

Abbild, zunächst → Bild eines Gegenstandes. Die ältere Psychologie nahm an, daß sich der Gegenstand im Bewußtsein spiegelt, daß also das, was über die Sinne ins Bewußtsein gelangt, ein ziemlich getreues A. der Gegenstandes sei. Bereits Helmholtz hat an dieser Auffassung Kritik geübt, insofern die Qualität unserer Empfindung uns von der Eigentümlichkeit der äußeren Einwirkung, durch welche sie erzeugt ist, eine Nachricht gibt, kann sie als ein Zeichen derselben gelten, aber nicht als ein *Abbild*. . . Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Ähnlichkeit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. (s. u.) Hertz vollzog die entscheidende Wendung von der A.theorie der physikalischen Erkenntnis zu einer Bildtheorie, wobei er unter → Bild ein → Symbol verstand. Eine A.theorie vertritt der → dialektische Materialismus. Das Bewußtsein der Gegenstände ist dieser Auffassung zufolge ein A. der Materie und des dialektischen Prozesses.

L: H. v. Helmholtz, *Die Tatsachen in der Wahrnehmung*, 1878

Absolut (lat.) nennt man Bezugspunkte, -Systeme und Größen, die unabhängig von anderen und nicht willkürlich festsetzbar, sondern von der Natur ausgezeichnet sind oder zu sein scheinen. Ein a. Bezugssystem glaube man vor der Entdeckung der Einsteinschen Relativitätstheorie im → Äther gefunden zu haben. Als a. gilt der Nullpunkt der Kelvin-temperaturskala zum Unterschied vom willkürlich festgesetzten Nullpunkt z. B. der Celsiusskala. Mit a. werden ferner solche Größen bezeichnet, die nicht von einer Materialeigenschaft abhängen und die man von den entsprechenden materialabhängigen unterscheiden muß. Während die mit Hilfe des Quecksilberthermometers definierte Temperaturskala von den Eigenschaften des Quecksilbers abhängt, zeigt die mit Hilfe des Carnotschen Wirkungsgrades definierte a. Temperaturskala diese Abhängigkeit nicht. Weitere Größen, die man ausdrücklich als a. bezeichnet, sind die a. Dielektrizitätskonstante und die a. Permeabilität, die im Vakuum gelten, während die entsprechenden relativen Größen vom Material des Dielektrikums bzw. vom Material, mit dem das Magnetfeld ausgefüllt ist, abhängen. Im gleichen Sinne ist die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum eine a. Größe. Auch alle anderen universellen → Konstanten sind a. Größen, werden jedoch nicht ausdrücklich als solche bezeichnet, da es die entsprechenden relativen Größen nicht gibt oder diese nicht bekannt sind.

Bzgl. a. Raum und a. Zeit → Raum und → Zeit, bzgl. a. Genauigkeit → Genauigkeit.

Abstraktion (lat.), ein Denkart oder sein Ergebnis, der darin besteht, aus einer Erscheinung, einer Vorstellung oder einem Erlebnis das Zufällige und für eine bestimmte Erkenntnis Unwesentliche auszusondern, um das Wesentliche, das Allgemeine, den Begriff zurückzubehalten. Durch immer weitergehende A. gelangt man zu immer abstrakteren Begriffen. Die bloße A. ist jedoch kein eindringlicher Prozeß, weil sie keine Anweisung enthält, welche Merkmale ausgesondert werden sollen, nach welchen Gesichtspunkten diese Aussonderung zu erfolgen hat und auf welches Ziel sie hingelernt sein soll. Auch die physikalischen Begriffe sind nicht dadurch aus den Erscheinungen gewonnen, daß die Empfindungsinhalte ausgesondert wurden. Der Begriff der physikalischen Kraft kann nicht durch A. aus der Muskelkraft gebildet werden. Er wird vielmehr in einer neuen Ebene — innerhalb der Physik — unter den Prinzipien physikalischer → Begriffsbildung (wenn auch im Hinblick auf die Muskelkraft) neu bestimmt.

Aggregatzustand (griech.) ist zunächst der äußere Zustand, in dem die Stoffe in der Natur auftreten (fest, flüssig, amorph, gasförmig), und damit ein Einzeilungsprinzip der Stoffe nach ihrer sinnlich wahrnehmbaren Beschaffenheit. Dieser Beschaffenheit ent-

spricht jedoch eine innere Struktur. Im sogenannten idealen Festkörper befinden sich die Moleküle in größtmöglicher Ordnung und führen um ihre Gleichgewichtslage Schwingungen aus, in flüssigen und amorphen Stoffen sind die Moleküle leicht gegeneinander verschieblich und an keine feste Ordnung gebunden. Im idealen Gas bewegen sich die Moleküle völlig ungeordnet. Schon die Bezeichnungen »idealer Festkörper« und »ideales Gas« deuten darauf hin, daß es sich sowohl bei diesen als auch bei dem ganzen Einzeilungsprinzip um idealisierte Schemata handelt. Die Natur richtet sich aber keineswegs nach den von uns entworfenen Schemata. Es gibt weder einen idealen Festkörper, noch ein ideales Gas, und zwischen den oben bezeichneten A. gibt es noch Übergangsformen. Das Schema ist jedoch sehr nützlich, weil sich zahlreiche Vorgänge der Thermodynamik (z. B. Schmelzen, Erstarren, Sieden) auf Grund dieses Schemas leichter beschreiben und erklären lassen.

Analytische Methode nennt man ein Erkenntnisverfahren, bei dem versucht wird, ein Phänomen oder einen Vorgang in seine Grundelemente aufzulösen mit dem Ziele, zu einem sicheren Grunde vorzustoßen, von dem aus das Gesamtphänomen oder der Gesamtvorgang und der Zusammenhang der Grundelemente verständlich werden. Die Methode wurde zuerst von Galilei in ihrer Bedeutung erkannt und angewendet. Sie wurde von ihm als *metodo risolutivo* bezeichnet, jedoch muß diese Methode durch den *metodo compositivo*, die synthetische Methode, ergänzt werden. Galilei analysierte den Vorgang des freien Fallens der Körper. Durch scharfsinnige Überlegungen, gestützt auf Experimente, wurden aus dem Fallvorgang der Luftwiderstand und die Massen der Körper eliminiert. Das erste Ergebnis der Analyse war der ideale Massenpunkt, der im Vakuum fällt. Nun wurde mit Hilfe der compositiven Methode eine → Hypothese aufgestellt: Der Fall des Massenpunktes im luftleeren Raum stellt eine gleichförmig beschleunigte Bewegung dar. Diese Hypothese bedurfte ebenfalls einer Analyse, um zu den einfachsten Bewegungselementen zu gelangen, die sich im Experiment realisieren lassen, zu den Fallstrecken und Zeiten. »Gleichförmig beschleunigt« bedeutet, daß die Geschwindigkeit proportional der Zeit wächst. Jedoch ist Geschwindigkeit noch zu komplex und war für Galilei nicht direkt meßbar. Durch weitere Analyse der gleichförmig beschleunigten Bewegung gelangte Galilei schließlich zu dem Ansatz: Die Fallstrecken verhalten sich wie die Quadrate der Fallzeiten. Nun erfolgte das Experiment, bei dem die gedankliche Analyse nunmehr auch beim Fallvorgang selbst vollzogen wurde. Die störenden Einflüsse (Reibung usw.) wurden möglichst ausgeschaltet, und die Natur wurde so zurechtgestellt, daß sie auf die Frage, ob der Ansatz richtig ist, eine Antwort gab. Jedem Zeitwert wurde die gemessene Länge zugeordnet. Dann wurden die Zahlenpaare daraufhin geprüft, ob sie sich der Hypothese einfügen. Ist dies der Fall, so wird die Hypothese zum → Naturgesetz erhoben.

In der Philosophie ist die a. M. vor allem von Descartes ausgebildet worden. Descartes versuchte, durch eine Analyse des Denkens zu einem Prinzip von höchster Gewißheit zu gelangen.

L: M. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*, Frankfurt 1960², S. 62 f.

Ansatz → Hypothese.

Anschauung ist eine philosophische, psychologische und pädagogische Kategorie. Unter ihr versteht man sowohl einen (psychologischen) Vorgang, das Anschauen, als auch das Ergebnis, die fertig vorliegende Anschauung. Wir beschränken uns hier auf

die Bedeutung dieses Begriffes in der Physik. Anschauen ist kein bloßes Hinschauen auf die Dinge, wobei deren Qualitäten gleichsam von selbst in die Sinneorgane einfließen, sondern das Erfassen von Bedeutungen an einem den Sinnen vorgegebenen Substrat, wobei die Phänomene bereits im Hinblick auf ein begriffliches Ordnungsschema und unter ganz bestimmten Gesichtspunkten gegliedert werden. Ein physikalisches Phänomen oder Geschehen »anschauen« heißt demnach, es im Sinne einer physikalischen Ordnung aufnehmen und erfassen. »Aber in dem Maße, als die wissenschaftliche Erkenntnis fortschreitet und als sie sich ihre eigenen methodischen Werkzeuge schafft, lockert sich mehr und mehr das Band, das den Begriff unmittelbar mit der A. verbindet. Es bleibt nicht mehr an die Wirklichkeit der Dinge gebunden, sondern erhebt sich zu freier Konstruktion der Möglichkeiten... Eben dieser Zug ist es, der die Theorie von der A. trennt. Sie vollendet sich als reine Theorie erst, indem sie die Schranken der A. durchbricht. Keine Theorie, insbesondere keine exakte, keine mathematische Theorie des Naturgeschehens ist möglich, ohne daß sich das reine Denken vom Mutterboden der A. löst, ohne daß es zu Gebilden fortgeht, die prinzipiell unanschaulicher Natur sind« (Cassirer 5. u. S. 372). Beispiele: Kopernikus löst sich von der A. der Planetenbewegung und dringt zu einer »Theorie« dieser Bewegung vor. Bei der Erforschung der Fallgesetze findet eine Lösung von der bloßen A. »wirklicher« Fallvorgänge statt, und nur dadurch dringt man zur Theorie des »freien Falls« vor. In der Optik wird hinter die »A.« der Farben auf das Ordnungsschema der elektromagnetischen Wellen zurückgegangen, das eine exakte Theorie ermöglicht.

Umgekehrt war es der Physik immer wieder darum zu tun, das in der Theorie Erfafte in eine »A.« zurückzuführen, d. h. durch ein anschauliches Modell wiederzugeben. »Das Begriffe einer Naturrecheinung wird ihrer Darstellung durch ein anschauliches Modell gleichgesetzt.« (Cassirer s. u. S. 538.) In der modernen Physik mußte der Gedanke, daß sich Theorien immer durch anschauliche Modelle darstellen lassen, aufgegeben werden. Auch setzt das Begriffe (s. auch → Verstreben) nicht notwendig das Vorhandensein anschaulicher Modelle voraus. Kant hat den Begriff der »reinen A.« geprägt. Hierbei handelt es sich nicht um eine durch die sinnliche Wahrnehmung gegebene oder sinnlich vorstellbare A., sondern um »A.formen«, in denen sich die Empfindungen ordnen. Als solche Formen der reinen A. bezeichnet Kant → Raum und → Zeit. Diese reine A. liegt nach Kant der Mathematik zugrunde.

L: E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3. Oxford 1954 — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*. Berlin 1950 — I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*. 1781 — I. Kant, *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik*. 1783 — K. Reidenmeister, *Anschauung als Erkenntnisquelle*. In: Zt. f. philos. Forschung, Bd. 1, 1947 — J. Filigge, *Die Einführung der Anschauungskraft*. Heidelberg 1963.

Anthropomorphismus (griech., von anthropomorph = menschenförmig, auf menschliche Art und Weise), eine Übertragung vom menschlichen auf außermenschliche Bereiche, um diese auf menschliche Weise zu → verstehen und mit ihrer Hilfe Erscheinungen zu erklären. Ein bekannter A. ist der im Mittelalter geprägte Begriff des »horror vacui«, der meint, daß die Natur einen »Abscheu« vor dem Leeren habe. Viele physikalische Bezeichnungen weisen auf einen anthropomorphen Ursprung hin, z. B. Kraft, Widerstand, Trägheit, Arbeit usw. Die Aufgabe der Physik besteht darin, die A. auszusondern und die Begriffe neu als physikalische Maßbegriffe zu definieren. In ihrer physikalischen Fassung dürfen diese Begriffe jedoch nicht den anthropomorphen

Vorstellungen, die sich mit ihnen verbinden, widersprechen. Die Kraft z. B. muß physikalisch so erklärt werden, daß unsere anthropomorphe Kraftvorstellung bestätigt wird, daß wir also durch größere »Kraftanstrengung« einen Körper weiter werfen oder schneller bewegen können. Wenn auch die Physik die A. ausscheiden versucht, so behalten diese im außerwissenschaftlichen Denken ihren Sinn.

