



Leibniz FH
SCHOOL OF BUSINESS

Arbeitspapier Nr. 8
der Leibniz-Fachhochschule Hannover

Eine kurze Einführung in Geschichte und formale Aspekte der Wissenschaftstheorie



Prof. Dr. Roland Matthes

1. Auflage, 2014

ISSN 2196-6494

Leibniz-Fachhochschule

Expo Plaza 11
30539 Hannover
info@leibniz-fh.de

*Eine kurze Einführung in Geschichte und formale
Aspekte der Wissenschaftstheorie*

Roland Matthes

Inhaltsverzeichnis

1	Wissenschaft und Erkenntnistheorie: Ein historischer Abriss	5
1.1	Von der Antike bis ins Mittelalter	5
1.1.1	Die Vorsokratiker	5
1.1.2	Die Sokratiker	6
1.1.3	Euklid, Archimedes	7
1.1.4	Mittelalter	8
1.2	Grundlegung der neuzeitlichen Erkenntnistheorie	9
1.2.1	Rationalismus	9
1.2.2	Empirismus	13
1.2.3	Der Kritizismus Kants	14
1.2.4	Realistische und nichtrealistische Theorien, Idealismus	19
1.3	Moderne Wissenschafts- und Erkenntnistheorie	22
1.3.1	Logischer Empirismus	22
1.3.2	Kritischer Rationalismus, Paradigmenwechsel	24
2	Wissenschaftstheoretische Grundlagen	27
2.1	Die Sprache der Wissenschaft	27
2.1.1	Aussagen	27
2.1.2	Definitionen	28
2.1.3	Semantik	29
2.2	Wahrheit und das Prinzip der mathematisch-logischen Deduktion	30
2.2.1	Formal logisches Schließen	31
2.3	Strukturiertes Wissen	32
2.3.1	Axiome und deduktive Hülle	33
2.3.2	Theorien	34
2.4	Wissenschaftliches Arbeiten	34
2.4.1	Formalisten	35
2.4.2	Die Beziehung zwischen Realwissenschaften und Mathematik	36
2.4.3	Wissenschaftsbetrieb	36
2.5	Das Gewinnen von Erkenntnissen	37

2.5.1	Methoden zur Hypothesengewinnung	38
2.5.2	Methodenstreit	39
2.6	Wissenschaftskritik	40
2.6.1	Wissenschaft und Gesellschaft	40
2.6.2	Wissenschaft kontra Ideologie	41

Kapitel 1

Wissenschaft und Erkenntnistheorie: Ein historischer Abriss

1.1 Von der Antike bis ins Mittelalter

Die ersten uns heute bekannten ernsthaften Auseinandersetzungen von Menschen mit den Fragen von Erkenntnis und Wissenschaft finden wir in der Kultur des antiken Griechenlands ab dem Jahr -600. Zwar ist die Kultur der Ägypter und Babylonier bereits einige tausend Jahre älter, doch das uns von diesen Kulturen bekannte Wissen war von seinem Wesen her rein praktischer Natur. Die ohne Zweifel schon z. T. sehr fortgeschrittenen Kenntnisse und Fähigkeiten u.a. auch in der Arithmetik und der Geometrie betrafen aber vor allem die Beschreibung von Techniken und Verfahren, die in bestimmten Situationen zur Lösung eines Problems dienten. Es gab noch keine Begründung für die Korrektheit der Verfahren oder die Suche nach tieferliegenden Wirkungsmechanismen und Begründungszusammenhängen.

Bertrand Russell schreibt hierzu: “ Vieles, was zum Begriff der Kultur gehört, hatte es schon Jahrtausende zuvor in Ägypten und Mesopotamien gegeben. Aber gewisse, bislang fehlende Elemente trugen erst die Griechen dazu bei. Was sie im Reich der Kunst und Literatur geschaffen haben, ist allgemein bekannt; was sie jedoch auf dem Gebiet des reinen Denkens leisteten, ist ganz einzigartig. Sie erfanden die Mathematik, die Naturwissenschaft und die Philosophie; sie schrieben zum ersten Mal Geschichte anstelle bloßer Annalen; frei von überkommenen orthodoxen Anschauungen stellten sie Betrachtungen an über das Wesen der Welt und den Sinn des Lebens.” [27], S. 25.

1.1.1 Die Vorsokratiker

Wissenschaft und Philosophie waren in dieser Anfangszeit nicht voneinander getrennt. **Thales von Milet** gilt als erster Philosoph und Begründer der “milesischen Schule”. Man weiß, dass er im sechsten Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung gelebt haben muss, da

bekannt ist, dass er eine Sonnenfinsternis im Jahre -585 voraussagte. Angeblich lernte er auf seinen Reisen viel von der Geometrie der Ägypter und brachte diese nach Griechenland.

Thales entwarf eine Theorie, nach der alles aus Wasser entstanden ist. Auch wenn dies aus heutiger Sicht sehr naiv klingt, war es doch der erste ernsthafte Versuch einer nicht mythologischen Erklärung der Entstehung der Welt.

Der zweite berühmte Vorsokratiker aus der milesischen Schule war **Anaximander**. Ähnlich wie Thales stellte er die Hypothese auf, dass alles aus einer Ursubstanz entstanden sei und auch wieder in diese zurückkehren werde. "Woraus aber die Dinge ihre Entstehung haben, darin finde auch ihr Untergang statt, gemäß der Schuldigkeit. Denn sie leisteten einander Sühne und Buße für ihre Ungerechtigkeit, gemäß der Verordnung der Zeit." (Anaximander, zitiert nach [2],S.82) Nur sei diese Ursubstanz nicht das Wasser. Überhaupt sei diese Substanz nicht irgendein bekannter Stoff. Alles sei in einer längeren Entwicklung durch ständige Bewegung aus diesem Urstoff entstanden. In gewissem Sinne nimmt er also hiermit die Darwinsche Evolutionstheorie vorweg. Erwähnt sei noch der dritte der milesischen Schule, **Anaximenes**, dem wir die Vorstellung der Erde als eine Scheibe verdanken.

Zu den Vorsokratikern zählt auch **Pythagoras**, der um -580 auf der Insel Samos geboren wurde. Seine zahlreichen Verdienste für die Entwicklung der Wissenschaften können an dieser Stelle nicht alle erwähnt werden. Vieles, was von ihm überliefert ist, ist aber nicht gesichert. Es gilt jedoch als nachgewiesen, dass sein berühmtester Satz nicht von ihm stammt. Pythagoras gründete eine Schule, die weit über hundert Jahre Bestand hatte. Vertretern dieser Schule verdanken wir im Übrigen die Erkenntnis von der Kugelgestalt der Erde.

Typisch für die pythagoräische Schule war die Verbindung von Wissenschaft mit Glauben oder auch Aberglauben, ("Alles ist Zahl") aber eben auch deren begriffliche Trennung. Es gab gewisse Glaubensgrundsätze und von diesen ausgehend wissenschaftlich exakte Folgerungen. Die allgemeine Methode zur Erkenntnisgewinnung war für Pythagoras die Mathematik.

1.1.2 Die Sokratiker

Zu den Sokratikern gehören als wichtigste Vertreter **Sokrates**, **Plato** und **Aristoteles**.

Sokrates wurde ob seiner Lehren angeklagt und -399 hingerichtet. Er muss etwa 70 Jahre alt geworden sein. In der Anklageschrift gegen Sokrates heißt es: "Sokrates ist ein

Übeltäter, ein neugieriger Mensch, der den Dingen unter der Erde und droben im Himmel nachspürt, der die schlechte Sache zur guten zu machen weiß, und dies andere lehrt.”(Zu finden in [27], S. 106, s.a. ebda. S.107, Fußnote 1.) Sokrates führte mit der sog. *Mäeutik* eine Methode des ergebnisoffenen Dialogs zum Zwecke des Erkenntnisgewinns dar. In den sokratischen Dialogen, die durch seinen Schüler Plato überliefert sind, führt er durch geschickte Fragen die Schüler selbst zur Erkenntnis.

Sokrates war stets bemüht, “die allgemeinen Begriffe aus der Wirklichkeit herauszuarbeiten, um so dieser Wirklichkeit ein Leben der Wahrheit und Tugend gegenüber zu stellen.”([29], S. 107.)

Sokrates hat selbst keine Schriften hinterlassen, was wir von ihm wissen, geht ausschließlich auf seinen Schüler Plato (-427 bis -347) zurück.

Plato gründete eine Schule, die sog. **Akademie**. Auch Plato sah in der Mathematik die einzige Methode, die Welt zu erkennen. In seiner **Ideenlehre** vertrat er die Ansicht, dass die Dinge an sich in Form einer reinen Idee existieren, die wir aber aufgrund der Eingeschränktheit unserer Sinnesorgane nicht selbst wahrnehmen können. Wir sehen nur deren Schatten.

Er formuliert hierzu sein berühmtes Höhlengleichnis, bei dem die Höhlenbewohner nicht direkt den zum Licht hin geöffneten Eingang sehen, sondern lediglich an der Höhlenwand die Schatten der am Eingang vorüberlaufenden Wesen wahrnehmen können.

Als Methode zur Erkenntnis der Wahrheit entwickelte Plato die klassische Dialektik, bei der man in künstlichen Dialogen durch Rede und Gegenrede der Wahrheit näher zu kommen versucht.

Einer seiner Schüler ist **Aristoteles**, der im Gegensatz zu Plato den Sinnen als Instrumente der Wahrnehmung weniger misstraut als Plato und an der Erforschung der natürlichen Umwelt sehr interessiert ist.

Er wendet sich gegen die dialektische Methode seines Lehrers und entwickelt als erster mit den **Syllogismen** ein logisches Kalkül. Hierbei räumt er der menschlichen Vernunft einen großen Stellenwert ein und postuliert ganz pragmatisch die Wahrheit gewisser anscheinend unmittelbar einsichtiger Dinge. Dieser Denkansatz bildet später bei Descartes und den Rationalisten die Grundlage ihrer Erkenntnistheorie.

1.1.3 Euklid, Archimedes

Euklid (um -300) war der vielleicht modernste Denker der griechischen Klassik. “Euklids Werk, die Elemente, ist gewiß eines der großartigsten Bücher, das je geschrieben worden

ist, und eines der vollendesten Denkmäler des griechischen Geistes.” ([27], S. 232.)

Euklid entwickelte im Bereich der Geometrie die für die Wissenschaften fundamentale Methode der Axiomatik. Hierbei gelten eine überschaubare Anzahl sich nicht widersprechender Grundannahmen als gesichert. Alles weitere wird vermöge logischer Deduktion hieraus abgeleitet.

Es ist unmittelbar einleuchtend, dass Aristoteles mit seinen Syllogismen Wegbereiter für Euklid war. Von Euklid wird berichtet, dass der er den “praktischen Nutzen seiner Erkenntnisse zutiefst verachtete”. [27], S. 232.

Archimedes (ca. -287 bis -212) war einer der letzten großen antiken griechischen Wissenschaftler und Mathematiker. Für ihn waren die mathematischen Prinzipien in der Physik verankert und er benutzte u.a. die Hebelgesetze als Beweismittel bei der Quadratur der Parabel.

1.1.4 Mittelalter

Bezeichnend für das Mittelalter war die Rolle der Theologie in wissenschaftlichen Auseinandersetzungen. Die **Scholastik** war die vorherrschende wissenschaftliche Vorgehensweise.

Die Scholastiker verbindet keine inhaltliche sondern eine methodische Übereinstimmung zur Erkenntnisgewinnung, die in einer Verbindung der platonischen Dialektik und des Syllogismus des Aristoteles unter Beachtung theologischer Glaubenssätze besteht. Um den Wahrheitsgehalt einer Behauptung zu ermitteln, tragen die Scholastiker zunächst im Sinne der Dialektik Argumente für und gegen sie zusammen und in einer Synthese wird entschieden, ob die Behauptung zutrifft. Behauptungen, die sich im Sinne des aristotelischen Syllogismus als unlogisch erweisen, oder die Beobachtungstatsachen widersprechen, gelten als widerlegt.

Prägend für das Denken des Mittelalters war der **Universalienstreit** zwischen **Nominalisten** und **Realisten**.

Ausgehend von der Platonschen Ideenlehre ging es dabei um die bis heute nicht verstummte Frage nach der Art der Existenz der Universalien oder Allgemeinbegriffe, wie “Mensch” und “Zahl” im Unterschied zur konkreten Existenz von Spezialfällen dieser Entitäten. Während die Realisten eine ontologische also reale Existenz dieser Universalien annahmen, sahen die Nominalisten in ihnen lediglich Namen für Produkte des Verstandes.

Genau genommen steht hinter dieser Auseinandersetzung die Frage: Was meinen wir eigentlich damit, dass etwas existiert? Für Nominalisten ist die eigentliche Existenz nur durch das konkret Fassbare gegeben, während der Existenzbegriff der Realisten dieses am Konkreten Haftende überschreitet (transzendiert). Dieser Existenzbegriff verlässt also den Bereich der real erfassbaren Physik und ist damit in der so genannten **Metaphysik** angesiedelt.

