mit Wasser gefüllter Eimer an einem Seil aufgehängt und so lange gedreht, bis das Seil hinreichend verdrillt ist, um das eigentliche Experiment durchzuführen: man läßt den Eimer los und der Eimer beginnt, sich zu drehen (Reibungseffekte). Das Wasser bleibt in den ersten Momenten nahezu bewegungslos, bis es beginnt, wahrnehmbar ebenfalls zu rotieren, wobei die Wasseroberfläche eine sich immer stärker ausbildende parabolische Form annimmt: Das Wasser steigt an der Eimerwand hoch und relativ dazu sinkt es im Zentrum ab. Das Wasser übernimmt die Rotation des Eimers bis es relativ um Eimer ruht. Newton schreibt:

"The causes which distinguish true motions from relative motions are the forces impressed upon bodies to generate motion. True motion is neither generated nor changed except by forces impressed upon the moving body itself, but relative motion can be generated and changed without the impression of forces upon this body." (Cohen et al. (1999), p. 412)

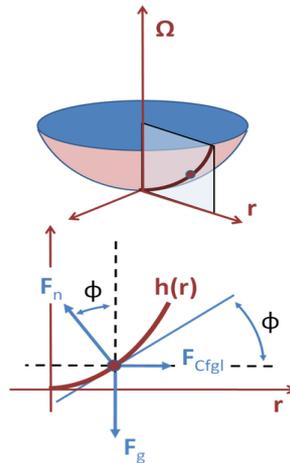
²³János Bolyai, (1802 – 1860), ungarischer Mathematiker, Nikolai Iwanowitsch Lobatschewski (1792 – 1856), russischer Mathematiker, sie entwickelten unabhängig voneinander Geometrien, in denen das Parallelenaxiom nicht gilt, Bernhard Riemann (1826 – 1866), deutscher Mathematiker.

Nachdem Newton das Eimerexperiment geschildert hat fährt er fort:

”The effects distinguishing absolute motion from relative motion are the forces of receding from the axis of circular motion. For in purely relative circular motion these forces are null, while in true and absolute circular motion they are larger or smaller in proportion to the quantity of motion. . . . The rise of the water reveals its endeavor to recede from the axis of motion, and from such an endeavor one can find out and measure the true and absolute motion of the water, which here is its direct opposite of its relative motion. In the beginning when the relative motion of the water in the vessel was greatest, that motion was not giving rise to any endeavor to recede from the axis; the water did not seek the circumference by rising up the sides of the vessel but remained level, and therefore its true circular motion had not yet begun. But afterward, when the relative motion of the water decreased, its rise up the sides of the vessel revealed its endeavor to recede from the axis, and this endeavor showed the true circular motion of the water to the continually increasing and finally becoming greatest when the water was relatively at rest in the vessel. . . . (Cohen et al (1999), p. 412–413)

Das Wasser wird von einer zentrifugalen Kraft an den Rand des Eimers gedrückt, so dass es an der Eimerwand hochsteigt. Aus den newtonschen Axiomen läßt sich ableiten, dass die Form der Wasseroberfläche paraboloid ist (Knudsen und Hjorth (1995), p. 144); Abbildung 5 zeigt die Zerlegung der Kräfte, die die Bewegung des

Abbildung 5: Die Kräfte in Newtons Eimer



Wassers beschreiben; $h(r)$ ist die Funktion, die die Wasseroberfläche beschreibt, sie folgt der Gleichung einer Parabel.

Der zweite Teil des Experiments beginnt, wenn die Drehung des Eimers aufhört (man stoppt den Eimer). Diesen Teil des Experiments beschreibt Newton

nicht.

Wie Jammer (p. 116) anmerkt, bewegen sich jetzt Eimer und Wasser relativ zueinander und die Richtungen der Bewegungen sind einander entgegengesetzt. Bei rein mechanischen Vorgängen dreht sich der Zeitparameter um (die Bewegungsgesetze können bezüglich der Zeit t vorwärts und rückwärts gelesen werden), so hätte sich dieselbe Bewegung ergeben. Zwischen den beiden Zuständen (Drehungen) würde kein physikalischer Unterschied existieren. Aber im ersten Teil des Experiments ist die Wasseroberfläche eben, im zweiten Teil ist sie parabolisch. Daraus schließt Newton, dass die Bewegung absolut und nicht relativ ist.

In der Tat hat es gleich nach Veröffentlichung der *Principia* Kritik an der Annahme des absoluten Raumes gegeben (Jammer (1960)): Bishop Berkeley, Christiaan Huyghens (Briefwechsel mit Leibniz), und eben Leibniz, – alle wollen nur Bewegungen der Körper relativ zueinander zulassen.

Leibniz – Analysis situ: Die Analysis situ, d.h. die Analyse der Lage, bildet das Zentrum des Leibnizschen Raumbegriffs. Raum ist nach Leibniz "eine bestimmte Ordnung des Beisammen" (Graf Wallwitz (1991)). Diese Ordnung wird letztlich bestimmt durch die Beziehungen zwischen den Monaden bestimmt, die ihrerseits durch die Logik bestimmt werden. Dabei sind die Relationen "ideale Gebilde die nichts von der substantiellen Realität der Monaden. Dennoch entspricht dem Verhältnis der Monaden untereinander "die Ordnung des existierenden Universiums" (Graf Wallwitz (1991), p. 111). Der Leibnizsche Raumbegriff kann hier nicht weiter verfolgt werden: dass der Raum durch die Relationen zwischen Körpern definiert wird, ist eine intuitiv leichter zugängliche Vorstellung als der Bezug auf einen absoluten Raum, aber der Bezug auf die hypothetischen Monaden ist eine Art metaphysischer Preis, den man für diesen intuitiven Zugang bei Leibniz zahlen muß. Andererseits ist der newtonsche absolute Raum ebenfalls ein metaphysischer Begriff; nach Newton ist der absolute Raum nicht wahrnehmbar. Die Auseinandersetzung mit dem newtonschen Raumbegriff wird im Briefwechsel mit Clark (Newton-Mitarbeiter) geführt, wobei Newton aus dem Hintergrund über Ratschläge an Clark wirkt.

Newton hält die hier auftretende "Fliehkraft" (hier des Wassers) für einen Nachweis der Existenz des absoluten Raumes. Er macht die Annahme, dass die Oberfläche des Wassers ebenso gekrümmt wäre, würde das Wasser im leeren Raum statt eines mit Sternenmaterie gefüllten Raumes rotieren. Das Argument ist allerdings nicht zwingend (vergl. Jammer (1960), p. 116). Man hat Newtons Schlußfolgerung als "inference to the best explanation" interpretiert (Sklar (1970), Belkind (2007)); wenn es dunkle Wolken am Himmel gibt und der Rasen im Garten naß ist, so ist die Annahme, dass es geregnet hat, die beste Erklärung für die Nässe des Rasens (sie hat die größte Wahrscheinlichkeit), ist aber nicht zwingend, denn es könnte nicht geregnet haben, aber jemand hat den Rasensprinkler angestellt.

Berkeley (s. Abschnitt 2.9) argumentiert bereits gegen Newtons implizite Annahme, dass das Eimerexperiment im leeren Raum genau das gleiche Ergebnis zeigen würde wie in unserem sternengefüllten Raum (in *De motu*, Über die Bewegung); eine absolute Bewegung in einem absoluten Raum sei eine reine Fiktion ohne jede experimentelle Grundlage. Tatsächlich kann man die Annahme des absoluten Raums als eine metaphysische Annahme betrachten; Jammer (1960), p. 119 - 122, verweist auf die Neigung des späten Newton, die Idee des absoluten Raumes mit der Gottes, genauer: die Allgegenwart des Raumes mit der Allgegenwart Gottes gleichzusetzen. Die gesamte Entwicklung der Mechanik, die Newton vorgelegt hat, diene letztlich der Rechtfertigung der Theorie des absoluten Raumes, was aus Newtons eigenen Anmerkungen (Scholium²⁴ im ersten Buch der *Principia*) hervorgeht (Jammer, p. 125).

Immanuel Kant (1769) plagt sich ebenfalls mit dem Problem des absoluten Raumes und vermeint, einen Beweis für die Existenz desselben in der Unterschiedlichkeit von links und rechts gefunden zu haben; die inneren Beziehungen zwischen den einzelnen Teilen der linken Hand zueinander seien die gleichen wie die der rechten Hand, aber gleichwohl existiere ein fundamentaler Unterschied zwischen beiden, denn man könne nicht die eine Hand an die Stelle der anderen setzen. Dieser Unterschied beweise die Existenz des absoluten Raumes. Hermann Weyl (1949, p. 84) zeigt, dass diese Unterscheidung vom mathematischen Standpunkt aus "rein kombinatorischer Art" sei und merkt an, Kant fände den Schlüssel zwischen rechts und links im transzendentalen Idealismus (vergl. Jammer, p. 144).

Während des 19-ten Jahrhunderts wird die Idee des absoluten Raumes in der These der Existenz eines Äthers reflektiert, der als Träger elektromagnetischer Wellen dient. Der Physiker, Physiologe und Wissenschaftsphilosoph Ernst Mach (1838 – 1916), ein überzeugter Anti-Metaphysiker, stand dem Begriff des absoluten Raumes und dementsprechend des Äthers ablehnend gegenüber, weil sie metaphysisch seien. Mach (1883) spricht vom "begrifflichen Ungetüm des absoluten Raums". In einer exakten Naturwissenschaft sollten alle metaphysischen Begriffe eliminiert werden: "Über den absoluten Raum und die absolute Bewegung kann niemand etwas aussagen. Sie sind bloße Gedankendinge, die in der Erfahrung nicht aufgezeigt werden können". Der bedeutende französische Mathematiker und Wissenschaftsphilosoph Henri Poincaré (1906), p. 93) stellt ebenfalls fest, "Wer vom absoluten Raum spricht, gebraucht ein Wort ohne Bedeutung". Mach und Poincaré vertraten dementsprechend die These Leibniz', dass der Raum durch die Relationen zwischen Körpern spezifiziert sei, ohne allerdings von Leibniz die Metaphysik der Monaden zu übernehmen. So mußte für Mach auch der Befund des Eimerexperiments, die parabolische Krümmung der Wasseroberfläche, relational erklärt werden.

Die von Newton postulierte Wechselwirkung zwischen einem Körper und dem absoluten Raum muß dementsprechend ersetzt werden durch die Annahme von

²⁴Anmerkung, Kommentar

Wechselwirkungen zwischen allen Körpern des Universums, insbesondere mit den Fixsternen, wobei Mach annimmt, die Trägheitskräfte seien als Teil der Gravitation zu interpretieren. Albert Einstein hat dieses Postulat später als *Machsches Prinzip* bezeichnet; es sollte insbesondere bei der Entwicklung der Allgemeinen Relativitätstheorie eine Rolle spielen. Da Einstein in seiner Speziellen Relativitätstheorie (1905) gezeigt hat, dass die Annahme eines Äthers nicht gebraucht wird, um die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen zu beschreiben, schien auch die Annahme eines absoluten Raumes überflüssig und damit erledigt zu sein.

Aber die Dinge sind nicht so einfach, wie sie gelegentlich erscheinen mögen. Im Jahr 1920 hielt Einstein einen Vortrag an der Universität Leiden mit dem Titel "Ether and the Theory of Relativity" (Einstein (1920)). Einstein stellt die Frage nach den Gründen für die Annahme einer Art von Materie wie dem Äther, die sich von der wägbaren Materie unterscheidet, und vermutet, dass der Grund in den Phänomenen liegt, die auf die Theorie der "action at a distance", also der Wirkung über Distanzen hinweg, sowie der Wellentheorie des Lichts geführt haben. Das Gewicht eines Körpers ist ein einfaches Beispiel für eine Wirkung über eine Distanz, und allgemein sind Gravitationseffekte gemeint. Bis Newton war man der Auffassung, dass Wechselwirkungen zwischen Körpern nur durch direkten Kontakt möglich seien. Man suchte nun nach einem Medium, das den gesamten Raum durchdringt und elektromagnetische Wellen durch elastische Deformationen trägt. Dies ist die Äthertheorie. Da Licht polarisiert werden kann muß der Äther die Eigenschaften fester Körper haben, da Transversalwellen in Flüssigkeiten nicht auftreten können, der Äther muß als "quasi-rigide" sein, um die kleinen Deformationen zuzulassen, die Lichtwellen transportieren. Man mußte nun ein mechanisches Modell konstruieren, das mit den Maxwell'schen Gleichungen zur Elektrodynamik kompatibel ist. Die Versuche, ein solches Modell zu finden, waren wenig erfolgreich und man versuchte nun nicht mehr, die Elektrodynamik auf die Mechanik, sondern umgekehrt die Mechanik auf die Elektrodynamik zurückzuführen. Es war der niederländische Physiker Hendrik Antoon Lorentz (1853 – 1928), der durch Einführung des Begriffs des elektromagnetischen Feldes den, wie Einstein es formulierte, Äther von seinen mechanischen Eigenschaften und die Materie von von elektromagnetischen Eigenschaften befreite. Dies schien, so Einstein, auf die These zu führen, dass so etwas wie Äther überhaupt nicht existiert und dass elektromagnetische Wellen auf nichts anderes als auf sich selbst reduziert werden können, – sowohl Materie wie Strahlung erscheinen dann als spezielle Formen verteilter Energie. Einstein führt aber aus, dass "sorgfältige Reflektion" nahelegt, dass die Spezielle Relativitätstheorie nicht dazu zwingt, den Begriff des Äthers vollständig aufzugeben. Man dürfe nur dem Äther keine bestimmten Zustände der Bewegung zuordnen. Damit kommt Einstein auf Newtons Begriff des absoluten Raums zurück: Newton hätte seinen absoluten Raum auch "Äther" nennen können. Um Phänomene wie die Rotation (Newtons Eimer) erklären zu können, müssen Eigenschaften des Raumes als real existierend angenommen werden. Diese Konzeption des absoluten Raumes sei der Äther der Allgemeinen Rela-

tivitätstheorie (ART): ein Äther, der keinerlei mechanischen oder kinematischen Eigenschaften mehr habe, aber helfe, mechanische oder elektromagnetische Ereignisse zu erklären. Entsprechend der ART hat der Raum selbst physikalische Eigenschaften, und in diesem Sinne existiere eine Art von Äther, ein Raum ohne diesen Äther sei undenkbar.

Knudsen und Hjorth (1995), p. 145, zitieren die folgenden Zeilen aus Newtons *Principia*:

”It is indeed a matter of great difficulty to discover and effectually to distinguish the true from the apparent motion of particular bodies; for the parts of that immovable space in which bodies actually move, do not come under observation of our senses.”

und kommentieren dann

”Read the [last] four lines again and think about them for the rest of your life.”

Auch im Licht der einsteinschen Ausführungen kann man die Abgründigkeit der Fragen, die Newton aufgeworfen hat, kaum besser ausdrücken.

Zeit ist eine mysteriöse Größe. In Bezug auf die Zeit erklärt Newton nicht, was da eigentlich verstreicht, wenn er von der Zeit spricht. Gelegentlich wird schlicht daraufhingewiesen, dass Zeit eben das ist, was eine Uhr mißt, aber hier kommt eine merkwürdige Zirkularität in die Betrachtungen. Zeit wird gemessen durch als gleichförmig aufgefasste Bewegungen der Teile der Uhr. Die Frage ist dann, wie man eine Bewegung als gleichförmig charakterisiert, ohne sich implizit auf eine als gleichförmig verstreichende Zeit zu beziehen. Vielleicht ist es gerade dieser implizite Bezug auf die Zeit, den man vollzieht, wenn man Zeit durch die Bewegung von Körpern relativ zueinander zu definieren versucht, der dazu führt, die Zeit als eigenständige Variable einzuführen.

Für den Begriff der absoluten Zeit gelten analoge Aussagen, wenn auch, wie Mittelstaedt (1980) ausführt, die Aufstellung der Theorien der Klassischen Physik durch diesen Begriff erst ermöglicht wurde, - auch wenn er logisch dafür nicht notwendig war. Die Kritik am Begriff der absoluten Zeit richtet sich dann auch auf die Tatsache, dass die *absolute Zeit* in keiner Erfahrung unmittelbar auftritt; sie ist eine rein gedankliche Konstruktion, die in keinem Experiment explizit bestimmt werden kann und die für die konkrete Beschreibung physikalischer Prozesse ohne direkten Wert ist. Es war Ernst Mach (1838-1916) (vergl. *Wiss'theorie III*, Abschnitt 1.3), der deshalb vom ”müßigen metaphysischen Begriff” der absoluten Zeit sprach. Eine Neuformulierung des Zeitbegriffs führt gleichwohl auf Probleme. Ein wichtiger Ansatz zur Neudefinition geht von der Tatsache aus, dass die Naturgesetze von sich aus noch keinen Zeitbegriff festlegen. Dann liegt es nahe, zu vermuten, dass dieser Begriff durch Konvention festgelegt werden kann. Daraus resultiert die Frage, wie weit ein konventionalistisch festgelegter

Zeitbegriff Konsequenzen für den Aufbau der Physik hat. Es zeigt sich aber (Mittelstaedt, p. 10), dass die Freiheit, die ein konventionalistischer Ansatz hat, sich auf die Freiheit, ein bestimmtes Koordinatensystem zu wählen, reduziert, und diese Wahl ändert an der empirischen Überprüfbarkeit physikalischer Aussagen nichts; die fundamentalen Gesetze der Mechanik lassen sich in einer gegenüber Koordinatentransformationen invarianten Form ausdrücken. Die Details dieser Betrachtungen gehen weit über die Möglichkeiten dieses Skriptums hinaus, man findet sie in dem bereits zitierten Buch von Mittelstaedt (1980).