L: E. J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbildes*, S. 160. Berlin 1956 — E. May, *Kleiner Grundriß der Naturphilosophie*, S. 46. Meisenheim 1949

a priori (lat.), von dem Früheren her, d. h. etwas, das seinem Wesen nach früher ist als etwas anderes. Erkenntnisse a.p. sind solche, die früher sind als die Erfahrung und nicht durch die Erfahrung begründet werden, z. B. die Erkenntnisse der Mathematik. »Von den Erkenntnissen a.p. heißen aber diejenigen rein, denen gar nichts Empirisches beigemischt ist. So ist z. B. der Satz: eine jede Veränderung hat ihre Ursache, ein Satz a.p., allein nicht rein, weil Veränderung ein Begriff ist, der nur aus der Erfahrung gezogen werden kann« (Kant. Kritik der reinen Vernunft, Einleitung). A.p. sind nach Kant die reinen Anschauungsformen → Raum und → Zeit, die nicht aus den Sinnesempfindungen stammen, wohl aber ihre Ordnung ermöglichen. Ebenso sind die → Kategorien Erkenntnisse a.p.; sie werden nicht der Erfahrung entnommen, sondern sind Denkformen des Verstandes. Die allgemeine Gesetzmäßigkeit der Natur ist nach Kant ebenfalls eine Erkenntnis a.p.; das Gleiche gilt von gewissen allgemeinen Gesetzen, während besondere Gesetze, die empirisch bestimmte Gegenstände betreffen, nicht aus dem Verstande hergeleitet werden können. Wohl aber unterstehen diese Gesetze den allgemeinen a.p. Gesetzen. Erkenntnisse a.p. sind notwendig und allgemein.

Erkenntnisse a posteriori sind solche, die nur durch Erfahrung möglich sind.

Äquivalenz → Gleichheit.

Arbeit → Erhaltungssätze.

Aspekt (lat.), Ansicht, Anblick, Gesichtspunkt. Das Wort beinhaltet ein Auswahlprinzip. Ein Gegenstand hat verschiedene A., je nachdem, unter welchen Kategorien er betrachtet wird. Tonhöhe zeigt unter musikalischen Kategorien einen anderen A. als unter physikalischen. Im letzteren Falle ist sie nämlich nur die Frequenz der Schwingung. Die exakte → Naturwissenschaft ist ebenfalls nur ein A. der Natur. Es gibt weder die Möglichkeit, einen Gegenstand unter *allen* A. gleichzeitig zu betrachten und zu bestimmen, noch kann man die Natur auf diese Weise erkennen wollen.

Astronomie (griech.), die älteste Naturwissenschaft, die zum Zwecke der Deutung und Vorhersage irdischen Geschehens aus dem Lauf der Sterne und aus den Finsternissen zuerst von den Summern und Babylonern (etwa vom 3. Jts. v. Chr.) betrieben wurde. Erwa seit 700 v. Chr. besaßen die Babylonier recht genaue Tabellen über die Umläufe der Planeten, des Mondes und über das Eintreten von Sonnen- und Mondfinsternissen. Von dem hellenischen Mathematiker Ptolemäos (um 150 n. Chr.) wurde das erste wissenschaftliche astronomische Weltbild entwickelt. Die A. der Neuzeit beginnt mit Kopernikus, Galilei und Kepler. Das Kopernikanische heliozentrische Weltbild mit der Sonne im Mittelpunkt der Welt löste das geozentrische des Ptolemäos ab, für den die Erde das ruhende Zentrum der Welt war. Die A. wurde zunächst als reine Bewegungslehre betrieben. Im 19. Jh. wandte sich das Interesse auch dem physikalischen und chemischen Aufbau des Universums zu, und es entstand als neue Wissenschaft die Astrophysik.

Die Quantentheorie und die Relativitätstheorie vermittelten neue Einsichten in die Struktur des Weltalls. Andererseits liefern uns Phänomene im Kosmos Aufschlüsse über die Struktur der Materie und ihre Gesetze (Entdeckung neuer Elementarteilchen).

L.: F. Hoyle, *Das grenzenlose All*. Köln 1957 — Litrow-Stumpf, *Die Wunder des Himmels*. Bonn 1968¹¹

Astrophysik → Astronomie.

Äther (griech.), das himmlische Element, wurde als reinstes und feinstes aller Elemente zugleich als Gegensatz zu den irdischen Elementen, Wasser, Erde, Feuer, Luft, erdacht. Er durchdringt alle anderen Elemente. Der Ä. taucht bereits in den Kosmogonien der Vorsokratiker auf. In den Fragmenten des Empedokles von Agrigent heißt es: Der Ä. taucht mit langen Wurzeln in die Erde hinab. Nach Aristoteles führt der Ä. als einziger die vollkommenste Bewegung, die Kreisbewegung, aus. In ihm bewegen sich die Gestirne, aus dem sie auch entstanden sind. Damit nimmt der Ä. die Form eines absoluten Bezugssystems an. Der griech. Entwurf des Ä. wurde von der abendländischen Naturwissenschaft übernommen. Descartes übernahm ihn einmal deshalb, weil ihm ein leerer Raum undenkbar erschien, zum anderen, um die Übertragung von Licht zu erklären. (Licht war seiner Meinung nach ein Druck, der durch den Ä. von der Lichtquelle auf das Auge übertragen wurde.) Huygens und später Fresnel setzten einen realen Lichtä. voraus, um die Übertragung von Lichtenergie zu erklären. Der Ä. war der mechanische Träger der Lichtwellen. Auch Newton stellte sich den Ä. als Zwischenmedium zwischen den Massen vor und gab seine Dichte mit ein Siebenhunderttausendstel der Luftdichte an. Mit Hilfe der Ä. hypothese versuchte Newton, eine Erklärung der Erdanziehung zu geben. Das mechanische Ä.modell mußte jedoch in der neueren Physik aufgegeben werden. Es hatte schon vorher Schwierigkeiten gemacht, nachdem sich herausgestellt hatte, daß das Licht aus Transversalwellen bestand. Transversalwellen sind jedoch nur in unelastischen (festen) Körpern möglich. Durch den Versuch von Michelson (1887) stellte es sich heraus, daß es einen absolut ruhenden Lichtä. nicht geben könne. Man nahm zunächst an, daß der Ä. von der Erde mitgeführt werde, jedoch wurde durch einen Versuch von Lodge (1893) gezeigt, daß dies nicht der Fall sein könne. Der mechanistische Ä. ist für die heutige Physik nichts weiter als ein Bezugssystem, in dem die Newtonschen Grundgesetze der Mechanik erfüllt sind. Er wurde durch den → Feldbegriff ersetzt.

Atom (griech.), »das Unteilbare«, als naturphilosophischer Entwurf zuerst von Leukipp und Demokrit entwickelt. Für diese Denker stellen die A., die sich durch ihre Form und Anordnung voneinander unterscheiden, das wahre Seiende gegenüber den sinnlich wahrnehmbaren Qualitäten dar. Zwischen den A. liegt der leere Raum. Diese Ansicht steht im Gegensatz zu der anderer griech. Naturphilosophen (z. B. Anaxagoras), die annahmen, daß die Materie kontinuierlich im Raume verteilt und ein leerer Raum unmöglich sei. Im Verlaufe der Geschichte des naturwissenschaftlichen Denkens sind diese Gegensätze immer wieder aufgetreten. So waren die Philosophen Descartes und Leibniz Gegner der A.theorie, weil sie die Möglichkeit eines leeren Raumes leugneten, während Newton die atomistische Ansicht in seiner Gastheorie und in seiner Korpuskulartheorie des Lichtes vertrat.

Dalton führte den A.begriff in der Chemie als exakten Maßbegriff ein. Hier bedeutete er, daß die Materie aus kleinsten, nicht weiter teilbaren Bausteinen, den A., aufgebaut

sei und sich die Elemente lediglich durch ihr A.gewicht unterscheiden. Mit Hilfe dieser Hypothese gelang es, zu erklären, warum 1. bei chemischen Prozessen die Gesamtmasse konstant bleibt, 2. die Elemente sich nach bestimmten Gewichtsverhältnissen verbinden, 3. wenn Elemente verschiedene Verbindungen miteinander eingehen, warum die Gewichtsmengen des einen Elementes, die sich mit einer bestimmten Gewichtsmenge des anderen verbinden, zueinander im Verhältnis ganzer Zahlen stehen. Man nahm an, daß die A. der chemischen Elemente kugelförmige Gebilde seien, die mechanischen Gesetzen gehorchen. Die A. treten zu Molekülen zusammen, die den kleinsten Teil der chemischen Verbindung bilden. Diese Hypothese fand außerhalb der Chemie auch in der Physik, und zwar in der kinetischen Gastheorie von Clausius ihre Bestätigung; denn mit ihrer Hilfe gelang es, die Gesetze der Wärmelehre zu erklären.

Im Verlaufe der weiteren Entwicklung der Naturwissenschaft mußte die Annahme des unteilbaren A., das lediglich mechanische Eigenschaften besaß, aufgegeben werden. An ihre Stelle traten kompliziertere A.modelle (→ Modell). Thomson entwickelte ein solches, bei dem das A. als kleine, positiv geladene Kugel mit bestimmter Masse betrachtet wird; jedoch sind in diesen »Kern« noch negativ geladene Teilchen, die »Elektronen«, eingebettet und durch elektrostatische Kräfte an jenen gebunden. Auf Grund neuer experimenteller Ergebnisse mußte dieses Modell aufgegeben werden. Von Rutherford wurde ein Modell entworfen, bei dem die Elektronen den Kern auf bestimmten Bahnen umkreisen. Es wurde nunmehr unterschieden zwischen A.hülle und A.kern. Da dieses Modell verschiedene Phänomene nicht erklären konnte, z. B. die Stabilität der A., beschrieb Niels Bohr ein Modell, bei dem die Elektronen auf stationären Bahnen den Kern umkreisen, zwischen denen es keine stetigen Übergänge gibt. Weitere wichtige Wandlungen und Verbesserungen erfuhr das Modell durch Heisenberg, Schrödinger, Born, Jordan, Pauli, Dirac u. a. Der A.begriff wurde immer unanschaulicher; es gelang nicht mehr, das A. durch ein einfaches Modell darzustellen. Heisenberg erklärte alle Bilder für unzureichend und verstand die A. als »Formen« bzw. Strukturen, die nur noch in der Sprache der Mathematik beschrieben, aber nicht mehr im anschaulichen Modell dargestellt werden können.

In diesem Zusammenhang erhob sich die Frage nach der »Realität« der A. Manche Physiker hielten das A. lediglich für einen zweckmäßigen Hilfsbegriff, der der Beschreibung physikalischer Phänomene diene, dem aber keine Realität zukomme. Andere hielten an der Realität der A. fest. Man hat darauf hingewiesen, daß die Realität des A. die Realität einer Struktur innerhalb einer physikalischen Theorie sei. Mehr als diese Struktur vermittele die Physik nicht zu beschreiben. Sie tut es in der Sprache der Mathematik. Wieweit damit die Struktur des Seienden bereits beschrieben ist, ist eine Frage, die noch nicht beantwortet werden kann; denn wir wissen nicht, wieweit die Forschung in dieses Seiende eingedrungen ist.

L.: B. Baynik, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1954¹⁰ — N. Bohr, *Atomphysik und menschliche Erkenntnis*. Braunschweig 1964² — M. Born, *Über den Sinn der physikalischen Theorien*. In: M. B., *Physik im Wandel meiner Zeit*. Braunschweig 1964⁴ — W. Braunschweig, *Grundbegriffe der Kernphysik*. München 1963 — E. Cassirer, *Zur modernen Physik*. Darmstadt 1964 — W. Heitler, *Der Mensch und die naturwissenschaftliche Erkenntnis*. 1966⁴ — E. Hüniger, *Von Demokrit bis Heisenberg*. Braunschweig 1964⁴ — K. Labwitz, *Geschichte der Atomistik vom Mittelalter bis Newton*. 1890 — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*. Braun-

schwieg 1964⁴ — C. F. von Weizsäcker: *Zum Weltbild der Physik*. Stuttgart 1963¹⁰ — E. Zimmer, *Umsurz im Weltbild der Physik*. München 1961¹²

Außenwelt, im Gegensatz zur inneren Welt des Menschen, der Welt seiner Gefühle und Erlebnisse, diejenige Welt, die ihm als vanderer Welt, als Welt der Gegenstände und des Geschehens an diesen Gegenständen »gegenübertritt«. Diese Welt wird, durch unsere Sinne vermittelt, wahrgenommen, erlebt, gedeutet, andererseits aber auch wissenschaftlich bearbeitet und erforscht. Locke (1632—1704) nahm an, daß die Sinnesempfindungen durch die Gegenstände der A. verursacht werden und daß diese jenen bis zu einem gewissen Grade gleichen (→ Abbild). Die Philosophie der Aufklärung stellt zwei Probleme in den Mittelpunkt ihrer erkenntnistheoretischen Überlegungen: 1. das Problem der Realität der A., 2. das Problem der Erkennbarkeit der A. Berkeley lehrt, daß eine vom Wahrnehmen und Denken unabhängige A. nicht existiere, sondern daß das, was wir für die A. halten, nichts anderes sei als Komplexe von Ideen, die Gott den Menschen mitteilt. Hume leugnete zwar die Existenz der A. nicht, wohl aber ihre Erkennbarkeit. Nach ihm haben wir nur von den Impressionen (Sinnesindrücken) und ihren Verbindungen eine Erkenntnis, nicht aber von der A. und ihrem Zusammenhang.