Metaphysik bezeichnet im Mittelalter die Wissenschaft vom "Sein, das dem Seienden zu Grunde liegt" und stellt die wesentliche Erscheinungsform der abendländischen Philosophie dar. Synonym wird heute zumeist der Begriff **Ontologie** verwendet für die Disziplin der Philosophie, die sich mit dem Verständnis vom Seienden und dessen Bedingungen und Möglichkeiten beschäftigt.

Wir werden in der Folge sehen, wie sich dieser Universalienstreit, in natürlich abgewandelter Form, bis in unsere heutige Zeit fortsetzt.

1.2 Grundlegung der neuzeitlichen Erkenntnistheorie

Im 17.ten Jahrhundert entwickeln sich unter **Descartes** (1596-1650) und **Leibniz** (1646-1716) die Auffassungen der Realisten weiter zum sogenannten **Rationalismus** während der Nominalismus im **Empirismus** um **Bacon** (1561-1626), **Locke** (1632-1704) und **Hume** (1711-1776) seine konsequente Fortsetzung findet.

Gegenüber Realisten und Nominalisten erweitern sie die Frage der Existenz der Universalien um die Frage der Erkenntnisgewinnung. Eine **Erkenntnis** ist das gesicherte Wissen über Eigenschaften der Dinge. Ob etwas existiert oder nicht, kann als Eigenschaft eines gedanklichen Dings angenommen werden.

Aber von was lässt sich mit Sicherheit sagen, dass es existiert? Welches Wissen kann als sicher gelten?

1.2.1 Rationalismus

Die Rationalisten gehen von einer Welt aus, deren absolute Existenz unabhängig von unserer sinnlichen Wahrnehmung derselben unzweifelhaft gegeben ist und die einer rational fassbaren Ordnung unterworfen ist.

Sie postulieren eine universelle Rolle der Logik und der Mathematik. Der Grund dafür, dass es etwas nicht geben kann, muss mit den Mitteln des Verstandes, durch die Logik

nachvollziehbar sein. Die Vernunftwahrheiten gelten mehr als die empirischen Wahrheiten. Erkenntnis über die Welt erlangen wir ausschließlich durch Verstand und Vernunft, Die Vernunft ordnet die Sinneseindrücke und beurteilt, was wahr und was falsch ist. Die sinnliche Wahrnehmung an sich ist subjektiv und unzuverlässig.

Descartes

Descartes kam zu der Auffassung, dass offensichtlich als absolut sicher gelten muss, dass "ich denke". Wenn ich aber denke, dann muss auch ohne weitere Voraussetzung die eigene Existenz als sicher angenommen werden, dadurch nämlich, dass ich das "ich" denken kann, muss bedeuten, dass es mich gibt.

Dies spiegelt sich in dem Ausspruch Descartes' wieder: "Cogito ergo sum."(Ich denke, also bin ich.)

Grundlage allen Denkens sind für ihn einfache nicht abweisbare Gedanken, die auf klaren Intuitionen beruhen, einfache, unbestreitbar (oder durch einfache Beweise gestützte) als wahr anzusehende Aussagen. Auf diese kann alles weitere durch Denken zurückgeführt werden. Die sinnliche Wahrnehmung an sich ist subjektiv und unzuverlässig.

Drei wesentliche klare Intuitionen sind für ihn erstens "es gibt Gott", zweitens "ich denke" und drittens "es gibt ausgedehnte Substanzen".

Es gibt für ihn drei Arten von unzerstörbaren unbedingten Substanzen: die ewige Substanz, die denkende sowie die ausgedehnte Substanz, wie wir sie durch unsere Sinne wahrnehmen.

Aber unsere Wahrnehmung kann nicht als wirklich zuverlässig und sicher betrachtet werden. Wahrnehmung kann auch Folge von Einbildung sein. Sicherheit kann es nur durch das Denken geben.

Klarheit und gesicherte Erkenntnis gibt es daher nur durch das Denken, nicht durch empirische Forschung. Der Verstand kann sehr wohl die Existenz von Dingen begründen, die nicht konkret wahrnehmbar sind.

Descartes hat zeitlebens dem Unterschied von Wachen und Träumen nicht getraut. Er traute nur den einfachen Intuitionen. Die einzige Garantie für die Existenz der Außenwelt war für ihn Gott.

Er führte drei Beweise für die Existenz Gottes als vollkommenens und nicht endliches Wesen an:

1. Das Unvollkommene kann nicht ohne das Vorhandensein des Vollkommenen gedacht werden.
2. Das Vollkommene kann nicht Resultat von uns selbst sein, da wir endlich sind und auch nicht aus dem Nichts kommen.
3. Zu denken, dass das vollkommene Wesen nicht existiert, führt zu einem Widerspruch, denn zum Vollkommenen gehört seine Existenz.

Die Methode, ein Problem in seine Einzelteile zu zerlegen, ist Bestandteil seines analytischen Denkens und wird heute nach ihm die "kartesische" Methode genannt.

Mit Descartes entsteht die Unterscheidung zwischen **apriorischen** und **aposteriorischen** Wissen. Apriorisches Wissen (*a priori*, lat. "im Voraus") bezeichnet Erkenntnis, die allein aufgrund der Vernunft, des logischen Schließens und Denkens entsteht. Den Gegensatz hierzu bildet das aposteriorische Wissen (*a posteriori*, lat. "im Nachhinein"), das ausschließlich auf Erfahrung beruht.

Leibniz

Für Leibniz diente die Mathematik als Vorbild, um auch in der Philosophie sichere Erkenntnisse zu erzielen. Er selber war ein hervorragender Mathematiker und hat unabhängig von Newton die Differential- und Integralrechnung begründet.

Im Bereich der Philosophie unterscheidet er zwischen Erkenntnissen, die rein durch den Verstand hervorgebracht werden und solchen, die auf Erfahrung beruhen. Er ist insofern auch kein reiner Rationalist als er auch die durch Erfahrung gewonnenen Erkenntnissen nicht als unsicher und unscharf einstuft, wie es Descartes tut. Die reinen Erkenntnisse des Verstandes sind jedoch allein Resultate einer Kette logischer Folgerungen, die sich auf letzte Ursachen zurückverfolgen lassen müssen.

Zu den logischen Regeln, die Leibniz als grundlegend betrachtet, gehört das Prinzip vom Widerspruch oder dem "tertium non datur" und dem Identitätsgrundsatz, wonach sich das gleiche ergibt, wenn man mit gleichen Dingen gleiches tut. Etwas rein logisch zu erschließen, bedeutet, die Annahme des Gegenteils zu einem logischen Widerspruch zu führen. Daneben gilt für ihn der Grundsatz vom zureichenden Grund. Nichts geschieht zufällig, für alles, was ist und passiert, lässt sich ein hinreichender Grund finden. Jede Wirkung hat ihre Ursache.

"Unsere Schlüsse gründen sich auf zwei große Prinzipien: Das erste ist das Prinzip des Widerspruchs [...]. Das zweite ist das Prinzip des zureichenden Grundes, in Kraft dessen

wir der Ansicht sind, dass keine Tatsache wirklich oder existierend und auch keine Aussage wahr sein könne, ohne dass es einen zureichenden Grund dafür gäbe, dass jene so und nicht anders seien.“ ([19], Monadologie, S. 31 f.)

Was die empirischen Erkenntnisse angeht, so beruhen sie auf den tatsächlichen Vorstellungen, die wir durch unsere Sinne von den Dingen besitzen. Vorstellungen aber entsprechen Möglichkeiten des “Soseins”. Die Annahme des Gegenteils führt hier nicht zum Widerspruch.

Die Vernunftwahrheiten, sind für Leibniz ewige Wahrheiten, die empirischen Erkenntnisse oder auch Tatsachenwahrheiten besitzen den Charakter einer bedingten aber nicht absoluten Notwendigkeit.

Auch die empirischen Wahrheiten genügen aber dem Prinzip des zureichenden Grundes und lassen sich in einer rückwärts gerichteten Kausalkette bis zu einem ersten zureichenden Grund zurückverfolgen.

Während Descartes von drei Substanzen ausgeht, postuliert Leibniz als letzte und kleinste Einheiten des Seienden, die **Monaden**. Diese “Atome” sind sowohl materieller als auch geistiger Natur und tragen durch ihr Zusammenwirken in sich alle Möglichkeiten des Seins. Die Monaden sind unterschiedlich, wirken zusammen und in jeder Monade drückt sich die Gesamtheit des Universums aus. Monaden konkurrieren nicht sie kooperieren. Leibniz bezeichnet diesen Zustand als “prästabilierte Harmonie”.

Man beachte, dass diese Monaden nicht nur existieren, sie tragen die Möglichkeiten zu agieren in sich, sind Punkte in einem Energiefeld. Monaden sind aber auch geistige Entitäten, wie etwa die Seele eines Menschen. Die Harmonie ihres Wirkens setzt die Existenz einer allmächtigen Kraft voraus, einer höchsten Monade, die den Ursprung aller Vernunftwahrheiten und die Möglichkeiten des Universums in sich trägt.

Diese höchste Monade ist für Leibniz Gott.

Gott hat mit den Monaden die Möglichkeiten für unterschiedliche Ausprägungen der realen Welt geschaffen. In jeder der möglichen Welten gelten die Vernunftwahrheiten. Die Tatsachenwahrheiten sind allein auf die konkrete Ausprägung der realen Welt beschränkt.

Gott hat aus allen möglichen Welten diese erwählt, weil es die beste aller möglichen Welten ist. Dies lässt sich daraus schließen, dass Gott als vollkommenes Wesen alles mit höchster Vernunft tut.

Das sog. **Theodizeeproblem**, warum in dieser besten aller möglichen Welten Leid und Unvollkommenheit herrschen, löst Leibniz mit dem Argument, dass einerseits unsere Ver-

nunft nicht ausreicht, um die Vollkommenheit der Welt wirklich zu erfassen, andererseits Gott nicht dafür verantwortlich gemacht werden kann, wenn Menschen ihre Möglichkeiten Gutes zu tun nicht nutzen oder sogar missbrauchen. Dies ist gewissermaßen der Preis der Freiheit, die Gott dem Menschen gegeben hat.

1.2.2 Empirismus

Dem Rationalismus entgegen stellt sich der Empirismus.

Der Empirismus entsteht mit dem Aufkeimen systematischer experimenteller naturwissenschaftlicher Forschung und den daraus resultierenden technischen Errungenschaften. Nicht die Metaphysik sondern die Physik steht im Mittelpunkt der Empiristen und dient ihnen als Schlüssel zur Erkenntnisgewinnung.

Jegliche Erkenntnisgewinnung beruht auf sinnlicher Erfahrung. Gegenüber den Rationalisten bestreiten sie die Möglichkeit der Erkenntnis a priori. Sie glauben nicht an intuitive Wahrheiten oder eingeborene Ideen, wie Descartes und Leibniz. Die Empiristen verneinen auch die reale Existenz von Ideen. Sie befinden sich daher in der Tradition der Nominalisten.

Während für Leibniz die äußeren Wahrnehmungen als Mediatoren wirken, um die bereits angeborenen Ideen zur Entfaltung zu bringen und die Aufmerksamkeit auf sie zu lenken, so ist für Locke [21] das menschliche Bewusstsein bei der Geburt wie ein leeres Blatt Papier, das erst durch die Erfahrung beschrieben wird. Diese Auffassung wurde in der Antike bereits durch Aristoteles [1] vertreten.

Locke und Bacon sind insofern ontologische Realisten, als sie nicht die Existenz einer außerhalb des Subjekts vorhandenen Realität anzweifeln. Für sie wird aber die Erkenntnis über die Dinge der Außenwelt durch die sinnliche Wahrnehmung bestimmt. Das was unser Verstand hierüber hinaus mit den Methoden der Logik und Mathematik über die Realität erschließt, betrachten sie im Gegensatz zu den Rationalisten als unsicher, solange es nicht empirisch überprüft werden kann. Insofern folgen die Empiristen der nominalistischen Grundkonzeption, nach der Universalien von der Vorstellung bestimmt sind und die entsprechenden Begriffe nur "Namen" und nicht real existent sind. Alle existierenden Dinge sind Einzeldinge, das Allgemeine ist künstlich vom Verstand geschaffen.

Hume geht noch einen Schritt weiter. Er vertritt die Auffassung, dass wir auch nicht mit Sicherheit von der Existenz einer Realität außerhalb des Subjekts ausgehen können. "Die Sinne liefern nur einzelne Wahrnehmungen ohne den kleinsten Hinweis auf etwas außerhalb und von uns Verschiedenem", vergl. [12], sect. 2. Dem Menschen eigen ist ihm

zu Folge sein Glauben an diese Außenwelt.