In den Betrachtungen zu den Begriffen eines absoluten Raumes und einer unabhängig vom Raum gleichmäßig verfließenden Zeit ist die Rolle des Lichts nicht zur Sprache gekommen. Newton nahm an, dass das Licht sich instantan ausbreite, dass die Lichtgeschwindigkeit c also unendlich sei. Es ist nicht klar, ob er diese Annahme als evident wahr oder als Approximation ansah, denn sicherlich ist die Geschwindigkeit des Lichts sehr groß im Verhältnis zu den Geschwindigkeiten, mit denen man es normalerweise zu tun hat. Spekulationen über die Geschwindigkeit des Lichts gab schon lange; Aristoteles etwa nahm an, dass sie unendlich sei. Aber schon früh gab es Hinweise, dass die Lichtgeschwindigkeit endlich ist. Der dänische Astronom Ole Christensen Rømer (1644 – 1710) (auch Römer oder Roemer geschrieben) führte Beobachtungen der Bewegungen der Jupitermonde durch und bemerkte dabei Verzögerungen der Verdunkelung der Monde in Abhängigkeit von der Entfernung des Planeten Jupiters von der Erde fest, woraus er folgerte, dass die Lichtgeschwindigkeit endlich sein müsse. Michelson (1881) und Morley (1887)²⁵ maßen die Lichtgeschwindigkeit mit dem Ziel, die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne relativ zu einem angenommenen Lichtäther zu bestimmen, von dem angenommen wurde, dass er der Träger der Lichtwellen sei. Es zeigte sich aber, dass die Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Richtung (mit bzw. gegen den Äther) war. Dieser Befund wurde Ausgangspunkt für Einsteins (1905) Spezielle Relativitätstheorie²⁶. Minkowski (1908)²⁷ führte auf der Basis der einsteinschen Überlegungen einen nichteuklidischen Vektorraum ein, der ein vierdimensionales Raumzeit-Kontinuum repräsentiert. Die Komponenten eines Vektors in diesem Vektorraum repräsentieren eine Zeit- und drei Ortskoordinaten, und ein Vektor

$$(ct, x, y, z) = (ct, \mathbf{r}) \tag{2.13}$$

c die Lichtgeschwindigkeit und $\mathbf{r} = (x, y, z)$, definiert einen *Weltpunkt*. Ein Weltpunkt wiederum definiert die Koordinaten eines *Ereignisses* in der Raumzeit. Geradlinige, gleichförmige Bewegungen entsprechen einer Geraden in der Raum-

²⁵Michelson, Albert A. (1852 – 1931), US-amerikanischer Physiker, Morley (1838 – 1923), US-amerikanischer Chemiker

²⁶Diese Darstellung ist sehr verkürzt, denn es geht hier nur um die Andeutung der heute gängigen Auffassung über die Beziehung zwischen Raum und Zeit.

²⁷Hermann Minkowski (1864 – 1909), Mathematiker; Raum und Zeit. Vortrag, gehalten auf der 80. Naturforscher-Versammlung zu Köln am 21. September 1908; s. a. Literatur: *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*.

zeit, beschleunigte Bewegungen entsprechen einer gekrümmten Weltlinie. Führt man in einem Raum einen Distanzbegriff ein, der bestimmten Bedingungen genügt, nämlich

1. $d(x, y) \geq 0$,
2. $d(x, y) = d(y, x)$, – (Symmetrie)
3. $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$, – (Dreiecksungleichung)

so wird dadurch eine *Metrik* in dem betrachteten Raum definiert. Minkowski definiert die Distanz bzw. das Quadrat der Distanz Δs^2 zwischen zwei Ereignissen in der Raumzeit durch

$$\begin{aligned}\Delta s^2 &= c^2(t_2 - t_1)^2 - (\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)^2 \\ &= c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2\end{aligned}\quad (2.14)$$

Der durch diese Metrik definierte Vektorraum heißt *Minkowski-Raum*. Der wesentliche Punkt ist, dass hier weder der Raum noch die Zeit absolut sind. Eine weitere Diskussion führt in die Spezielle Relativitätstheorie, worauf hier nicht weiter eingegangen werden kann bzw. soll. Der Minkowski-Raum wurde zur Grundlage von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie, in der die Gravitation als Implikation der Raumkrümmung hergeleitet wird.

Grundsätzlich kann man fragen, ob es Zeit "an sich" überhaupt gibt oder ob Zeit nicht ein Konstrukt ist, das sich aus der Veränderung physikalischer Größen ergibt. Barbour (2008) hat seine Betrachtungen zu dieser Frage in sehr luzider Form dargestellt, wobei er sich aber der Einfachheit halber auf die Klassische Mechanik beschränkte. Eine ausführlichere Darstellung findet man in Barbour (1999).

Die Diskussionen über den absoluten Raum und die absolute Zeit sind keineswegs abgeschlossen: Barbour (1982, 1999, 2008), Belkon (1983), Malament (1985), Mundy (1983), Maudlin (1993), Friedman (1983), Earman (1989), Filk (2011) – und die in den Arbeiten zitierte Literatur; genug, um einen großen Teil seines Lebens damit zuzubringen.

2.8.4 Gesetze und Erklärungen

Die Bedeutung der newtonschen Physik wird durch die Kritik am Begriff des absoluten Raums nicht geschmälert. Ein zentraler Punkt der newtonschen Physik ist die Klärung des Kraftbegriffs. Es mag interessant sein, Newtons eigene Einschätzung seiner Arbeit zu lesen:

"Ich habe bisher die Erscheinungen der Himmelskörper und die Bewegungen des Meeres durch die Schwerkraft erklärt, aber ich habe nirgends die Ursache der letzteren angegeben. Diese Kraft rührt von irgendeiner Ursache her . . . Ich habe noch nicht dahin gelangen können, aus den Erscheinungen den Grund dieser Erscheinungen der Schwere abzuleiten, und Hypothesen

erdenke ich nicht²⁸ . . . Es genügt, dass diese Schwere existiere, dass sie nach den von uns dargelegten Gesetzen wirke und dass sie alle Bewegungen der Himmelskörper und des Meeres zu erklären imstande sei." (Principia, 3-te Auflage 1726, p. 530. Zitiert nach Szabó (1976), p. 18.

Newtons Aussage, Hypothesen erdächte er nicht, kann zwar schon in Hinblick auf den Begriff des absoluten Raumes bezweifelt werden, aber der Ansatz, von essentiellen Substanzen Abstand zu nehmen und nur die quantitativen Relationen zu beschreiben, war und ist ausserordentlich erfolgreich. Natürlich bleibt die Frage, worin etwa die Gravitation besteht oder was sie ausmacht bestehen. Die Standardlehrbücher der Physik gehen nicht weiter auf diese Frage ein, aber Richard Feynman²⁹ tut es in den *Feynman lectures on physics* in Abschnitt 7-7 *What is gravity?*. Er führt aus, dass die Gleichungen (etwa $F = Gm_1m_2/r^2$) sehr genau beschreiben, wie sich die Planeten um die Sonne bewegen, dass sie aber nicht sagen, warum dies so ist, - *what makes it go*. Newton stellte keine Hypothesen hierüber auf, und bisher habe keiner die "Maschinerie" hinter diesen Gesetzen angegeben. Es ergibt sich die Frage, warum man überhaupt die Mathematik dazu benutzen kann, die Natur zu beschreiben, ohne explizit auf die Maschinerie hinter den beschriebenen Relationen eingehen zu müssen. Feynman führt einen Versuch, die Gravitation zu erklären, an: man nehme an, dass es viele Partikel gibt, die den Raum in allen Richtungen mit hoher Geschwindigkeit durchfliegen und die nur wenig von der Materie, die sich durchfliegen, absorbiert werden. Diejenigen Partikel, die tatsächlich absorbiert werden, geben dabei der Erde einen Impuls. Da die Partikel in allen Richtungen fliegen, gleichen sich allerdings die Effekte dieser Impulse aus. Ist aber die Sonne nahebei, dann werden insbesondere Partikel, die aus der Richtung der Sonne kommen, von dieser absorbiert, so dass weniger Partikel von der Sonne als von der anderen Seite kommen, woraus sich ein Nettoimpuls von der Erde hin zur Sonne ergibt. Dieser Effekt ist umgekehrt proportional zur Entfernung zur Sonne, und zwar wegen des (Seh-)Winkels, den die Sonne in Abhängigkeit von der Entfernung abdeckt. Damit hat man die Gravitation und ihre Proportionalität zu $1/r^2$ zumindest qualitativ erklärt. Feynman weist aber gleich auf die Implikationen dieses Erklärungsversuches hin: diese sind, wie es scheint, nicht kompatibel mit der Natur der Dinge, denn wegen der Bewegung der Erde um die Sonne treffen mehr Partikel von vorne als von hinten auf sie ein (läuft man durch den Regen, so empfängt man mehr Regentropfen von vorne als von hinten). Also ergibt sich ein größerer Impuls von vorne entgegen der Bewegungsrichtung, der sich in einer Verlangsamung der Bewegung um die Sonne äußern würde. Man kann sogar ausrechnen, wie lange es dauern würde, bis diese Bewegung ganz aufhören würde. Aber diese Verlangsamung wird gar nicht beobachtet. So ist es mit allen Erklärungen der Gravitation: sie alle implizieren Phänomene, die nicht existieren. Es zeigt sich, dass die Gravitation auch nicht aus anderen Kräften abgeleitet werden kann; das Rätsel bleibt also bestehen. Gleich-

²⁸im Original: *hypotheses non fingo*, - diese Aussage ist zum geflügelten Wort geworden.

²⁹Richard Feynman (1918 - 1988), Physiker, Nobelpreis 1965

wohl trägt der newtonsche Ansatz und seine Korrektur durch Einstein - die Masse m in der Formel $F = mb$ ist wegen der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit nicht konstant, sondern hängt von der Geschwindigkeit v des Körpers ab - zum Verstehen der natürlichen Prozesse wesentlich bei, gerade *weil nicht* auf Substanzen zurückgegriffen wird und *weil* die Gesetze quantitative, relationale Aussagen sind. Ob dieser Erklärungsbegriff tatsächlich zu dem Begriff des psychologischen Verstehens, wie in Windelband und Dilthey eingeführt haben, kontrastiert wird in Wissenschaftstheorie III weiter diskutiert werden.

2.9 George Berkeley (1685 - 1753)

Berkeley hatte interessante Ideen; nach Bertrand Russell³⁰ war er ein großer Philosoph, weil er die Existenz der Materie leugnete. Einige biographische Anmerkungen sind vielleicht angebracht.

Berkeley wurde in Irland als Sohn englischer Eltern geboren; als er 22 Jahre alt war, wurde er Student des Trinity College in Dublin. Der Schriftsteller Jonathan Swift stellte ihn bei Hofe vor, und Swifts Tochter Vanessa überließ ihm die Hälfte ihres Vermögens. Dann wollte Berkeley ein College auf den Bermudas gründen und ging deswegen nach Amerika. Drei Jahre (1728-1731) verbrachte er auf Rhode Island, dann ließ er seinen College-Plan fallen und ging zurück nach Europa, wo er den Spruch "Westward the course of empire takes its way" formulierte. Deswegen wurde die Stadt Berkeley in Kalifornien nach ihm benannt, und 1734 wurde er Bischof von Cloyne.

Berkeley wollte die "Freidenker" bekämpfen, die sich ihrerseits auf Locke beriefen. Er wollte zeigen, dass in Lockes System kein Platz für das "Idol" der Materie ist, - die Philosophie der Freidenker sei, so Berkeley, eitel. Berkeley verfasste eine Reihe philosophischer Schriften, von denen die 1713 publizierte Arbeit "The Dialogues of Hylas and Philonous" vielleicht die Wichtigste ist. Der (erfundene) Name Hylas ist aus dem Griechischen entlehnt: Hyle bedeutet Holz, Wald, - allgemein auch Stoff, Materie. Philonous bedeutet einfach Freund des Gedankens. Hylas ist der Lockesche Naivling, der fragt, wie man denn glauben könne, dass es keine Materie gebe. Philonous bezweifelt nun nicht die Existenz des Wahrgenommenen, aber was man zB sehe, seien eben nicht Farben, und was man höre, seien nicht Klänge, - Farben und Klänge existieren nur in unserem Bewußtsein. Dies ist ein durchaus moderner Gedanke, denn tatsächlich erzeugt unser Hirn ja etwa den Eindruck von Farbe, indem es bestimmte elektromagnetische Wellen in den Eindruck von Farbe gewissermaßen übersetzt. Bei dieser Interpretation wird aber die reale Existenz solcher Wellen postuliert. Berkeley "sieht" dies anders. Wahrnehmbare Objekte sind zunächst nichts weiter als Kombinationen von Wahrnehmungsqualitäten, - und dahinter gäbe es nichts Wahrnehmbares. Berkeleys Argumente lassen sich an Beispielen illustrieren: so bedeutet große Hitze die

³⁰Russell, B. History of Western Philosophy.

Empfindung von Schmerz, und Schmerz empfindet man letztlich im Kopf, - also ist Wärme mental. Schlagend ist auch das

Argument vom lauwarmen Wasser:

1. Eine Hand sei kalt, die andere warm,
2. Beide Hände werden nun in lauwarmes Wasser getaucht, das sich nun heiß für die eine Hand und kalt für die andere anfühlt.
3. Nun kann aber Wasser nicht heiß und kalt zugleich sein, also folgt, dass Hitze und Kälte Empfindungen sind, die nur in unserem Kopf existieren. In der Welt gibt es weder Hitze noch Kälte.

Berkeley folgert daraus, dass alle materiellen Objekte nur existieren, weil sie wahrgenommen werden, und zwar von Gott, denn der nimmt immer alles wahr. Würde Gott die Objekte nicht ständig wahrnehmen, hätten sie "a jerky life": sie würden in dem Moment in die Existenz springen, wenn wir sie anblickten. Nun scheinen sie aber eine kontinuierliche Existenz zu haben. Daraus folgt, so Berkeley, dass Gott die Objekte ständig sieht.

In seinen späteren Jahren gab Berkeley die Philosophie auf und konzentrierte sich auf die wunderbaren Heilkräfte des Teerwassers. Seine Philosophie wurde von Ronald Knox in die Form eines Limericks gebracht:

There was a young man who said "God
Must think it exceedingly odd
If he finds that this tree
Continues to be
When there's no one about in the Quad."

Reply:
"Dear Sir:
Your astonishment is odd:
I am always about in the Quad
And that's why the tree
Will continue to be
Since observed by Yours faithfully,
God."

2.10 David Hume (1711 - 1776)

David Hume wurde in Edinburgh geboren und erzogen; er war sowohl Philosoph wie auch Historiker, obwohl diese Bezeichnungen seine berufliche Aktivitäten nicht abdecken. Die Jahre 1734 bis 1737 verbrachte er in Frankreich, wo er *A Treatise of Human Nature* schrieb. Er attackierte Locke und Berkeley und hoffte, daraufhin scharf angegriffen zu werden. Auf diese Angriffe wollte er dann brilliant reagieren, so dass er berühmt werden würde. Allerdings reagierte niemand auf sein Buch, "es fiel wie totgeboren aus der Druckerpresse"³¹. Er versuchte dann, Professor in Edinburgh zu werden, war aber erfolglos. So wurde er

³¹B. Russell, *A History of Western Philosophy*

zunächst Pfleger oder einfach auch nur Begleitperson eines geisteskranken Adligen, dann Militärattaché, und schließlich Bibliothekar der Advocates Library der Edinburgh University. 1763 wurde er Privatsekretär des britischen Botschafters in Paris, Lord Hertford. 1765 wechselte er auf die Position des Sekretärs der Pariser Botschaft, bevor er zum *chargé d'affaires* mutierte. In den Jahren 1767 - 68 arbeitete er als *under-secretary of state* für das Northern Department. 1769 ging er in Edinburgh in den Ruhestand und starb dort 1776.

Hume kürzte den *A Treatise of Human Nature*, indem er die besten Teile und alle Begründungen wegließ³² und das Werk nun unter dem Titel *A treatise on Human Understanding* veröffentlichte. Das Buch wurde viel verkauft und stimulierte Immanuel Kant zu seinen Überlegungen. Hume wurde der "führende Neo-Skeptiker der frühen modernen Periode"³³. Er konstatierte :

"[Philosophy] cannot go beyond experience; and any hypothesis that pretends to discover the ultimate original qualities of human nature, ought at first to be rejected as presumptuous and chimerical".

Hume betrachtete Bewußtseinsinhalte ("perceptions") und unterschied dabei zwischen Eindrücken ("impressions") und Ideen ("ideas"). Eindrücke sind dabei stärker und lebhafter als Ideen:

- "Vorstellungen sind schwache Abbilder der Eindrücke, wie sie in unser Denken und Urteilen eingehen."
- "Jeder einfachen Vorstellung entspricht ein einfacher Eindruck, der ihr gleicht, und ebenso gibt es für jeden einfachen Eindruck eine ihm entsprechende Vorstellung."
- "Alle unsere einfachen Vorstellungen stammen bei ihrem ersten Auftreten aus einfachen Eindrücken, welche ihnen entsprechen und die sie genau wiedergeben."

Primär sind die Eindrücke; sie sind zuerst da und werden aus der Erfahrung abgeleitet (blind Geborene haben keine Vorstellung von Farben). Vorstellungen mit hinreichend viel Lebhaftigkeit werden zum Gedächtnis gerechnet, die übrigen zur Einbildungskraft. Darüber hinaus gibt es noch zusammengesetzte Vorstellungen. Deren Bestandteile stammen aus Eindrücken, müssen aber nicht Eindrücken gleichen: man kann sich einen Wolpatinger vorstellen, ohne jemals einen gesehen zu haben.

Die Charakterisierung des Selbstbewußtseins, dh des Ichs, wird von Hume auf einen begrifflichen Nenner gebracht. Nach ihm hat das Ich - die Seele - keine Substanz. Da es keine Impression des Ichs gibt, gibt es auch keine Idee vom Ich:

³²B. Russell, Hist. W. Ph.

³³Audi, R. (ed): The Cambridge Dictionary of Philosophy.

”Was ich mein Selbst nenne, so treffe ich allemal auf gewisse partikuläre Vorstellungen oder auf Empfindungen von Hitze oder Kälte, Licht oder Schatten, Liebe oder Hass, Lust oder Unlust. Ich kann mein Selbst nie ohne eine Vorstellung ertappen, und alles, was ich beobachte, ist nie etwas anderes als eine Vorstellung.”

Das Ich, dh die Seele, ist ”nichts weiter” als ein Bündel von Perzeptionen. Das Wesentliche an dieser Schlußfolgerung ist, dass das Ich bzw die Seele nicht mehr als substantiell gedacht wird. Wie weit die Charakterisierung des Ichs als Bündel von Perzeptionen *erklärt*, wie es zum Selbstbewußtsein kommt, ist eine andere Frage.