Die entscheidende Wendung des Themas nahm Kant vor, indem er den Begriff der Erfahrung untersuchte und neu formulierte. Der Erkenntnisgegenstand hat nach Kant zwei Wurzeln: die Sinnlichkeit und den Verstand. Der Verstand bearbeitet den rohen Stoff, der uns durch die Sinne gegeben wird, mit Hilfe der Kategorien, ordnet ihn und hebt ihn zur Gegenständlichkeit. Nach einem → Ding-an-sich (also nach einem Gegenstand, der nicht durch den Verstand geformt ist) zu fragen und zu forschen, wird als eine der Vernunft widerstrebende Aufgabe angesehen. Der → Realismus behauptet die Existenz einer vom Subjekt unabhängigen A. (die Kant nicht bestreitet), wobei der sog. naive Realismus — im Gegensatz zu Kant — die Ansicht vertritt, daß diese A. so ist, wie sie mit den Sinnen wahrgenommen wird (→ Abbild), während der kritische Realismus die Frage, wieweit eine Erkenntnis der A. möglich ist, als ein ernsthaft zu prüfendes, philosophisches Problem ansieht und der Meinung ist, daß die wissenschaftliche und philosophische Forschung bis zu einem gewissen Grade zur Erkenntnis der A. führt. Eine Anzahl von Philosophen glaubt dabei, daß an der A. nur die formalen Züge, nicht aber die qualitativen Inhalte erkennbar seien. In der neueren Psychologie ist auf die große Schwierigkeit hingewiesen worden, A. und Innenwelt immer scharf zu trennen. (Eim geträumter Baum, so sagt man, unterscheide sich nicht allzusehr von einem wirklichen.)

Wir müssen unterscheiden zwischen der A., die sich uns, durch unsere Sinnesempfindungen vermittelt, darbietet, und der A. in der Form, wie sie von den Wissenschaften erstellt wird, als die Mannigfaltigkeit der Gegenstände unserer wissenschaftlichen Aussagen (Erkenntnisse). Zu diesen Wissenschaften gehört vor allem die Naturwissenschaft. Es handelt sich in beiden Fällen zwar um das gleiche Substrat, das wir meinen, wenn wir von A. sprechen, jedoch werden dabei jeweils verschiedene → Aspekte dieses Substrats hervorgehoben. Der Physiker muß sowohl die Existenz als auch die physikalische Erkennbarkeit der A. zum mindesten als Arbeitshypothese zugrunde legen, gleichgültig, auf welchem philosophischen Standpunkt er steht. Er muß, selbst wenn er die Existenz der A. leugnet, wissenschaftlich so arbeiten, als ob sie vorhanden wäre.

In der modernen Physik ist das Problem, ob eine scharfe Trennung von Innen- und A. möglich ist, dadurch wieder aufgegriffen, daß der Beobachter das beobachtete Ele-

mentarteilchen stört und damit die A. bereits durch die Beobachtung verändert wird (→ Atom). Demgegenüber ist darauf hingewiesen worden, daß die Störung nicht durch den Beobachter als menschliches Individuum herbeigeführt werde, sondern durch den Apparat. Es liege damit also immer noch eine scharfe Trennung von Beobachter und Objekt, von Innen- und Außenwelt vor.

L.: M. Hartmann, *Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1959² — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*. Berlin 1950 — H. A. Lindemann, *Die Erkenntnis der Außenwelt und das physiko-physische Problem*. In: Zt. f. philos. Forschung, Bd. 3, 1949 — B. Russell, *Physik und Erfahrung*. In: Zt. f. philos. Forschung, Bd. 1, 1947

Axiome (griech.), Grundsätze, die an der Spitze einer Theorie oder Wissenschaft stehen und i. a. nicht beweisbar sind. Die Gesamtheit der einer Theorie zugrunde gelegten A. nennt man ein A.system. Als erster stellte Euklid ein A.system für die Geometrie auf. Die Forderungen, die an die A. eines solchen Systems gestellt werden, sind Widerspruchsfreiheit, Unabhängigkeit und Vollständigkeit. Die Unabhängigkeit fordert man dann nicht, wenn sich diese nur durch sehr komplizierte A. erfüllen läßt. Auch die Vollständigkeit ist nicht immer zu erreichen. In der modernen Axiomatik sind A. Aussagenformen zwischen Subjekts- und Prädikatenvariablen, die in einer logischen Symbolsprache dargestellt werden. Diese Variablen sind die sog. Grundbegriffe, die aber erst gedeutet werden müssen, z. B. als Punkte, Geraden, reelle Zahlen usw. Erst nach der Deutung läßt sich sagen, ob die A. richtig oder falsch sind. Gedeutete A. sind zumeist auch implizite → Definitionen der Grundbegriffe.

Der Gedanke eines axiomatischen Aufbaus der Naturwissenschaft stammt ebenfalls von Euklid. Er versuchte, ihn in seiner → Optik durchzuführen. Der Entwurf Euklids war bereits von Aristoteles in seinen *Analytica posteriora* entwickelt worden, in denen die Grundlagen jeder beweisenden Wissenschaft dargelegt werden. Der Gedanke eines axiomatischen Aufbaus war für die abendländische Naturwissenschaft von großer Bedeutung. Galilei stellt seinen Untersuchungen über die Bewegung eine → Definition und vier A. voran. (So lautet das 1. A.: Die bei ein und derselben Bewegung in längerer Zeit zurückgelegte Strecke ist größer als die in kürzerer Zeit vollendete.) Die erste Axiomatistierung der Mechanik vollzog Newton, der seinem System → Definitionen und A. voranstellte. Als Beispiel sei das 2. A. genannt: Die Änderung der Bewegungsgröße ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und erfolgt in der Richtung derjenigen geraden Linie, in der die Kraft wirkt. Jedoch handelt es sich bei dem Newtonschen A.system um kein einem mathematischen äquivalentes, wenn es auch nach dem Muster der Mathematik aufgebaut ist. A. sind hier vielmehr grundlegend, einschichtige Sätze, die als Ausgangsbasis dienen. Die Herleitung der ganzen Mechanik aus ihnen ist nicht möglich.

Es wird versucht, jedes Gebiet der theoretischen Physik zu axiomatisieren, d. h. es werden auf Grund von mannigfachen Erkenntnissen und Erfahrungen diejenigen grundlegenden (und natürlich miteinander nicht im Widerspruch stehenden) Sätze naturtätlich ausgewählt, aus denen sich das Gebiet deduzieren läßt. Die A. und die Folgerungen aus ihnen müssen sich in der Erfahrung bewähren.

L.: *Grundzüge der Mathematik*, hg. v. Banke, Süß, Fladt, Bd. I, S. 22 ff. Göttingen 1958 — *Handbuch der Schulmathematik*, hg. v. Wolff, S. 75 ff. Hannover o. J. — E. J. Dijkstra, *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Berlin 1956

Begrifflichkeit der Natur, der zuerst von den Griechen gefaßte Entwurf, daß die Naturerscheinungen in logischer Weise dargestellt und begriffen werden können. Für die Summer und Babylonier waren die Naturerscheinungen ein unbegriffliches Geschehen, das von übernatürlichen, dämonischen Gewalten gelenkt wurde. Die Gelehrten dieser Völker hatten zwar gewisse Regelmäßigkeiten in der Natur festgestellt, wie z. B. den Umlauf der Gestirne und das Eintreten von Sonnen- und Mondfinsternissen, jedoch mußten sie auf der anderen Seite erkennen, daß bei den Planetenbewegungen und Finsternissen große Unregelmäßigkeiten auftraten, die sich menschlicher Voraussicht entzogen. Noch chaotischer erschien diesen Völkern das irdische Geschehen. Das galt vor allem für die Witterungsercheinungen, von denen ja das Leben der Menschen weitgehend abhängig war. Es herrschte der Glaube, daß der Mensch der Willkür der übernatürlichen Kräfte preisgegeben sei und höchstens versuchen könne, diese zu besänftigen oder versöhnlich zu stimmen.

Diesen Vorstellungen gegenüber entwickelten die Griechen den Gedanken, daß die Welt eine innere Ordnung besitzt, die der Mensch durch sein Denken erkennen kann. Die Griechen entwarfen Ordnungsschemata wie z. B. Anaxagoras die Urmischung, Demokrit die Atome, Empedokles die Elemente usw. Leitend war dabei der Gedanke, daß die Welt hinter ihrer veränderlichen Erscheinungsfülle Konstanzen aufweisen müsse, die den Konstanzen des logischen Denkens (Begriff, Idee, feste Bedingungsverhältnisse) adäquat sind und daher vom logischen Denken erfaßt und begriffen werden können. Die Konstanzen waren entweder Seinskonstanzen (z. B. Atome, Elemente) oder Relationskonstanzen (z. B. die Zahlenverhältnisse in der Harmonielehre der Pythagoreer). Begreifen von Phänomenen heißt demnach, sie auf solche Konstanzen zurückzuführen bzw. sie aus diesen herzuleiten.

Dieser griech. Gedanke des Begreifens wird auch von Helmholz herausgestellt. Begreifen eines Phänomens heißt nach ihm 1. das gleichbleibende Substrat (\rightarrow Substanz), 2. die gleichbleibende Gesetzmäßigkeit finden, nach der das Phänomen eintritt. Dazu gehören auch die übergeordneten Prinzipien, die den systematischen Zusammenhang der Naturgesetze herstellen. Man hat die Bewegung des Planeten Mars begriffen, wenn man weiß, was ein Planet ist, und wenn man seine Umlaufgesetze kennt. In höherem Maße hat man diese Bewegung begriffen, wenn man sie aus dem Newtonschen Massenanziehungsgesetz ableiten kann. Ein weiteres Zurückfragen, etwa nach dem Grunde der Schwerkraft, ist nach Newton sinnlos. Die höchste Form des Begreifens ist das Einordnen eines Vorgangs in eine umfassende Theorie.

Von Mach ist das Problem des Begreifens einer positivistischen Kritik unterzogen worden. Begreifen ist nach ihm lediglich das Zurückgehen auf einfache \rightarrow Tatsachen, das »Konstanzen dieser Tatsachen und ihrer Zusammenhänge«. Immer habe Begreifen bei Tatsachen ihr Ende. Begreifen ist jedoch nicht nur eine logische, sondern eine psychologische Kategorie. Auch hierzu hat sich Mach geäußert und darauf hingewiesen, daß man einen Sachverhalt dann begriffen zu haben glaubt, wenn man fremdartige Wahrnehmungs- und Vorstellungsbilder durch geläufige und vertraute ersetzt. Daraus erklärt sich der Versuch, die Physik auf mechanische Vorgänge zurückzuführen, da uns diese geläufiger sind als etwa elektrodynamische (\rightarrow Verstehen).

L.: E. Mach, *Beschreibung und Erklärung*. In: Naturwissenschaftl. Rundschau, 21. Jg., Nr. 38 — E. Schrödinger, *Die Natur und die Griechen*. rowohlts deutsche enzyklopädie. Bd. 28

Begriff ist das Ziel des logischen Denkens, durch das ein Gegenstand aus dem Fluß der Erscheinungen herausgehoben und das vom Gegenstand »Gemeint« erfaßt wird. Unter dem »Gemeint« ist nicht das subjektiv Gemeint zu verstehen; der B. soll — nach Sokrates — dasjenige zum Ausdruck bringen, was subjekt-unabhängig, allgemeingültig ist und von jedem anerkannt werden muß. Der B. eines Gegenstandes ist nicht die Summe seiner Merkmale. Er soll das Gemeinsame der unter ihm fallenden Gegenstände als auch die Abgrenzung gegen andere Begriffe enthalten. In Platons Theätet sagt Sokrates: »Wer mit richtiger Meinung zu dem Gemeinsamen hinsichtlich eines Gegenstandes noch den Unterschied zu anderen Gegenständen hinzunimmt, der wird einen B. von dem Gegenstand haben.« Für Aristoteles schließt der B. die Erkenntnis des Allgemeinen und zugleich die Einsicht in die \rightarrow Ursachen ein. B. bedeutet demnach das Ergebnis einer Herleitung des Besonderen aus dem Allgemeinen, d. h. zugleich aus den Ursachen, wobei Aristoteles deren vier unterscheidet. Den B. der Bewegung hat derjenige, der ihre Ursachen kennt und sie aus diesen abzuleiten versteht. Diese Definitionen gelten für Allgemeinb. (Ring, Baum usw.) nicht für Individualb. (dieser ganz bestimmte Ring). Die Naturwissenschaft hat es nur mit Allgemeinb. zu tun, und nur diese wollen wir im folgenden behandeln.