Humes Grundhaltung ist der **Skeptizismus**, er zweifelt die Möglichkeit gesicherter Erkenntnis über eine außerhalb unserer Wahrnehmung real existierende Welt ab. Das Vertrauen in die exakten Naturwissenschaften in ihrer Aussagekraft über die wahrnehmbare Welt beruht auf Glauben. Da eine von den Sinneswahrungen unabhängige Möglichkeit der Erkenntnisgewinnung für den Menschen nicht besteht, lässt sich prinzipiell nicht entscheiden, auf welche Ursachen unsere Sinneswahrnehmungen zurückzuführen sind.

Das Denken verarbeitet unsere Sinneswahrnehmungen und folgt dabei drei Gesetzmäßigkeiten

1. Ähnlichkeit (resemblance), 2. Nachbarschaft (continuity), 3. Kausalität.

Ursache-Wirkung Beziehungen, Kausalität ergibt sich so als Produkt unseres Verstandes. Wir können nicht davon sprechen, dass diese Kausalität als solche vorhanden ist. Kausalität lässt sich weder als theoretisches Verstandesprinzip noch erfahrungsgemäß rechtfertigen. Die Gesetzmäßigkeiten des Verstandes sind Gewohnheitsprinzipien, die sich bewährt haben. Nach Hume können wir von nichts wirklich sicher annehmen, dass es tatsächlich vorhanden ist. Alles was wir von der Welt wissen, ist das Bild, das wir uns von ihr machen. Fiktion und Wahrheit sind nicht wirklich unterscheidbar.

1.2.3 Der Kritizismus Kants

Immanuel Kant(1724-1804) beschäftigt sich eingehend mit den Mechanismen und Grenzen des menschlichen Verstandes und versucht in seinem zentralen Werk der "Kritik der reinen Vernunft" [13] eine Brücke zwischen Rationalisten und Empiristen zu schlagen. Die von ihm begründete Richtung der Erkenntnistheorie wird **Kritizismus** genannt.

Kant ist einer der bedeutendsten Philosophen aller Zeiten und die gesamte abendländische Philosophie nach ihm bis heute, wäre ohne ihn so nicht denkbar. Seine zentralen erkenntnistheoretischen Fragen sind:

- Wie ist es möglich, wissenschaftlich mit Metaphysik umzugehen?
- Was kann ich wissen, und über welche Dinge gibt es keine Möglichkeit Erkenntnis zu gewinnen?

Kant untersucht in [13] die Bedingungen für die Möglichkeit von Wissen. Erkenntnis über die Welt erlangen wir nach Kant über die sinnliche Wahrnehmung und den Verstand, der aus den Sinneseindrücken die Begriffe formt und in Relation zueinander setzt.

Die Gegenstände des Denkens sind durch unsere sinnliche Erfahrung bestimmt, seine berühmten Sätze "Begriffe ohne Anschauung sind blind", "Gedanken ohne Inhalt sind leer", vergl.[13], bilden Ausgangspunkt seiner Theorien zur **transzendentalen Ästhetik** sowie zur **transzendentalen Logik**. Insofern steht Kant den Empiristen nahe.

Auch mit seiner als kopernikanische Wende in der Erkenntnisphilosophie bezeichneten Auffassung, dass wir die Dinge an sich nicht erkennen können, sondern dass das, was wir von der Welt erkennen, davon abhängt, mit welcher Brille sie betrachten, d.h. mit welchen Methoden unser Verstand sich ihnen nähert, steht er den Empiristen näher als den Rationalisten.

Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis

Anders aber als insbesondere Locke sieht er den menschlichen Geist nicht als eine "tabula rasa" sondern postuliert die Existenz von Verstandeskategorien, die a priori gegeben sind und nicht erst durch Erfahrung erworben werden und dem jedes Denken unterliegt. Diese reinen Verstandeskategorien stellen die Bedingungen zur Möglichkeit von Erkenntnis überhaupt dar. Kategorien des Denkens sind unabhängig von dem, was ein Mensch weiß, sie gehören zur subjektiven Grundausstattung des Denkens.

Im Gegensatz zu Hume ist bei Kant die Kausalität ein reiner Verstandesbegriff, der auf Erscheinungen anwendbar ist und notwendig angewendet werden muss, um Erfahrung möglich zu machen.

Genauso wie das Denken den Verstandeskategorien unterworfen ist, so stellen Raum und Zeit Bedingungen der Möglichkeit sinnlicher Wahrnehmung dar. Raum und Zeit sind für Kant nicht ableitbare sondern als gegeben vorauszusetzende Größen, außerhalb derer keine sinnliche Wahrnehmung vorstellbar ist. Sie können daher auch nicht zum Gegenstand einer analytischen Betrachtung werden, da sie ja selbst Voraussetzung für diese sind, sie bleiben also subjektiv. Damit sind Raum und Zeit für ihn nicht absolut vorhanden und er steht hier im Gegensatz zu Newton mit seiner Vorstellung eines absoluten Raums. Die physikalischen Gesetze des Raumes und der Zeit sind a priori vorhanden in Gestalt der durch die euklidische Geometrie gegebenen Sätze der Mathematik. Da sie apriorisch sind, lassen sich keine anderen Gesetze für Raum und Zeit vernünftig denken.

Raum und Zeit sind, wie er es nennt, "reine Anschauungsformen", die nicht den Dingen an sich zukommen, sondern die den subjektiven Rahmen für sinnliche Erfahrung bilden. Die Dinge an sich können wir nicht erfassen, Raum und Zeit sind gewissermaßen Skalen der Anschauung.

Erst im neunzehnten Jahrhundert entdeckte man die Möglichkeit, dass auch andere Geometrien denkbar sind und mit der allgemeinen Relativitätstheorie besitzen wir heute eine deutlich komplexere Vorstellung von der Struktur von Raum und Zeit. Da also offensichtlich nicht nur eine einzige geometrische Realität denkbar ist, bieten sich aus heutiger Sicht Ansätze zur Kritik an Kants Auffassung vom Raum als reiner Anschauungsform.

Kant geht nicht nur von apriorischen Bedingungen des Denkens und der sinnlichen Wahrnehmung aus, sondern postuliert auch die Existenz von Erkenntnis, die unabhängig von Erfahrung notwendig vorhanden ist. Dies sind für Kant die Sätze der Mathematik. Hier unterscheidet er sich von den Empiristen und steht den Rationalisten deutlich näher.

Analytische und synthetische Urteile a priori und a posteriori

Kant bezeichnet etwas als ein "Ding a priori", wenn es allgemein und notwendig und unabhängig von aller Erfahrung ist. Z.B. sind Raum und Zeit notwendig, weil es nichts gibt, was wir uns außerhalb von Raum und Zeit vorstellen können. Und sie sind allgemein, weil alle Dinge Raum und Zeit in gleicher allgemeingültiger Weise unterworfen sind. Raum und Zeit sind daher wie die Kategorien des Verstandes Dinge a priori.

Urteile heißen nach Kant **analytisch**, wenn die in dem Urteil behauptete Eigenschaft des Objekts bereits aus der Definition des Objekts folgt. Ein Urteil heißt **synthetisch**, wenn die vom Objekt behauptete Eigenschaft nicht zwangsläufig aus dessen Definition folgt.

Beispiel:

"Ein Tier ist ein Lebewesen." (analytisch)

"Es gibt Tiere, die fliegen können." (synthetisch)

Es ist offensichtlich, dass analytische Urteile keine neue Erkenntnis geben. Sie besitzen lediglich den Rang einer Begriffserläuterung. Analytische Urteile stützen sich nicht auf Erfahrung, es sind Urteile, die a priori gegeben werden können.

Synthetische Urteile sind die eigentlich Erkenntnis bringenden. Selbstverständlich sind viele synthetische Urteile auf Erfahrung gegründet, sind also a posteriori- Urteile. Die Empiristen würden sagen, alle synthetischen Urteile sind a posteriori Urteile.

Als Beispiel eines synthetischen Urteils a priori führt Kant dagegen an, dass die Wahrheit der Aussage $12=5+7$ aus der Arithmetik das Ergebnis eines reinen Verstandesprozesses ist und unabhängig von jeder Erfahrung gilt.

Transzendentalphilosophie

Mit "transzendental" bezeichnet Kant alles, was sich auf die Möglichkeiten der Erkenntnis a priori bezieht. "Ich nenne alle Erkenntnis transzendental, die sich nicht sowohl mit Gegenständen, sondern mit unserer Erkenntnisart von Gegenständen, so fern diese a priori möglich sein soll, überhaupt beschäftigt." [13], S.43.

Die "Kritik der reinen Vernunft" [13] ist unterteilt in eine **transzendente Ästhetik**, die sich mit den Bedingungen der sinnlichen Wahrnehmungen und der **transzendentalen Logik**, die sich mit den Gesetzen des formalen Denkens auseinandersetzt.

Die transzendente Logik wiederum untergliedert er in **transzendente Analytik** und **transzendente Dialektik**.

Die transzendente Ästhetik beschäftigt sich mit der Frage, wie synthetische Urteile a priori möglich sind, wieso also Mathematik möglich ist. All unsere Erkenntnis basiert auf sinnlicher Wahrnehmung, auf Anschauung, der Verstand formt aus den Sinneseindrücken die Begriffe und ordnet sie mit Hilfe der reinen Kategorien des Verstandes. Ohne sinnliche Erfahrung kann keine Erkenntnis stattfinden, dies ist die Bedeutung von "Gedanken ohne Inhalt sind leer".

Die a priori vorhandene Raum-Zeit-Struktur unter der unser Verstand die sinnliche Erfahrung, die Anschauung zu Begriffen formt, unterliegt a priori Gesetzen, die sich in geometrischen und arithmetischen a priori Erkenntnissen ausdrücken. Die geometrischen Erkenntnisse beziehen sich dabei auf die Form und die arithmetischen auf das Messen, also die Quantifizierung von Raum und Zeit. Hier liegt also die Antwort auf die Frage nach der Möglichkeit von synthetischen Urteilen a priori: in der apriorischen Natur von Raum und Zeit.

Alle Urteile über Raum und Zeit, die ja nicht durch das Denken geschaffen wurden, sondern umgekehrt Bedingung für das Denken darstellen, können nur synthetisch sein, allgemein und notwendig.

In der transzendentalen Analytik widmet er sich den Kategorien, den reinen Verstandesbegriffen, den Gesetzen des formalen Denkens, das auf die Gegenstände der Anschauung angewendet wird. Er unterscheidet zwischen vier Arten: Die Kategorien der Quantität, der Qualität, der Relation und der Modalität.

Der Mechanismus, nach dem die reinen Verstandesbegriffe auf das konkret sinnlich Wahrnehmbare anwendbar sind, erläutert Kant in seiner transzendentalen Deduktion. Die Kausalität ist anders als bei Hume für ihn eine reine Verstandesform, sie gehört zu der Kategorien der Relationen. "Alles hat eine Ursache". Damit grenzt er sich deutlich vom Empi-

rismus Humes ab.

Es ist wichtig hervorzuheben, dass der Verstand die Kategorien, nur auf das anwendet, was wir durch unsere Sinne erfahren: "Begriffe ohne Anschauung sind blind".

Er unterscheidet zwischen den **Phenomena** und den **Noumena**. Die Phenomena sind die Gegenstände unserer Anschauung, also die Erscheinungen der Dinge an sich, wie wir sie durch unsere sinnliche Wahrnehmung in dem a priori-Raum-Zeit-Rahmen wahrnehmen und sie mit den reinen Verstandesbegriffen strukturieren. Die Noumena hingegen sind die reinen Gedankendinge, die jenseits der sinnlichen Welt liegen, in einer Welt, die dem Verstand prinzipiell unzugänglich ist. Sie liegen also außerhalb des Bereichs des Erkennbaren.

Kant trifft auch eine klare Unterscheidung zwischen Verstand und Vernunft. Der Verstand besteht in der Fähigkeit, aus den Anschauungen Begriffe zu formen, und die Vernunft beschreibt das Vermögen die Begriffswelt Prinzipien unterzuordnen.

Es ist die Vernunft, die sich in dieses spekulative Reich der Noumena vorwagt. Bei den Noumena handelt es sich um leere Begriffe. Wenn man trotzdem über sie redet, dient dies lediglich dazu, die Grenzen für den Bereich des Erkennbaren zu ziehen.

Mit der Vernunft beschäftigt sich Kant in der transzendentalen Dialektik. Die Vernunft fragt nach dem "Warum", will immer das hinter der Erscheinung Stehende erkennen, fragt als fortlaufend nach neuer Erkenntnis. Bei dieser fortlaufenden Frage nach den Bedingungen gelangt sie entweder in einen unendlichen Regress oder zu ersten Bedingenden.