Eine Frage von wissenschaftstheoretischer Bedeutung ist die nach der Möglichkeit der Induktion. Francis Bacon hatte die Induktion als zentrale Methode vorgeschlagen, zu allgemeinen Gesetzmäßigkeiten zu gelangen. Nun muß man allerdings spezifizieren, was unter Induktion verstanden werden soll. Man unterscheidet zwei Arten : (i) die Induktion im engeren Sinn, und (ii) die Induktion im weiteren Sinn. Die Induktion im engeren Sinn besteht in der Verallgemeinerung spezieller Beobachtungen zu einer allgemeinen Aussage (bis jetzt ist die Sonne stets im Osten aufgegangen, - also wird sie es auch in Zukunft tun). Bei der Induktion im weiteren Sinne geht man über die gemachten Beobachtungen begrifflich hinaus, indem man etwa Aussagen über Ursachen macht, oder auf die Bestätigung von Theorien schließt. Hume betrachtete offenbar schon die erweiterte Form der Induktion: so stellt er zunächst fest, dass Wahrnehmungen in einer zeitlichen Folge entstehen. Unter welchen Bedingungen wird diese Folge als *notwendig* empfunden? Mit welcher Berechtigung schließt man vom Wiederauftreten der ”Ursache” auf das Eintreten der ”Wirkung”? Hume stellt fest, dass der Schluss von der ”Ursache” auf die ”Wirkung” logisch nicht zu rechtfertigen ist. Aus der tausendfachen Beobachtung, dass das Auftreten von Feuer das Auftreten von Wärme nach sich zieht, folgt *logisch* dennoch nicht, dass beim 1001-ten Mal das Feuer die Wärme erzeugt. Nach Hume ist die Induktion demnach kein logisch begründbares Erkenntnisverfahren! Das gemeinsame Auftreten von Feuer und Wärme erzeugt lediglich eine Erfahrungs- oder Berührungsassoziation. Eine Aussage *p* impliziert logisch die Aussage *q* nur dann, wenn *q* begrifflich in *p* enthalten ist. Das gemeinsame Auftreten von Feuer und Wärme bedeutet aber noch nicht, dass Wärme *begrifflich* im Feuer enthalten ist. Eine solche Implikation könnte sich aber ergeben, wenn im Rahmen einer Theorie die Begriffe von Feuer und Wärme so definiert und damit verknüpft werden, dass sich eine begriffliche Implikation ergibt. Die Formulierung einer solchen Theorie kann durch die gemeinsame Beobachtung von Feuer und Wärme angeregt werden, aber diese Theorie besteht eben nicht nur aus der Aufzählung der Male, bei denen die beiden Phänomene gemeinsam auftraten. Es muß hier angemerkt werden, dass bereits Vorläufer von Hume versucht hatten, das Prinzip der Assoziation als Grundgesetz des mentalen Lebens aufzustellen, etwa Brown, Hartley, und Priestley. Je häufiger das gemeinsame Auftreten von ”Ursache” und ”Wirkung”, desto enger wird

die Assoziation zwischen diesen beiden Ereignissen, die jeweils zweite drängt sich dem Bewusstsein auf, und dieser Zwang wird schließlich den Dingen selbst zugeschrieben: die erste Vorstellung wird so zur "Ursache" für die zweite. Aber diese Feststellung ist eine psychologische, keine logische.

Hume nennt seine Philosophie Skeptizismus: abgesehen von der Erkenntnis mathematischer Beziehungen beruht alle Wirklichkeitserkenntnis auf der Induktion (auch wenn sie kein logisch gerechtfertigtes Schlußverfahren ist) und der Anwendung des Ursachebegriffs, aber Hume betont, dass dieser Begriff nur Ausdruck eines psychologischen Zwangs oder einer Gewohnheit ist. Die Wissenschaft ruht nach Hume besser auf der reinen Erfahrung und nicht auf Verstand und Logik - und damit auch nicht auf den rationalen Konstruktionen der Metaphysik.

2.11 Immanuel Kant (1724 - 1804)

Kant führt eine neue Dimension in die Philosophie ein. Bis jetzt gab es zwei Hauptrichtungen philosophischen Denkens:

1. **Rationalismus:** Hier wird davon ausgegangen, dass grundlegende Begriffe nur über den Verstand (ratio), nicht über die Erfahrung zugänglich sind (Descartes: die Begriffe, z.B. der Begriff der Kausalität, sind angeboren. Weitere Vertreter des Rationalismus sind Leibniz, Wolff, etc.
2. **Empirismus:** Ausgangspunkt ist hier die Annahme, dass alles Erkennen erfahrungsbasiert ist, also über die Sinne ins Bewußtsein kommt. Die *British empirists* sind in der neueren Philosophie wohl die bedeutendsten Vertreter dieser Richtung, etwa John Locke, David Hume, in einem gewissen Sinne sogar George Berkeley.

Kant war ein in pietistischer Tradition erzogener Sohn eines Königsberger Handwerkers. Er war naturwissenschaftlich interessiert, und seine ersten philosophischen Gedanken waren am rationalistischen Ansatz orientiert, erfuhren aber bei der Auseinandersetzung mit J. Locke und D. Hume eine empiristische Modifikation, die schließlich zu einem neuen Ansatz, der Transzendentalphilosophie, führte, in deren Zentrum die die Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis stehen.

Kants ersten Arbeiten waren naturwissenschaftlicher Art: *Gedanken zur wahren Schätzung der lebendigen Kräfte* (1747), *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* (1755). Dann folgten eher metaphysisch inspirierte Arbeiten: *Der einzig mögliche Beweisgrund zu einer Demonstration ds Daseins Gottes* (1763), *Beobachtungen über das Gefühl des Schönen und Erhabenen* (1764), *Untersuchung über die Deutlichkeit der Grundsätze der natürlichen Theologie und der Moral*, sowie *Träume eines Geistersehers, erläutert durch Träume der Metaphysik* (1766), in dem er sich mit dem Werk des schwedischen Philosophen und Theologen Emanuel Swedenborg auseinandersetzt. Hier deutet sich bereits sein Abschied von

der rationalistischen Metaphysik an. In den Jahren 1770 bis 1780 erfolgte dann die Elaboration seiner philosophischen Revolution, die in sein Werk *Kritik der reinen Vernunft* (1781) bedeutete. Es komme nicht darauf an, irgendwelche Gegenstände, seien sie nun metaphysisch oder nicht, zu erkennen, sondern klar zu machen, wie es denn überhaupt möglich ist, sich urteilend auf Gegenstände zu beziehen und überhaupt etwas von ihnen zu erkennen. Überlegungen dieser Art charakterisieren die *Transzendentalphilosophie* Kants. Es ist also nicht mehr das Ziel, das "Wesen der Wirklichkeit" zu erfassen, sondern zu klären, worin die Beziehung zwischen dem erkennenden Ich und den Gegenständen, d.h. der Wirklichkeit besteht.

Kant war mit der Fassung seiner *Kritik der reinen Vernunft* nicht zufrieden und versuchte deshalb, seine Ansichten noch einmal zu verdeutlichen: 1783 publizierte er die *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können*³⁴. Offenbar wird hier ein bestimmter Wissenschaftsbegriff unterstellt. In den Prolegomena wird u.a. gefragt, in welchem Sinne Sätze der Mathematik und Physik Erkenntnis bedeuten. dass diese Sätze Erkenntnis bedeuten, wird an sich nicht in Frage gestellt, die Frage ist vielmehr, worin die Voraussetzungen bestehen, die erfüllt sein müssen, damit es diese Erkenntnisse gibt. In der *Kritik der reinen Vernunft* wird die Annahme, dass es Erkenntnis gibt, gar nicht gemacht; Gegenstände werden erfahren, und die Frage ist, unter welchen Bedingungen ie Erfahrung von Gegenständen möglich ist.

Kants Abgrenzung von der rationalistischen Philosophie erfolgt bereits 1783, als der die Schrift *Versuch, den Begriff der negativen Größe in die Weltweisheit einzuführen* publizierte. Hier zeigt er, dass zwischen dem logischen Grund und dem Realgrund - also der Ursache - ein Unterschied besteht. In der rationalistischen Metaphysik ist dieser Unterschied vernachlässigt worden, indem angenommen wurde, dass zwei Ereignisse nur dann als "Ursache" und "Wirkung" aufeinander bezogen werden können, wenn der Begriff des Ereignisses "Wirkung" in dem des Ereignisses "Ursache" enthalten ist, wenn also aus dem Begriff der Ursache der der Wirkung logisch gefolgert werden kann, ohne dass es einer empirischen Stützung dieses Schlusses bedarf. Diesem Ansatz entsprechend geht die rationalistische Philosophie davon aus, dass Kausalzusammenhänge logisch gefolgert werden können; die Wirklichkeit kann also logisch erschlossen werden, Beobachtungen sind dazu nicht nötig. Kants Unterscheidung von logischem Grund einerseits und Realgrund andererseits ist ein Angriff auf diese rationalistische Position.

Generell gilt nach Kant, dass sich die Philosophie von der Mathematik deshalb unterscheidet, weil man in der Philosophie nicht von einer relativ kleinen Menge von Begriffen ausgehen kann, aus denen dann nach dem Vorbild von Euklids Elementen der Geometrie (dh *more geometrico*) Aussagen logisch gefolgert werden können. Die Philosophie soll sich an der Physik orientieren:

³⁴"Vorerinnerung von dem Eigentümlichen aller metaphysischen Erkenntnis" . . .

”Die echte Methode der Metaphysik ist mit derjenigen im Grunde einerlei, die *Newton* in die Naturwissenschaft einführte, und die daselbst von so nutzbaren Folgen war. Man soll, heißt es daselbst, durch sichere Erfahrungen, allenfalls mit Hilfe der Geometrie, die Regeln aufsuchen, nach welchen gewisse Entscheidungen der Natur vorgehen.”³⁵

Demnach unterscheiden sich Philosophie und Physik nur durch ihre Gegenstandsbereiche. Gegenstand der Philosophie sind die Phänomene des Bewußtseins, während der Gegenstand der Physik bzw. der Naturwissenschaft die äußeren Erscheinungen sind. Die Philosophie wird dabei nicht, wie bei Hume, als Psychologie konzipiert.

Im Jahr 1766 publiziert er die Schrift *Träume eines Geistersehers, erläutert durch Träume der Metaphysik*. In dieser Arbeit setzt er sich mit den Werken des schwedischen Philosophen und Theologen Emanuel Swedenborg (1688 - 1772) auseinander. Dieser behauptete, telepathische Fähigkeiten zu haben, die es ihm erlaubten, mit den Wesen eines Geisterreichs hinter unserer materiellen Welt zu kommunizieren. Kant möchte nun wissen, wie eine solche Kommunikation zu erklären sei. Er argumentiert, dass die bloße Annahme oder Behauptung telepathischer Fähigkeit nicht akzeptabel sei; da die Interaktion zwischen geistigen Substanzen nicht erklärt werden kann, kann man ihre Existenz in Frage stellen, denn wir können nur ”Gegenstände” erkennen, deren Beobachtung als eben raumzeitliche Gegenstände möglich ist. Aber *per definitionem* sind raumzeitliche Gegenstände keine Geistwesen. An solche Wesen, wie auch an eine, insbesondere die eigene Seele kann man nur glauben, und Glaube ist noch keine Erkenntnis. Dieser Gedanke enthält bereits eine grundsätzliche Kritik am rationalistischen Ansatz. Kant verdeutlicht seine Kritik mit seinen berühmten vier *Antinomien* in seiner Transzendentalen Dialektik, die in Tabelle 1 zu finden sind. Eine Antinomie besteht aus zwei Aussagen, einer These und einer Antithese, und für beide Aussagen wird nachgewiesen, dass sie wahr sind, – was natürlich bedeutet, dass irgendwelche Annahmen oder Schlußfolgerungen in den Nachweisen inkorrekt sind. Kant legt seine ”Beweise” jeweils nach der Methode des *indirekten Beweises* an, bei denen eine Aussage A bewiesen wird, indem man deren Negation $\neg A$ postuliert und dann zeigt, dass $\neg A$ auf einen Widerspruch führt, – also kann $\neg A$ nicht korrekt sein, so dass man folgert, dass A korrekt ist. Die unterliegende Annahme hierbei ist, dass der Satz vom Ausgeschlossenen Dritten (SAD, *tertium non datur* = das Dritte ist nicht gegeben) gilt, demzufolge entweder A oder $\neg A$ korrekt ist. Man könnte vermuten, dass Kants Konstruktion seiner Antinomien ein Resultat der Methode des indirekten Beweises ist; schließlich ist der SAD im Rahmen der Diskussion der logischen Grundlagen der Mathematik im 19-ten Jahrhundert in die Kritik geraten. Der niederländische Mathematiker L. E. J. Brouwer (1881 – 1966) forderte in seiner als *Intuitionismus* bekannt gewordenen Lehre die Aufgabe des SAD, d.h. einen radikalen Konstruktivismus, demzufolge Beweise nicht durch Rückgriff auf den SAD geführt werden dürfen. Allerdings hat sich

³⁵Untersuchung über die Deutlichkeit der Grundsätze, 2. Betrachtung, Bd. II, S. 268

Tabelle 1: Kantsche Antinomien

Thesis	Antithesis
1. Die Welt hat einen Anfang in der Zeit und ist dem Raum nach auch in Grenzen eingeschlossen.	1'. Die Welt hat keinen Anfang und keine Grenzen im Raume, sondern ist, sowohl in Ansehung der Zeit als Raumes, unendlich.
2. Eine jede zusammengesetzte Substanz in der Welt besteht aus einfachen Teilen, und es existiert nichts als das Einfache, oder das was aus diesem zusammengesetzt ist.	2'. Kein zusammengesetztes Ding in der Welt besteht aus einfachen Teilchen und es existiert überall nichts Einfaches in derselben.
3. Die Kausalität nach Gesetzen der Natur ist nicht die einzige aus welcher die Erscheinungen der Welt insgesamt abgeleitet werden. Es ist noch eine Kausalität durch Freiheit zur Erklärung derselben anzunehmen	3'. Es ist keine Freiheit, sondern alles in der Natur geschieht lediglich nach Gesetzen der Natur.
4. In der Welt gehört etwas, das, entweder als ihr Teil, oder ihre Ursache, ein schlechthin notwendiges Wesen ist.	4'. Es existiert überall kein schlechthin notwendiges Wesen, weder in der Welt, noch außer der Welt als ihre Ursache.

Brouwers Ansatz nicht durchgesetzt, ohne SAD ergeben sich für die Mathematik große Schwierigkeiten. Das Problem der Kantschen Antinomien liegt woanders; zur Illustration werde die Argumentation zur ersten Antinomie betrachtet.

These: Die Welt hat einen Anfang und ist dem Raum nach auch in Grenzen eingeschlossen.

Beweis: (Kant) Denn, man nehme an, die Welt habe der Zeit nach keinen Anfang: so ist bis zu jedem gegebenen Zeitpunkte eine Ewigkeit abgelaufen, und mithin eine unendliche Reihe auf einander folgender Zustände der Dinge in der Welt verflossen. Nun besteht aber eben darin die Unendlichkeit einer Reihe, dass sie durch sukzessive Synthesis niemals vollendet sein kann. Also ist eine unendlich verflossene Weltreihe unmöglich, mithin ein Anfang der

Welt eine notwendige Bedingung ihres Daseins; welches zuerst zu beweisen war.

In Ansehung des zweiten nehme man wiederum das Gegenteil an: so wird die Welt in ein unendliches gegebenes Ganzes von zugleich existierenden Dingen sein. Nun können wir die Größe eines Quanti, welches nicht innerhalb gewisser Grenzen jeder Anschauung gegeben wird, auf keine andere Art als nur durch die Synthesis der Teile, und die Totalität eines solchen Quanti nur durch die vollendete Synthesis, oder durch wiederholte Zusetzung der Einheit zu sich selbst, gedenken. Demnach, um sich die Welt, die alle Räume erfüllt, als ein Ganzes zu denken, müßte die sukzessive Synthesis der Teile einer unendlichen Welt als vollendet angesehen, d.i. eine unendliche Zeit müßte, in der Durchzählung aller koexistierenden Dinge, als abgelaufen angesehen werden; welches unmöglich ist. Demnach kann ein unendliches Aggregat wirklicher Dinge, nicht als ein gegebenes Ganzes, mithin auch nicht als zugleich gegeben, angesehen werden. Eine Welt ist folglich, der Ausdehnung im Raume nach, nicht unendlich, sondern in ihren Grenzen eingeschlossen; welches das zweite war.

(Kritik der reinen Vernunft, Reclams Universal-Bibliothek Nr. 6461 (2006), p. 469) □

Antithese: Die Welt hat keinen Anfang, und keine Grenzen im Raume, sondern ist, sowohl in Ansehung der Zeit, als des Raumes, unendlich.

Beweis: Denn man setze: sie habe einen Anfang. Da der Anfang ein Dasein ist, wovon eine Zeit vorhergeht, darin das Ding nicht ist, so muß eine Zeit vorhergegangen sein, darin die Welt nicht war, d.i. eine leere Zeit. Nun ist aber in einer leeren Zeit kein Entstehen irgend eines Dinges möglich; weil kein Teil einer solchen Zeit vor einem anderen irgend eine unterscheidende Bedingung des Daseins, von der des Nichtseins, an sich hat (man mag annehmen, dass sie von sich selbst, oder durch eine andere Ursache entstehe). Also kann zwar in der Welt manche Reihe der Dinge anfangen, die Welt selber aber kann keinen Anfang haben, und ist also in Ansehung der vergangenen Zeit unendlich.

Was das zweite betrifft, so nehme man zuvörderst das Gegenteil an, dass nämlich die Welt dem Raume nach endlich unbegrenzt ist; so befindet sie sich in einem leeren Raum, der nicht begrenzt ist. Es würde also nicht allein ein Verhältnis der Dinge im Raum, sondern auch der Dinge zum Raume angetroffen werden. Da nun die Welt ein absolutes Ganzes ist, außer welchem kein Gegenstand der Anschauung, und mithin kein Correlatum der Welt, angetroffen wird, womit dieselbe im Verhältnis stehe, so würde das Verhältnis der Welt zum leeren Raum ein Verhältnis zu keinem Gegenstande sein. Ein dergleichen Verhältnis aber, mithin auch die Begrenzung der Welt durch den leeren Raum, ist nichts; also ist die Welt, dem Raume nach, gar nicht begrenzt, d.i. sie ist in Ansehung der Ausdehnung unendlich.

(Kritik der reinen Vernunft, Reclams Universal-Bibliothek Nr. 6461 (2006), p. 469) □

Die Struktur der Argumentation ist sehr deutlich: um zu zeigen, dass die Welt einen zeitlichen Anfang hat, wird angenommen, dass sie keinen solchen Anfang hat. Daraus folgert

Kant, dass bis zu einem gegebenen Zeitpunkt bereits eine unendliche Folge von von Zuständen der Welt existiert haben muß. Aus dem Begriff der Unendlichkeit folge nun, so Kant, "dass sie durch sukzessive Synthesis niemals vollendet sein kann", und dieses sei unmöglich, – also folge, dass es einen Anfang geben muß. Beim Beweis der Antithese, derzufolge die Welt keinen Anfang hat, wird angenommen, dass sie einen Anfang habe. Daraus folge aber, dass es eine Zeit vor dem Anfang geben müsse, in dem "das Ding" nicht sei, in dem "die Welt nicht war", – diese Zeit sei eine "leere Zeit", und in einer leeren Zeit sei das Entstehen von Dingen unmöglich. Daraus folgert Kant, dass die Welt keinen zeitlichen Anfang hat, sie müsse schon unendlich lange existieren. Da er nun sowohl die These wie die Antithese bewiesen und damit eine Antinomie konstatiert hat, folgert Kant weiter, dass eine deduktive Erfassung der Welt unmöglich sei. Das bedeutet zunächst, dass er postuliert, dass die Welt insgesamt logisch konsistent beschrieben werden müsse, andernfalls würde er ja die Antinomie als Teil der Welt akzeptieren. Darüber hinaus muß er seine eigenen Beweise für irgendwie fehlerhaft halten. In der Tat erscheinen sie, zumal aus heutiger Sicht, als alles andere als stichhaltig. Sein Umgang mit dem Unendlichkeitsbegriff ist reichlich lax; sein Schluß, dass die Unendlichkeit einer Reihe eben bedeute, dass sie durch "sukzessive Synthesis niemals vollendet sein kann" und dass daraus die Existenz eines Anfangs folge, wird den begrifflichen Komplexitäten des Unendlichkeitsbegriffs keineswegs gerecht. In der Tat hat bereits Bolzano³⁶ die Kantschen Argumentationen scharf kritisiert, vergl. Siitonen (2007). Das Postulat einer "leeren Zeit", in der das Entstehen von Dingen unmöglich sei, impliziert die Annahme einer unabhängig vom Raum vergehenden Zeit, wie man sie schon bei Newton findet, die aber keineswegs zwingend ist, wie man aus der Relativitätstheorie weiß. Für die Beweise zur Beschränktheit bzw. Unbeschränktheit des Raumes gelten analoge Kritikpunkte. Die in den "Beweisen" auftauchenden Begriffe werden gewissermaßen zu lose definiert, sie appellieren zu sehr an intuitive Explikationen, als dass sie zu schlüssigen Beweisen führen könnten.