Für Kant ist der B. das Ergebnis eines Denkaktes, ein Produkt des Verstandes. »B. gründet sich auf der Spontanität des Denkens« (Kr. d. r. V.). Der B. ist kein Abbild des Gegenstandes, sondern beruht auf einem aktiven Vermögen des Verstandes. Der B. wird nicht dadurch gebildet, daß man aus verschiedenen Gegenständen, z. B. Metallen, die gemeinsamen Merkmale herauszulesen versucht und diese additiv zu einem B. zusammensetzt. Der B. »gibt den Gesichtspunkt an, unter dem eine Mannigfaltigkeit von Inhalten, mögen sie nun der Wahrnehmung, der Anschauung oder dem reinen Denken angehören, gefaßt und vermöge dessen sie zusammengesetzt werden« (Cassirer).

In der modernen Logik hat man den B. in der »Satzfunktion« verankert. Der B. »Satzfunktion« stammt von Russell. Eine Satzfunktion $\varphi(x)$ ist z. B. eine Kurvengleichung. Sie faßt die einzelnen Punkte der Kurve zu einer Einheit zusammen. »Denken wir den B. nicht durch Aufzählung dessen, was unter ihm fällt, sondern rein intensional durch Angabe einer bestimmten Satzfunktion definiert, so enthält diese Satzfunktion $\varphi(x)$ zwei Momente in sich, die offenbar nicht gleichartig sind. Die allgemeine Form der Funktion, wie sie durch den Buchstaben φ bezeichnet wird, hebt sich scharf ab von den Werten der Variablen x , die in diese Funktion als »wahre« Werte eingehen können. Die Funktion bestimmt den Zusammenhang dieser Werte, aber sie ist nicht selbst einer von ihnen« (Cassirer, Philosophie der symbolischen Formen, Bd. III, S. 352). Der B. »Elementarreliehen« faßt die verschiedenen Elementarreliehen unter sich; er ist keins von ihnen, sondern ist der Gesichtspunkt, auf Grund dessen sich alle Elementarreliehen als solche ausweisen.

Der B. ist somit ein Relationsgefüge. Aber dieses ist nicht bloße Darstellung von Beschaffenheiten (z. B. der Elementarreliehen); das Relationsgefüge hat keine bloße Darstellungsfunktion, sondern Bedeutungsfunktion (Cassirer). Der B. der elektromagnetischen Welle wird durch die Maxwell'schen Gleichungen nicht nur dargestellt. Es würde sich eine solche Darstellung in nichts von der Darstellung rein mathematischer und physikalisch bedeutungsloser Funktionen unterscheiden. Das Relationsgefüge der Gleichungen gewinnt seinen physikalischen Sinn erst dadurch, daß sie im Rahmen einer

physikalischen Theorie etwas »bedeuten«. Um zum B. eines physikalischen Gegenstandes zu gelangen, genügt nicht der Besitz einer Formel (z. B. »Kraft gleich Masse mal Beschleunigung«). Man muß ihre Herkunft, ihre Einordnung, ihre Bedeutung innerhalb der Theorie kennen, man muß wissen, in welcher Weise sich Induktion, Deduktion, Experiment und Rechnung in ihr verschmelzen. Denn auch diese sind Momente der physikalischen B. bildung. In den B. gehen auch vorphysikalische Vorstellungen ein. Um den B. des Elementarteilchens zu bilden, kann man nicht nur auf axiomatische Voraussetzungen der Physik zurückgehen und den B. mit ihrer Hilfe bilden wollen; man muß z. B. eine Vorstellung davon haben, was elementar und was ein Teilchen sein soll; man macht dabei also die Voraussetzung, daß man die Materie in Teilchen und nicht etwa nur in ineinander verfließende Qualitäten gliedern kann. Es werden die außerphysikalischen Voraussetzungen des B. nicht einfach weitergebildet, sondern durch die Kategorien und Prinzipien der Physik in eine andere Ebene gehoben. Aus der nativen Vorstellung sehr kleiner Körnchen läßt sich der B. des Elementarteilchens nicht entwickeln. »Die B. bildung der Physik und Chemie erweist sich daher ebenso als echt-*genetischer* B. bildung, wie dies innerhalb der reinen Mathematik gal. Aber die Genesis, auf die hier ausgegangen wird, ist . . . hypothetischer Art . . . Wir begnügen uns damit, der *gegebenen* Mannigfaltigkeit ein ordnendes Prinzip zu unterbreiten, um damit Schritt für Schritt die bloß empirische Vielheit in eine rationale umzugestalten. Dieses Prinzip selber ist uns niemals schlechthin gegeben, wohl aber ist es beständig aufgegeben — und in der immer vollkommeneren Lösung dieser Aufgabe besteht eine der wesentlichen Leistungen aller Naturtheorie.« (Cassirer a. a. O. S. 519f.) »Und so bleibt auch in der entwickelten Erkenntnis jeder neu gewonnene B. ein Versuch, ein Ansatz, ein Problem: sein Wert besteht nicht sowohl darin, daß er bestimmte Gegenstände »abbildet«, als vielmehr darin, daß er eine neue logische Perspektive eröffnet und kraft ihrer der Erkenntnis einen neuen Durchblick und Überblick über das Ganze eines bestimmten Fragekomplexes verstrahlt . . . Er fixiert nicht nur schon Bekanntes und stellt seine allgemeinen Umrisse fest, sondern er hält beständig Ausschau nach neuen unbekanntem Verknüpfungen.« (Cassirer a. a. O. S. 357f.) Nur so ist es verständlich, daß viele B. der Physik, z. B. Masse, Feld, Energie usw. sich als inhaltsreicher erweisen, als sie ursprünglich erkannt waren, was nicht möglich wäre, wenn sie auf definitorischen Festsetzungen beruhen und ihr Inhalt sich in schon Bekanntem erschöpfte.

L.: E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3, Oxford 1954 — H. Dingler, *Die Methode der Physik*, München 1938 — Th. Häring, *Das Problem der naturwissenschaftlichen und geisteswissenschaftlichen Begriffsbildung und die Erkenntnistheorie der Gegenstände*, In: Zt. f. phil. Forschung, Bd. 2, 1948, H. 4 — H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*, 2 Bde. Freiburg 1954/1961 — J. Senzcl, *Sinn, Bedeutung, Begriff, Definition*, Darmstadt 1958 — L. von Strauß und Torrey, *Der Wandel in der physikalischen Begriffsbildung*, Braunschweig 1949 — A. Wittenberg, *Vom Denken in Begriffen*, Basel und Stuttgart 1957 — P. Berger, *Philosophische Vertiefung des Physikunterrichts*, Braunschweig 1967

Beharrung → Substanz.

Beobachtung eines Naturvorganges ist das Aufnehmen eines Wahrnehmungszusammenhanges unter bestimmten Auswahlprinzipien. Sie ist kein passives Hinnehmen, sondern im höchsten Maße aktiv. Wer einen physikalischen Vorgang, z. B. eine Pendelschwingung, physikalisch beobachten will, muß wissen, »was« er beobachten soll, also

nicht die Farbe des Pendelkörpers oder die Lichtreflexe, nicht das Gestell, an dem das Pendel befestigt ist, und nicht dessen zufällige Aufstellung auf dem Experimentiertisch.

Diese scheinbar selbstverständlichen Hinweise bei einem der einfachsten methodischen Hilfsmittel, um Naturvorgänge zu erfassen, bergen bereits ein äußerst schwieriges Problem. B. setzt Auswahlprinzipien voraus, die dem Beobachter bekannt sein müssen. Diese Auswahlprinzipien sind aber für einen physikalischen Vorgang keineswegs konstant. So kann es sich bei der Pendelschwingung einmal darum handeln, die Schwingung selbst zahlenmäßig zu erfassen; es kann beim anderen Male darum gehen, der Reibung in der Aufhängevorrichtung ein besonderes Augenmerk zuzuwenden oder wie beim Foucaultschen Pendel die Schwingungsebene zu beobachten. Damit steht *vor* der B. bereits eine *logische* Aufgabe: die → Abstraktion von gewissen Sachverhalten, die nicht zu dieser speziellen B. gehören. Die B. setzt ferner bereits ein bestimmtes Ordnungsschema voraus, in das die B. eingegliedert werden soll, um als physikalische B. sinnvoll zu sein. Im Falle der Pendelschwingung wäre das Ordnungsschema ein raum-zeitliches Bezugssystem, in dem die Pendelschwingungen unter Absehen von allen Nebenumständen beschrieben werden sollen. Das Ergebnis dieser B. wäre, daß das Pendel periodisch schwingt, d. h. daß es sich nach einer bestimmten Zeit an derselben Stelle des Raumes befindet. Ohne das logische Vermögen des Menschen bliebe die Natur ein undurchschaubares Chaos wechselnder Erscheinungen, die er nicht zu ordnen verstünde.

Es erhebt sich die Frage, wieweit diese Ordnungsschemata, die der Mensch ansetzt, ein Fundamentum in *res* haben, d. h. ob die Ordnung des Verstandes auch die Ordnung der Natur selbst ist, ob also unsere B. der Natur nicht nur das zeigt, was der Verstand aus der Natur gemacht hat, sondern ob in der B. die Natur sich selbst zeigt.

Beschreibende Naturwissenschaften hat man, in Gegenüberstellung zur exakten Naturwissenschaft, Wissenschaften wie z. B. die Anatomie, die systematische Botanik und Zoologie, die Geologie und Mineralogie genannt. Doch ist diese Gegenüberstellung und Einteilung nicht haltbar: denn jede Beschreibung setzt auch bei diesen Wissenschaften ein Ordnungsgefüge und Kategorien voraus, unter denen beschrieben wird. Die Aufgabe dieser Wissenschaften ist keineswegs die bloße Beschreibung sondern ebenfalls das Aufdecken von gesetzmäßigen Zusammenhängen. Die b. N. können daher gegenüber den exakten Naturwissenschaften keineswegs als »unexakt« oder Wissenschaften niederen Ranges gelten.

Man kann aber die »b. N.« auch als diejenige Wissenschaft auffassen, die die »Phänomene«, die Erscheinungen, wirklich beschreibt, also die Farben, Töne, Kräfte, Wärmeerscheinungen usw. Das tut die Physik i. a. nicht; denn sie hat es mit den Maßgrößen und ihren Zusammenhängen zu tun, also mit Frequenzen, Wellenlängen, physikalischen Kräften. Aus diesen Maßgrößen sind die Sinnesqualitäten weitgehend verschwunden (→ Qualität).

Beschreibung eines Naturvorganges oder Experimentes ist eine Darstellung ohne kausale Begründung. Diese Darstellung kann in Worten, aber auch in mathematischer Form erfolgen. Für die B. gilt freilich dasselbe wie für die → Beobachtung. Es gibt keine B., die kein klar umrissenes Ordnungsschema voraussetzt. Selbst die B. eines Einzelvorganges, z. B. das Herabrollen einer Kugel auf einer schiefen Ebene, ist bereits durch diese B. klassifiziert; denn in Wirklichkeit soll beschrieben werden: das Herabrollen

jeder beliebigen Kugel auf jeder beliebigen schiefen Ebene. Es geht damit also nicht um den Einzelfall, sondern um das Allgemeine dieses Einzelfalles, wobei ganz bestimmte Auswahlprinzipien angesetzt werden.

Die genaue B. eines Naturvorganges oder Experiments ohne spekulative Zusätze und Vermutungen ist eine wichtige Aufgabe der Physik. Der Physiker G. R. Kirchhoff erklärte die »vollständige und einfachere B.« für die alleinige Aufgabe der Physik. Für ihn sollte es sich nur darum handeln, »anzugeben«, welches die Erscheinungen sind, die stattdessen, nicht aber darum, ihre Ursachen zu ermitteln«. Später hat E. Mach als das Ziel der Physik »die Konstatierung der Tatsachen und ihres Zusammenhanges« bezeichnet. Naturgesetze sind nach Mach zusammenfassende B., deren Prinzip die Ökonomie unseres Denkens« ist. Dieser → Positivismus hat auf die Naturforschung eine große Wirkung ausgeübt, und er hat heute unter den Naturforschern zahlreiche Anhänger.