Das sich selbst denkende Individuum mit seiner unsterblichen Seele ist eine solche erste Bedingung im inneren Bereich, der alles umfassende unendliche Kosmos eine im äußeren und Gott ist eine erste Bedingung als einheitlicher Urgrund für Seele und Welt. Diese ersten Dinge sind Noumena und können nur rein rational und nicht empirisch erfasst werden. Da die Begriffe wie oben bereits erwähnt, leer sind, ergeben sich durch den Umgang mit ihnen zwangsläufig Widersprüche, da die Verstandesbegriffe nur dafür taugen auf das sinnlich Wahrnehmbare angewandt zu werden. Geht man mit diesen reinen Vernunftideen so um wie mit realen Gegenständen, so entsteht lediglich ein substanzloser Schein.

Hierin besteht Kants Kritik an der klassischen Metaphysik, insbesondere an Leibniz und den Rationalisten.

Kopernikanische Wende

Bei allem was wir über die Welt erkennen, unterliegen wir nach Kant den reinen Formen der Anschauung und des Denkens. Dies sind die Bedingungen des Erkennens. Zentral ist sein Postulat der Unmöglichkeit eines unvoreingenommenen Erkennens der Wirklichkeit. Er glaubt, dass der Mensch die Wirklichkeit nicht erkennt, wie sie *ist*, sondern er erkennt das, was unser Verstand in sie *hinein legt*. Die Dinge an sich können wir nicht sehen, und was wir von den Dingen sehen, das heißt, wie sie uns erscheinen, hängt davon ab, wie wir sie betrachten.

Dieser gedankliche Ansatz war für die Philosophie so revolutionär wie es zu seiner Zeit die Aussage des Kopernikus war, dass die Erde sich um die Sonne drehe und Kant spricht selbst in diesem Zusammenhang von einer kopernikanischen Wende in der Philosophie.

“ Bisher nahm man an, all unsere Erkenntnis müsse sich nach den Gegenständen richten; aber alle Versuche über sie a priori etwas durch Begriffe auszumachen, wodurch unsere Erkenntnis erweitert würde, gingen unter dieser Voraussetzung zunichte. Man versuche es daher zuerst, ob wir nicht [...] damit besser fortkommen, dass wir annehmen, die Gegenstände müssen sich nach unserer Erkenntnis richten[...] Es ist hiermit ebenso wie mit den ersten Gedanken des Kopernikus bewandt, der, nachdem es mit der Erklärung der Himmelsbewegungen nicht gut fort wollte, wenn er annahm, das ganze Sternenheer drehe sich um den Zuschauer, versuchte, ob es nicht besser gelingen möchte, wenn er den Zuschauer sich drehen, und dagegen die Sterne in Ruhe ließ. ”(Aus [13])

Mithin können wir also nach Kant nie die Dinge *an sich* erkennen. Das, was wir erkennen, denkt unser Verstand in sie hinein.

1.2.4 Realistische und nichtrealistische Theorien, Idealismus

Aus den Gegensatzpaaren Realismus/Nominalismus und später Rationalismus/Empirismus entwickelten sich in der Zeit nach Kant bis heute eine Vielzahl stärker differenzierter Einzelströmungen.

Bestehen bleibt die Gegensatzpaarung, zwischen den **realistischen** und den **antirealistischen** Erkenntnistheorien.

Eine realistische Theorie geht dabei von aus, dass es eine Realität außerhalb des Subjekts gibt, die mehr oder weniger unmittelbar erkannt wird, während antirealistische Positionen davon ausgehen, dass, wenn es eine Außenwelt überhaupt gibt, diese durch die

Vorstellungen des Geistes bestimmt werden. Auch die größte Zahl der antirealistischen Positionen geht aber von einer Existenz von Dingen jenseits des menschlichen Bewusstseins und unabhängig von der menschlichen Existenz aus. Sie vertreten also zumindest einen **ontologischen Realismus**. Lediglich der **Solipsismus** in der Tradition von Hume leugnet (die Relevanz) von allem, was außerhalb des erkennenden Subjekts vorhanden sein könnte.

Gemeinhin werden die antirealistischen Theorien dem **Idealismus** zugeordnet. Jedoch ist hier die Begriffsbildung nicht einheitlich und man muss konzedieren, dass der Idealismus Platons, dem auch die Realisten des Mittelalters anhängen, in dem Sinne zu den realistischen Theorien gehört, als er den geistigen Dingen oder den Ideen eine absolute Existenz zuweist. Man nennt diese Form des Idealismus auch **absoluten Idealismus** oder **objektiven Idealismus** und unterscheidet diesen vom **subjektiven Idealismus**, den wir weiter unter näher betrachten.

Die absoluten Idealisten, unter ihnen **Hegel (1770-1831)**, sehen wie Plato die Welt als eine geistige Welt der Ideen, derer sich der menschliche Verstand zu nähern vermag. Die Idee findet ihre Verwirklichung in der Natur. Der Geist des Menschen kann diese Ideen in einem Erkenntnisprozess reflektieren. Aufgabe der Philosophie muss es sein, die Wahrheit der reinen und absoluten Ideen in der Logik zu erkennen. Auch die Monadenlehre von Leibniz kann als absolut idealistische Philosophie aufgefasst werden, da die Monaden rein geistige Grundelemente widerspiegeln.

Vom absoluten Idealismus grenzt sich der **erkenntnistheoretische Realismus** dadurch ab, dass er zwar von einer unabhängig von der menschlichen Erkenntnisfähigkeit vorhandenen Realität ausgeht, die sich aber in einer Ding- und Körperwelt ausdrückt und nicht in einer rein geistigen Ideenwelt begründet findet. Für den erkenntnistheoretischen Realisten ist zumindest ein Teil dieser Realität auch "als solche" erkennbar.

Die Erkenntnis bezieht sich auf das Erfassen von etwas, das vor und unabhängig von der Erkenntnis bereits vorhanden ist. Die Erkenntnis vollzieht sich als Annäherungsprozess an die Realität.

Hierin unterscheidet sich die antirealistische Gegenposition in Gestalt des **erkenntnistheoretischen (subjektiven) Idealismus**. Dieser spiegelt die Auffassung der Empiristen wider, dass die Realität, wie wir sie erkennen, bestimmt ist durch die Vorstellungen, bzw. Ideen, die unser Verstand von ihr bildet. Wir sehen die Realität daher nicht so, wie sie ist.

Auch vertritt der subjektive Idealismus nicht die Ideenlehre des objektiven Idealismus. Unter den subjektiven Idealisten gibt es Unterschiede über die Ansicht nach dem Aprio-

rischen der Verstandesprinzipien, wie sie von Kant in den Kategorien postuliert wird. Der Idealismus Kants wird auch als **transzendentaler Idealismus** bezeichnet.

Kant verbindet, wie im letzten Abschnitt beschrieben, einen transzendentalen Idealismus mit einem empirischen Realismus, was bedeutet, dass es keine Erkenntnis ohne empirische sinnliche Erfahrung gibt, dass die Erkenntnisse aber durch die reinen Verstandesbegriffe geformt werden.

Als Spielarten des erkenntnistheoretischen Realismus treten der naive und der kritische Realismus auf.

Der **naive Realismus** erachtet die wahrgenommene Realität als authentisch. Es gibt ein unmittelbares Verhältnis zwischen der Realität und ihrer Abbildung im Bewusstsein.

Ein berühmter Vertreter des **kritischen Realismus** ist **Nicolai Hartmann (1882-1950)**.

Erkenntnis bildet für Hartmann einen Prozess der Abbildung eines vom erkennenden Subjekt verschiedenen Objektes im Bewusstsein des erkennenden Subjekts. Die Realität wird dabei als Projektion erfahren. Im Gegensatz zum naiven Realismus wertet der kritische Realismus das Bild, das wir von der Realität haben nicht als authentisches Abbild, sondern als durch unser begrenztes Erkenntnisvermögen eingeschränktes Bild.

In diesem Zusammenhang bezieht sich **Moritz Schlick (1882-1936)**, der spätere Begründer des Wiener Kreises, bei der Möglichkeit von Erkenntnis auf die **Methode der Koinzidenz**, bei der die eigene Wahrnehmung mit der Wahrnehmung Dritter wiederholt auf Übereinstimmung geprüft wird.

Als antirealistische Theorie gilt ebenso der **Positivismus**, der auf **Auguste Comte (1798 - 1857)** zurück geht.

Der Positivismus hatte großen Einfluss auf die Wissenschaftsauffassung des 19. und 20.ten Jahrhunderts. Er besteht in der empiristischen Grundhaltung, dass nur das erfahrungsmäßig Gegebene (das Positive) Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtung sein kann.

Der Positivismus formulierte u.a. zwei Prinzipien, die bis heute als Grundlage wissenschaftlicher Methodik gelten.

- Ausgehend von der Grundüberzeugung, dass nur das Wahrnehmbare Gegenstand von wissenschaftlicher Erkenntnis sein kann, muss der Grundsatz gelten, dass jegliche wissenschaftliche Erkenntnis nicht nur von einem Menschen sondern im Prinzip von jedem Subjekt erworben werden kann. (Objektivität)
- Jede wissenschaftliche Aussage ist für jeden überprüfbar und verstandesmäßig nachvollziehbar. (Rationalität)

1.3 Moderne Wissenschafts- und Erkenntnistheorie

1.3.1 Logischer Empirismus

Mit dem **Wiener Kreis** tritt 1922 eine interdisziplinäre Gruppe bedeutender Wissenschaftler in Erscheinung, die sich zum Ziel setzt, die Philosophie im Sinne einer axiomatischen Wissenschaft neu zu entwerfen. Sie verbinden Positivismus und Empirismus mit einem streng logischen Formalismus und begründen damit die neue Richtung des **logischen Positivismus** (s.u.) oder auch **logischen Empirismus**.

Alle Phänomene werden logisch mathematisch (deduktiv) zurückgeführt auf allgemein akzeptierte Beobachtungstatsachen, die Axiome. Der Wiener Kreis sieht sich damit in der Tradition des Empirismus und Positivismus. Der Wiener Kreis will die Wissenschaften von ihren metaphysischen Bestandteilen reinigen. Wissenschaftlich können nur Erfahrungssätze über Gegenstände aller Art sowie die Sätze der Logik und Mathematik sein. [28]

Den Streit zwischen Realisten und Antirealisten um die ontologischen Grundlagen der Erkenntnis halten sie für überflüssig und sinnlos, da er sich der empirischen Überprüfbarkeit entziehe und prinzipiell nicht entschieden werden könne.

Einer der prominentesten Vertreter des Wiener Kreises war, neben Moritz Schlick der Mathematiker **Rudolf Carnap** (1891-1970). Auch Einstein und Gödel gehörten zu dem weiteren Umfeld.

Die logischen Empiristen verwerfen Kants Argumente für die Existenz synthetischer Urteile a priori.

“Daß Erkenntnis der Welt möglich ist, beruht nicht darauf, daß die menschliche Vernunft dem Material ihre Form aufprägt, sondern darauf, daß das Material in einer gewissen Weise geordnet ist. Über Art und Grad dieser Ordnung kann von vorneherein nichts gewußt werden” [28]

Die Sätze der Mathematik sind für den logischen Empirismus analytischer Natur, da sie durch formales Schließen aus den Definitionen und Grundannahmen folgen, ihnen also gewissermaßen inhärent sind. Sie beinhalten daher auch keine Erkenntnisse über die reale Welt an sich.

Ein wichtiges Ziel der Philosophen des Wiener Kreises besteht darin, Kriterien für den Sinn von Sätzen zu erstellen. Ein Satz über die reale Welt ist für sie nur dann dann sinnvoll, wenn es möglich ist, ihn durch eine endliche Zahl von Beobachtungssätzen zu verifizieren (Verifikationsprinzip).

Carnap verfolgte außerdem die Vision, alle Wissenschaft auf eine einheitliche Grundlage zu stellen. Als einheitlicher formaler Rahmen dienen Mathematik und Logik, die Realwissenschaften sollten sich sämtlich auf die Physik zurückführen lassen (Physikalismus).

Zur Gewinnung der Axiome bedient sich der logische Empirismus einer induktiven Logik, nach der allgemeine Aussagen über die Wirklichkeit als Schlussfolgerung aus hinreichend vielen Einzelbeobachtungen formuliert werden können.

Der logische Empirismus korrespondiert mit dem insbesondere durch Einsteins Relativitätstheorie eingeleiteten Paradigmenwechsel in der Physik. Einstein gab es auf, über das nachzudenken, was Raum und Zeit eigentlich sind. Er sah davon ab, Raum und Zeit und andere physikalische Entitäten als absolute Größen zu definieren, sondern sie dadurch festzulegen, wie wir sie messen. Was die Zeit *an sich* ist, ist unerheblich, wichtig ist, dass sie "vergeht" und dass dieses Vergehen durch ein bestimmtes Verfahren (Uhr) gemessen wird. Gewisse fundamentale und möglichst allgemeine Eigenschaften, wie z.B. die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in Inertialsystemen, werden zu Axiomen, aus denen sich alle weiteren Gesetze ableiten lassen. Auch in der Quantenmechanik spielt die Messung die zentrale Rolle. Geradezu revolutionär war die Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik von 1927 durch Bohr und Heisenberg, nach dem zwei sich scheinbar grundsätzlich widersprechende Theorien über die Natur des Lichts und den Aufbau der Materie (Dualismus: Korpuskel-Welle) beide als gültig anzusehen sind, abhängig von der Situation aber einmal die eine oder die andere zur Erklärung benutzt werden kann. Die dichotome Logik des "entweder/oder" ist offensichtlich in der Welt der Quanten nicht mehr so ohne weiteres aufrechtzuerhalten. Gleichwohl sind die Gesetze der Logik nicht aufgehoben. An die Stelle eines deterministischen Weltbildes tritt nun, bedingt durch die Unschärferelation, eine Beschreibung der physikalischen Realität, die zumindest in der Welt der Elementarteilchen durch die Angabe Wahrscheinlichkeiten geprägt ist.