Die Frage ist allerdings, ob derlei Kritiken relevant sind für die Kantsche Argumentation, dass die Struktur der Welt nicht deduktiv erschlossen werden kann. Denn auch die viel schärferen Fassungen etwa des Unendlichkeitsbegriffs, die Kant noch gar nicht zugänglich waren, sowie des Begriffs des logischen Schlusses, wie er erst im Laufe des 19-ten Jahrhunderts entwickelt wurde, bedeuten ja nicht, dass die Entstehung von Antinomien grundsätzlich ausgeschlossen werden kann; so argumentiert z.B. Cartwright (1999), dass die Idee einer konsistenten Beschreibung der Welt wohl eine nicht erfüllbare Utopie sei.

Es ist also von grundsätzlichem Interesse, noch einen Blick auf die dritte Antinomie zu werfen, der die Frage nach der durchgängigen kausalen Determiniertheit der Welt zugrundeliegt. Sollte alles in der Welt determiniert sein, stellt sich die Frage nach dem freien Willen und damit auch nach der (moralischen) Verantwortung des Menschen. Hat der Mensch einen freien Willen, wirkt er in die Welt hinein und es existiert damit eine Kausalität, ohne dass sich ein infiniter Regress (eine Ursache hat eine Ursache hat eine Ursache ...) ergibt, denn der Begriff des freien Willens bedeutet ja letztlich, dass Handlungen nicht notwendig kausal bestimmt sind.

These: Die Kausalität nach Gesetzen der Natur ist nicht die einzige, aus welcher die Erscheinungen der Welt insgesamt abgeleitet werden können. Es

³⁶Bernardus Placidus Johann Nepomuk Bolzano (1781–1848), war Theologe, Philosoph und Mathematiker; jedem Mathematikstudenten ist der Satz von Bolzano-Weierstraß über die Konvergenz unendlicher Folgen von Zahlen in beschränkten Intervallen bekannt. Natürlich spricht Kant von Ereignissen, nicht von Zahlen, aber die Beziehung zwischen Zahlen und Ereignissen – man denke an dynamische Entwicklungen in der Zeit – müßte doch sorgfältig geklärt werden.

ist noch notwendig, eine Kausalität durch Freiheit zu Erklärung derselben anzunehmen.

Beweis: Man nehme an, es gebe keine andere Kausalität, als nach den Gesetzen der Natur; so setzt alles, was geschieht, einen vorigen Zustand voraus, auf den es unausbleiblich nach einer Regel folgt. Nun muß aber der vorige Zustand selbst etwas sein, was geschehen ist (in der Zeit geworden, da es vorher nicht war), weil, wenn es jederzeit gewesen wäre, seine Folge auch nicht allerst entstanden, sondern immer gewesen sein würde. Also ist nicht die Kausalität der Ursache, durch welche etwas geschieht, selbst etwas Geschehenes, welches nach dem Gesetze der Natur wiederum einen vorigen Zustand und dessen Kausalität, dieser aber eben so einen noch älteren voraussetzt usw. Wenn also alles nach bloßen Gesetzen der Natur geschieht, so gibt es jederzeit nur einen subalternen, niemals aber einen ersten Anfang, und also überhaupt keine Vollständigkeit der Reihe auf der Seite der von einander abstammenden Ursachen. Nun besteht aber eben darin das Gesetz der Natur: dass ohne hinreichend a priori bestimmte Ursache nichts geschehe. Also widerspricht der Satz, als wenn alle Kausalität nur nach Naturgesetzen möglich sei, sich selbst in seiner unbeschränkten Allgemeinheit, und diese kann also nicht als die einzige angenommen werden.

Diesemnach muß eine Kausalität angenommen werden, durch welche etwas geschieht, ohne dass die Ursache davon noch weiter, durch eine andere vorhergehende Ursache, nach notwendigen Gesetzen bestimmt sei, d.i. eine absolute Spontaneität der Ursachen, eine Reihe von Erscheinungen, die nach Naturgesetzen läuft, von selbst anzufangen, mithin transzendente Freiheit, ohne welche selbst im Laufe der Natur die Reihenfolge der Erscheinungen auf der Seite der Ursachen niemals vollständig ist.

(Kritik der reinen Vernunft, Reclams Universal-Bibliothek Nr. 6461 (2006), p. 488) □

Antithese: Es ist keine Freiheit, sondern alles in der Natur geschieht lediglich nach den Gesetzen der Natur.

Beweis: Setzet: es gebe eine Freiheit im transzendentalen Verstande, als eine besondere Art von Kausalität, nach welcher die Begebenheiten der Welt erfolgen könnten, nämlich ein Vermögen, einen Zustand, mithin auch eine Reihe von Folgen desselben, schlechthin anzufangen; so wird nicht allein eine Reihe durch diese Spontaneität, sondern die Bestimmung dieser Spontaneität selbst zur Hervorbringung der Reihe, d.i. Kausalität, wird schlechthin anfangen, so dass nichts vorhergeht, wodurch diese geschehene Handlung nach beständigen Gesetzen bestimmt sei. Es setzt aber ein jeder Anfang zu handeln einen Zustand der noch nicht handelnden Ursache voraus, und ein dynamisch erster Anfang der Handlung einen Zustand, der mit dem vorhergehenden eben derselben Ursache gar keinen Zusammenhang der Kausalität hat, d.i. auf keine Weise daraus erfolgt. Also ist die transzendente Freiheit dem Kausalgesetze entgegen, und eine solche Verbindung der sukzessiven Zustände wirkender Ursachen, nach welcher keine Einheit der Erfahrung möglich ist, die also auch in keiner Erfahrung angetroffen wird, mithin ein leeres Gedankending. Wir haben also nichts als Natur, in welcher wir den Zusammenhang und Ordnung der Weltbegebenheiten suchen müssen. Die Freiheit (Unabhängigkeit) von den Gesetzen der Natur, ist zwar eine Befreiung

von Zwange, aber auch vom Leitfaden aller Regeln. Denn man kann nicht sagen, dass, anstatt der Gesetze der Natur, Gesetze der Freiheit in die Kausalität des Weltlaufs eintreten, weil, wenn diese nach Gesetzen bestimmt wäre, sie nicht Freiheit, sondern selbst nichts anders als Natur wäre. Natur also und transzendente Freiheit unterscheiden sich wie Gesetzmäßigkeit und Gesetzlosigkeit, davon jede zwar den Verstand mit der Schwierigkeit belästigt, die Abstammung aber der Begebenheiten in der Reihe der Ursachen immer höher hinauf zu suchen, weil die Kausalität an ihnen jederzeit bedingt ist, aber zur Schadloshaltung durchgängige und gesetzmäßige Einheit der Erfahrung verpricht, dahingegen das Blendwerk von Freiheit zwar dem forschenden Verstande in der Kette der Ursachen Ruhe verheißt, indem sie ihn zu einer unbedingten Kausalität führet, die von selbst zu handeln anhebt, die aber, da sie selbst blind ist, den Leitfaden der Regeln abreißt, an welchem allein eine durchgängig zusammenhängende Erfahrung möglich ist.

(Kritik der reinen Vernunft, Reclams Universal-Bibliothek Nr. 6461 (2006), p. 489) □

Beim Beweis der These, dass die Kausalität nach den Gesetzen der Natur nicht die einzige sei, wird also zunächst festgestellt, dass jede Ursache selbst das Resultat der Wirkung einer anderen, gewissermaßen dahinter liegenden Ursache sei und dass es deswegen "keine Vollständigkeit der Reihe auf der Seite der voneinander abstammenden Ursachen" gäbe. Diese mangelnde Vollständigkeit kontrastiert Kant nun mit der ihm offenbar evident erscheinenden Aussage, derzufolge es das Gesetz der Natur sei, dass "ohne hinreichend a priori bestimmte Ursache nichts geschehe". Also konstituiert einerseits die Folgerung der Unvollständigkeit aus dem Postulat, dass es nur Kausalität nach den Gesetzen der Natur gebe, und andererseits der Satz vom Zureichenden Grund einen Widerspruch, und da man am letzteren Satz nicht zweifeln kann, muß das Postulat einer ausschließlichen Kausalität nach den Gesetzen der Natur falsch sein. Daraus wiederum folge, dass diese Art von Kausalität nicht als einzige angenommen werden dürfe.

Beim Beweis der Antithese, dass es nämlich nur Kausalität nach den Gesetzen der Natur gebe, wird nun die These vorausgesetzt, um zu zeigen, dass sie ihrerseits auf einen Widerspruch führt. Eine kausale Kette kann demnach mit einer Spontaneität beginnen. Nun führt Kant aus, dass die Annahme einer solchen Spontaneität die Existenz einer "noch nicht handelnden Ursache" voraussetzt, und "ein dynamisch erster Anfang der Handlung einen Zustand [voraussetzt], der mit dem vorhergehenden eben derselben Ursache gar keinen Zusammenhang der Kausalität hat, d.i. auf keine Weise daraus erfolgt." *Deswegen* sei die transzendente Freiheit³⁷ ein Widerspruch zum Kausalgesetz und "eine solche Verbindung der sukzessiven Zustände wirkender Ursachen, nach welcher keine Einheit der Erfahrung möglich ist, die also auch in keiner Erfahrung angetroffen wird, mithin ein leeres Gedankending." Es gäbe dann nichts in der Natur, das den Zusammenhang und die Ordnung in der Natur stiften würde; "Gesetze der Freiheit" können nicht in die "Kausalität des Weltlaufs eintreten", denn wenn es Gesetze der Freiheit gäbe, so wären sie eben selbst Gesetze der Natur; das "Blendwerk der Freiheit" reißt den "Leitfaden der Regeln" ab, "an welchem allein eine zusammenhängende Erfahrung möglich ist." Deswegen muß die Idee einer nicht in der Natur liegenden Kausalität fallen gelassen

³⁷Also eine Freiheit, die die Bedingung der Möglichkeit eines spontan auftretenden Ereignisses ist, das eine Kausalitätskette impliziert.

werden.

Die Frage nach dem freien Willen und damit nach einer Kausalität "außerhalb der Natur" ist bis heute nicht entschieden, und sie soll an dieser Stelle auch nicht weiter verfolgt werden, weil die dazu notwendigen Betrachtungen zum Determinismus zu weit aus dem hier gegebenen Kontext hinausführen würden (vergl. Wissenschaftstheorie IV). Worauf es Kant offenbar ankommt, ist der Nachweis, dass Versuche, diese Frage deduktiv zu entscheiden, auf Antinomien führt. Kant will zeigen, dass jedem rein deduktiven "Beweis" letztlich metaphysische Annahmen zugrunde liegen, und die Metaphysik, so Kant, maße sich ein Wissen an, das der Mensch gar nicht haben kann (Tetens (2006), p. 238). Allerdings ist auch bei diesem Argument, ob es zwingend ist. Denn würde man nun folgern, dass eine metaphysikfreie Wissenschaft aufgebaut werden müsse, so ergeben sich wiederum Probleme, wie Stegmüller (1956) gezeigt hat; auf Stegmüllers Betrachtungen wird in Wissenschaftstheorie III im Zusammenhang mit der Diskussion des Positivismus zurück gekommen. Für die Kantschen Beweise gilt, dass in ihnen Begriffe wie der einer "noch nicht handelnden Ursache" ad hoc und ohne weitere Explikation eingeführt werden; sie suggerieren logische Folgerungen, wo in Wahrheit nur assoziative Verknüpfungen erzeugt werden. Der Begriff der Kausalität wird intuitiv vorausgesetzt; 1905 wird Bertrand Russell vorexerzieren, wie er analytisch aufgelöst werden kann, – womit er nicht aus der Welt ist, denn die Diskussion geht weiter; in Wissenschaftstheorie IV wird die Frage nach der Kausalität wieder aufgenommen. Ganz ohne jede Frage ist es aber Kants Verdienst, die Problematik rein spekulativer Metaphysik aufgezeigt zu haben.

In der *Kritik der reinen Vernunft* werden drei Grundfragen gestellt: (1) Was kann ich wissen?, (2) Was soll ich tun, (3) Was darf ich hoffen? Hier wird nur Kants Diskussion der ersten Frage betrachtet.

Frage (1) bezieht sich auf die Bedingungen, unter denen Erkenntnis von "Dingen" gewonnen werden kann. Damit definiert die Frage die *transzendente* Betrachtungsweise: die Transzendentalphilosophie ist die Philosophie der Möglichkeit von Erkenntnis.

Für die Wissenschaft ist die Formulierung und Überprüfung von Hypothesen von zentraler Bedeutung. Hypothesen sind häufig Aussagen über Ursache und Wirkung. Die Sonne scheint auf einen Stein und dieser erwärmt sich. Es scheint natürlich zu sein, dass der Sonnenschein die Ursache der Erwärmung ist. Die stillschweigende Voraussetzung bei dieser Aussage ist, dass ein Phänomen wie die Erwärmung eben eine Ursache voraussetzt. Man setzt das Kausalitätsprinzip voraus. Die Frage ist, mit welcher Berechtigung dieses Prinzip vorausgesetzt werden kann. Man könnte vermuten, dass sich dieses Prinzip als Verallgemeinerung vieler Beobachtungen herausgebildet hat. Mit dieser Vermutung postuliert man aber, dass das allgemeine Kausalitätsprinzip ein Resultat der Anwendung der Induktion ist. Aber Induktion liefert, wie schon Hume erkannte, nicht notwendig wahre Sätze: bekanntlich kann aus der Tatsache, dass man bis heute nur weiße Schwäne gesehen hat, nicht folgern, dass *alle* Schwäne weiß sind. Vielleicht gibt es irgendwo schwarze Schwäne. Das Kausalitätsprinzip soll aber streng allgemein gelten und nicht nur eine induktive Vermutung sein. Nach Kant charakterisiert das Kausalitätsprinzip eine Bedingung, die es ermöglicht, Zusammenhänge zu erkennen. Das Kausalitätsprinzip ist nicht *evident*, da es selbst nicht anschaulich ist, und angeboren ist es auch nicht; das Kausalitätsprinzip ist kein, wie Hume meinte, psychologisches Prinzip. Denn die Interpretation des Kausalitätsprinzips als Resultat assoziativer Verknüpfungen setzt voraus, dass es Möglichkeiten der Erfahrung und der Verknüpfung von Erfahrungen gibt, und Kant will gerade die Voraussetzung für diese Erfahrungen und Verknüpfungsmöglichkeiten analysieren. Dazu führt er die Unterscheidung zwischen zwei Arten von Aussagen

ein:

1. **Analytische Urteile:** Eine Aussage ("Urteil") heißt analytisch, wenn einem Objekt bzw. Subjekt ein Prädikat zugeschrieben wird, das sich bereits aus der Definition des Objekts ergibt. Als Beispiel werde die Aussage A: Ein Körper ist ausgedehnt betrachtet. Körper sind definitionsgemäß ausgedehnt, also ist A eine analytische Aussage. Analytische Aussagen liefern keine neue Information, sie machen nur Eigenschaften explizit. Das ausgesagte Prädikat ergibt sich aus der Analyse des Objektbegriffs und läßt sich somit *a priori* erkennen.
2. **Synthetische Urteile:** Nach Kant heißt ein Urteil (eine Aussage) synthetisch, wenn einem Objekt ein Prädikat zugeordnet wird und sich dieses Prädikat nicht schon aus der Definition des Objekts ergibt, d.h. wenn die Aussage nicht analytisch ist. Die Wahrheit der Aussage B: "Alle Paarhufer sind Wiederkäuer" ergibt sich dagegen nicht aus der Analyse der Begriffe "Paarhufer" und "Wiederkäuer", sondern aus Beobachtungen. In Aussagen der Art B wird die Synthese von Prädikaten behauptet, und diese Synthese ergibt sich nach gemachten Beobachtungen. Aussagen der Form B heißen deshalb *synthetisch a posteriori*.

Die Frage ist nun, ob es auch synthetische Aussagen *a priori* gibt. Solche Aussagen sollten aufgrund von Operationen in bezug auf Begriffe, deren Definitionen bekannt sind, entstehen. Nach Kant läßt sich die Möglichkeit solcher Aussagen anhand einfacher arithmetischer Aussagen illustrieren, z.B. $8 + 6 = 14$. Denn die 14 ist nicht in $8 + 6$ enthalten, sie ergibt sich vielmehr durch Abzählen. Gleichzeitig gilt die Aussage überall und stets, ist also allgemeingültig. Ein anderes Beispiel sei die Aussage "Die Gerade ist die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten." Im Begriff der Geraden sei das Prädikat "kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten" nicht enthalten, also sei die Aussage synthetisch *a priori*. Allgemein sind nach Kant die geometrischen Sätze nicht analytisch, d.h. sie sind keine reinen Begriffswahrheiten. So sei die Aussage "Es gibt kein geradliniges Zweieck" gegeben. Denkt man an Dreiecke oder Vierecke, oder allgemein n -Ecke, so denkt man automatisch an Figuren in der Euklidischen Ebene, und hier macht der Begriff "geradliniges Zweieck" kaum Sinn, denn ein solches Zweieck fällt mit einer Geraden zwischen zwei Punkten zusammen. Nach Kant ist die Euklidische Geometrie die "natürliche" Geometrie, sie entspräche der "reinen Raumsanschauung". Die Situation ist anders, wenn man an die Geometrie auf einer Kugeloberfläche denkt. Die Geraden sind hier durch die Großkreise gegeben, und zwei Großkreise können eine Fläche einschließen. Die Aussage "Es gibt kein geradliniges Zweieck" ist nur dann in sich widersprüchlich, wenn man sich auf die Euklidische Geometrie bezieht. Die These, dass die Mathematik synthetische Aussagen macht, wird kontrovers diskutiert (Röd, p. 151); Einstein (1953) hat insbesondere den Sinn des Begriffs synthetisch *a priori* in Frage gestellt. In Wissenschaftstheorie III wird auf die Frage, wie denn metaphysische Aussagen zu charakterisieren seien, eingegangen; dabei zeigt es sich, dass sie als synthetische Urteile *a priori* gekennzeichnet werden können, sofern man an der Kantschen Unterteilung der Urteile festhält.