Die B. erfolgt mit Hilfe physikalischer Symbole und mit den Mitteln der Mathematik. Aber auch bloße B. stehen bereits unter dem Prinzip der → Kausalität. In die mathematische B. geht die → Ursache zwar nicht als wirkendes Ding, wohl aber als bewirkende Gesetzlichkeit ein (→ Naturgesetz).

L: E. Mach, *Beschreibung und Erklärung*. In: Naturwiss. Rundschau 21. Jg., Nr. 38

Bewegung, zunächst einfach Veränderung, nach Dingler ein Elementarerlebnis des Menschen, das dabei noch nicht in seine Elemente zerlegt wird. Mit der B. hat sich bereits die griech. Naturphilosophie beschäftigt. Bei Anaxagoras ist B. sowohl das Entstehen und Vergehen der Qualitäten (Elemente) aus der Umischung als auch der Umschwenk der Gestirne. Als oberste Ursache der B. nennt er den Geist. Die Elakten haben dem B. begriff scharfsinnige Betrachtungen gewidmet. Zenon faßt die B. als Ortsveränderung und kommt zu dem Schluß, daß diese logisch nicht faßbar sei. Er behauptet: Der fliegende Pfeil steht. Er ist nämlich in jedem Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Da er nun dort im Augenblick ruht, kann er sich nie bewegen, weil die Addition von Ruhe an jedem Ort niemals eine Ortsveränderung ergeben kann. Der tiefere Grund für diese Paradoxie ist, daß es nicht gelingen konnte, aus isolierten Zeit- und Raumpunkten einen Bewegungsbegriff zu entwickeln.

Aristoteles begründete als erster eine B.lehre. Auch für ihn ist B. nicht nur Ortsveränderung, sondern jede in der Zeit verlaufende qualitative und quantitative Änderung. Jedoch legt die Ortsveränderung allen anderen Arten der Bewegung zugrunde. Nach Aristoteles liegt in jedem Körper die Möglichkeit, zu einer bestimmten S.ungsweise zu gelangen. Der Vorgang von der Möglichkeit zur wirklichen S.ungsweise hin, ist die B. Um die S.ungsweise zu realisieren, ist eine bestimmte → Ursache notwendig.

Diese Ursache liegt für Aristoteles einmal in den Körpern selbst, und zwar in ihrer Qualität. Je nachdem, ob sie schwerer oder leichter sind, bewegen sie sich nach unten oder oben. Diese Ursache ist eine Wirkursache. Dafür, daß diese Ursache aber überhaupt wirksam werden kann, ist noch eine außerhalb der Körper gelegene Ursache notwendig, die Gliederung des Raumes. In diesem Raume haben alle Körper ihren natürlichen Ort, nach dem sie streben. Diese Ursache ist also Zielursache. Die Größe der B. (Geschwindigkeit) ist nach Aristoteles der verursachenden Kraft proportional. Schwere Körper bewegen sich mit größerer Geschwindigkeit als leichtere Körper. Ein Körper kommt entweder von selbst zur Ruhe, wenn er seinen natürlichen Ort erreicht hat oder wenn ihm ein anderer Körper an der Weiterbewegung hindert. — Es liegt hier eine sehr scharf-

sinnige Analyse des Bewegungsvorganges vor. Die beiden Ursachen finden wir später auch, wenn auch in abgewandelter Form, bei Newton. In manchen Punkten hat sich der Entwurf jedoch als nicht haltbar erwiesen.

Erst das Mittelalter nahm die Untersuchungen über dieses Problem wieder auf. Man forscht wieder nach den Ursachen der B. (Ortsveränderung eines Körpers), die Buridan (14. Jh.) in einer immateriellen Kraft vermutete, die im Körper ihren Sitz hat und die er »Impetus« nannte. Spätere Denker nahmen dann an, daß sich dieser Impetus aufzähle und dadurch die Körper zur Ruhe kämen.

Mit Galilei trat die B.lehre und der B. begriff in ein neues Stadium. Er stellte die Frage nach der Ursache der B. zurück und versuchte, die → Gesetze der B. in mathematischer Weise zu erfassen. Seine → Hypothese, daß die Geschwindigkeiten fallender Körper sich wie die Fallzeiten verhalten, wurde durch → Experimente verifiziert. Galilei erkannte ferner, daß jede B. auf ein bestimmtes Bezugssystem bezogen werden muß und daß kein prinzipieller Unterschied zwischen Ruhe und geradliniger, unbeschleunigter B. besteht. Durch mechanische Messungen ist ein solcher Unterschied nicht feststellbar, sondern es können immer nur Relativbewegungen in bezug auf ein Bezugssystem festgestellt werden. Die Beschreibung der B. eines Körpers in zwei verschiedenen, zueinander gleichförmig bewegten Bezugssystemen geschieht durch die sogenannten Galilei-Transformationen:

$$\vec{r} = \vec{r} - \vec{v}_0 \cdot t \quad t' = t \quad \vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_0$$

Aus dieser Gleichung folgt durch Differentiation:

$$\vec{a}' = \vec{a} \quad \vec{a}' = \vec{a} \quad (\text{wegen } \vec{v}_0 = \text{const.})$$

Das bedeutet aber, daß Beschleunigung und Kraft (Masse mal Beschleunigung) unabhängig von der B. der Bezugssysteme sind.

Newton trat in eine vertiefte Untersuchung der B. ein. Er bildete den Begriff der »B.größe«, des Impulses. Dies ist im Grunde der mittelalterliche Impetusbegriff, nun aber mathematisch-physikalisch erfaßt; denn die B.größe wird durch das Produkt von Masse und Geschwindigkeit gemessen, die Änderung der B.größe durch das Produkt von Masse und Beschleunigung. Während für die mittelalterliche Naturwissenschaft der Impetus eine dem Körper inhärente Kraft war, erkannte Newton nun zweierlei: 1. dem Körper wohnt eine Kraft inne, die seiner Masse proportional ist, (die Kraft der Trägheit), vermöge deren er schwer aus seiner Ruhe oder seinem Bewegungsstande gebracht werden kann; 2. auf den Körper wirken Kräfte von außen, z. B. Stoß, Druck, Zentripetalkraft, die seine B.größe ändern. Da nun beide in der Beziehung »actio gleich reactio« stehen, können sie wechselseitig, die eine durch die andere, gemessen werden.

Sowohl die Galileischen Transformationsgleichungen als auch die Newtonschen Gedanken, durch die der B. begriff kausal mit dem Kraftbegriff verbunden wurde, erfuhr durch die → Relativitätstheorie eine Verallgemeinerung und Klärung. Es zeigte sich, daß die vektorielle Addition zweier Geschwindigkeiten nach der Formel $\vec{v}_1 + \vec{v}_2 = \vec{v}$ nicht mehr allgemein gültig ist und daß die Masse nicht invariant gegenüber Bewegungen ist. L: H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*. 2 Bde. Freiburg 1954/1961 — E. J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Berlin 1956

Beweis, ein wissenschaftliches Verfahren, um die Gültigkeit oder Ungültigkeit einer Aussage festzustellen. Der strenge B. besteht in einer unmöglich bezweifelbaren Ver-

knüpfung der zunächst unbekannteren oder unsicheren Wahrheitswerte einer Neuaussage mit den schon bekannteren und gesicherten Wahrheitswerten anderer Aussagen, wodurch der Wahrheitswert der Neuaussage dieselbe Sicherheit erhält wie der Wahrheitswert der anderen Sätze. Die formale Logik arbeitet dabei mit zwei möglichen Wahrheitswerten ($1 = \text{wahr}$, $0 = \text{unwahr}$) für jede Aussage, von denen einer und nur einer gültig sein kann. Eine solche Logik nennen wir zweiwertige Logik (\rightarrow Logik der exakten Naturwissenschaften). Der B. folgt bestimmten Schlußregeln der Logik, für die Systeme aufgestellt worden sind.

Das Sichern der Gültigkeit einer Aussage durch logisch zwingende Verknüpfung mit schon gesicherten anderen Aussagen bezeichnet man auch als deduktiven B. (\rightarrow Deduktion). Dieser B. bedient sich die Mathematik. Sie spielen aber auch in der Physik, vor allem in der theoretischen, eine große Rolle, werden aber im Bereich der Physik nicht so ausschließlich angewandt wie in der Mathematik. Die Physik und die anderen Naturwissenschaften müssen auch andere B.-verfahren, die nicht so zwingend sind, verwenden, z. B. das \rightarrow induktive Verfahren.

Bewußtseinskategorie \rightarrow Kategorie.

Bild wird in der Naturwissenschaft ein gedanklicher Entwurf für die Darstellung eines physikalischen Begriffes oder eines Sachverhaltes genannt. Der Gedanke des »Bildes« wurde zum ersten Male von H. Hertz entwickelt. B. sind: Masse, Kraft, Energie usw. Nach Hertz sind wir genötigt, uns B. von den Dingen zu machen, da wir die »Dinge an sich« nicht kennen. B. sind »unsere Vorstellungen von den Dingen«, d. h. in diesem Falle unsere physikalischen Vorstellungen. Ein B. ist kein Abbild, keine Kopie der Wirklichkeit, sondern ein vom Verstand entworfener Begriff der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, der allerdings eine gewisse Übereinstimmung mit der von uns gemachten Erfahrung haben muß. Es braucht durchaus nicht mit allen Wahrnehmungstatsachen übereinzustimmen und kann es auch nicht.

An die B. wird von Hertz die Forderung gestellt, daß sie eindeutig, zulässig, richtig und zweckmäßig sind. Unzulässig sind z. B. B., die unseren Denkgesetzen widersprechen. Zweckmäßiger ist von zwei B. dasjenige, das deutlicher ist und wesentliche Züge des Gegenstandes wiedergibt, dagegen unwesentliche möglichst vermeidet. So ist z. B. das Bohrsche Atommodell ein zweckmäßigeres B. als das Rutherfordische, weil uns jenes u. a. verdeutlicht, warum nicht alle Atome dauernd strahlen und warum sie stabil sind, was das Rutherfordische nicht erklären kann. Die wissenschaftliche Forschung muß klar herausstellen können, welche Eigenschaften den B. zugelegt seien um der Zulässigkeit willen, welche um der Richtigkeit willen und welche um der Zweckmäßigkeit willen. Nur so gewinnen wir die Möglichkeit, an den B. zu ändern, zu besichern (Hertz).

L.: E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*. Oxford 1954 — H. Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik*. 1894 — E. Schrödinger, *Was ist ein Naturgesetz?* S. 44 ff. München 1967² — M. Wagenschein, *Die pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig 1962

Deduktion (lat.) ist die Ableitung einer besonderen Erkenntnis aus einer allgemeinen, z. B. die des Fallgesetzes aus dem Newtonschen Massenanziehungsgesetz. Durch die D. oder das deduktive Verfahren können aus einer Reihe von Ausgangssätzen neue Einsichten gewonnen werden. Der Ausgangspunkt kann auch eine \rightarrow Hypothese sein, z. B. das Huygenssche Prinzip.

Die theoretische Physik arbeitet deduktiv. Ihr Bestreben geht dahin, möglichst allgemeine Gleichungen oder Formeln aufzustellen, um aus diesen die besonderen Fälle herleiten zu können (z. B. die Plancksche Strahlungsformel, aus der sich das Stefan-Boltzmannsche und das Rayleighsche Gesetz als Sonderfälle ergeben). Die Naturwissenschaft kann nicht — wie es die Mathematik tut — rein deduktiv arbeiten. Um allgemeine Formeln oder Gesetze aufstellen zu können, bedarf es der wissenschaftlichen \rightarrow Induktion. Die auf deduktivem Wege gewonnenen Sätze müssen ihre Bestätigung im \rightarrow Experiment finden. Die Erkenntnisse der Physik werden durch ein induktiv-deduktives Verfahren gefunden, das zum ersten Male bei Galilei auftritt. Die Bedeutung des deduktiven Verfahrens liegt vor allem darin, daß die Physik als \rightarrow System erscheint, das aus bestimmten Fundamentalsätzen entwickelt werden kann.

Definition (lat.), Begrenzung, Begriffsbestimmung. Die D. in der Physik sind Aussagen, durch die Begriffe der Physik so festgelegt werden, daß man mit ihnen wissenschaftlich arbeiten kann. D. sind Momente der physikalischen Begriffsbildung. Die D. ist nicht dasselbe wie der \rightarrow Begriff. Der Begriff ist immer eine Zielvorstellung, auf die die wissenschaftliche Forschung hinstrebt. Es gibt verschiedene D., z. B. der Stromstärke, aber nur einen Begriff. Eine D. steht in einem Erkenntniszusammenhang und ist nur innerhalb dieses verständlich.