Der Streit der Physiker ging in der Folge darum, ob es an der Unfähigkeit des Menschen liegt, die Wirklichkeit eindeutig zu erkennen oder ob die Unschärfe eine der Realität immanente Eigenschaft ist. Einsteins Ausspruch "Gott würfeln nicht" zeigt, dass er zu den Vertretern der ersteren Auffassung gehörte. Viele Experimente in der Folge legten aber nahe, dass die Unschärfe doch ein reales Phänomen der Realität ist, was auch die heutige Lehrmeinung widerspiegelt.

1.3.2 Kritischer Rationalismus, Paradigmenwechsel

Kritischer Rationalismus

In der Kritik an der induktiven Logik des logischen Empirismus besteht ein wesentliches Merkmal des auf **Karl Popper (1902-1994)** und Hans Albert (geb. 1921) zurückgehenden **kritischen Rationalismus**, der seine Wurzeln im kritischen Realismus aufweist.

Statt induktiv aus Beobachtungstatsachen auf Axiome zu schließen, die dann als Wahrheiten akzeptiert werden, besteht das methodische Vorgehen zur Erkenntnisgewinnung nach Popper im Aufstellen von Hypothesen, aus denen deduktiv Schlüsse gezogen werden, die an der Realität überprüft werden können, um diese dann bestätigt zu finden, oder sie verwerfen oder ggf. modifizieren zu müssen. Dies unterscheidet sich nicht grundsätzlich von dem oben beschriebenen Vorgehen der Physik des Aufstellens von Axiomen. Während man jedoch versucht, den Axiomen der Physik einen endgültigen Charakter abzugewinnen, auch wenn man weiß, dass dieses Ziel in Anbetracht des Fehlens einer großen vereinheitlichenden Theorie noch nicht erreicht ist, so sind die Hypothesen Poppers ihrem Wesen nach eher vorläufiger Natur.

Neben dem Prinzip der Deduktion formuliert Popper eine eigene Grundauffassung zum Bestätigen oder Widerlegen von Hypothesen. Grundsätzlich können danach Hypothesen nie wirklich bewiesen werden, sie können sich nur bewähren, vergl. [24].

Als Beispiel führt Popper an, dass die Hypothese, "alle Schwäne sind weiß" nicht sicher dadurch belegt werden kann, dass nur weiße Schwäne beobachtet werden. Die Existenz eines schwarzen Schwans ist dadurch schließlich nicht ausgeschlossen.

Die tatsächliche Beobachtung eines schwarzen Schwans würde indes zur sicheren Verwerfung der Hypothese führen. Popper stellt dem Prinzip der Verifizierbarkeit das der Falsifizierbarkeit entgegen: Man kann nicht mit Sicherheit eine Theorie beweisen, aber man kann sie mit Sicherheit widerlegen.

Kritiker dieser Haltung wenden ein, dass eine Falsifikation auch nicht immer mit endgültiger Sicherheit festzustellen sind.

Das Prinzip der Falsifikation führt logisch zu dem Prinzip, dass für die Bewährung der Hypothesen Experimente gesucht werden müssen, die sie widerlegen könnten. Das bedeutet natürlich auch, dass die Hypothesen bereits so formuliert werden müssen, dass sie prinzipiell widerlegt werden können. Grundsätzlich muss jede Annahme als fehlbar angesehen werden können.

Hypothesen werden als irrelevant und unwissenschaftlich betrachtet, wenn solche Expe-

rimente nicht möglich sind (Fallibilismus). Man mag darüber streiten, ob diese Ausgliederung immer sinnvoll ist. Auch Einsteins allgemeine Relativitätstheorie, bzw. Aspekte hiervon, schienen eine zeitlang dem Kriterium der Falsifizierbarkeit nicht zu genügen.

Das Kriterium der Falsifizierbarkeit verweist aber immerhin auch Astrologie oder andere esoterische Disziplinen in den Bereich der Nichtwissenschaftlichkeit. Es sei denn, man sieht sie sowieso bereits als widerlegt an. Anhänger dieser Kulte werden aber nie eine Widerlegung eingestehen, da sie eine dogmatische Haltung einnehmen, und nicht die Hypothese selbst in Frage stellen, sondern meist widrige Begleitumstände für deren Versagen verantwortlich machen.

Popper vertritt die Auffassung, dass man die Wahrheit über die reale Welt nicht mit absoluter Gewissheit zu erkennen vermag. Er behauptet aber nicht, dass es die Wahrheit nicht gäbe. Durch die Wissenschaft nähert man sich ihr an. Ein moderner empiristischer Ansatz zur Überprüfung von Hypothesen ist der **Bayesianismus**, siehe z.B. [9], der darin besteht, ausgehend von subjektiven a-priori- Wahrscheinlichkeiten für die Gültigkeit von Annahmen Wahrscheinlichkeiten für die Gültigkeiten von Theorien zu berechnen.

Paradigmenwechsel

Einer der prominentesten Kritiker von Popper ist **Thomas Samuel Kuhn (1922 - 1996)**, siehe [15]. Er führt den Begriff des **Paradigmas** in die Wissenschaftsphilosophie ein. Paradigmen sind die der Wissenschaft zu Grunde liegenden Leitmotive, deren Akzeptanz in der wissenschaftlichen Gemeinschaft bis zu einem gewissen Grad eine Glaubensangelegenheit darstellt.

Paradigmen sind Anschauungen darüber was innerhalb einer Wissenschaft relevant oder nicht relevant ist. Paradigmen sind nicht einfach unterschiedliche Theorien, sondern es handelt sich bei ihnen um rivalisierende Auffassungen von der Welt, um die auch mitunter wenig wissenschaftlich gestritten wird. In der Physik waren z. B. die jeweils gültigen Vorstellungen von dem Aufbau des Kosmos, (geozentrisches Weltbild, heliozentrisches Weltbild) Paradigmen.

Auch die Newtonsche Mechanik mit ihrer absoluten Vorstellung von Raum und Zeit bildete ein Paradigma, das durch Einsteins Relativitätstheorie abgelöst wurde.

Es ist nach Kuhn ein Wesenszug von Paradigmen, dass sie **inkommensurabel** sind. Paradigmen ergänzen sich nicht, und sie besitzen, mathematisch ausgedrückt, keinen gemeinsamen Maßstab (kommensurabel: auf einer gemeinsam Skala messbar). Man kann sich nur für das eine oder das andere Paradigma entscheiden, es gibt keine dritte Theo-

rie, in der beide widerspruchsfrei aufgehen, bzgl. der sie sich also gemeinsam erklären (messen) ließen.

Paradigmenwechsel entsprechen nach Kuhn den wissenschaftlichen Revolutionen. Die Normalwissenschaft beschäftigt sich mit dem "Rätsellösen" innerhalb des paradigmatisch vorgegeben Rahmens.

Während es bei Popper eine Wahrheit gibt, der sich die Wissenschaft annähert, sind es bei Kuhn mehrere, die je nach verwendeten Paradigma unterschiedlich aussehen. Im Gegensatz zu Popper vertritt Kuhn die Auffassung, dass es dem Wissenschaftler nicht um die Möglichkeit der Falsifikation der Paradigmen geht. Falsifikation ist sehr wohl ein funktionierendes Prinzip in der Normalwissenschaft, die Infragestellung von Paradigmen ist dagegen ein revolutionärer und kein Routineprozess.

Insbesondere hat Kuhns Auffassung über die Inkommensurabilität von Paradigmen Bedeutung in den Gesellschaftswissenschaften erlangt, in der Glaubens- und Modefragen viel stärker die wissenschaftliche Forschung beeinflusst als in den Naturwissenschaften.

Epilog

So vehement auch die unterschiedlichen modernen Erkenntnistheorien miteinander streiten, so stellt sich bei genauerem Hinsehen oft fest, dass die Unterschiede zwischen ihnen so groß dann doch nicht sind. In der aktuellen Diskussion zur Wissenschaftsphilosophie lässt sich ein Trend zur Synthese der unterschiedlichen Positionen erkennen, sowie zu der Auffassung, dass für unterschiedliche Disziplinen auch unterschiedliche Wissenschaftstheorien als angemessen und akzeptabel erachtet werden müssen.

Kapitel 2

Wissenschaftstheoretische Grundlagen

2.1 Die Sprache der Wissenschaft

“Wissen” bezeichnet im heutigen Sprachgebrauch eine Anhäufung von **Kenntnissen** über die Welt. Hierbei wird Wissen meist durch **Sprache** ausgedrückt, auch wenn Wissen natürlich ohne das Vorhandensein von Sprache existieren kann. (Man denke hierbei z.B. an gewisse Handwerkstechniken, die durch bildliche Darstellung oder praktische Demonstration dargestellt werden können.) Mit welcher Art von Wissen sich eine Wissenschaft beschäftigt, ob es eine Erfahrungswissenschaft ist, ob eine Gesellschaftswissenschaft oder Naturwissenschaft oder eine formale Wissenschaft soll für den grundsätzlichen Aufbau zunächst keine Rolle spielen.

Wir beginnen mit der Beschreibung der Elemente einer wissenschaftlichen Sprache.

2.1.1 Aussagen

Eine Kenntnis über eine Sachverhalt wird dann durch eine entsprechende **wahre (gültige) Aussage** formuliert.

Auch die Verfahren der Ingenieurwissenschaften und die Algorithmen der Informatik sind Kenntnisse und lassen sich über Aussagen in einer Sprache beschreiben. Die zugehörige Aussage lautet z.B.: “Die Durchführung der Schritte ‘abc’ führt zu dem Ergebnis ‘z’ ” Ein Verfahren oder ein Algorithmus entspricht damit immer einer Aussage zur Korrektheit desselben.

Die zunächst ungeordnete Menge von Kenntnissen nennen wir auch **Faktenwissen**. Von einer **Wissenschaft** sprechen wir dann, wenn es sich um eine systematisch geordnete, strukturierte und allgemein verfügbare Zusammenstellung von Wissen handelt. Die Art dieser Struktur und die zu Grunde liegende Systematik soll im Folgenden genauer

beschrieben werden.

Unter einer **Aussage** verstehen wir im Folgenden (etwas ungenau) ein Sprachkonstrukt, das mit einer Bedeutung versehen ist, die man als wahr oder falsch kennzeichnen kann. Wir lassen keine vagen Formulierungen zu, die unbestimmte Attribute wie *vielleicht*, *wahrscheinlich*, *oft* oder subjektive Attribute wie *schön*, *angenehm*, *langweilig* enthalten.

Spekulative Formulierungen wie *Falls die Erde eine Scheibe ist,...* oder *Wir nehmen an, dass Energie weder aus dem Nichts geschaffen werden kann noch verloren geht*. lassen wir hingegen als Aussagen zu, sofern die Wahrheit zumindest prinzipiell beurteilt werden kann. Wir nennen sie **Vermutungen**.

2.1.2 Definitionen

Eine wissenschaftliche Sprache zeichnet sich aus durch eine exakte Bestimmung der Begriffe, mit denen man arbeitet. Die exakte Bedeutungszuweisung für Begriffe geschieht über **Definitionen**. Für Definitionen gilt die Regel, dass der zu definierende Begriff für die Definition selbst nicht verwendet werden darf. Eine solche "falsche" Definition nennt man *zirkulär*. Auch ist es wichtig, dass eine Definition allen Aussagen, die mit dem definierten Begriff zusammenhängen, vorausgehen muss.

Definitionen sollten *zweckmäßig* sein. Die Definition für einen Begriff, der später nicht wieder verwendet wird, ist überflüssig. Was häufig nicht beachtet wird: Die Bedeutung eines Begriffes ist durch die Definition festgelegt und nicht durch das, was man ursprünglich mit dem Begriff assoziiert hat. Wird z.B. ein "Kreis" in der Graphentheorie definiert als ein überschneidungsfreier, einfacher Weg, dessen Anfangspunkt mit dem Endpunkt übereinstimmt, so muss dieser Kreis nicht "rund" sein. Wenn "Rabatt" definiert ist als Preisnachlass, dann bedeutet die kostenlose Abgabe eines Produkts eben auch einen Rabatt, auch wenn man umgangssprachlich damit etwas anderes gemeint hat.