Der Begriff des synthetischen Urteils verweist auf die Rolle des Verstandes bei der Interpretation der Welt. Wäre der Geist nur rezeptiv, gäbe keine Erkenntnis von der Welt; man nähme die Sonne und den Stein wahr, auch, dass der Stein sich erwärmt, würde aber den Zusammenhang zwischen dem Sonnenschein und der Erwärmung nicht herstellen. Durch den *Begriff* der Ursache wird die Beziehung zwischen dem Sonnenschein und der Erwärmung hergestellt. In der Sprache Kants heißt wahrnehmen "von den Dingen an sich affiziert zu werden". Der Empirismus nimmt an, dass der Geist nur dieser Affiziertheit

fähig ist. Der Rationalismus andererseits nahm an, dass die Erkenntnis der Wirklichkeit ohne Rekurs auf Wahrnehmungsdaten möglich sei. Nach Kant erfordert die Erfahrung der Welt anschauliche Daten einerseits sowie Verstandesbegriffe, mit denen diese Daten in einen Zusammenhang gebracht werden: "Gedanken ohne Anschauung sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind". Damit ist aber auch jede Metaphysik, die nur mithilfe des Verstandes Aussagen über die Welt machen will, ein sinnloses Unterfangen (daher der Titel *Kritik der reinen Vernunft*).

Ein Gegenstand wird nicht nur einfach wahrgenommen; bei der Wahrnehmung ist bereits der Verstand beteiligt. Man sieht auf die Uhr auf dem Schreibtisch: der Gegenstand wird dann sofort eben als Uhr identifiziert. Die Wahrnehmung ist also Wahrnehmung relativ zu einem Begriff, in diesem Fall zu dem der Uhr. Anders gesagt: die Wahrnehmung ist mit einer Deutung gekoppelt. Dieser Befund wird in der gegenwärtigen Wissenschaftstheorie bei der Diskussion der Protokollsätze wichtig, also der einfachsten Aussagen, die über experimentelle oder allgemein empirische Befunde gemacht werden können: sie sind nicht einfache Beschreibungen *sine ira et studio*, sondern sie sind bereits "theoriegeschwängert". Im Zusammenhang mit der Diskussion des Neopositivismus bzw. des kritischen Rationalismus in Wissenschaftstheorie III wird darauf zurückgekommen.

Phänomen und Ding an sich Die Erfahrung eines "Gegenstands" wird also nicht nur durch passive Mechanismen durchgereicht, sondern ist mit einer Deutung verbunden, die durch die Anschauungsformen des Verstandes geliefert wird. Daraus folgt, nach Kant, dass der Gegenstand *an sich* prinzipiell nicht wahrgenommen wird, d.h. wir können nicht wissen, wie der Gegenstand an sich ist. Das Wahrgenommene ist das *Phänomen*, die Erscheinung. Erscheinungen bzw. Phänomene werden von Kant auch als Bewußtseinsinhalte bezeichnet. Kant betreibt aber *keine* Psychologie, es geht ihm nur um die Struktur von zu erkennender Welt und den Bedingungen der Erkenntnis; diese ist der Gegenstand der Transzendentalphilosophie.

Es folgt, dass die Wahrheit einer Aussage nicht als ihre Übereinstimmung mit den Dingen an sich aufgefasst werden kann. Nach Kant ist die Wahrheit einer Aussage als ihre Übereinstimmung "mit ihrem Gegenstand" definiert, - und der Gegenstand ist jetzt die Erscheinung des Dinges an sich³⁸.

Konsequenzen für die Wissenschaftstheorie Die Welt wird wahrgenommen, wobei die Wahrnehmung, wie schon ausgeführt, mit einer Deutung einhergeht, die durch die Anschauungsformen des Verstandes bestimmt wird. Dementsprechend ist die Natur nicht nur die Menge der Erscheinungen, sondern die "Existenz der Dinge unter Gesetzen"³⁹. Wissenschaftliche Erkenntnis gibt es nach Kant nur von der "äußeren" Natur, da nur sie könne mathematisch beschrieben werden (Kant (1966)).

³⁸Milne, A. A.: *Winnie the Pooh*, Kapitel 3: *In which Pooh and Piglet go Hunting and nearly catch a Woozle* liefert ein Beispiel: Piglet fragt Pooh ob die Spuren, denen sie folgen, Spuren von Woozlen sind. Poohs Antwort ist "You can never tell with paw-marks". Williams in *Pooh and the philosophers*, p. 119, führt aus, dass die *paw-marks* von Pooh als phänomenale Objekte betrachtet werden, von denen aus er den Sprung zum nicht erkennbaren *noumenon* – dem Woozle – nicht durchführen kann. Tatsächlich wird das Woozle nie gefunden und nie beschrieben.

³⁹Kritik der praktischen Vernunft, Band V, p. 43

3 Die Rolle religiöser Reformen

In manchen Gesellschaften spielt in bestimmten historischen Epochen die Wissenschaft eine geringere Rolle als in anderen. Ein möglicher Grund hierfür können vorherrschende religiöse Ansichten sein.

Johannes Calvin (Jean Caulvin oder Chauvin), (1509-1564) befand, dass die Bibel, insbesondere das Alte Testament, die einzige Quelle der christlichen Wahrheit sei. Nach seiner Interpretation der Bibel ist alles von Gott vorher bestimmt; dies ist die *Prädestinationslehre*.

Martin Luther (1483-1546) befand, dass niemand - also auch nicht die katholische Kirche bzw. der Papst - über die Seele regieren könne. Gottes Stimme in der eigenen Seele sei das Gewissen, und jeder müsse sein Gewissen prüfen, damit er wisse, was er glauben und tun solle.

Diese protestantischen Auffassungen haben nach Meinung einiger Historiker Relevanz für die Entwicklung der Wissenschaft. So stellte Alphonse de Candolle, Schweizer Botaniker, in seiner Schrift "Histoire des Sciences et des Savants" aus dem Jahre 1873 fest, dass

1. Die Pariser Akademie der Wissenschaften hat zwischen 1666 (dem Jahr der Gründung) und 1870 92 Ausländer aufgenommen. Davon waren 71 Protestanten, 16 Katholiken, 5 hatten eine andere Religion. Außerhalb Frankreichs gab es 68 Mio Protestanten, aber 107 Millionen Katholiken. Also wurden 6-mal mehr Protestanten als Katholiken aufgenommen.
2. Der Royal Society in London gehörten zwischen 1829 und 1869 besonders viele Franzosen, und ungefähr gleich viele Protestanten wie Katholiken an, obwohl es außerhalb des UK 139 Mio Katholiken gab, aber nur 44 Mio Protestanten.
3. In den protestantischen Ländern gab es keine Inquisition, d.h. der Kirche unangebracht erscheinende Gedankengänge konnten sich besser entfalten (die Naturphilosophie kam in Italien fast zum Erliegen, nachdem Galilei gezwungen worden war, seine Theorien zumindest nicht in Italien zu veröffentlichen),
4. Es gibt eine Übereinstimmung zwischen dem protestantischen Ethos einerseits und der wissenschaftlichen Haltung andererseits; damit kann die Wissenschaft zur Verfolgung religiöser Ziele eingesetzt werden.
5. Es existiert eine gewisse Übereinstimmung des Bildes der kosmischen Rangordnung, wie sie in der protestantischen Theologie konzipiert wird, und den naturwissenschaftlichen Theorien: sowohl Luther wie auch Calvin lehnten die Leitung durch die Kirche ab, jeder Mensch muss in seiner eigenen religiösen Erfahrung nach Wahrheit forschen und die Bibel auslegen. Analog dazu wandten sich die Naturwissenschaftler von den antiken Vorbildern und den scholastischen Lehrern ab: Jeder muss die Natur für sich, also in eigener Verantwortung auslegen.

In Deutschland war es dementsprechend die Universität Wittenberg, die zum fortschrittlichen Zentrum der Wissenschaft wurde: der Mathematikprofessor Rheticus setzte sich mit der kopernikanischen Lehre auseinander und ging schließlich nach Frauenburg, um mit Kopernikus zusammenzuarbeiten; er veröffentlichte 1540 die erste gedruckte Darstellung der neuen heliozentrischen Theorie. Sein Kollege Rheinhold war Professor der

Astronomie in Wittenberg und publizierte 1555 die ersten astronomischen Tafeln, die anhand der kopernikanischen Theorie berechnet worden sind, sie sogenannten "Preußischen Tafeln".

Die Idee, die Wissenschaft für religiöse Zwecke nutzbar zu machen, erlangte im 17-ten Jahrhundert bei den Calvinisten große Bedeutung. Calvin war der Ansicht war, dass nur einige Menschen dazu auserwählt seien, ins Himmelreich zu gelangen. Als Anhänger Calvins war es daher wichtig, zu erfahren, ob man zu diesen Auserwählten gehörte oder nicht. Bei den holländischen, englischen und schottischen Calvinisten wurde die neue Lehre also allmählich modifiziert: man nah an, dass eine möglichst kontinuierliche Reihe guter Werke einen Hinweis darauf lieferte, ob man dereinst ins Himmelreich gelangen würde oder nicht. Wissenschaft sollte helfen, gute Werke zu tun. Für Luther war es dagegen wichtig, dass der innere Glaube hinreichend ausgeprägt war, um ins Himmelreich zu gelangen. Die Dominanz der Protestanten unter den Wissenschaftlern hatte aber noch einen zweiten Grund, nämlich der dem Protestantismus zugrundeliegende Individualismus und die damit einhergehende eher antiautoritäre Einstellung. Die aus dem Calvinismus folgende Vermutung, sich über gute Werke einen Platz im Himmel sichern zu können, kombiniert mit der Auffassung, dass Wissenschaft dem Menschen helfen könne, bewirkte, dass sich die Zentren der Wissenschaft von Italien (vergl. Galilei und die Inquisition) über Deutschland (Wittenberg) nach England (Puritaner), Holland (Varianten der Calvinisten) und Frankreich (Hugenotten) verlagerte.

Es ist in diesem Zusammenhang interessant, dass sowohl Calvin wie auch Luther keine Anhänger der kopernikanischen Theorie waren, denn diese stand ihrer Ansicht nach im Widerspruch zur Bibel. Aber im Mittelalter waren Theologie und Wissenschaft (= Naturphilosophie) eng miteinander gekoppelt. Der Angriff auf die konventionelle Theologie implizierte dann auch eine Attacke auf die klassischen wissenschaftlichen Ansichten. Bekanntlich hatte der Pseudo-Dionysos⁴⁰ behauptet, es existiere eine Hierarchie von Engeln, über die der Erste, Unbewegte Beweger alle Vorgänge auf der Erde regele; damit hatte er auch eine Rechtfertigung für die kirchliche Hierarchie gefunden. Deswegen spielten das ganze Mittelalter hindurch die Engel eine so große Rolle in den Vorstellungen der Menschen. Neben den guten Engeln gab es dementsprechend auch böse Geister. Der presbyterianische Theologe Richard Baxter (1615-1691) sammelte Beispiele für das Wirken von Engeln, fand allerdings in erster Linie Beispiel für das Wirken böser Geister. Aber auch diese verschwanden langsam. John Aubrey (1626-1697) berichtete, dass er als Kind - vor den englischen Bürgerkriegen - viel von bösen Geistern gehört hatte. Deren Existenz sei aus der Theorie vom Gleichgewicht hergeleitet worden, derzufolge ein Mensch, der die Geister leugne, ein Atheist sei. Mit der Cromwell-Revolution sei dann die Lehre von der Freiheit des Gewissens entwickelt worden und die Ketzengerichte wurden aufgelöst; damit verschwanden auch die bösen Geister allmählich aus den Erzählungen. In der reformierten, insbesondere in der calvinistischen Theologie wurde die Hierarchie der Geistwesen, d.h. der Engel, durch die Idee des Naturgesetzes ersetzt. Dies ermöglichte das Aufblühen der Wissenschaft, insbesondere der Theorie des mechanistischen Determinismus. Nach Kopernikus ist es denn auch die Sonne, die im Zentrum des Universums sitzt und von dort aus die Gestirne lenkt. Nach Kepler ist die Sonne der Sitz des göttlichen Herrschers der Welt. Andere Wissenschaftler teilten diese Ansicht. Dementsprechend wurde die Sonne auch als Symbol für weltliche Herrschaften gewählt. John Norden (1548-1626) beschrieb Elizabeth I als *primum mobile* von England und dem Commonwealth: alles müsse von ihr seinen Anfang nehmen. William Harvey, der 1628 eine Theorie des Blut-

⁴⁰Vergl. Wissenschaftstheorie I

kreislaufs publizierte, verglich König Charles I als "die Sonne der ihn umgebenden Welt", als "Herz der Republik". Als Ludwig der 14-te von Frankreich 1660 mündig wurde, begrüßte man ihn als *Le Roi Soleil*. Eine interessante Variante der Idee, dass das Universum naturgesetzlich geordnet sei, kam von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Seiner Ansicht nach ist diese Welt die beste aller möglichen Welten, denn sie folgt dem Gesetz von Maximum und Minimum: die größte Wirkung wird diesem Prinzip zufolge durch den jeweils kleinsten Aufwand erledigt. Das Sonnensystem ist eine selbstlaufende Maschine; Pflanzen und Tiere sind demnach ein für alle Male auf ihre jeweiligen Formen festgelegt (sonst gehörten sie ja nicht zur besten aller Welten, die ja nicht mehr verbessert werden kann). Nach B. Russell⁴¹ hat Leibniz diese Lehre aber selbst nicht sehr ernst genommen, sondern sie nur konstruiert, um seinem adligen Gönner, von dem er finanziell abhing, einen Gefallen zu tun. Die Verbindung zwischen Protestantismus und Wissenschaft endete mit dem Aufkommen der Evolutionstheorie, derzufolge die Lebewesen eben nicht unveränderlich erschaffen wurden (Hanson (1991)).

4 Chemikalien, die Medizin und das Phlogiston

Mit F. Bacon, J. Locke und D. Hume beginnt die Diskussion über die Möglichkeit einer Erkenntnis ohne expliziten Rekurs auf die Metaphysik, wobei hier mit Metaphysik Theorien gemeint sind, in denen höhere Wesen, namentlich Gott, als Gründe für natürliche Phänomene angenommen werden. Die Natur soll aus sich selbst heraus erklärt werden. Auf den Sachverhalt, dass das Prädikat 'metaphysisch' sich auch auf Begriffe beziehen kann, die nichts mit höheren Wesen zu tun haben, wird in späteren Kapiteln noch ausführlich zurückgekommen, – so sind z.B. Newtons Begriffe des absoluten Raumes und einer vom Raum unabhängigen, gleichförmig verstreichenden Zeit ebenfalls metaphysische Begriffe. Mit dem Verzicht auf Spekulationen über die Rolle höherer Wesen wird auch der erkenntnistheoretische Rationalismus zurückgedrängt. Explizit wird dieser Ansatz von I. Kant fort- und durchgeführt. Kants Transzendentalphilosophie ist die Theorie von den Bedingungen der Möglichkeit der Erkenntnis. Die Möglichkeit der Wissenschaft wird mit der Anwendung der Mathematik in Verbindung gebracht, – kann die Mathematik nicht angewendet werden, so ist auch keine Wissenschaft möglich. Nach Kant kann die Mathematik in der Psychologie nicht angewendet werden, also kann Psychologie auch nicht als Wissenschaft betrieben werden. In der geisteswissenschaftlichen Psychologie hat diese Lehrmeinung nachhaltige Folgen gehabt. Man muß aber berücksichtigen, dass (i) für Kant die newtonsche Physik eine Modellfunktion hatte, dass (ii) die Mathematik zu Kants Zeiten noch nicht die konzeptuelle Potenz hatte, die sie heute hat, und dass (iii) die Biologie und die Chemie, obwohl sie über weite Teile ohne Mathematik auskommen, durchaus Wissenschaften (geworden) sind. Kants *dictum* über die Beziehung zwischen Wissenschaft und Mathematik kann demnach nicht das letzte Wort gewesen sein. Es soll zunächst ein kurzer Blick auf die Entwicklung insbesondere der Medizin und der Chemie geworfen werden.

4.1 Anatomie, Blutkreislauf, und Linsen

Zu Beginn der Neuzeit waren es die Mediziner, die relativ engen Kontakt zu Handwerkern und anderen Praktikern hatten, so etwa zu den Apothekern einerseits und den Badern

⁴¹ In: *History of Western Philosophy*

andererseits. Die Ausbildung der Mediziner war aber so, dass sie selbst wenig Bezug zur Praxis hatten: ein Vorleser las aus den Werken etwa des Galenos vor, und der Professor auf der Kanzel gab dazu seine Kommentare ab. Der Prosektor illustrierte dann zB den anatomischen Sachverhalt, indem er auf die entsprechenden Teile des Körpers verwies. Die Sektion des Körpers wurde vom Prosektor vorgenommen, der im Hauptberuf Bader war. Der Prosektor konnte durchaus ein intimer Kenner der Anatomie sein, verstand aber nichts von der gelehrten Diskussion, da diese auf Latein geführt wurde. Deshalb konnte er auch nichts zur Diskussion beitragen. Die Bader, die tatsächliche Kenntnisse der Anatomie hatten, hatten die antiken Schriften (zB des Galenos) nicht gelesen, und die Professoren, die die Schriften kannten, hatten keine praktischen Kenntnisse der Anatomie. Auf diese Weise wurde das Wissen nicht weiter ausgebildet. Erst im Verlauf des 16-ten Jahrhunderts kam es allmählich zu einer Zusammenarbeit: die Bader und Barbieri erwarben wissenschaftliche Kenntnisse, und die Gelehrten begannen, selbst zu sezieren. In Norditalien war man zu Beginn der Renaissance Vorreiter dieser Entwicklung: es waren Künstler wie Leonarda da Vinci, die menschliche und tierische Körper sezieren und genaue Zeichnungen anfertigten. An der Universität Padua (Theatro Anatomico) begannen die Professoren (Andreas Vesal (1514-1564), Realdo Colombo (1516-1559), Gerolamo Fabricio (1514-1590)), selbst zu sezieren, und ihren Büchern fügten sie die Zeichnungen der Künstler bei.

Andreas Vesal war gebürtiger Flame, wurde Leibarzt Karls des Fünftgn und Philipps des Zweiten und veröffentlichte sein Hauptwerk *De humani corporis fabrica* im Jahre 1543, also im gleichen Jahr, in dem Kopernikus sein Werk über die Bewegung der Himmelskörper publizierte. Die Medizin wurde zur Zeit Vesals von den Ansichten des antiken Arztes Galenos dominiert. Galenos hatte angenommen, dass das Blut von der rechten Herzkammer durch die Scheidewand (Septum) in die linke Herzkammer fließt. Vesal wies 1543 darauf hin, dass diese Hypothese nicht stimmen könne, da das Septum dick und muskulös sei. Er vermerkt auch, dass es anfänglich nicht gewagt habe, Zweifel an Galenos' Ansichten zu äußern: antike Autoritäten kritisiert man nicht.