Bereits Galilei erkannte, daß in jede D. axiomatische Festlegungen eingehen. Bei der D. der gleichförmigen Bewegung stellte er fest, daß diese vier »Grundwahrheiten« (\rightarrow Axiome) enthält: 1. Die bei ein und derselben Bewegung in längerer Zeit zurückgelegte Strecke ist größer als die in kürzerer Zeit vollendete. 2. Bei gleichförmiger Bewegung entspricht der größeren Strecke die größere Zeit. 3. In gleichen Zeiten wird bei größerer Geschwindigkeit eine größere Strecke zurückgelegt als bei kleinerer Geschwindigkeit. 4. Die Geschwindigkeit, bei welcher in einer gewissen Zeit eine größere Strecke zurückgelegt wird, ist größer als die Geschwindigkeit, bei welcher in derselben Zeit eine kleinere Strecke durchmessen wird. Carnap hat fünf Stufen einer physikalischen D. unterschieden, und zwar zwei topologische und drei metrische: 1. Festsetzung, was unter Gleichheit zweier Größen (z. B. Temperaturen, Massen, Tonhöhen usw.) zu verstehen ist; 2. Festsetzung, was es heißen soll, daß eine Größe größer oder kleiner als die andere sei; es muß für diese Beziehung Transitivität gefordert werden, d. h. wenn $A > B$ und $B > C$, so muß auch $A > C$ sein; 3. Festlegung einer Skalenform; 4. Festlegung des Skalennullpunktes; 5. Festlegung der Einheit. Diese Form der Definition ist eine reine Maßvorschrift. Danach wäre eine D. der Stromstärke gleichbedeutend mit der Vorschrift, mit welchem Instrument und in welcher Einheit sie zu messen ist. Bawink hat demgegenüber geltend gemacht, daß es durch diese D. form nicht möglich sei, den Zusammenhang mit der Empfindung herzustellen. Eine D. baue sich auch auf vorphysikalischen Begriffsbildungen auf, wenn auch diese nicht für die D. des physikalischen Gegenstandes genügen. Bawink unterscheidet am Beispiel des Temperaturbegriffs folgende Stufen: 1. den auf Sinnesempfindungen gestützten einfachen Temperaturbegriff des Menschen; 2. die wissenschaftliche Thermometrie, bei der der einfache Temperaturbegriff in einen Maßbegriff umgeformt wird; 3. die Erkenntnis, daß Temperatur die durchschnittliche Bewegungenergie der Moleküle ist. D-fehler sind folgende: 1. In der D. kommt der zu definierende Begriff verhüllt vor. 2. Die D. ist in sich widerspruchsvoll. 3. Die D. trifft auch für andere, nicht gemeinte Gegenstände zu, d. h. sie

ist unvollständig und grenzt nicht genau ab. 4. Die D. enthält überflüssige Angaben.

L.: B. Bawink, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1954! — R. Carnap, *Physikalische Begriffsbildung*. Karlsruhe 1926 — R. Fleischmann, *Einheitsvariante, Größengleichungen, Dimensionen*. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*. 12. Bd., 1959/60, H. 9 und 10 — B. v. Freytag gen. Lötinghoff, *Logik*. Stuttgart 1953 — G. Galliei, *Discorsi*, 3. Tag. 1638 — J. Stenzel, *Sinn, Bedeutung, Begriff, Definition*. Darmstadt 1958

Denkökonomie, die vor allem von E. Mach entwickelte These, daß die Wissenschaft das Ergebnis einer Ökonomie (Sparsamkeit) des Denkens sei. »Die Physik ist ökonomisch geordnete Erfahrung«. Die physikalische Forschung sieht »den sparsamsten, einfachsten begrifflichen Ausdruck der Tatsachen« als ihr Ziel an. Die Naturgesetze sind nach Mach nicht wirkliche Gesetze der Natur, sondern Aussagen innerhalb des Systems der Physik, die auf Grund der »größten Sparsamkeit der Denkopoperationen« so formuliert sind.

L.: E. Mach, *Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung*. In: *Populärwissenschaftliche Vorlesungen*. 1896

Determinismus (lat.), Lehre von der Vorausbestimmtheit der Naturvorgänge durch eine Ausgangslage und den streng gesetzlichen Ablauf des Naturgeschehens in allen Einzelheiten. Die Newtonsche Physik ist deterministisch. Laplace erklärte, daß es grundsätzlich möglich sei, alle Weltreignisse im voraus zu berechnen, wenn man alle Anfangsbedingungen und alle Naturgesetze kennt. Hier handelt es sich also um Vorausbestimmbarkeit auf Grund der Vorausbestimmtheit. In der kinetischen Gastheorie entziehen sich Wege und Impulse der einzelnen Moleküle der Vorausbestimmbarkeit, obwohl man voraussetzt, daß sie im Grunde determiniert sind. Es lassen sich nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über eine sehr große Zahl solcher Moleküle machen.

Ganz anders liegen die Dinge in der Atomphysik, in der der D. aufgegeben werden mußte. Über den Bewegungsablauf der einzelnen Atome, ihren Zustand nach einer bestimmten Zeit, über das Verhalten der Heisenbergschen → Unbestimmtheitsrelation Aussagen machen, weil die Vorgänge selbst nicht mehr determiniert sind. Schon die Anfangsbedingungen besitzen wegen der Heisenbergschen → Unbestimmtheitsrelation eine Unscharfe. Es ist nicht möglich, gleichzeitig den Ort und den Impuls eines Elektrons scharf zu bestimmen. Es handelt sich hierbei nicht um eine technische Schranke der Bestimmbarkeit, sondern der Bestimmtheit (→ Komplementarität). Im Bereich des Atomaren ist man auf statistische Aussagen angewiesen.

Einige Physiker haben die Ansicht vertreten, daß das Naturgeschehen determiniert sei, daß uns jedoch noch das physikalische Modell fehle, diesen D. darzustellen. Die Tatsache, daß es Wahrscheinlichkeitsgesetze deute darauf hin, daß das Naturgeschehen nicht unterdeterminiert sein kann. Born u. a. haben die Ansicht vertreten, daß auch die klassische Physik nicht streng deterministisch sei, da D. nur in stabilen Systemen realisierbar ist. »Eine Bewegung heißt stabil, wenn eine kleine Änderung des Anfangszustandes . . . nur eine kleine Änderung des Endzustandes . . . hervorruft.« Es ist fraglich, ob es stabile Systeme gibt, und wenn dies nicht der Fall ist, dann habe es keinen Sinn, von D. zu sprechen. Man müsse für den Anfangszustand absolut genaue Werte des Ortes und der Geschwindigkeit fordern, was aber praktisch nicht möglich sei. Da für geringe Abweichungen beim Anfangszustand beliebig große des Endzustandes auftreten können,

sei die Endlage unterdeterminiert. V. Laue hat gegen diese Auffassung geltend gemacht, daß der D. unabhängig davon sei, was die Menschen über den Anfangszustand wissen.

L.: M. Born, *Ist die klassische Physik tatsächlich deterministisch?* In: *Physik*. Bl. H. 11, 1955 — E. Casirer, *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*. Göteborg 1937 — D. ter Haar u. A. C. Crombie, *Wendepunkte in der Physik*. Braunschweig 1963 — W. Heitler, *Der Mensch und die naturwissenschaftliche Erkenntnis*. Braunschweig 1966⁴ — M. v. Laue, *Ist die klassische Physik wirklich deterministisch?* *Physik*. Bl. H. 11, 1955 — E. Schrödinger, *Was ist ein Naturgesetz?* München 1967²

Dialektik (griech.), ursprünglich die Kunst der Beweisführung, die sich in Rede und Gegerede vollzieht, um durch Anführung von Gründen und Gegen Gründen zum → Begriff eines Gegenstandes vorzudringen. Hegel sah in der D. die Gesetzmäßigkeit des Denkens. Der Geist entfalte sich dialektisch, indem er als »Natur« sich selbst entfremdet (seine Gestalten werden in der Mechanik, Physik und Organik behandelt) und aus diesem »Anderssein« wieder zu sich selbst als reiner Geist zurückkehrt. Dieser D. des Geistes muß nach Hegel das wissenschaftliche Denken folgen. D. ist dementsprechend eine Methode, mit deren Hilfe man zu wissenschaftlichen oder philosophischen Erkenntnissen gelangt. Diese These wird bei Hegel durch die These von der Identität von Denken und Sein fundiert; denn das Sein ist die dialektische Bewegung des sich selbst denkenden Geistes.

F. Engels legte den Akzent auf die Seinsdialektik und versuchte, den dialektischen Charakter aller Natur- und Geschichtsabläufe nachzuweisen. Die wissenschaftliche Forschung müsse sich daher, wenn sie der D. des Seienden gerecht werden wolle, der dialektischen Methode bedienen; denn der Fortgang der Wissenschaft vollziehe sich notwendigerweise selbst dialektisch, indem jede erreichte Entwicklungsstufe die vorangehende zunächst aufhebt, diese jedoch wieder auf höherer Ebene erreicht. Engels ist damit noch mehr als Karl Marx, der die dialektische Methode auf die Analyse geschichtlicher und ökonomischer Verhältnisse anwendet, als Vater des → dialektischen Materialismus zu bezeichnen. Seine Methode wurde von Lenin weiterentwickelt (→ Dialekt. Materialismus.)

L.: F. Engels, *Herrn Engen Dührings Umwälzung der Wissenschaft*. 1878 — F. Engels, *Dialektik der Natur*. 1925 — I. Fetischer, *Von Marx zur Sowjetideologie*. Frankfurt 1966¹² — R. Havemann, *Dialektik ohne Dogma*. rororo Taschenbuch, Bd. 683 — Lenin, *Materialismus und Empirio-kritizismus*. Moskau 1947 — H.-J. Lieber, *Die Philosophie des Bolschewismus in den Grundzügen ihrer Entwicklung*. Frankfurt 1958² — G. A. Wetter, *Der dialektische Materialismus*. Freiburg 1960⁸ — G. A. Wetter, *Philosophie und Naturwissenschaft in der Sowjetunion*. Hamburg 1958

Dialektischer Materialismus (→ Dialektik), eine Ideologie, die vor allem durch F. Engels begründet und von Lenin weiterentwickelt worden ist. Nach dieser Lehre ist die Materie das einzig Wirkliche und Wirkende. Jedoch besitzt die Materie nicht nur mechanische Eigenschaften (Trägheit, Schwere, Raumerfüllung, Undurchdringlichkeit), wie es der mechanische Materialismus glaubte, sondern in ihr ruhen alle Möglichkeiten der Entfaltung. Sie befindet sich in ständiger Bewegung. Bekannt sind 5 Grundformen der Bewegung: 1. die mechanische, 2. die physikalische (thermische, elektromagnetische, inneratomare Prozesse, Umwandlung der Elementarteilchen u. a.), 3. die chemische, 4. die biologische, 5. die soziale Bewegungsform. Diese Veränderungen und Prozesse sind dialektisch, d. h. sie werden durch die in jedem Seienden (in der Materie) unlöslich aneinandergekoppelt, antithetischen (widerspruchsvollen) Momente bewirkt. Die

Ablaufform ist selbst wieder dialektisch, indem diese gegensätzlichen Momente ineinander umschlagen, ineinander übergehen, so daß dauernd Negation und Negation der Negation erfolgt und eine Folge kleiner quantitativer Veränderungen plötzlich zu einer sprunghaften Veränderung der Qualität führt (z. B. wird durch ständige kleine Temperaturerhöhungen des Wassers dieses plötzlich zu Wasserdampf; d. h. es ändert sich die Qualität, der Aggregatzustand). Die Materie zeigt also in sich und in ihren Prozessen dialektische Eigenschaften.

Die Ergebnisse der neuesten Physik werden von den Vertretern des dialektischen Materialismus als dessen Bestätigung angesehen (z. B. die Umwandlungen der nicht-stabilen Elementarteilchen ineinander, Zerstrahlung der Materie usw.). Dabei wird die Strahlung auch als Form der Materie betrachtet. Ebenfalls wird der Korpuskel-Welle-Dualismus als Dialektik der Materie gedeutet. Auch ist es gelungen, die Relativitätstheorie so zu interpretieren, daß sie als Bestätigung des d. M. aufgefaßt werden kann. Hierzu ist zu sagen, daß sich wohl immer Beispiele aus der Physik anführen lassen, die man dialektisch interpretieren kann; aber man kommt bis jetzt auch von Seiten des d. M. kein Beispiel nennen, an dem alle dialektischen Momente und Charakteristika unzweifelhaft aufweisbar sind, wo also der Ablauf nur durch innere dialektische Momente bewirkt wird und dabei kein Zerfall, sondern eine Systementwicklung entsteht. Der Hinweis, daß sich die Ablaufform der Physik (klassische Physik, spezielle Relativitätstheorie, allgemeine Relativitätstheorie) als dialektisches Geschehen interpretieren lasse, begründet nicht die Allgemeingültigkeit solcher dialektischen Ablaufformen.