Man muss mit dieser Konsequenz leben oder die Definition abändern.

Es versteht sich von selbst, dass man den Wahrheitsgehalt einer Aussage erst beurteilen kann, wenn man ihren Sinn erfasst hat. So selbstverständlich dies klingt, so häufig wird diese Regel in der Realität verletzt. Es ist dies aber eine Grundvoraussetzung für wissenschaftliches Arbeiten, "dass man weiß, was man meint, wenn man etwas sagt." Hierzu muss man u.a. die Definitionen der Begriffe, die man benutzt, genau kennen und exakt einhalten.

2.1.3 Semantik

Wenn man z.B. in der Medizin die Behauptung aufstellt, dass ein Medikament wirksamer sei als ein anderes, dann muss vorher der Begriff "Wirksamkeit" genau definiert sein. Entsprechend verhält es sich, wenn über den erforderlichen "Aufwand" zur Realisierung eines bestimmten Projektes gesprochen wird. Wie ist dann "Aufwand" definiert? Auch das Projekt an sich muss genau abgegrenzt sein. Spricht man von einer "50-prozentigen Regenwahrscheinlichkeit", so kann man damit nichts anfangen, wenn der Begriff der Regenwahrscheinlichkeit nicht präzise definiert ist. Die angegebene Prozentzahl muss eine klar erfassbare Bedeutung besitzen.

Aber auch, wenn die Bedeutung der Aussage zweifelsfrei erkennbar ist, kann es bei oberflächlichem Umgang mit Aussagen zu falschen Interpretationen kommen. Ein typisches Beispiel aus der Statistik ist das berühmte Simpson-Paradoxon.

Wir geben folgendes (fiktives) Beispiel:

"Bei einem Test lösten 40 % der bayerischen Schüler eine schwierige Matheaufgabe. Die gleiche Aufgabe konnten nur 35% der hessischen Schüler lösen. Bei einem Vergleichstest kurze Zeit später, waren sogar 60% der bayerischen aber nur 58,5% der hessischen Schüler erfolgreich."

Eine vorschnelle Interpretation ließe den Schluss zu, dass die Bayerische Schüler besser sind. Sehen wir uns aber die absoluten Zahlen an.

	Teilnehmerzahl	erfolgreich
Erster Test:	Bayern 600	davon 40%: 240
	Hessen 400	davon 35%: 140

	Teilnehmerzahl	erfolgreich
Zweiter Test:	Bayern 400	davon 60%: 240
	Hessen 600	davon 58,5%: 351

	Teilnehmerzahl	erfolgreich
Insgesamt:	Bayern 1000	480
	Hessen 1000	491

Wir überlassen die Analyse dem/r Leser/in.

2.2 Wahrheit und das Prinzip der mathematisch-logischen Deduktion

Eine Aussage ist dann **wahr** oder **gültig**, wenn ihr Inhalt mit der Realität übereinstimmt. Dies lässt sich in den einfachsten Fällen durch eine Nachprüfung, ein **Experiment** feststellen. Für Experimente gilt, dass sie intersubjektiv nachvollziehbar und, wenn sie sich nicht auf ein Einzelereignis beziehen, jederzeit wiederholbar sein müssen.

In der Mathematik gibt es in dem eigentlichen Sinne keine Realität. Die mathematischen Strukturen existieren in einer fiktiven idealen gedanklichen Welt, in der einzig die Gesetze der Logik gelten. Die Strukturen der Mathematik sind vielfach real vorhandenen Strukturen nachgebildet und der Erfolg der Mathematik besteht gerade darin, dass sich aus dem Verhalten der idealen Strukturen Aussagen über ihre realen Gegenstücke treffen lassen. Dabei enthält die Welt der Mathematik auch Gebilde wie "unendliche Mengen", die es in der Realität in dieser Weise nicht gibt, und es gibt sogar eine raffinierte Hierarchie innerhalb unendlicher Mengen. In dieser idealisierten Welt gilt ein Objekt dann als existent, wenn die Annahme seiner Existenz nicht zu logischen Widersprüchen führt.

Die mathematische "Realität" besteht dann aus allen in dieser Weise existenten Objekten.

Die Einbeziehung dieser idealen und "irrealen" Objekte liefert erstaunlicherweise für die "reale" Welt eine Vielzahl wichtiger Erkenntnisse.

Wie eng die reale Welt und die imaginäre Welt der formalen Wissenschaft Mathematik mit einander zusammenhängen wird deutlich, wenn wir bedenken, dass wir auch in der realen Welt die Regeln der Logik akzeptieren. Wir betrachten nämlich Aussagen auch dann als wahr, wenn sie sich aus anderen, bereits als wahr erwiesenen Aussagen **formal** logisch ableiten lassen. Dies mag manchem ganz selbstverständlich vorkommen, jedoch verbirgt sich hier eines der faszinierendsten und rätselhaftesten Phänomene der menschlichen Erkenntnisgeschichte, das unter anderem auch zu der Sonderrolle von Logik und Mathematik innerhalb der Wissenschaften geführt hat.

Die *Korrektheit* der logischen Deduktion ist jedoch lediglich eine Erfahrungstatsache.

Trotzdem basieren hierauf Indizienprozesse vor Gericht genauso wie planerisches Handeln in der Politik. Wenn beispielsweise in einer Schublade gestern noch drei Bonbons lagen und nur meine beiden Kinder zu dieser Schublade Zugang hatten und die Schublade heute leer ist, dann schließe ich, dass eins meiner beiden Kinder mindestens zwei Bonbons bekommen hat, auch wenn dies beide abstreiten.

Einstein formulierte es folgendermaßen: "...An dieser Stelle nun taucht ein Rätsel auf, das Forscher aller Zeiten so viel beunruhigt hat. Wie ist es möglich, dass die Mathematik, die

doch ein von aller Erfahrung unabhängiges Produkt des menschlichen Denkens ist, auf die Gegenstände der Wirklichkeit so vortrefflich passt?" [7], S.119-124.

2.2.1 Formal logisches Schließen

Das logische Schließen besteht aus einem automatisch durchführbarem Kalkül (**logischer Kalkül**). Die Formalisierung dieses Kalküls wird als Prädikatenkalkül der formalen Logik bezeichnet und folgt den uns vertrauten intuitiven Gesetzen der Alltagslogik. Die weitläufig verbreitete Meinung, dass die mathematische Logik weltfremd sei und mit der Logik des Alltags nichts zu tun hat, muss als ein nur schwer auszurrottendes Vorurteil angesehen werden.

Wir wollen nur kurz die Elemente des Prädikatenkalküls beschreiben.

Formale Sprache

Es wird eine formale Sprache zu Grunde gelegt, die aus Sprachelementen besteht, die den Objekten, Eigenschaften von Objekten (*Prädikaten*) und Beziehungen zwischen Objekten (*Relationen*) entsprechen. Außerdem gibt es **logische Zeichen** für "oder", "nicht" und "für alle". Alle weiteren logisch üblichen Konstrukte, wie "und, wenn-dann, es gibt" werden auf diese zurückgeführt. Beispielsweise ist die Aussage "es gibt ein X mit der Eigenschaft R(X)" logisch äquivalent zu "nicht für alle X gilt, dass für sie nicht R(X) gilt".

Der formal-logische Kalkül besteht nun in Regeln über das Verhalten der Wahrheitswerte unter dem Einfluß logischer Operationen. Zum Beispiel gilt die Aussage "A oder B" als wahr, wenn A wahr ist oder wenn B wahr ist. Die Aussage "nicht A" gilt als wahr, wenn A falsch ist.

Hier sieht man nun, dass drei wesentlich verschiedene Typen von Aussagen auftreten:

- Aussagen, die allein aufgrund der logischen Regeln immer wahr sind (Tautologien);
Bsp.: A oder nicht A
- Aussagen, die allein aufgrund der logischen Regeln immer falsch sind (Antinomien);
Bsp.: A und nicht A
- Aussagen, deren Wahrheitswert von dem Wahrheitswert ihrer Bestandteile abhängen

Antinomien gilt es zu vermeiden, Tautologien sind Selbstverständlichkeiten, die man jederzeit benutzen darf. Wichtige Tautologien sind:

- Wenn “A und B” , dann (insbesondere) “A”,
- Wenn “A”, so (erst recht) “A oder B”,
- Wenn “B” aus “A” folgt, dann muss aus “nicht B” auch “nicht A” folgen (*Kontraposition*).

Logische Deduktion

Die **logische Deduktion** einer Aussage aus einer Menge Σ anderer Aussagen besteht nun im Wesentlichen nur aus dem folgenden, **Modus Ponens** genannten Verfahren:

Angenommen die Aussage A ist wahr. Außerdem sei die Aussage “Aus A folgt B” wahr. Dann gilt die Wahrheit von “B” als **logisch deduziert, logisch abgeleitet**, oder auch **formal bewiesen**. Die Bedeutung der Tautologien ergibt sich daraus, dass sie jederzeit die Rolle der Aussage A im Modus Ponens einnehmen dürfen. Übrigens basiert der Modus Ponens selbst auf einer Tautologie, nämlich “Wenn A und wenn B aus A folgt, dann folgt B.”

Wir sprechen davon, dass ein **Widerspruch** auftritt, wenn sowohl “A” als auch “nicht A” logisch abgeleitet werden kann. Genauer definieren wir, eine Aussagenmenge Σ als **widerspruchsvoll**, wenn aus ihr eine Aussage “A” wie auch ihre Negation “nicht A” abgeleitet werden kann. Im anderen Fall heißt Σ **widerspruchsfrei**. Es versteht sich von selbst, dass eine Wissenschaft aus einer widerspruchsfreien Aussagenmenge bestehen sollte.

Widersprüche sind nämlich deshalb so ärgerlich, weil man aus einer widerspruchsvollen Menge *alles*, also jede Aussage und gleichzeitig auch ihre Verneinung logisch ableiten kann.

Eine Aussage, die bereits in sich widerspruchsvoll ist (z.B. A und nicht A) heißt **Antinomie**.

2.3 Strukturiertes Wissen

Wissen wird zu strukturiertem Wissen durch das Erkennen von Regeln und Gesetzmäßigkeiten innerhalb des Faktenwissens.

2.3.1 Axiome und deduktive Hülle

Der strukturierte Wissensbestand besteht aus einem Kern von unbewiesenen Grundannahmen und der **deduktiven Hülle** der hieraus logisch ableitbaren Aussagen. Man beachte hierbei, dass, wie bereits oben erläutert, auch neu entwickelte Verfahren in der Technik oder Algorithmen als Aussagen zu interpretieren sind.

Im letzten Kapitel zur Geschichte der Wissenschaftstheorie wurde auf den Unterschied zwischen den Axiomen der Physik und den Hypothesen der kritischen Rationalisten um Popper aufmerksam gemacht. Philosophisch gesehen handelt es sich um die Frage nach Wahrheit im ontologischen Sinn.

Die unbewiesenen Grundannahmen nennen wir im Folgenden ebenfalls **Axiome** oder **Hypothesen**, wobei die Unterscheidung fließend ist. Axiome beziehen sich meist auf entdeckte Gesetzmäßigkeiten, die sich auf keine anderen Gesetze zurückführen lassen und bereits bewährt sind, während Hypothesen eher der Charakter einer auf dem Prüfstand stehenden Grundannahme anhaftet.

Die Axiome und Hypothesen bestimmen das Wesen einer Wissenschaft. Unterschiedliche erkenntnistheoretische Ansätze (z.B. logischer Empirismus oder kritischer Rationalismus) weisen den Grundannahmen unterschiedliche Signifikanz im Hinblick auf ihren ontologischen Charakter zu. Entsprechen sie der Realität oder nähern wir uns der Wirklichkeit mit ihnen nur an. Besteht der Erkenntnisprozess aus einem evolutionären Anpassungsprozess der Axiome. Oder sind sie einfach nur Projektionen unseres Geistes, der damit die ungeordneten Sinneseindrücke praktischer verarbeiten kann?

Wie im letzten Kapitel beschrieben, sollen die Grundannahmen nach Auffassung der kritischen Rationalismus dem Kriterium der Falsifizierbarkeit genügen. Gerade in der Entstehungsphase neuer Theorien kann das Falsifizierbarkeitskriterium für den erkenntnistheoretischen Prozess zunächst jedoch auch hinderlich sein. Einige bedeutende physikalischen Theorien, wie z.B. die viele Welten Theorie oder Einsteins allgemeine Relativitätstheorie tragen oder trugen diesen Makel, obwohl sie unbestritten für die Physik unverzichtbar wichtige Theorien darstellen.

Die deduktive Hülle der Axiome und Hypothesen bezieht sich auf die logisch daraus ableitbaren Aussagen. Per definitionem können in der deduktiven Hülle keine Widersprüche auftreten, wenn der Kern widerspruchsfrei ist. Man beachte, dass die deduktive Hülle *alle* ableitbaren Aussagen betrifft. Nur ein kleiner Teil von denen ist in der Regeln bereits gefunden. Aussagen abzuleiten ist ein wichtiger Teil wissenschaftlicher Forschungsarbeit.