Galenos hatte angenommen, dass der menschliche Organismus durch drei Hierarchien bzw. Funktionen bestimmt wird:

1. die vegetative Funktion der Ernährung und des Wachstums mit Sitz in der Leber, vermittelt durch das dunkelrote venöse Blut und dessen "natürliche" Kraft,
2. die animalische Funktion von Bewegung und Muskelkraft mit Sitz im Herzen; wird durch das hellrote Blut in Gang gehalten,
3. die Nervenfunktion, die die Empfindungsfunktion des Körpers bestimmt und die ihren Sitz im Gehirn hat.

Kern der medizinischen, genauer der anatomischen Theorien sind die im Mittelalter und in der Antike sehr beliebten *triadischen Anordnungen*. Dem triadischen Prinzip entsprechend fiel jedes Lebewesen im Universum in eine von drei Kategorien: (i) materielle Wesen (Minerale, Pflanzen, Tiere), (ii) geistige Wesen (Engel), (iii) menschliche Wesen, die sowohl materiell wie auch geistig sind. Jedes Mitglied einer dieser drei Gruppen konnte wieder in eine von drei weiteren Kategorien eingeteilt werden: Tiere waren entweder Vögel, Fische oder Landtiere, und diese drei Klassen wurden wieder in drei Klassen eingeteilt, etc. Ebenso wurden Menschen und Engel wieder in drei Klassen aufgeteilt. Den Gipfel dieser Hierarchie von Trinitäten bildet die Trinität Gott, Maria und Jesus.

Vesal hatte Galenos zwar kritisiert, aber keine Alternative zu den Galenischen Theorien vorgeschlagen. Diese kam dann von Miguel Serveto (1511-1553), der annahm, dass das Blut durch die Lungen von der rechten in die linke Herzkammer gelangt. Serveto war gleichzeitig protestantischer Reformator. 1553 publizierte er sein Werk *Christianismi restitutio*, in dem er einen unitaristischen Standpunkt vertrat, d.h. er lehnte die Theorie, dass Gottes Sohn ebenso ewig ist wie Gott selbst, ab. Der Heilige Geist ist der Atem Gottes oder das alles durchdringende Pneuma. *Deshalb* lehnte er jedes Triadensystem ab. Es war aber nicht nur das triadische System des Galenos und alle anderen triadischen Systeme zu überwinden, um den Blutkreislauf zu entdecken. Denn allgemein anerkannt war die auf Aristoteles zurückgehende Theorie, dass nur himmlische Materie sich kreisförmig bewegen könne. Bewegungen irdischer Materie müßten aber stets einen Anfang und ein Ende haben. Die Ablehnung triadischer Systeme implizierte für Serveto, dass es auch keine zwei Arten von Blut geben könne (das dunkle und das helle), sondern dass es nur ein Blut geben könne. Serveto beobachtete, dass die Arteria pulmonalis, die die rechte Herzkammer mit der Lunge verbindet, sehr groß ist und mehr Blut transportiert, als für die Versorgung der Lungen erforderlich ist. Daraus folgerte er, dass das dunkelrote Blut in den Lungen in das hellrote überführt wird, indem es die eingeatmete Luft aufnimmt und gereinigt wird. Von den Lungen ginge das Blut dann durch die Vena pulmonalis in die linke Herzkammer; dies ist der kleine Blutkreislauf. In der Luft ist der göttliche Atem, und über das Atmen hat die Seele teil am göttlichen Geist. Denn nach Serveto ist die Seele das Blut selbst.

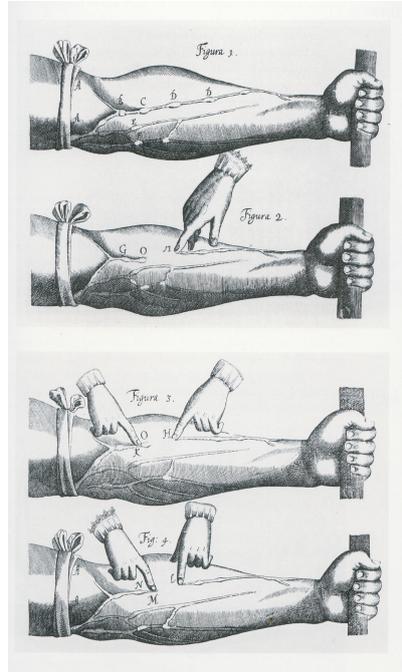
Diese Behauptung widersprach Calvins Ansichten, weshalb er Serveto in Genf gefangensetzte und 1533 zusammen mit den meisten Exemplaren seines Buches auf dem Scheiterhaufen verbrennen ließ.

1559 stellte Realdo Colombo in Padua die These vom Kleinen Blutkreislauf erneut auf: die Atmung sei ein Reinigungsprozeß und kein Kühlvorgang. Vermutlich hat Colombo von Servetos Theorie gewußt, konnte ihn aber nicht zitieren, weil er sich damit der Kollaboration mit einem Ketzer schuldig gemacht hätte. Serveto wird erst gegen Ende des 17-ten Jahrhunderts in England zitiert; William Harvey (1578-1657) hat die Theorie vom kleinen Blutkreislauf endgültig gesichert.

Im Jahre 1603 entdeckte Fabricio, bei dem Harvey in Padua studiert hatte, in den Venen Ventile. Diese bewirken, dass das Blut nur in Richtung des Herzens fließen kann. Fabricio hielt aber an der Autorität Galenos fest, demzufolge sich das Blut in den Venen ein wenig hin und her bewegt. Fabricio folgerte, dass die Ventile verhindern sollen, sich in den Extremitäten zu sammeln, und darüber hinaus die Aufgabe haben, die Geschwindigkeit, mit der es sich bewegte, zu drosseln. Damit könne die Nahrung besser aus dem Blut in das umgebende Gewebe abgegeben werden.

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen und Schlußfolgerungen Harveys illustrieren das Wechselspiel von Hypothesenbildung und Falsifikation, das im Fokus der neueren Wissenschaftstheorie steht. Harvey machte Beobachtungen, die mit der oben genannten Theorie nicht in Einklang zu stehen schienen. Er legte eine Komresse am Oberarm an und beobachtete, dass die Venen am Unterarm und an der Hand anschwellen (vergl. Abbildung 6). Ist die Vene durch die Komresse am Oberarm geschlossen, so kann das Blut, das die Anschwellung bewirkt, nur aus den tiefergelegenen Arterien kommen. Diese Überlegung legte die Idee eines Kreislaufs des Blutes nahe. Weiter beobachtete Harvey, dass die Herzklappen den Fluß des Blutes nur *in* die Arterien zulassen, so dass das Blut nur in einer Richtung von den Venen in die Arterien fließen kann. Will man der Galenischen Theorie treubleiben, so kann man nun die Hypothese aufstellen,

Abbildung 6: Harveys Test



dass das Blut an den Enden der Arterien ständig zerstört und an den Enden der Venen ständig hergestellt wird. Nun rechnete Harvey aber das Gewicht des Blutes aus, das im Laufe einer Stunde durch das Herz hindurchströmt, und fand, dass es das Gesamtgewicht eines durchschnittlich schweren Menschen überschreitet. Dieses Resultat macht es unwahrscheinlich, dass das Blut an den Enden der Arterien zerstört und an den Enden der Venen hergestellt wird. Dementsprechend liegt es nahe, zu vermuten, dass es dasselbe Blut ist, das von den Venen in die Arterien und von dort wieder in die Venen überführt wird. Nun seziierte Harvey verschiedene Organismen (u.a. Hunde, Würmer, Insekten) und fand, dass es Verbindungen zwischen den Venen und den Arterien gibt; da ihm aber kein Mikroskop zur Verfügung stand, konnte er auch die Kapillaren nicht finden, über die der Übergang von Arterien in Venen tatsächlich erfolgt. Weiter fand Harvey, dass einerseits das Septum, also die Trennwand, des Herzens zu dick ist, um Blut hindurchzulassen, und dass darüber hinaus sich beide Herzkammern zugleich zusammenziehen und ausdehnen. Deshalb existiert kein Druck, der für einen Fluß des Blutes durch das Septum notwendig ist. Außerdem zeigte Harvey, dass das Septum ein eigenes System von Arterien und Venen besitzt, das nicht notwendig wäre, wenn das Blut durch das Septum flösse. Er folgerte daraus, dass das Blut sich in einem Kreislauf bewegt.

Harvey untersuchte insbesondere Kaltblütler, da deren Herzen langsamer schlagen und deshalb eine genauere Beobachtung ermöglichen. So fand Harvey, dass sich das Herz eines Tieres, wenn er es in der Hand hielt, wie ein Muskel zu verhärten schien. Er folgerte, dass das Herz ein Hohlmuskel ist und das Blut von ihm durch die Adern gepumpt wird, zumal sich die Adern ausdehnten, wenn sich das Herz zusammenzog. Diese Folgerung, gestützt auf weitere Beobachtungen, war revolutionär, weil man bis dahin angenommen

hatte, dass es die Kräfte des Blutes selbst seien, die es in den Adern bewegten, ob nun hin und her, von einem Ende zum andern oder wie auch immer. Harvey siedelte nun die Lebenskraft und vor allem die Seele im Herzen an. Er fand, dass beim Frosch die rechte Aurikel (= obere Herzkammer) Blut aus den Venen in die rechte Ventrikel pumpt und diese wiederum das venöse Blut durch die *Arteria pulmonalis* in die Lungen drückte. Dort wurde das dunkle Blut in hellrotes arterielles Blut überführt und in die linke Ventrikel gebracht, von wo aus es in die Arterien abgegeben wurde. Daraus folgte, dass die im Vergleich zur linken weniger muskulöse rechte Herzkammer für den kleinen Blutkreislauf zwischen Herz und Lungen dazusein schien.

Harveys Betrachtungen stellten einen wichtigen Beitrag zur sogenannten mechanistischen Philosophie dar, derzufolge Venen, Arterien und das Herz ein mechanisches System des Bluttransports bildeten. Leonardo da Vinci war er erste, der Organismen als mechanische Systeme betrachtete. Er hatte gezeigt, dass die Knochen eines Tieres oder eines Menschen die Rolle von Hebeln spielten, und hatte dazu vorzügliche anatomische Zeichnungen angefertigt.

Galilei hatte diese Theorie in seinen Betrachtungen zur Festigkeit von Materialien fortgesetzt, in denen er u.a. anderem erklärte, warum Elefanten relativ zu ihrem Körper dickere und größere Beine haben müssen als Insekten. Descartes verallgemeinerte die Mechanik-Theorie und Alfonso Borelli wandte sie (1680) auf eine Vielzahl von Beispielen an. Borelli errechnete unter anderem, dass das Herz, sollte es wie ein Kolben in einem Zylinder pumpen, im Verlauf eines Herzschlags einen Druck ausübt, der einem Gewicht von 135000 Pfund entspricht. Die Lungen betrachtete er als ein Paar von Blasebälgen und den Magen als eine Art von Mahlmaschine.

Die Kapillaren wurden erst 1663 von Robert Boyle anhand von Injektionen mit gefärbten Flüssigkeiten gefunden, und erst Marcell Malpighi (1628-1694) konnte sie unter dem Mikroskop sichtbar machen.

4.2 Krankheit, Alchemie und Iatrochemie

In der antiken Medizin dachte man sich den Körper eines Lebewesens als aus vier Elementen aufgebaut. Krankheiten wurden aber auf die Wirkung besonderer biologischer Substanzen zurückgeführt, etwa auf die vier Säfte, die den sanguinischen, den cholertischen, den melancholischen oder den phlegmatischen Typ bestimmen, darüber hinaus auf die drei Flüssigkeiten, die das Leben bestimmen, etwa das arterielle und das venöse Blut und das Nervenfluidum, denen verschiedene Kräfte innewohnen sollten. Die Krankheiten ergaben sich als Verschiebungen der Mengenverhältnisse dieser Säfte, so dass man nur von kranken Zuständen des Körpers, nicht aber von Krankheiten an sich sprechen konnte. Galenos versuchte, die rechte Mischung durch Heilmittel, also Arzneien zu erreichen; deren Zusammensetzung wurde im Laufe der Zeit immer komplizierter. Im Mittelalter konnte eine Arznei dann 60 bis 70 Komponenten enthalten, die fast immer biologischer Natur waren, zB Galle, Blut, Hahnenkämme, Asseln, etc (Londoner Arzneibuch aus dem Jahr 1618).

Nun begannen einige Alchemisten, sich für die Anwendung der Alchemie auf die Medizin zu interessieren. Dies bedeutete u.a. auch die Verwendung mineralischer Komponenten für Arzneien. Führend wurde hier

Paracelsus (1493 - 1541), eigentlich Theophrastus Philippus Aureolus Bombastus

von Hohenheim, der mit der Vereinigung von Medizin und Alchemie eine neue Art von Chemie, die Iatrochemie, ins Leben rief.

Theophrastus wurde als Sohn eines aus Schwaben stammenden Arztes mit dem Namen von Hohenheim in Einsiedeln, Schweiz, geboren. Er studierte an verschiedenen Hochschulen und promovierte in Ferrara zum Doktor der Medizin. Zunächst arbeitete er in den Bergwerken und Bleihütten des Grafen Fueger zu Schwaz in Tirol, später hielt er in Basel Vorlesungen über Arzneikunde, wobei er deutsch sprach und damit die Tradition, Vorlesungen auf lateinisch zu halten, brach. Auf diese Weise konnte er Bader und Apotheker zu seinen Vorlesungen einladen. Er benahm sich auch sonst revolutionär, indem er den Kanon des Avicenna - der medizinischen Autorität des Mittelalters - in Anlehnung an Luthers öffentliche Verbrennung der päpstlichen Bulle öffentlich dem Feuer überantwortete.

Theophrastus verehrte Luther, und dieser verehrte die Alchemie, nicht zuletzt wegen ihrer mystischen Bezüge zur Veredelung von Metallen und der Folge von Leben und Tod. Theophrastus war der Ansicht, dass er um einiges bedeutender sei als der römische Arzt Celsus, und deshalb nannte er sich Paracelsus.

Paracelsus wurde zunächst von seinem Vater unterrichtet, u.a. in der Alchemie. Mit 16 Jahren begann er in Basel das Studium der Alchemie, Chirurgie und der Medizin. Er verfügte über ein umfassendes Wissen der Naturwissenschaft seiner Zeit und führte u.a. das Opium und das Quecksilber in die Medizin ein. Paracelsus wurde zum Vorläufer der chemischen Pharmakologie und Therapie und gilt als der originellste medizinische Denker des 16-ten Jahrhunderts. Basel musste er wegen des Vorwurfs der Toten- bzw. Geisterbeschwörung fluchtartig verlassen. Es folgten Wanderungen durch Deutschland, Frankreich, Ungarn, die Niederlande, Dänemark, Schweden und Russland. In Russland wurde er Gefangener der Tataren, hatte aber Glück und wurde Günstling des Grossen Khans, dessen Sohn er von China nach Konstantinopel begleitete. In Konstantinopel bekam er von einem arabischen Schüler das größte Geheimnis, nämlich das *Allumfassende Lösungsmittel* der Alchemisten (das *Alkahest*), anvertraut, lernte von Derwischen, Hexen und Zaubern und erwarb sich großen Ruhm in der Heilkunst. Schließlich kam er nach Italien und wurde dort Armeechirurg. Er kehrte 1526 nach Deutschland zurück und wurde in Basel Professor für Physik, Medizin und Chirurgie. Wegen seines reformatorischen Eifers und weil er die Autoritäten, insbesondere Galenos, angriff, bekam er den Beinamen "Luther der Medizin" (Abweichungen von Galenos Theorien wurden wie Häresien beurteilt). 1526 mußte er Basel schon wieder verlassen, lehrte daraufhin erst in Colmar, dann in Nürnberg, und bekam schließlich eine Position in Salzburg, wo er 1541 starb.

Paracelsus betrachtete die Alchemie von einem sehr allgemeinen Standpunkt. Sie diente zur Herstellung von Produkten aus natürlichen Rohstoffen. Nach dieser Definition war der Metallurge ein Alchemist, ebenso der Bäcker wie der Apotheker. Er glaubte, dass Minerale unterirdisch wachsen und das Menschen dazu imstande seien, diese Wachstumsprozesse im Labor künstlich zu erzeugen. Weiter war er der Meinung, dass alle Substanzen lebendig seien und eben *deshalb* wüchsen. Menschen sollten imstande sein, diesen Wachstumsprozeß zu beeinflussen, dass das Resultat für den Menschen nützlich ist.

Der menschliche Körper ist nach Paracelsus ein chemisches System, das nicht aus den vier klassischen Säften besteht, sondern vielmehr aus den Grundstoffen Quecksilber, Schwefel und Salz aufgebaut sei. Krankheiten sind Störungen im Zusammenwirken dieser drei Grundstoffe, und diese Störungen können auch durch mineralische Stoffe beseitigt werden. So verordnete er anämischen Patienten Eisensalze, was nicht ganz falsch ist,

obwohl seine Begründung heute abenteuerlich anmutet: Eisensalze sind rot, also stehen sie in Verbindung mit dem Planeten Mars, und Mars ist wiederum der blutige Gott des Krieges. Analogiebegründungen haben sich zum Teil bis heute gehalten, zB in der Homöopathie. In der Schweiz soll sich in ländlichen Bereichen lange die Meinung gehalten haben, dass Walnüsse, auf die Stirn gelegt, gegen Kopfschmerzen helfen, denn Walnüsse erinnern an die Form des Gehirns⁴². Gleichwohl war Paracelsus mit seiner (iatro-)chemischen Krankheitstheorie dichter an der Wahrheit als die Vertreter der Vier-Säfte-Theorie.

Paracelsus wandte sich gegen die Theorie der Allheilmittel (s. o.) und verschrieb deshalb spezifische Mittel gegen bestimmte Krankheiten. Diese Idee war der Anlaß, einzelne Krankheiten gesondert zu untersuchen. In diesem Zusammenhang lehrte er, dass es nicht nur nützliche, sondern auch schädliche Arzneien geben kann. Dieser Sachverhalt spricht gegen die Anwendung von angeblichen Allheilmitteln, in denen alle möglichen Substanzen enthalten sind.