Für den d. M. gilt — ebenso wie für Hegel — die alte Formel des Parmenides »Denken gleich Sein«, d. h. Denkgesetz gleich Seinsgesetz. Für den d. M. folgt diese Formel aus dem Ansatz, daß Denken eine Bewegungsform der Materie sei, diese also gar nichts anderes denken könne als ihre eigenen Gesetze. Dieser Ansatz ist ein unbeweisbares Dogma.

I: → *Dialektik* — K. Zweiling, *Der Leninische Materiebegriff und seine Bestätigung durch die moderne Atomphysik*, Berlin 1956 — *Grundlagen der marxistischen Philosophie*, dt. Berlin 1964

Dimension → Größe.

Ding-an-sich ist ein Terminus der kritischen Philosophie Kants, den dieser von Locke übernommen, aber in anderem Sinne verwendet hat. Ein D. ist nach Kant ein „von der Sinnlichkeit unabhängiger Gegenstand«. Da uns aber die Gegenstände nur in unserer sinnlichen Anschauung gegeben sein können und der Verstand mit seinen → Kategorien dieses in der sinnlichen Anschauung gegebene Material bearbeiten und in Begriffe fassen muß, sich aber nicht auf die D. selbst richten kann, bleibt dieses D. der Erkenntnis unzugänglich, d. h. es ist kein Gegenstand einer möglichen Erkenntnis. Die Naturwissenschaft befaßt sich nach Kant nicht mit den D. und ihren Verknüpfungen, worüber man gar nichts wissen kann, sondern mit der allgemeinen Ordnung der Natur, die der Verstand zwischen den Sinneswahrnehmungen stiftet. Bei den Nachfolgern Kants hat der Begriff des D. verschiedene Ausdeutungen erfahren.

Diskontinuität → Kontinuum.

Dreidimensionalität → Raum.

Dualismus (lat.) ist das Nebeneinanderbestehen zweier Anschauungen, Denk- oder Sinnesweisen, die sich nicht — oder zunächst nicht — in einer Einheit verbinden lassen. (In

der Philosophie mußte man diese Erklärung auch weiter fassen und den D. z. B. auch auf Ideen, Prinzipien, Weltanschauungen usw. ausdehnen.) In der Physik spricht man von D. vor allem in bezug auf das Nebeneinanderbestehen der Korpuskel- und Wellenvorstellung des Lichts. Niels Bohr hat mit Hilfe seines → Komplementaritätsprinzips den D. dahingehend zu erklären versucht, daß es sich im Falle von Welle und Korpuskel um zwei verschiedene Bilder handele, die sich gegenseitig ausschließen. Niemals treten im gleichen Experiment beide Bilder gleichzeitig auf. Jedoch ergänzen sich beide Bilder, d. h. sie sind komplementär, und erst beide Bilder ermöglichen eine hinreichende Beschreibung des Sachverhalts. Jedoch lassen sich nach Bohr aus dem D. keine ontologischen Schlüsse auf die »wahre« Beschaffenheit des Lichts ziehen. Man hat versucht, den D. ontologisch zu deuten, indem man der Materie selbst eine duale Natur zuschrieb. Der → dialektische Materialismus sieht im D. von Korpuskel-Welle eine Bestätigung der dialektischen Natur der Materie und seiner Theorie. Edvard May hat darauf hingewiesen, daß im Komplementaritätsprinzip die stillschweigende Voraussetzung steckt, »daß die Substrate der Materie, die hier atomistisch strukturiert, dort als undifferierende Medien erscheinen, nimmehr von der Forschung erreichte« seien. Es ließen sich durchaus noch tiefere Einsichten und auch kompliziertere mechanische Modelle vorstellen, die das Komplementaritätsprinzip überflüssig machen. Wir müssen ferner bedenken, daß Modelle und Bilder immer diese Ersehnungen der Wahrnehmungswirklichkeit als Hilfestellungen benutzen. Es ist jedoch zweifelhaft, ob die Sinnesweise der Mikrowelt durch eine Hilfestellung aus der Wahrnehmungswelt dargestellt werden kann und ob man sich nicht vielmehr mit einem mathematischen Modell zufriedengeben muß, das die beiden komplementären Modelle umfaßt.

Einheiten sind → Größenwerte, die als E. verapredet werden (1 m, 1 Coulomb, 1 Newton usw.). Die E. der Physik bilden ein → System. Dieses System enthält zunächst ein Grundsystem (Basissystem) von Ausgangseinheiten, die voneinander unabhängig sind und daher nicht auseinander hergeleitet werden können. Die Zahl der E. ergibt sich aus der Zahl der voneinander unabhängigen Dimensionen (→ Größenarten). Obwohl es für die Wahl der Ausgangsdimensionen unbeschränkt viele Möglichkeiten gibt, bleibt ihre Zahl immer gleich. Beispiel für ein System von Ausgangseinheiten (ohne Einbeziehung der Kernkräfte): $[l] = 1 \text{ m}$, $[t] = 1 \text{ s}$, $[W] \text{ (Energie)} = 1 \text{ Joule}$, $[Q] \text{ (el. Lad.)} = 1 \text{ C}$, $[\Phi] \text{ (magnetischer Fluß)} = 1 \text{ Wb}$, $[T] \text{ (Temperatur)} = 1^\circ \text{ K}$, $[m] = 1 \text{ kg}$ (schwere Masse).

Die weiteren E. werden durch Zusammensetzung der Ausgangseinheiten festgelegt, und zwar so, daß bei der Bildung immer nur der Zahlenfaktor 1 auftritt. (Ein solches System der E. heißt kohärentes System.) Beispiel für zusammengesetzte Einheiten: $[v] = 1 \text{ m sec}^{-1}$, $F = 1 \text{ m}^{-1} \cdot \text{Joule}$, $U \text{ (Spannung)} = 1 \text{ Joule} \cdot \text{Coulomb}^{-1}$.

Es ist der Größenwert gleich Zahlenwert mal E. Die E. — vor allem die des Basissystems — sollen auf möglichst einfache Art immer wieder dargestellt werden können und unverständlich, in der Natur selbst vorkommende Größen angeschlossen werden (z. B. die E. der Zeit an die Achsendrehung der Erde).

Einteilung der Physik, ihre Gliederung in einzelne Teilgebiete unter bestimmten Gesichtspunkten. Die ursprüngliche Physik war die Mechanik. Später traten Gebiete hinzu, die nach den Sinnesempfindungen gegliedert waren: Optik, Wärmelehre, Akustik. Magnetismus und Elektrizität waren keiner Sinnesempfindung zuzuordnen. Im

Laufe der Entwicklung der Physik traten weitere Gebiete hinzu, die man entweder den bisherigen anschloß (wie die Thermodynamik der Wärmelehre) oder als selbständige Gebiete bearbeitete wie die Atomphysik. Im 19. Jh. wurde versucht, alle Gebiete der Mechanik unterzuordnen, was jedoch nicht gelang. Die E. geschieht heute vielfach unter dem Gesichtspunkt grundlegender Theorien, z. B. Mechanik, Theorie des elektrischen und magnetischen Feldes, kinetische Theorie der Materie, Quantentheorie, Atomtheorie. Jedoch gibt es dabei zahlreiche Übergänge, weil sich die Phänomene oft nicht in einem Gebiet unterbringen lassen. Es zeigt sich, daß die vom Menschen vorgenommene E. nicht der Natur entsprechen. C. F. v. Weizsäcker hat eine E. vorgeschlagen, die von den elementaren Gegenständen, den Elementarteilchen, ausgeht, die unter anderen Versuchsbedingungen auch als Felder auftreten. Es gibt dann drei große Komplexe der theoretischen Betrachtung, die sich nicht auseinander herleiten lassen: Materie, Elektromagnetismus, Gravitation. Zur Theorie der Materie gehören Atomtheorie, Theorie der Elementarteilchen, Chemie, Mechanik mit ihren Spezialgebieten, kinetische Gastheorie, Wärmelehre. Zur Theorie des Elektromagnetismus gehört die Optik.

L.: C. F. v. Weizsäcker/Juiffs, *Physik der Gegenwart*, Kl. Vandenhoeckreihe 43

Elektrizität (von griech. Elektron, »Bernstein) tritt, ebenso wie der Magnetismus, dem Menschen in einer Reihe von Naturerscheinungen entgegen, für die er kein eigenes Sinnesorgan besitzt. Er vermag nur die Wirkungen elektrischer und magnetischer Vorgänge in der Natur und im Laboratorium wahrzunehmen. Daher war er gezwungen, sich Bilder dieser Vorgänge (zunächst mechanischer Art) zu schaffen, die sich im Verlaufe der Entwicklung der Naturwissenschaft als unzureichend erwiesen. Für die Elektrizitätslehre benutzt man Bilder wie Strom, Stromrichtung, positive und negative Elektrizität, Spannung, Influenz, elektromagnetische Welle usw.

Elementarteilchen, kleinste Bausteine der Materie. Ursprünglich kannte man nur Elektron, Proton und Neutron. Inzwischen sind etwa 30 E. entdeckt worden. Man kann die E. nach ihrer Masse und Ladung einteilen. Aber dieses Ordnungsprinzip ist unzureichend, da die E. noch durch weitere Eigenschaften, wie Spin, magnetisches Moment, Lebensdauer, Stabilität, Zerfallsart usw., gekennzeichnet sind. Man kann sie nicht als kleine Körnchen auffassen; denn die Mikrowelt ist grundsätzlich anders als die Welt der sinnlichen Wahrnehmungen. Sie kann nicht in der Sprache der Wahrnehmungswelt zureichend beschrieben werden und zwingt zu neuen Begriffsbildungen. Die E. können ineinander und in Wellenzüge übergehen. Sie unterliegen dem → Dualismus »Welle-Korpuskel«. Was an den Teilchen beschreibbar ist, ist lediglich ihre Struktur. M. Born hat die Vermutung ausgesprochen, daß die E. lediglich verschiedene Energiezustände eines uns unbekannteren, zugrundeliegenden Substrates, des Apeiron Anaximanders, sein könnten. Heisenberg hat versucht, eine Weltformel aufzustellen, aus der sich die E. ergeben und die auch die → Wechselwirkung zwischen ihnen beschreibt.

L.: L. de Broglie, *Die Elementarteilchen*. Hamburg 1941 — L. de Broglie, *Licht und Materie*. Hamburg 1949 — D. ter Haar und A. C. Crombie, *Wendepunkte in der Physik*. Braunschweig 1963

Empirismus (griech.), die philos. Richtung, die die → Erfahrung als einzige Erkenntnisquelle ansieht. Er ist in verschiedenen Formen aufgetreten, bereits im Mittelalter bei Roger Bacon, der lehrte, daß die wissenschaftliche Wahrheit von der Natur nicht durch Spekulationen und logische Deduktionen erkannt, nicht durch Autoritäten und wissenschaftliche Lehrmeinungen entschieden werde, sondern aus der Natur selbst geschöpft

werden müsse. Die sensualistische Richtung des E. wurde von John Locke begründet (Nihil est in intellectu, quod non prius fuerit in sensu). Sie ist die Lehre, daß die Sinneswahrnehmungen die Grundlage der Erkenntnis sind. In der Aufklärung wurde die Lockesche Konzeption durch die Auffassung erweitert, daß die Seele oder der Geist lediglich die Aufgabe habe, den in der Erfahrung gegebenen Stoff zu verbinden, also nicht die Aufgabe, die Zusammenhänge zu »erklären«.

Von hier aus nahm dann die naturphilosophische Ansicht ihren Ausgang, die in der bloßen → Beschreibung des empirisch Ermittelten die Aufgabe der Naturwissenschaft sah. Der erste Vertreter dieser Auffassung war Kirchoff. Auf ihn geht der naturwissenschaftliche → Positivismus zurück. Eine große Anzahl von Naturforschern der Gegenwart steht auf dem Boden des logischen Empirismus, der eine Darstellung des empirischen Materials in einem logischen oder logistischen System zum Ziele hat. Während bei diesen Richtungen zumeist die Frage nach der den Sinnesdaten zugrundeliegenden → Realität ausgeklammert wird, geht es einem Teil der Forscher darum, über die empirischen Wahrnehmungen hinaus zu einer Erkenntnis der realen Welt vorzudringen. Diese Forscher sehen in den empirischen Daten den Ausdruck einer metaphysischen Wirklichkeit, die es zu begründen gilt. Man bezeichnet diese Richtung als kritischen → Realismus.

Endlichkeit der Welt → Welt.

Energie → Erhaltungssätze.