2.3.2 Theorien

Die deduktive Hülle einer Teilmenge von Axiomen oder Hypothesen nennt man dann eine **Theorie**. In der Umgangssprache versteht man oft unter einer Theorie nur die Hypothesen, die dieser Theorie zu Grunde liegen. Es kann vorkommen, dass sich Theorien "scheinbar" widersprechen. Wir reden hier von "scheinbar", weil wir im Bereich des strukturierten Wissens Widersprüche grundätzlich ausschließen wollen. Damit aber eine Aussage ϕ und ihre Verneinung "nicht" ϕ nicht gleichzeitig gelten, lässt man in einer Wissenschaft mehrere Welten zu. In der einen Welt gelten dann, die Axiome der Theorie T_1 und in der anderen diejenigen der Theorie T_2 . In der Physik gibt es beispielsweise das bekannte Phänomen, dass sich Elektronen je nach Situation einmal wie Teilchen und ein anderes Mal wie Wellen verhalten. Man mag es als Manko empfinden, aber zur Zeit gibt es keine bessere Möglichkeit als im einen Fall T_1 und im anderen Fall T_2 anzuwenden. Auch in der Ökonomie gibt es für unterschiedliche Situationen unterschiedliche Theorien. Hiermit ist nicht gemeint, dass gewisse Theorien im Wettstreit miteinander stehen und kein Konsens darüber besteht, welche Theorien als adäquat gelten sollen.

2.4 Wissenschaftliches Arbeiten

Überlicherweise unterteilt man die Wissenschaften je nach dem Gegenstand ihrer Untersuchung in unterschiedliche Typen. Man unterscheidet zwischen **Realwissenschaften** - und **formalen Wissenschaften**, und auf der Seite der Realwissenschaften wiederum in Erfahrungs- und Geisteswissenschaften. Zu den Erfahrungswissenschaften zählen dabei die Natur- und die Sozialwissenschaften. Hierbei fallen Logik und Mathematik unter die formalen Wissenschaften.

Ein deutlicher Unterschied zwischen formaler Wissenschaft und Realwissenschaft zeigt sich in der Art ihrer Grundannahmen: Während in den formalen Wissenschaften Axiome in jedem Fall als gültig postuliert werden (man spricht hier auch bewusst nicht von Hypothesen), müssen sie sich in einer Realwissenschaft bewähren und es ist denkbar, dass sie auch widerlegt werden können. In der formalen Wissenschaft reicht es aus, wenn das System der Axiome logisch widerspruchsfrei ist.

In den Realwissenschaften muss die logische Widerspruchsfreiheit natürlich ebenfalls gelten, sie müssen zudem aber mit der Realität in Einklang stehen.

2.4.1 Formalisten

Der formale Standpunkt in den Wissenschaften und insbesondere der Mathematik wurde durch **David Hilbert (1862-1943)** und die **Formalisten** systematisch weiterentwickelt. Sie waren der Überzeugung, dass die Axiome einer jeden mathematischen Theorie eine überschaubare kleine Menge (effektiv berechenbar) sein müsste. Ihre Hoffnung war es, dass alles, was in der mathematischen Realität gilt, sich logisch aus einer solch kleinen Menge von Grundannahmen logisch ableiten, also beweisen lässt.

Die Begriffsbildung der effektiven Berechenbarkeit oder Turingberechenbarkeit ist tatsächlich erst später entwickelt worden, nämlich gerade als Folge einer möglichst konkreten und realistischen Präzisierung des Begriffs "überschaubar klein".

Ein bis heute noch weitverbreitetes Missverständnis besteht in der Auffassung, dass die formalen Wissenschaften laut ihrem eigenen Anspruch von nichts anderem als formalen Zeichenreihen handeln. Richtig ist lediglich, dass die Formalisten den Prozess der logischen Deduktion, wie oben beschrieben, als einen von der Semantik losgelösten formalen Kalkül analysiert haben. Die Gültigkeit des Modus Ponens als zentrale Schlussregel ist eben unabhängig davon, ob wir über Geraden oder Bierseidel sprechen. Genauso kommt es meist nicht auf einen Begriff oder eine Relation *an sich* sondern auf die Eigenschaften dieses Begriffes oder Relation an. Und nur unter diesem Aspekt betrachteten die Formalisten Aussagen als formale Zeichenreihen. In der modernen Logik behandelt man in der **Modelltheorie** die Beziehung zwischen konkreter Struktur und formalen Sprachen.

Tatsächlich war es für die Formalisten ein Schlag, als der junge Mathematiker **Kurt Gödel (1906-1978)** im Jahr 1931 in [11] beweisen konnte, dass die meisten formalen Theorien kein effektiv berechenbares Axiomensystem besitzen können. Insbesondere gilt dies für die Zahlentheorie und die Mathematik als Ganzes. Noch nicht einmal die Widerspruchsfreiheit eines gegebenen Axiomensystems lässt sich mit den Mitteln des Systems beweisen. Zu jedem berechenbaren System von Axiomen gibt es dann also immer eine in der mathematischen Realität gültige Aussage, die sich nicht beweisen lässt. Kurz gefasst: "Nicht alles, was gilt, lässt sich auch beweisen".

Dadurch war zwar nun klar, dass der Raum der Axiome und damit der eher unsichere, weil prinzipiell nicht beweisbare Bereich einer Wissenschaft größer war, als man sich wünschen konnte, die logisch deduktive Methode zum Beweis von Aussagen wurde aber hierdurch nicht in Zweifel gezogen.

2.4.2 Die Beziehung zwischen Realwissenschaften und Mathematik

Die Mathematiker heute wie damals, verstehen die formalen Zeichenreihen sehr wohl mit semantischen Interpretationen aber in vielen Fällen eben nicht nur mit einer möglichen.

Dies eröffnet für die Realwissenschaften gerade die wichtige Methode der **Modellierung**. Hierbei handelt es sich um die Übertragung von Begriffen und Relationen der Realwissenschaften in formale Begriffe und Relationen der Mathematik, die dann formal analysiert werden. Die auf diese Weise gewonnenen formalen Aussagen werden zurück in die Realwissenschaft übersetzt. Der größte Teil der theoretischen Physik und anderer Naturwissenschaften bestehen in diesem Sinne aus reiner Mathematik. Auch in der Ökonomie werden zum Finden optimaler Lösungen mathematische Modelle benutzt (Operations Research). Die analytischen Methoden der Mikroökonomie und basieren ebenfalls auf mathematischen Modellen.

Die mathematisch orientierten Methoden der Realwissenschaften nennt man auch **quantitative** Methoden im Unterschied zu den **qualitativen** Methoden, die in den Gesellschaftswissenschaften eine größere Bedeutung besitzen.

Vertreter einer **szientistischen** Grundauffassung sehen wesentlichen Erkenntnisfortschritt hauptsächlich durch Anwendung quantitativer Methoden. Um es noch einmal zu betonen: Dass die Methode der mathematischen Modellierung in den Naturwissenschaften so gut "funktioniert", ist nach Einstein (vergl. oben) eines der größten Rätsel überhaupt.

Es gibt allerdings einen ganz wesentlichen Unterschied zwischen Real- und Formalwissenschaft besteht, und zwar in der Bedeutung der **Existenz** eines Objekts.

2.4.3 Wissenschaftsbetrieb

Im Umfeld um den strukturierten Wissensbestand vollzieht sich der eigentliche Wissenschaftsbetrieb. Dieser besteht aus mehreren unterschiedlichen Prozessen.

- systematische Erzeugung, Zusammenstellung, Aufarbeitung und Gliederung von Faktenwissen
- Aufstellen von Hypothesen
- Ableitung von Aussagen aus den Axiomen, Beweise
- Dokumentation und Weitergabe des strukturierten Wissens,
- Anwendung des strukturierten Wissens.

Jeder dieser Prozesse besitzt seine eigenen Methoden. Z.B. liefert die **Didaktik** Methoden zur Weitergabe und Präsentation von Wissen, **Wissensmanagement** und **Expertensysteme** bilden eine Schnittstelle zur Anwendung, **Beweistheorie** und **Modelltheorie** beschäftigen sich mit der Ableitung von Aussagen aus den Axiomen. Diese Methoden sind meist selbst wieder Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtungen. **Statistische Methoden** werden zum Teil für die Erhebung von Daten, also die Produktion von Faktenwissen, als auch für die Formulierung von Hypothesen benutzt.

2.5 Das Gewinnen von Erkenntnissen

Das Gebäude aus Axiomen, Hypothesen und deduktiver Hülle muss durch den Wissenschaftsbetrieb errichtet werden. Einerseits gilt es, Axiome und Hypothesen zu finden, vorhandene zu überprüfen und eventuell durch neue zu ersetzen. Dies leistet die **Grundlagenforschung**. Außerdem sind die unüberschaubar vielen Aussagen aus der deduktiven Hülle dadurch nur im Prinzip gegeben. Konkret kennt man aber in der Regel nur einen winzig kleinen Ausschnitt.

Man unterscheidet, vergl. z. B. [26] zwischen einem **Entdeckungs-** und einem **Begründungszusammenhang**.

Die Auswahl von Hypothesen und Axiomen geschieht durch die Auswertung des Faktenwissens (Entdeckungszusammenhang). Das Faktenwissen entspricht den Informationen aus Experimenten und anderen Erfahrungen. Die Fakten beschreiben Phänomene. Der zentrale Antrieb des Wissenschaftlers besteht, wie bereits erwähnt, in dem Wunsch Gesetzmäßigkeiten hinter den Phänomenen zu finden. Gesetzmäßigkeiten zu finden, bedeutet u.a. ein Phänomen als logische Ableitung aus den Grundannahmen zu erkennen (Begründungszusammenhang).

Die Aussage aus der Ökonomie, dass erhöhte Nachfrage zu höheren Preisen führt, lässt sich als Axiom (Hypothese) auffassen. Ebenso die Aussage, wonach höhere Preise zu geringerer Nachfrage führen, und dass geringere Nachfrage wiederum die Preise sinken lässt. Aus diesen drei Hypothesen oder Axiomen würde dann rein logisch folgen, dass die Preisentwicklung sinusförmig verläuft. Da dies in der Realität aber nur bedingt zutrifft, müssen die Hypothesen modifiziert oder ergänzt werden.

2.5.1 Methoden zur Hypothesengewinnung

In einem weiteren Beispiel stellt ein Mediziner fest, dass nach der Einnahme eines bestimmten Medikamentes bei mehreren Patienten Müdigkeit aufgetreten ist. Dies ist die Faktenlage. Der Mediziner formuliert die Aussage: "Als eine Nebenwirkung des Medikaments tritt Müdigkeit auf".

Sollte es möglich sein, die Nebenwirkung deduktiv aus anderen Sachverhalten abzuleiten und dadurch zu erklären, so ist diese Aussage ein Satz der Medizin, gelingt dies nicht, ist es eine Hypothese und es bleibt abzuwarten, ob diese Hypothese Bestand hat.

Die Methode des Mediziners aus dem Auftreten eines Phänomens in vielen Fällen auf eine Hypothese für alle Fälle zu schließen, nennt man **Induktion**. Durch Induktion kann man die Gültigkeit der Hypothese im mathematisch-logischen Sinne nicht beweisen. Induktion dient nur als Methode, eine geeignete Hypothese aufzustellen, bzw. zu stützen.

Eine Systematisierung der Induktion besteht in der **statistischen Methode**. Die statistische Methode kann von ihrem Wesen her niemals als exakte Beweismethode sondern nur als Methode zum Aufstellen oder Prüfen von Hypothesen gesehen werden.

Die theoretische Unmöglichkeit für formale Beweise in vielen Bereichen der Realwissenschaften führte zu den im letzten Kapitel beschriebenen methodischen Ansätzen des kritischen Rationalismus. Vertreter der empirischen Wissenschaften sprechen häufig dann doch von einem "Beweis", wenn Sie eine statistische Korrelation feststellen konnten. Hier wird der Begriff "Beweis" im Sinne einer "statistischen Evidenz" benutzt.

Sanders Peirce (1839-1914) führte den Begriff der **Abduktion** ein, wenn nach der besten bzw. einfachsten, nicht unbedingt sofort nächstliegenden Erklärung für ein Phänomen gesucht wird. Im Prinzip handelt es sich hierbei weniger um eine Methode der Gewinnung von Hypothesen sondern ein Kriterium für die Auswahl. Beispielsweise handelt es sich um Abduktion, wenn die Hypothese von Galilei, dass die Erde sich um die Sonne dreht, der anderen Möglichkeit vorgezogen wird. Es ist das einfachere Modell.

Weitere wichtige Methoden sind die **Hermeneutik** und die **Heuristik**.