Wissenschaftstheoretisch interessant sind weniger die Ansichten des Paracelsus, sondern der Hintergrund, vor dem er sie entwickelte. Als Anhänger der Reformation hatte er Vorbehalte gegen die Vorstellung einer hierarchischen Weltordnung. Die Idee war, dass alle Wesen von einem mechanischen Standpunkt aus gesehen einheitlich sind und auf das Geschehen im Universum gleichen Einfluß haben. Die Lutheraner verwarfen die Idee von Herrschaft und Knechtschaft, die die Beziehungen zwischen den in der Welt vorkommenden Wesen regeln sollte, und lehrten, dass alle Wesen im Universum frei und unabhängig seien. Paracelsus und seine Iatrochemiker nahmen insbesondere an, dass alle Wesen sich unter dem Einfluß einer ihnen innewohnenden Lebenskraft unabhängig von anderen Wesen bewegten. Diese Vorstellung war mit der individualistischen Vorstellung insbesondere der deutschen Mystiker kompatibel, deren Ideen wiederum in der deutschen Reformation weiterlebten: für Luther war die geistige Autonomie des Menschen von zentraler Bedeutung. Im Unterschied zu calvins Lehre von der göttlichen prädestination wird bei Luther der Mensch durch seinen eigenen Glauben gerechtfertigt und erlöst. Der Mensch ist sein eigener Mikrokosmos. Eben dies ist auch die Ansicht der Iatrochemiker. Sie mißtrauten Untersuchungsmethoden, die sich auf die bloße Logik verließen, denn Erkenntnis ergab sich für sie aus der Betrachtung mystischer Einsichten und aus Analogien zwischen dem Mikrokosmos des Menschen und dem Makrokosmos des Universums. Durch diese Analogien erlernt er

”den Ursprung von Donner, Wind und Stürmen, und woher Kolik und Abschnürungen kommen”

zu erkennen. Nach Paracelsus sind es nicht die Unzulänglichkeiten der Ideen, sondern die Unzulänglichkeiten der Experimentatoren, die zu mangelnden Einsichten führen:

”Alle Schuld und Ursache von Schwierigkeiten in der Alchemie liegt allen in der fehlenden Geschicklichkeit des Werkers.”

Religiöse Grundanschauungen lieferten einen weiteren Hintergrund für die wissenschaftlichen Ideen des Paracelsus und der Iatrochemiker. Paracelsus glaubte, dass die Grundmaterie eine dreifaltige Struktur haben müsse, denn Gott verkörpere drei Personen. Deshalb fügte er das Salz als dritten Grundstoff den beiden Grundelementen Quecksilber und Schwefel zu.

⁴²E. Bolthausen, persönl. Mitteilung

An den Universitäten wurden die Lehren des Galenos verbreitet, und die Schriften des Paracelsus waren verboten. Gleichwohl wurde die Zahl der Anhänger des Paracelsus immer größer, und in Paris und Heidelberg kam es im späten 16-ten Jahrhundert wegen des Verbots der paracelsischen Schriften zu Studentenunruhen. Großen Anklang fand die Iatrochemie bei den Apothekern, die in der Iatrochemie eine theoretische Grundlage für die Heilkunde sahen. In England führte diese Entwicklung während des 17-ten Jahrhunderts zu einer Statusverbesserung der Apotheker. 1608 setzten sie eine eigene, von den Krämern und Drogenhändlern abgesonderte Apothekerinnung ein, und ihre Anerkennung stieg, als sie während der Pest in den Jahren 1665/66 London nicht verließen, während die meisten galenischen Ärzte flohen.

Johan Baptist van Helmont (1580-1644) war ein Edelmann aus Brüssel, der die Iatrochemie weiterentwickelte. Wie Paracelsus hielt er nichts von der aristotelischen Logik und ihrer Anwendung in den gelehrten Schulen. :

„...Logik ist nutzlos, da die Regeln der Mathematik oder anderer Beweisschlüsse der Natur eine schlechte Ordnung anlegen.“

Logische Beweisführungen führen nach van Helmont zu nur unvollkommenen Erkenntnissen, denn seiner Ansicht nach kann der Mensch schon durch "Gesichte" und mystische Erlebnisse allein zu göttlichen Einsichten gelangen. Wie Paracelsus gründete van Helmont seine Ansichten auf Analogien und vermuteten oder angenommenen Ähnlichkeiten zwischen irdischen und himmlischen Dingen.

... "Dinge unterhalb des Mondes drücken sich selbst in Analogie oder Symmetrie zu den Dingen oberhalb des Mondes aus."

Mehr als Paracelsus legte er allerdings Gewicht auf Experimente und allgemein auf empirische Untersuchungen. Er plädierte dafür, dass die (Al-)Chemie an den Universitäten gelehrt werden sollte und lehrte sie selbst nicht theoretisch, sondern eher praktisch, dh "durch anschauliche Vorführung des Feuers, durch Destillieren, Feuchten, Trocknen, Kalzinieren, Lösen, so wie die Natur arbeitet".

van Helmont stimmte nicht mit paracelssidchen Lehre, dass die Urmaterie aus den drei Grundstoffen Quecksilber, Schwefel und Salz besteht überein. Er stützte sich statt dessen auf die Bibel und postulierte, dass der Urstoff das Wasser sei, denn dieses ist nach dem Bericht des Moses der Schöpfung vorangegangen. Interessant ist, dass er diese Auffassung nicht einfach apodiktisch vertrat, sondern durch ein Experiment zu bestätigen versuchte. Dazu pflanzte er einen 5 Pfund schweren Weidensteckling in einen Bottich mit 200 Pfund Erde und begoß ihn dann fünf Jahre lang regelmäßig mit Wasser. Nach diesen fünf Jahren war aus dem Steckling ein Baum mit 169 Pfund Gewicht geworden, wobei aber das Gewicht der Erde im Bottich unverändert geblieben war. Dem Baum war lediglich Wasser zugefügt worden. Also, so schloß van Helmont, sei das Wasser in Holz umgewandelt worden.

van Helmont versuchte zu zeigen, dass Wasser auch in Erde verwandelt werden kann. Damit wäre dann gezeigt, dass Erde kein Grundelement ist. So kochte er in einem Glasgefäß Wasser und beobachtete, dass sich ein Bodensatz bildete. Dieser rührte daher, dass sich ein Teil des Glases ablöste; einen anderen Teil des Bodensatzes hielt van Helmont für Erde, womit seiner Ansicht nach gezeigt worden war, dass Wasser auch in Erde überführt werden kann. Jetzt mußte noch gezeigt werden, dass Feuer kein Element ist. Dazu befand

er, dass Feuer brennender Rauch ist und schon deshalb kein Element sein könne. Luft allerdings sei ein selbständiges Element, denn anders als Wasserdampf konnte er Luft nicht zu Wasser komprimieren.

van Helmont stimmte mit Paracelsus in der Ansicht überein, dass die verschiedenen Lebewesen aus jeweiligen Samen hervorgegangen seien. Die Samen wiederum seien aus der Urmaterie hervorgegangen. Jeder Samen enthält der van Helmontschen Theorie nach eine spezifische Lebenskraft bzw. Lebensgeist, der dann den Entwicklungsgang des Lebewesens festlegte; *deswegen* bestand die Natur aus autonomen Wesen.

Viele Lebewesen sind komplexe Organisationen von Untereinheiten, nämlich von Organen. Ihnen kann man ebenfalls eine spezifische Lebenskraft zuordnen. Die Frage ist, wie autonom diese Teilwesen sind, - eine gewisse Autonomie muß ihnen auf jeden Fall zugestanden werden. Sicherlich sind Krankheiten Wesen, die von außen in ein Lebewesen eindringen, sich eventuell in einem besonderen Organ niederlassen und damit dessen Funktionen beeinflussen:

”Eine Krankheit ist ein unbekannter Gast, die ihre eigene bewirkende Ursache und ihre eigene Substanz in sich selbst enthält.”

Daraus folgt, dass jede Krankheit ihrer Ursache, Wirkung und Lokalisation gemäß einen spezifischen Charakter besitzt und dementsprechend durch ein spezifisches Gegenmittel zu behandeln sei, und nicht durch ein Allheilmittel.

van Helmont war der Erste, der andere Gase als die Luft identifizierte; vor ihm (und eine Zeitlang nach ihm) hielt man andere Gase lediglich für Bestandteile bzw. andere Formen der Luft. Nach van Helmont sind Gase aber eigene Substanzen. Die Alchemisten hatten geglaubt, dass Körper aus Materie und Geist aufgebaut seien und das der Geist unter Umständen durch Erhitzen, Kondensieren etc von der Materie getrennt werden könne. So wurde der ”Geist des Weines” gewonnen. An die Stelle des Geistes trat für van Helmont eine spezifische Lebenskraft; Dämpfe, die sich nicht kondensieren ließen, nannte er nun ”Gase”.

Wissenschaftstheoretische Anmerkung: Die Iatrochemiker machten die *vitalistische* Annahme, dass es spezifische Geister sind, die die Spezifität einer Substanz ausmachen. Auch anorganische Stoffe sind lebendig und verändern sich aufgrund ihrer inneren Lebenskräfte. Im Unterschied dazu betrachteten die mechanistischen Philosophen die Materie als toten und trägen Stoff, der nur dann Veränderungen erfährt, wenn äußere, mechanische Kräfte auf ihn wirkt. Die mechanistischen Kräfte sind aber - der Annahme entsprechend - gleichartig für alle Stoffe, so dass es schwierig ist, die verschiedenen chemischen Reaktionen zu erklären. Die Iatrochemie kann zunächst, da sie spezifische Lebenskräfte annimmt, alles erklären, - tatsächlich erklärt sie aber nichts, da sie die Lebenskräfte und ihre Herkunft nicht erklärt. Die Lebenskräfte sind deshalb eine Pseudoerklärung.

Robert Boyle (1627-91) brachte die Chemie wesentlich voran. Er war der jüngere von zwei Söhnen des Grafen von Cork und hatte also die Mittel, sich wissenschaftlich zu betätigen. Boyle fand den empirischen Ansatz der Iatrochemiker interessant, meinte aber, dass die Befunde im Rahmen der mechanistischen Philosophie erklärt werden müßten. Seine Grundannahme war, dass die Materie aus kleinsten Bauteilen besteht, die sich in ständiger Bewegung befinden; diese Annahme nennt er das ”korpuskulare Prinzip”. Descartes hatte die Atomistik auf Grund der Annahme verworfen, es gäbe kein Vakuum (dieses muß im Rahmen der Atomistik angenommen werden, da es ja zwischen den

Atomen nichts geben kann). Boyle dachte hier weniger prinzipiell, sondern vermutete, dass sich ein Vakuum mithilfe einer Luftpumpe herstellen ließe. Boyle experimentierte und fand, dass sich der Druck eines Gases umgekehrt proportional zum Volumen ändert (Boyle'sches Gesetz); diesen Befund interpretierte er durch das Postulat, dass sich die Teilchen eines Gases wie winzige, ortsfeste Spiralen oder wie kleine Kugeln in unregelmäßiger Bewegung befinden. Was bei der Betrachtung von Gasen funktionierte, schien aber nicht bei chemischen Prozessen zu funktionieren. Boyle konnte sich nur schwer vorstellen, dass eine so große Zahl von (chemischen) Qualitäten durch so wenige Prinzipien erklärbar sein sollte (Materieteilchen + Ortsveränderung). Boyle bemerkte, dass sich zwar Salz in Wasser löst, aber nicht in Öl oder Quecksilber, Gold dagegen in Quecksilber, aber nicht in Wasser oder Öl. Schwefel löst sich in Öl, aber nicht in Wasser oder Quecksilber. Boyle versuchte, "Prinzipien der Variation in Körpern" einzuführen, dh er machte die Annahme, dass die Grundatome verschiedener Substanzen sich durch verschiedene Gestalten und Größen unterscheiden, dass sie sich möglicherweise in verschiedener Weise bewegten oder auch "feine Emanationen" oder "Effluvia" in den Zwischenräumen enthielten. Die Variationsprinzipien sollten wie die Buchstaben eines Alphabets in verschiedene Folgen gebracht werden, um die verschiedenen Qualitäten zu erzeugen. Boyle konnte diesen Ansatz aber nicht in ein effektives Programm zur Erklärung der verschiedenen chemischen Prozesse umsetzen, - obwohl die Idee in wesentlichen Punkten heutigen Vorstellungen durchaus nahe kommt. Die chemischen Phänomene waren zu breit gestreut und die experimentellen Möglichkeiten waren noch zu gering.

Gleichwohl waren die Ideen Boyle's programmatisch und folgenreich. Er forderte, dass die Chemie dem Bacon'schen Ansatz gemäß experimentell begründet werden sollte, wobei besonders die quantitativen Beziehungen der Substanzen berücksichtigt werden sollten. Er forderte insbesondere, dass man mit völlig homogenen Substanzen arbeiten sollte (wohl um konfundierende Effekte auszuschalten) und führte auf diese Weise den Begriff des chemischen Elements ein:

"Ich verstehe unter Elementen gewisse primitive und einfache bzw. vollkommen unvermischte Stoffe, die nicht aus irgendwelchen anderen Stoffen gemacht sind ... es sind die Bestandteile, aus denen alle diese sogenannten vollkommen gemischten Stoffe unmittelbar zusammengesetzt sind und in die sie letztlich aufgelöst werden."

Boyle machte auch physiologische Beobachtungen. Er zeigte zusammen mit seinen Anhängern Robert Hooke (1635 - 1703), Richard Lower (1631 - 1691) und John Mayow (1645 - 1679), dass das Blut in der Lunge einen Bestandteil der Luft aufnimmt und auf diese Weise das dunkelrote venöse Blut in hellrotes, arterielles Blut übergeht. Er zeigte, dass Tiere in einem Glasgefäß, aus dem man die Luft abpumpte, schnell eingingen. Hooke schloß aus der Beobachtung, dass Kerzenlichte ohne Luftzufuhr erloschen, dass die Atmung eine Art von Verbrennung sein mußte. Boyle wiederum entdeckte, dass Tiere und Kerzenflammen einen Teil der Luft absorbierten und vermutete, dass dieser Teil eine Art "vitaler Quintessenz" sein müsse. Hooke fand nun, dass ein Schwefel-Salpetergemisch sowohl im Vakuum als auch unter Wasser weiterbrennt, und folgerte, dass die postulierte vitale Quintessenz ein "salpetriger Geist" sei, der auch im Salpeter des Schießpulvers vorkomme. Zusammen mit Lower entdeckte Hooke, dass sich dunkelrotes venöses Blut in hellrotes arterielles Blut verwandelt, wenn man es mit Luft vermischt, und Lower fand, dass das Blut eines erstickten Tieres dunkelrot ist. Bläst man dagegen in die Lungen eines Tieres Luft, so ist das Blut hellrot. Also entziehen die Lungen der Luft den salpetrigen Geist und das Blut verteilt diesen Geist über den ganzen Körper, so dass der salpetrige

Geist die verschiedenen Lebensprozesse unterhalten kann. John Mayow faßte die Arbeiten von Boyle, Hooke und Lower in einem Buch *Tractatus physico-medici* im Jahre 1674 zusammen und führte sie fort. Den salpetrigen Geist nannte er nun *spiritus nitro-aereus* oder *spiritus vitalis*. Er betrachtete die Luft nicht als aus zwei Gasen zusammengesetzt, sondern als eine elementare Substanz, an deren Atome andere Teilchen angelagert wurden. Mayow wird gelegentlich als Vorläufer der Sauerstoff-Theorie genannt. Allerdings war er Anhänger der mechanistischen Schule und kam deswegen nicht auf den Begriff der spezifisch chemischen Verbindung. Obwohl er Anhänger der mechanistischen Schule war, dachte er vielfach wie ein Iatrochemiker. So ging er von dem Postulat aus, dass es in der Natur drei Grundstoffe gäbe, nämlich den Salpetergeist, den Schwefel und das Salz. Der Salpetergeist entsprach in seiner Rolle dem Quecksilber der Iatrochemiker. Analog zur Annahme der Alchemisten dachte er, dass Metalle durch Wechselwirkung von Salpeter und Schwefel erzeugt würden; die Alchemisten hatten geglaubt, es sei die Wechselwirkung von Quecksilber und Schwefel.

4.3 Phlogiston

Während die Entwicklung der Chemie in England und Frankreich zu einem (vorläufigen) Stillstand kam, lebte insbesondere in Deutschland die Iatrochemie wieder auf, nachdem die Phlogistontheorie postuliert worden war. Den Iatrochemikern zufolge sollten drei Grundgesetze oder Prinzipien gelten:

1. Das Prinzip der Brennbarkeit (Schwefel),
2. Das Prinzip des Flüssigen (Quecksilber),
3. Das Prinzip der Feuerbeständigkeit und Wasserlöslichkeit (Salz).

Diese Lehre wurde von

Joachim Becher (1635-82), Professor für Medizin in Mainz und München, modifiziert: 1669 machte er die Annahme, dass alle Körper aus verschiedenen Erscheinungsformen der gleichen "Urerde" zusammengesetzt seien: der *terra lapidae*, entsprechend dem Salz in der älteren Iatrochemie, der *terra pinguis*, die eine dem Schwefel entsprechende und in allen brennbaren Körpern vorhandene fettige Erde ist, und einer *terra mercurialis*, die dem Quecksilber entsprechen sollte. Die *terra pinguis* entweicht beim Verbrennen eines Körpers.

Verbrennungs- und Verkalkungsvorgänge bedeuteten die Auflösung eines irgendwie zusammengesetzten Körpers in seine Bestandteile, insbesondere in die fettige *terra pinguis* und in die feste *terra lapidae*. Besteht ein Körper nur aus einem Stoff, so kann er nicht verbrennen. Die *terra pinguis* wurde im Jahre 1703 von

Ernst Stahl, (1660 - 1734), Professor für Medizin in Halle, in *Phlogiston* umbenannt. Seiner Ansicht nach bestanden Metalle aus Metallkalken und Phlogiston. Beim Verkalken werde Phlogiston freigesetzt und übrig bliebe Metallkalk. Phlogiston sei in allen brennbaren Stoffen wie Öl, Fett, Holz etc enthalten. Wird Phlogiston beim Verbrennen freigesetzt, so vermische es sich entweder mit der Luft oder ginge mit anderen Stoffen eine neue Verbindung ein.

Die Vorstellungen über Verbrennungs- und Verkalkungsprozesse waren allgemein noch von den Ideen der Alchemisten und Iatrochemiker durchsetzt. Diesen Ideen zu-

folge sind Stoffe einerseits aus Materie, andererseits aus Geist zusammengesetzt. Wird der Stoff erhitzt, so entweicht der Geist. Ist der Geist entwichen, so bleibt der "tote" Körper übrig. Relativ genaue Messungen ergaben, dass dieser tote Körper i.a. schwerer als der ursprüngliche Stoff ist. Daraus folgte, dass der "Geist" entweder gewichtslos ist oder sogar ein "negatives" Gewicht hat, - denn genau dann wird ja ein Stoff schwerer, wenn der Geist entweicht. Dem Phlogiston wurden nun die Eigenschaften dieses "Geistes" zugeschrieben. Hier zeigt sich, dass sich die Physik schon weit von der Chemie entfernt hatte, denn in der Physik hatte sich der Gedanke einer allgemeinen Gravitation durchgesetzt, so dass dort der Begriff der negativen Schwere keinen Sinn mehr machte. Stahl argumentierte, dass das Phlogiston wie Luft und Feuer in der aristotelischen Physik ein negatives Gewicht bzw. eine positive Leichtigkeit habe. Die Phlogistontheorie wurde besonders in Südfrankreich, aber auch von den britischen Chemikern intensiv diskutiert. Hier sind es Joseph Black (1728 - 1799), Henry Cavendish (1731 - 1810) und Joseph Priestley (1722 - 1804), die die Phlogistontheorie als gültig anerkannten. Es waren gleichwohl ihre Experimente, die die Theorie schließlich zu Fall brachten, - ohne dass die Forscher notwendig ihren Glauben in die Theorie verloren hätten. Erde, Wasser, Feuer und Luft wurden nach wie vor als die Grundelemente betrachtet, aus denen die Stoffe aufgebaut seien. Das Phlogiston sei dementsprechend der Bestandteil des Feuers, der sein Wesen ausmache. Nun wies Black um 1750 herum eine gasförmige Substanz nach, die er "fixe Luft" nannte und die sich als Kohlendioxyd herausstellte. Dieser Stoff unterschied sich in seinen chemischen Eigenschaften von der Luft: er zeigte 1754, dass Magnesiumkarbonat beim Erhitzen unter Abgabe einer Gasmenge *leichter* wurde. Das gleiche geschah, wenn man Magnesiumkarbonat in Säure löste. Außerdem fand er, dass der nach dem Erhitzen übriggebliebene Rest (Magnesiumoxyd) mit Säuren dieselben Salze bilde wie Magnesiumkarbonat, wobei aber kein Gas entwickelt wurde. Insgesamt zeigte sich, dass Magnesiumkarbonat und Carbonate generell Verbindungen mit einer basischen Substanz sein mußten, nämlich mit einer Luft, die ein Gewicht hatte, - eben der "fixen Luft", und die konnte nicht das Phlogiston sein, da dieses ja gewichtslos sein sollte. Außerdem unterhielt diese Substanz *nicht* die Verbrennung und Atmung.