Die Hermeneutik sucht nach einem tieferen Sinnzusammenhang, aus dem heraus ein Phänomen sich als Spezialfall eines komplexen Wirkungszusammenhangs ergibt. Die Hermeneutik versucht eine Aussage nicht nur logisch deduktiv sondern auch spekulativ zu interpretieren. Es geht dann oft darum, die geeignete Auslegung oder Deutung vorzunehmen.

Die Heuristik sucht Analogien zu anderen Phänomenen und benutzt Vereinfachungen,

um das Wesentliche eines Problems deutlicher sehen zu lassen. Man versucht sich einem Problem auch dadurch zu nähern, dass man zunächst gewisse Plausibilitätsbetrachtungen durchführt, die sich später möglicherweise als nicht zutreffend erweisen können. Das "trial-and-error-Verfahren" ist eine bekannte heuristische Methode. Das Eingrenzen der richtigen Lösung durch Ausschluss von unwahrscheinlichen Lösungen gehört ebenfalls in den Bereich des heuristischen Vorgehens. Hierzu gehört auch die Bewertung unterschiedlicher Lösungsstrategien auf Grund vorläufiger oder unvollständiger Informationen.

Die heuristische Methode in der Mathematik wird von **Imre Lakatos (1922-1974)** in seinem Buch "Beweise und Widerlegungen" [16] durch Anwendung auf das Beispiel des Eulerschen Polyedersatzes eindrucksvoll und suggestiv beschrieben. Lakatos verwendet die heuristische Methode im Sinne eines evolutionären Prozesses, bei dem Hypothesen bei Falsifikation modifiziert werden.

2.5.2 Methodenstreit

Anders als bei der logischen Ableitung, die sich nach strengen, allgemein anerkannten Verfahren vollzieht, gibt es für die Methoden zur Hypothesengewinnung keine Vorschriften. Hier rechtfertigt der Erfolg die Methode. Der Wissenschaftstheoretiker **Paul Feyerabend (1924-94)** gilt als offensivster Vertreter des letzten Jahrhunderts im Kampf gegen einen Methodenzwang, [8] "Die Idee einer Methode, die feste, unveränderliche und absolut verbindliche Grundsätze für das Betreiben von Wissenschaft enthält, stößt auf erhebliche Schwierigkeiten, wenn ihr die Ergebnisse der historischen Forschung gegenübergestellt werden. Dann zeigt sich nämlich, dass es keine einzige Regel gibt,[...]die nicht zu irgendeiner Zeit verletzt worden wäre. [...] Einer der auffälligsten Züge der neueren Diskussion[...] ist ja die Erkenntnis, dass Ereignisse und Entwicklungen [...] nur deshalb stattfanden, weil einige Denker sich entweder *entschlossen*, nicht an gewisse "selbstverständliche" methodologische Regeln gebunden zu sein, oder weil sie solche Regeln *unbewusst* verletzen."

Viele der bedeutenden wissenschaftlichen Resultate sind bekannterweise ohne die Anwendung einer bestimmten Methode entstanden. Newton, Einstein, Gauß u.a. sprechen bei ihren Entdeckungen von plötzlichen Eingaben oder Geistesblitzen.

2.6 Wissenschaftskritik

2.6.1 Wissenschaft und Gesellschaft

Jedoch geht Feyerabend in seiner Kritik sehr viel weiter und stellt den Wert von Wissenschaft als Ganzes in Frage. "Eine kritische Untersuchung der Wissenschaft muß zwei Fragen beantworten:

- Was ist die Wissenschaft- wie geht sie vor, was sind ihre Ergebnisse?
- Was ist Wissenschaft wert? Ist sie besser als die Kosmologie der Hopi, die Wissenschaft und Philosophie des Aritoteles, die Lehre von Tao? Oder ist sie ein Mythos unter vielen, entstanden unter besonderen historischen Bedingungen?" Aus[8]

Welches also ist der Wert, die die wissenschaftliche Form der Erkenntnis besitzt? Die Beantwortung dieser Frage liegt aber außerhalb jeder Wissenschaft selbst und ist ein Frage der Philosophie und Gesellschaftskritik. Stehen unser Glück und die wissenschaftliche Erkenntnis in Korrelation zueinander? Diese Frage muss jeder für sich selbst beantworten. Ist die durch logische Beweisführung gesicherte Erkenntnis wirklich mehr wert als eine in der Gefühlswelt verankerte Wahrnehmung der Welt?

Wissenschaft gilt als objektiv, objektiv gilt als "besser" als subjektiv. Dabei ist Wissenschaft ja auch subjektiv. Feyerabend beschreibt wie der Glaubensaspekt der jeder Wissenschaft innewohnenden Axiome verschleiert wird: " Man sagt nicht: in der Welt gibt es Leute, die *glauben*, dass sich die Erde um die Sonne dreht,...Man sagt: die Erde *bewegt* sich um die Sonne."

Ist die moderne wissenschaftliche Welt wirklich menschlicher als die metaphysisch orientierte Grundauffassung christlicher Lebensweise? Werden nicht auch im Namen der Wissenschaft grausame Verbrechen ausgeführt?

Neben dem "Wissenschaftsanarchisten" Feyerabend gibt es die Vertreter der **kritischen Theorie**, die in den 60er Jahren des 20.ten Jahrhunderts aus der Sicht einer marxistischen Gesellschaftsanalyse scharfe Kritik an dem herrschenden Wissenschaftsbetrieb üben.

Zwischen den Positivisten in der Nachfolge von Popper, insbesondere Albert und den Anhängern der kritischen Theorie um **Adorno** und **Habermas** entbrannte u.a. ein Streit um das Selbstverständnis und die methodischen Grundlagen der Gesellschaftswissenschaften.

Die Auseinandersetzung um die Formulierung neuer Hypothesen und die Frage nach den Themen, mit denen sich Wissenschaft beschäftigen soll, wurde und wird nicht nur in den Gesellschaftswissenschaften sehr lebhaft geführt. Der Streit von Wissenschaftlern um die "richtigen" Axiome, Hypothesen oder Theorien wird nicht nur sachlich geführt. Kommt es zu einem wie auch immer verursachten umfassenden Wandel in den Grundannahmen, so handelt es sich dann um den bereits im vorigen Kapitel besprochenen Paradigmenwechsel.

Paradigmenwechsel sind in den Gesellschaftswissenschaften häufig auch politisch motiviert.

2.6.2 Wissenschaft kontra Ideologie

Wissenschaftliche Kompetenz zu besitzen bedeutet nämlich immer auch die Möglichkeit, diese zu missbrauchen. Damit Wissenschaft Teil einer demokratischen Kultur sein kann, ist **Transparenz** im Wissenschaftsbetrieb unabdingbare Voraussetzung. Wissenschaftler müssen jederzeit belegen, welcher Art ihre Interessen an einem bestimmten Forschungsgegenstand sind und wer sie bezahlt.

Transparenz bedeutet auch Nachvollziehbarkeit und Nachprüfbarkeit des wissenschaftlichen Denkens und Handelns durch dritte. Welche Standards hierzu gelten sollen, mag umstritten sein. Dass es derartige Kriterien geben muss, ist unumstritten.

Z.B. muss klar auch zwischen Hypothese und bewiesener Behauptung unterschieden werden. Wenn man z.B. von den Gesetzen des Marktes spricht, dann muss man eben auch wissen, dass diese Gesetze auf Annahmen beruhen, diese aber nicht bewiesen werden können.

Genauso verhält es sich, wenn in der Medizin die Wirksamkeit einer Behandlungsmethode als erwiesen gilt. In der Regel basiert eine solche Aussage auf einer statistischen Erhebung und liefert daher nur den Anspruch auf eine mehr oder weniger plausible Annahme. Ob es sich um wirkliche oder nur um Scheinkorrelationen handelt, lässt sich nicht immer eindeutig sagen.

Das bedeutet nicht, dass derartige Hypothesen nicht Grundlage für Entscheidungen sein dürfen. Im Gegenteil: Grundlage jeden Wissens sind unbewiesene Annahmen, bis ins Letzte gesichertes strukturiertes Wissen, das Prognosen für die Zukunft möglich macht, wird es in den Realwissenschaften nie geben.

Die Aufgabe der Wissenschaft muss es sein, auf die Risiken des Handelns aufmerksam zu machen und diese so gering wie möglich zu halten.

Ein Physiker arbeitet nur dann seriös, wenn er seine Ergebnisse unter den Vorbehalt der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit stellt. In der Praxis erweist sich meist, welche Annahmen tauglich sind. Der Energieerhaltungssatz hat sich bisher als sehr vernünftige Annahme herausgestellt.

Neben der Transparenz zeichnet den Wissenschaftler eine fortwährende Skepsis gegenüber den Grundannahmen aus. Einen Beweis muss man nicht anzweifeln, es sei denn, man hat ihn nicht verstanden, aber die nicht bewiesenen Hypothesen müssen immer wieder der Möglichkeit einer Falsifikation Stand halten.

Dies unterscheidet den Wissenschaftler vom Ideologen: Der Wissenschaftler ist um möglichst große Sicherheit in seinen Aussagen bemüht, und ist daher mit Festlegungen eher vorsichtig. Die Aussage, "es sei aber wissenschaftlich erwiesen" hört man häufiger von Ideologen als von Wissenschaftlern. Der Ideologe räumt den Zweifel aus, der Wissenschaftler kultiviert ihn.

Literaturverzeichnis

- [1] Aristoteles: *De anima (Über die Seele)*, III 4, 429b29-430a2
- [2] W. Capelle: *Die Vorsokratiker*, Stuttgart 1968
- [3] R. Carnap: *Grundlagen der Logik und Mathematik*; Darmstadt 1973; Originalausgabe: *Foundations of Logic and Mathematics*, Cicago 1939
- [4] R. Carnap: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*; Darmstadt 1974
- [5] R. Carnap: *Die physikalische Sprache als Universalsprache der Wissenschaft*, Zs. Erkenntnis, 2, Berlin 1931/32, 432-465
- [6] J.-P. Changeux, A. Connes: *Gedankenmaterie*; Berlin Heidelberg 1992
- [7] A. Einstein: *Geometrie und Erfahrung*; in: A. Einstein: *Mein Weltbild*; Frankfurt , Berlin, Wien 1972
- [8] P. Feyerabend: *Wider den Methodenzwang*; Frankfurt a. Main 1976
- [9] D. Gillies: *Philosophical Theories of Probability*; Routledge, London (2000)
- [10] K. Gödel: *Über die Vollständigkeit der Axiome des logischen Funktionenkalküls*, Dissertation (1929), in: Monatshefte für Mathematik und Physik **36** (1930), 349–360
- [11] K. Gödel: *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia mathematica und verwandter Systeme I*, Monatshefte für Mathematik und Physik **38** (1931), 173–198
- [12] D. Hume: *Ein Traktat über die menschliche Natur. (A Treatise of Human Nature.)* Band 1, Übers. u. Hg. Theodor Lipps. Meiner, Hamburg 1989
- [13] I. Kant: *Kritik der reinen Vernunft*; Ausgabe v.B. Erdmann, Leipzig 1787
- [14] M. Kornmeier: *Wissenschaftstheorie und wissenschaftliches Arbeiten*; Heidelberg 2007

- [15] T. S. Kuhn: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*; Frankfurt aM: Suhrkamp, 1996, 2., rev. und um das Postskriptum von 1969 erg. Aufl., 13. Aufl. Vol. 2., 1967.
- [16] I. Lakatos: *Beweise und Widerlegungen*, Berlin Heidelberg 1979
- [17] I. Lakatos, A. Musgrave (Hrs.): *Kritik und Erkenntnisfortschritt*, Braunschweig 1974
- [18] G. W. Leibniz: *Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand* (Originaltitel: *Nouveaux Essais sur L'entendement humain*), 1704
- [19] G. W. Leibniz: *Monadologie* (Originaltitel: *La Monadologie*), 1714 (erschienen 1720)
- [20] J. Locke: *Essay über den menschlichen Verstand*, Hg. Udo Thiel, Akademie, Berlin 1997
- [21] J. Locke: *Versuch über den menschlichen Verstand*, 1690
- [22] H. Marcuse: *Triebstruktur und Gesellschaft*; Frankfurt a. M. 1971
- [23] H. Meschkowski: *Lust an der Erkenntnis: Moderne Mathematik*; München Zürich 1991
- [24] K. Popper: *Logik der Forschung*, Vol. 12, Hg. H. Keuth, Walter de Gruyter, 2013
- [25] K. Popper: *Objektive Erkenntnis*; Hamburg 1973
- [26] H. Reichenbach: *Experience and Prediction*; Chicago 1938
- [27] B. Russell: *Philosophie des Abendlandes*; München Wien 2000 ; Originalausgabe: *A History of Western Philosophy*; London 1945
- [28] Verein Ernst Mach (Hrsg.) *Wissenschaftliche Weltauffassung: Der Wiener Kreis*; Arthur Wolf Verlag Wien 1929
- [29] B. Willms: *Philosophie die uns angeht*; Berlin München Wien 1975