Die Blackschen Arbeiten führten dazu, dass Cavendish und Priestley ebenfalls ähnliche Experimente machten. 1766 publizierte Cavendish einen Bericht über "brennbare Luft" - Wasserstoff - , den er aus der Einwirkung verdünnter Säure auf Metalle gewann. Priestley fand in den 70-er Jahren des 18-ten Jahrhunderts eine Reihe von Gasen, etwa Ammoniak, Chlorwasserstoffsäuregas, Stickoxydul, Stickoxyd, Stickdioxyd, Sauerstoff, Stickstoff, Stickstoffdioxyd und Schwefeldioxyd. Der schwedische Apotheker Paul Scheele (1742 - 1786) entdeckte den Sauerstoff einige Jahre vor Priestley und erkannte, anders als Priestley, die Bedeutung seiner Entdeckung (ohne zu wissen, dass es sich eben um den Sauerstoff handelte): er schrieb, dass die Luft keine elementare Substanz sein könne, denn sie sei in "Feuerluft" und "Faulluft" aufteilbar. Die Faulluft erwies sich später als der Stickstoff, die Feuerluft als der Sauerstoff. Scheele blieb aber ein Anhänger der Phlogistontheorie⁴³ Seiner Ansicht nach hatte die Feuerluft nämlich die Aufgabe, das von der brennenden Substanz ausgeschiedene Phlogiston aufzunehmen. Das aber könne die Feuerluft nur bis zu einem bestimmten Grade, danach sei sie gesättigt. So konnte er erklären, dass eine Verbrennung nicht beliebig lange aufrechterhalten werden kann.

Antoine Lavoisier (1743 - 1794) begann, die traditionellen chemischen Theorien systematisch zu kritisieren. Lavoisier gilt als typischer französischer Gelehrter des 18-ten

⁴³Hilfsannahmen zur Beibehaltung der Theorie!

Jahrhunderts. Er wurde als Sohn eines wohlhabenden Advokaten in Paris geboren und studierte Naturwissenschaften, insbesondere die Physik. Seine erste Arbeit galt der Kritik der van Helmondschen Behauptung, dass Wasser in Holz und Erde umgewandelt werden könne. Denn Lavoisier hatte festgestellt, dass das Glas des Gefäßes, in dem Wasser gekocht wurde, an Gewicht verlor. Die Niederschläge, die van Helmond gefunden hatte, hatten ein Gewicht, das genau dem verloren gegangenen Gewicht des Gefäßes entsprach. Also stammten diese Sedimente aus dem Glas und nicht aus dem Wasser. Ebenfalls fand er einen Gewichtszuwachs bei Nichtmetallen wie Phosphor und bei Metallen wie Zinn, wenn es in der Luft verbrannt wurde. Er folgerte, dass der Zuwachs an Gewicht auf die Absorption von Luft zurückzuführen sei. Nun studierte er genau die Arbeiten der Chemiker, in denen die Absorption oder Befreiung von Gasen vorkam. Dabei fand er, dass die Autoren für die gleichen Tatsachen ganz verschiedene Erklärungen gaben. Also wiederholte er alle diese Experimente sehr sorgfältig, um entweder die Erklärungsansätze zu überprüfen oder um neue vorzuschlagen. Aus seinen Tagebuchnotizen geht hervor, dass sich schon lange mit der Idee beschäftigte, die Chemie und Physik auf neue Grundlagen zu stellen.

Lavoisier begann zunächst, die Boyle'sche Behauptung, dass die Gewichtszunahme von Metallen bei der Verbrennung auf die Absorption von Feuerteilchen zurückzuführen sei, zu widerlegen. Dazu wiederholte er das Boylesche Experiment, Zinn vor und nach der Erhitzung zu wiegen. Nur verschmolz (d.h. verschloß) er das Gefäß, in dem das Zinn lag, vor der Erhitzung. Jetzt fand er nach dem Erhitzen *keinen* Gewichtszuwachs mehr, obwohl der Zinn verkalkt war. Also konnte der Verkalkungsprozess nicht durch Aufnahme von wägbaren Feuerteilchen geschehen. Als er den Glaskolben öffnete, fand er, dass Luft in den Kolben hineinströmte, - und nun war das Gefäß mit seinem Inhalt schwerer als *vor* der Verkalkung. Daraus schloß Lavoisier, dass die Verkalkung durch Absorption von Luft durch das Metall beruht.

Schon Priestley hatte 1772 entdeckt, dass Metalle bei der Verkalkung höchstens 1/5 der Luft aufnehmen. Lavoisier bestätigte diesen Befund und folgerte, dass derjenige Teil, der vom Metall aufgenommen wird, von den anderen Teilen der Luft verschieden ist. Lavoisier kannte bis jetzt nur die "fixe Luft" (später als Kohlendioxyd identifiziert) von Boyle als einen Teil der Luft, der in chemischen Verbindungen absorbiert wird. Durch Experimente mit Blei und Phosphor, auf deren Details hier nicht weiter eingegangen werden kann, fand Lavoisier, dass die "fixe Luft" nicht für die Verbrennung verantwortlich war. 1774 traf er Priestley in Paris und erfuhr von diesem, dass das Erhitzen von Quecksilberoxyd die von Priestley so genannte "dephlogistierte Luft" liefert. In dieser dephlogistierten Luft brannten Kerzen heller und lebten Tiere länger, von Metallen wurde dieser Stoff bei der Verkalkung ganz absorbiert. 1777 erfuhr er von Scheele, dass die Luft aus zweierlei Stoffen zusammengesetzt sei, nämlich aus der dephlogistierten Luft und einem reaktionsträgen Stoff, der heute unter dem Namen Stickstoff bekannt ist. Lavoisier übernahm diese Auffassung und bestimmte 1780 die Zusammensetzung der Luft als zu einem Viertel dephlogistierte Luft, nämlich Sauerstoff, und drei Vierteln Stickstoff; Priestley kam über Experimente zur Verkalkung von Metallen zu der genaueren Angabe von einem Fünftel Sauerstoff und vier Fünfteln Stickstoff. 1783 verkündete Lavoisier, die Erneuerung der theoretischen Chemie sei nun abgeschlossen, und Madame Lavoisier feierte diese Erneuerung mit einer Verbrennung der Bücher von Stahl und anderer Phlogistontheoretiker.

Aber nur der Schotte Joseph Black lehrte die neue Theorie. 1781 fand Cavendish durch Experimente heraus, das Wasser eine Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff

und damit kein Element ist. Aber er weigert sich, den Befund anzuerkennen: Wasserstoff sei von Phlogiston entblöstes Wasser und Wasserstoff ist entweder Phlogiston selbst oder Wasser mit einem Überschuß an Phlogiston! Cavendish ließ sich nicht bekehren, obwohl seine eigenen Experimente viel zur neuen Theorie beigetragen hatten. Stattdessen gab er 1785 seine chemischen Experimente auf. Auch Priestley, der Entdecker des Sauerstoffs, blieb an der Phlogistontheorie hängen, ebenso James Watt. Er deutete geschickt alle neuen Experimente, die an sich für die Lavoisier-Theorie sprachen, im Sinne der Phlogiston-Theorie um. Priestley hing bis zu seinem Tod der Phlogistontheorie an und lehnte die Schlussfolgerungen ab, zu denen er mit seinen Experimenten beigetragen hatte. Im Jahre 1794 musste er wegen abweichender politischer und religiöser Ansichten England verlassen und nach Amerika auswandern. Im gleichen Jahr musste der Revolutionär Lavoisier wegen seiner Beziehungen zu den Konservativen in der französischen Politik, zur Ferme Generale (Pächter der indirekten Steuern) und anderen "Elementen" des Ancien Regime das Schafott besteigen.

5 Zusammenfassung

Beginnend mit den genauen Beobachtungen von Tycho Brahe, Keplers Berechnungen und Galileis Untersuchungen einschließlich ihrer mathematischen Interpretation finden die Naturwissenschaften langsam ihre Methode, wobei klar ist, dass mit diesen Forschern der Beginn der systematischen Naturwissenschaft nur ungefähr charakterisiert wird und sie nicht alleine für diesen Anfang stehen. Gemeint ist, dass außerhalb der Natur stehende Begründungen für natürliche Phänomene (Gott, der Kreis als vollkommene Figur, der *deshalb* die Form der Planetenbahnen sein muß, etc) an Bedeutung verlieren, statt dessen wird die Beobachtung systematisiert, die Rolle der Mathematik wird größer, Begriffsbildungen ('Kraft') werden weniger aus dem Alltagsgebrauch heraus konzipiert, sondern werden in ein theoretisches Gesamtkonzept eingebunden. Lavoisier hat sich bei seinen Untersuchungen anscheinend nicht von philosophischen Betrachtungen zur Erforschung der Natur leiten lassen, es sei denn, man sieht die schon bei Vorsokratikern bekannte Strategie, die Natur aus sich selbst heraus zu erklären, als eine spezielle Philosophie an. Wissenschaftstheoretisch ist die Entdeckung des Sauerstoffs darüber hinaus ein Lehrstück, wie wissenschaftliche Theorien formuliert bzw. "falsifiziert" werden: sie werden eben nicht durch einzelne Experimente falsifiziert, sondern eher durch neue Theorien ersetzt, die sowohl die bereits bekannten Daten als auch die durch kritische Experimente neu erzeugten Daten erklären können. Wie es scheint, werden Theorien nicht induktiv verifiziert, vielmehr resultiert die Konstruktion und Revision von Theorien aus einem komplexen Wechselspiel der Interpretation empirischer Daten, der Konzeption neuer Untersuchungen und neuer theoretischer Entwürfe und deren kritischer Diskussion.

Sofern die Philosophie einen Ansatz darstellt, mit dem die Welt erklärt werden soll, könnte sie sich ein Beispiel an der Entwicklung der Naturwissenschaften nehmen. Einige Philosophen sind diesem Ansatz gefolgt und verwerfen den Gedanken, die Welt deduktiv aus wenigen, ihnen als grundlegend erscheinenden Annahmen heraus erklären zu können. Man könnte sagen, sie folgen hierin Kant und seiner Interpretation des Begriffs des synthetischen Urteils. Andere halten diesen Ansatz für verfehlt und entwickeln eine neue Philosophie, die nicht zuletzt aus einer Kritik an Kant entsteht. Andere Philosophen, namentlich Hegel, versuchen einen Neuanfang, der eher auf einen rein gedanklichen Zugang zu den Phänomenen der Welt setzt: er erhebt seine Version der Dialektik zur alles erklärenden Methode und wirkt damit bis weit in das zwanzigste Jahrhundert hinein. Auf die

verschiedenen philosophischen Richtungen wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

Literatur

- [1] Audi, R. (ed) The Cambridge Dictionary of Philosophy. Cambridge University Press, 1999
- [2] Barbour, J.: The end of time – The next revolution in physics. Oxford 1999
- [3] Barbour, J.: The Nature of Time. Essay competition fqxi.org 2008
- [4] Cartwright, N.: The dappled world – A study of the boundaries of science. Cambridge 1999
- [5] Cassirer, E.: Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit, Band I. Darmstadt, 1994
- [6] Cohen, I. B.: A guide to Newton's *Principia*, in Newton, I.: Mathematical Principles of of Natural Philosophy, s. unten.
- [7] Descartes, R.: Meditationen. Mit sämtlichen Einwänden und Er widerungen. Herausgegeben von Artur Buchenau, Der Philosophischen Bibliothek Band 27, Hamburg 1954
- [8] Djerassi, C. Pinner, D.: Newton's Darkness. Two dramatic views. Singapore 2004
- [9] Einstein, A.: Geometry and Experience, Abschnitt V. In: Feigl, H., Brodbeck, M. (eds): Readings in the philosophy of science. New York 1953
- [10] Feynman, R., Leighton, R.B., Sands, M.L.: The Feynman lectures on physics, Vol. I, p. 7-9, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Mass. 1989
- [11] Fließbach, T. Mechanik. Lehrbuch zur Theoretischen Physik I. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1996
- [12] Gerlach, W., List, M.: Johannes Kepler – Der Begründer der modernen Astronomie. München 1987
- [13] Goldstein, H.: Klassische Mechanik, Frankfurt 1963
- [14] Hall, R.A.: Isaac Newton, Adventurer in thought. Cambridge 1996, p. 55
- [15] Hanson, S.F.: Geschichte der Naturwissenschaft. Stuttgart, 1991
- [16] Hoyer, U. (1977) Ist das zweite Newtonsche Bewegungsgesetz ein Naturgesetz? *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, VIII/2, 292 – 301
- [17] Jammer , M.: Das Problem des Raumes. Darmstadt 1960, p. 116
- [18] Kant. I.: Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raum (1769)
- [19] Kant, I., Von den metaphysischen Anfangsgründen der Natur, 1786; Schäfer, L. Kants Metaphysik der Natur, Berlin 1966
- [20] Knudsen J.M., Hjorth, P.G.: Elements of Newtonian Physics, Springer-Verlag, Berlin etc 1995
- [21] Kuhn, T. S.: The structure of scientific revolutions. Chicago, 1962
- [22] Lorenzen, P.: Theorie des technischen Wissens. In: Böhme, G. (Hrsg.) Protophysik. Für und wider eine konstruktive Wissenschaftstheorie der Physik. Frankfurt/Main 1976

- [23] Ludwig, G.: Einführung in die Grundlagen der Theoretischen Physik, Bd. 1, Raum, Zeit, Mechanik. Düsseldorf 1974
- [24] Mach, E.: Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt. Leipzig 1933
- [25] Minkowski, H. (1908) Die Grundgleichungen für die elektromagnetischen Vorgänge in bewegten Körpern. *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 53–111.
- [26] Mittelstaedt, P.: Der Zeitbegriff in der Physik. Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich, 1980
- [27] Newton, I.: Mathematical Principles of Natural Philosophy. A new translation by I. Bernhard Cohen and Anne Whitman. University of California Press, Berkeley etc, 1999
- [28] Planck, M.: Einführung in die Allgemeine Mechanik. Leipzig 1916
- [29] Poincaré, H.: Wissenschaft und Hypothese, Leipzig 1906
- [30] Russell, B.: History of Western Philosophy. London 1971
- [31] Szabó, I.: Geschichte der mechanischen Prinzipien. Basel 1976, p. 50
- [32] Siitonen, A. (2007) Zu Bolzanos Kritik der Kantischen Antinomien. *Kriterion – Journal of Philosophy*, 21, 84–97
- [33] Sommerfeld, A.: Vorlesungen über Theoretische Physik, Bd. I, Mechanik, 6-te Auflage, Leipzig 1962
- [34] Stegmüller, W.: Theoriendynamik und logisches Verständnis. In: Theorien der Wissenschaftsgeschichte. Eingeleitet und herausgegeben von Werner Diederich, Frankfurt/Main 1974, p. 193
- [35] Stephani, H., Kluge, G.: Grundlagen der theoretischen Mechanik. Berlin 1975
- [36] Susskind, L., Hrabovsky, G.: Classical Mechanics – The theoretical minimum. London 2014
- [37] Tetens, H.: Kants "Kritik der reinen Vernunft", Stuttgart 2006
- [38] Weyl, H.: Philosophy of mathematics and natural science, Princeton 1949, p. 84

Index

- Äquivalenzprinzip, 42
- Absolute Zeit, 43
- Absoluter Raum, 43
- Accidentien, 4
- Alchymist, 11
- Alkahest, 75
- Analogien, 76
- Averroes-Ibn Rushd, 3
- Begrifflichkeit, qualitative und relationale, 24
- Beweis, indirekter, 59
- brennbare Luft, 81
- Ding an sich, 67
- Dualismus, 28
- Eimerexperiment, 44
- Entelechie, 5, 11
- Erfahrung, 29
- Erste Philosophie, 25
- Fallgesetz, 17
- Faulluft, 81
- Feuerluft, 81
- fixe Luft, 81
- Flügel der Astronomie, 11
- Fliehkraft, 46
- freier Fall, 17
- Geist, salpetriger, 79
- geometrische Methode, 27
- Gottesbeweis, ontologischer, 31
- Grundqualitäten, 21
- harmonische Töne, 9
- Hookes Gesetz, 38
- Hypothese, 9
- Hypothesen, 10
- Ideen, 30
- Induktion, 13, 19, 56
- Inertialsystem, 35
- Inkommensurable, 6
- Intuitionismus, 59
- isotrop, 44
- Kausalitätsprinzip, 31, 65
- Kraft, 4
- lebendige, 34
- tote, 34
- Kraftbegriff, 11
- Machsches Prinzip, 48
- Masse
- schwere, 42
- träge, 41, 42
- mechanistische Philosophie, 74
- Metrik, 51
- Minimum, 6
- Minkowski-Raum, 51
- Mystik, 10
- Natur, innerste, 21
- Ockhams Rasierer, 13
- Ontologie, 11
- Paracelsist, 11
- Phänomen, 67
- platonische Körper, 9
- Prädestinationslehre, 68
- Quidditas, 4
- Quintessenz, vitale, 79
- res cogitans, 28
- res extensa, 28
- Satz vom Ausgeschlossenen Dritten, 59
- Stevins Argument, 18
- Substanz, 4, 28
- Superpositionsprinzip, 36
- tabula rasa, 29
- tertium non datur, 59
- Trägheitsprinzip, 35
- transzendental, 65
- Transzendentalphilosophie, 65
- Traumargument, 26
- triadische Anordnungen, 71
- Typ, 74
- Unitarismus, 72
- Ursache, 12
- Urteil, analytisch, 66

Urteil, synthetisch, 66

Vergleiche, intuitive, demonstrative, 30
vitalistisch, 78

Wahrheit, 67

Wasser, lauwarmes, 54

Weltpunkt, 50

Wesenheiten, innere, 11

Winnie the Pooh, 67

Zenon, 6