Erfahrung, zuerst bei den griech. Philosophen, vor allem von den Eleaten, von Demokrit und von Platon in einem Gegensatz zum reinen Denken vorgestellt. Dabei wird unter E. die Aufnahme äußerer Wahrnehmungen mit Hilfe der Sinneswerkzeuge verstanden. Zu unseren E. gehören aber auch unsere Gefühle, Erkenntnisse, Vorstellungen, d. h. das Bewußtsein, daß wir sie haben. Für die Naturwissenschaft kommt nur die äußere Erfahrung in Betracht, d. h. die Wahrnehmungswelt. Für Kant ist E. bereits eine zusammengesetzte Erkenntnis: »E. besteht aus Anschauungen, die der Sinnlichkeit angehören, und aus Urteilen, die lediglich ein Geschäft des Verstandes sind.« (Prolegomena § 21). »E. ist ein empirisches Erkenntnis, d. i. ein Erkenntnis, das durch Wahrnehmungen ein Objekt bestimmt. Sie ist also eine Synthesis der Wahrnehmungen« (Kritik der reinen Vernunft, Analogien der E.). Die Synthesis wird hergestellt mit Hilfe der → Kategorien. Kant unterscheidet zwischen Wahrnehmungsurteilen und E.urteilen (Prolegomena § 18). Nach Kant sind Wahrnehmungsurteile solche, die nur subjektiv gültig sind. Um aus einem Wahrnehmungsurteil ein E.urteil zu machen, muß der Wahrnehmungsinhalt durch → Kategorien des Verstandes verknüpft werden. »Die Luft ist warm«, ist ein Wahrnehmungsurteil, dagegen »die Lufttemperatur beträgt 10°« ein E.urteil. Hierzu ist zu bemerken, daß auch Wahrnehmungsurteile bereits kategorial bestimmt sind. Die E., von denen wir in der Physik sprechen, ist eine durch Kategorien der Physik und ihre Begriffswelt zurückgestellte E. Die E.welt der Physik ist nicht identisch mit unserer → Wahrnehmungswelt. »Wir können nicht in einem präzisen Sinne vom Wahrnehmen physischer Objekte sprechen.« Denn z. B. das, was der Physiker über die Sonne weiß, nehmen wir nicht wahr (Russel, s. u.).

L.: B. Russell, *Physik und Erfahrung*. Zt. f. philos. Forschung. Bd. 1, Heft 4

Erhaltungssätze sind physikalische Aussagen darüber, daß gewisse physikalische Größen in abgeschlossenen Systemen invariant gegenüber gewissen Transformationen

(Translation, Drehung, Verschiebung des Zeitnullpunkts, Raumspiegelung, Zeitumkehr) bleiben. Zu den wichtigsten E. der Physik gehören die Sätze von der Erhaltung des Impulses und von der Erhaltung der Energie. Als erster E. trat in der Physik der Satz von der Erhaltung der Masse auf, der von Lomonosow und Lavoisier aufgestellt wurde. Einstein hat in seiner Relativitätstheorie gezeigt, daß dieser Satz nur für die Ruhemasse gilt, daß dagegen in bewegten Systemen die Größe der Masse von der Geschwindigkeit abhängt. Die oben genannten E. (Impulssatz und Energiesatz) lassen sich aus zwei theoretischen Annahmen begründen, die man für evident ansieht, und zwar der Energiesatz aus der Annahme, daß die Naturgesetze gegenüber Zeittranslationen, der Impulssatz aus der Annahme, daß sie gegenüber Raum- und Zeittranslationen invariant sind; denn — so begründet man — die Naturgesetze müßten ja davon unabhängig sein, auf welches Koordinatensystem sich der Mensch bei seinen Messungen bezieht. Die Invarianzforderungen gehören zu den Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie.

Es läßt sich zeigen, daß für jeden Vorgang, der sich durch Differentialgleichungen beschreiben läßt, notwendigerweise E. gelten müssen. Der Satz von der Erhaltung der Energie wurde zuerst von J. R. Mayer für die mechanische und die Wärmeenergie aufgestellt. Von Helmholtz wurde der Satz von der Erhaltung der Energie als grundlegendes Prinzip erkannt. In der Relativitätstheorie ist der Satz von der Erhaltung der Masse dem Satz von der Erhaltung der Energie untergeordnet.

E. treten schon als Entwürfe in der griechischen Naturphilosophie auf. Von Anaxagoras, Empedokles und Aristoteles wurde gelehrt, daß sich der Urstoff der Welt erhält und sich nicht ins Nichts auflösen, ebensowenig aber aus dem Nichts entstehen kann.

Kant zeigte, daß der Gedanke, daß sich etwas seiner Größe nach im Wechsel der Ercheinungen verhält, eine → Kategorie ist. Er nennt diese Kategorie → »Substanz«. Diese Kategorie muß in der Erfahrung ihre Analogie haben, d. h. diese Größe muß aufweisbar sein, z. B., wie Kant annahm, als Masse. Die Frage, zu entscheiden, welches die sich erhaltende Größe sei, ist jedoch nicht Angelegenheit des Philosophen, sondern des Physikers. Er tut es auf Grund physikalischer Überlegungen und experimenteller Ergebnisse. Man nimmt an, daß Impuls, Energie und Ladung tatsächlich solche Erhaltungsgrößen sind. Jedoch läßt sich weder ein Beweis noch ein Gegenbeweis dafür bringen, es sei denn, man nimmt die Invarianz der Naturgesetze als gesichert an. Jedoch läßt sich die Invarianz der Naturgesetze weder theoretisch noch experimentell beweisen. Eddington hat die Ansicht vertreten, daß das Prinzip der Erhaltung der → Struktur ein allen E. übergeordneter E. sein könnte.

L.: A. St. Eddington, *Philosophie der Naturwissenschaft*. Wien 1959 — A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik*. Braunschweig 1931 — H. von Helmholtz, *Über die Erhaltung der Kraft*. 1847 — E. Hüniger, *Von Demokrit bis Heisenberg*. Braunschweig 1964⁴. — M. v. Laue, *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*. Stuttgart 1949 — A. L. Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie*. 1789 — J. R. Mayer, *Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme*. 1851 — M. Planck, *Das Prinzip der Erhaltung der Energie*. 1887 — C. F. von Weizsäcker, *Das Gesetz der Erhaltung der Energie in seinen Beziehungen zur Philosophie*. In: *Gedenkschrift zur 100. Wiederkehr der Entdeckung des Energieprinzips*. 1942

Erklärung eines Naturvorganges oder einer physikalischen Erscheinung; entweder die Herleitung aus bereits erklärten Erscheinungen, experimentellen Ergebnissen, Ge-

setzen, Fundamentalsätzen (→ Axiomen), → Prinzipien, erklärenden → Hypothesen, einer → Theorie oder einem → Modell (logische Erklärung) oder »der psychologische Ersatz fremdartiger Wahrnehmungs- und Vorstellungsbilder durch geläufige und vertraute« (Mach). Es gibt bei der logischen Herleitung verschiedene Grade des Erklärens. So kann man etwa den Regenbogen auf Grund der Zerlegung des Lichts durch ein Prisma erklären. Man kann diese Zerlegung selbst wieder erklären auf Grund der verschiedenen Brechungsindizes der einzelnen Lichtsorten. Von diesen kann man auf die verschiedenen Lichtschwindigkeiten zurückgehen. Nun kann man diesen Vorgang der Wellentheorie des Lichts einordnen und den gesetzmäßigen Zusammenhang der Wellenlänge des Lichts mit der Lichtgeschwindigkeit zur weiteren E. heranziehen. Dabei benutzt man eine Modellvorstellung des Lichts. Von positivistischer Seite (→ Positivismus) ist darauf hingewiesen, daß es sich bei diesen E. immer nur um einen Rückgang auf → Tatsachen und Konstatierung ihrer Zusammenhänge handelt, die man selbst nicht weiter erklären kann. Die E. finde schließlich einmal ein Ende bei Erscheinungen, die man nicht auf einfachere zurückführen kann (Beispiele: Gravitation, Magnetismus) oder bei den Fundamentalsätzen, die selbst nicht weiter herleitbar sind.

L.: B. Bavink, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1954¹⁰ — E. Mach, *Beschreibung und Erklärung*. In: *Naturw. Rundschau*, 21. Jahrg. Nr. 38

Enklitischer Raum → Raum.

Evidenz (lat.), höchste Einsichtigkeit einer Tatsache oder einer Aussage, die nicht mehr bezweifelt werden kann. Als evident wird nicht ein Sachverhalt bezeichnet, der auf Grund von Schlüssen ermittelt wurde, sondern nur derjenige, der einer unmittelbaren Einsicht und Gewißheit entspringt. Nach Descartes sind die elementaren Wahrheiten des Bewußtseins evident, weil sie uns angeboren sind. Sie werden »claire et distincte« erkannt. Es sind dies die einfachen und selbstverständlichen Elemente, aus denen sich komplexere Sachverhalte aufbauen. Auch Galilei hatte in seinen naturwissenschaftlichen Untersuchungen solche evidenten Einsichten herausgestellt. Ein evidenten Sachverhalt oder eine evidente Aussage bedarf also i. a. keines Beweises. Eine evidente Aussage kann auch eine solche sein, die unmittelbar aus einem → Axiom folgt. In der Phänomenologie spielt die E. eine bedeutsame Rolle. E. ist hier das unmittelbare Sichzeigen der Tabestände. Von Selbst. spricht man dann, wenn eine Aussage in sich selbst begründet ist. Selbstvident sind z. B. der Satz vom Widerspruch und die sog. logischen Axiome Euklids wie: Was einen und demselben gleich ist, ist untereinander gleich. Aussagen, für die auch gegenätzliche Aussagen möglich sind, sind nicht evident.

Exakte Naturwissenschaften, Wissenschaften, die exakt im Sinne der Mathematik sind, also vorwiegend quantitativ arbeiten. Die e. N. ist von Galilei begründet worden. Zu ihr rechnet man heute die Physik, die Chemie und die Astronomie. Die Erkenntnisse dieser Wissenschaften werden auf Grund von Messungen und von strengen Ableitungen im Sinne der Mathematik gewonnen. Daher sind die Ergebnisse objektiv nachprüfbar. Das gilt zunächst für die Messungen und theoretisch abgeleiteten Ergebnisse. Aber auch die axiomatischen Ansätze, Hypothesen und Theorien kann man exakt nennen, weil sie in ihrer Gesamtheit Systemcharakter haben, d. h. eine nach logischen und wissenschaftsmethodologischen Gesichtspunkten konstruierte Architektur darstellen.

Infolge ihrer Exaktheit gelten diese Wissenschaften ebenso wie die Mathematik als ideale Verkörperung der Wissenschaft überhaupt, so daß die anderen Wissenschaften

besteht waren, jenen nachzueifern, um zur gleichen Sicherheit ihrer Aussagen zu gelangen wie die Naturwissenschaften. Besonders im 19. Jh. versuchte man, auch die Geisteswissenschaften nach den Prinzipien der Naturwissenschaften aufzubauen, in die Psychologie messende Verfahren und mathematische Methoden einzuführen usw.

Wenn man unter einem »exakten« Ergebnis nur das mathematisch oder naturwissenschaftlich abgeleitete und bewiesene bezeichnet, so darf doch nicht verkannt werden, daß es nicht gelingt, alle Aussagen auf diese exakte Weise herzuliten. Es gibt weite Bereiche, die sich dieser Form der Exaktheit entziehen, nicht nur in den Geisteswissenschaften, sondern auch in den Naturwissenschaften, z. B. die Biologie. Neben der e. N. behalten auch andere Formen der Naturerfassung ihren Sinn, ohne darum minderen Ranges zu sein. Wissenschaftlich exakt im weiteren Sinne ist eine Aussage nicht nur dann, wenn sie sich in meßbaren Daten ausdrücken läßt, sondern dann, wenn die Methode der Wissenschaft, zu der diese Aussage gehört, korrekt und kritisch mit allen logisch möglichen Sicherungen angewendet wurde.

Existenz, ein Begriff, der nicht in einheitlicher Bedeutung gebraucht wird. Beispiele: »Die Welt existiert«, »Die Zahlen existieren«, »Von einer physikalischen Differentialgleichung existieren mehrere Lösungen«, »Die Konstante c der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum existiert«. Nur die erste Aussage ist eine Aussage über die absolute E., nämlich, daß eine von unserer Erkenntnis unabhängige → Außenwelt als Seiendes, als → Realität vorhanden ist. Schon die zweite Aussage hat eine doppelte Bedeutung: es kann sich um die E. der Zahlen innerhalb der reinen Mathematik, also um die E. innerhalb einer Theorie, oder um ihre absolute »geistige« E. handeln, die unabhängig davon ist, ob es Menschen gibt, die Mathematik treiben. Die E. der Lösung von Gleichungen besagt, daß sich diese Lösungen aus der Gleichung ergeben, also von der Gleichung her ihre E. beziehen. Es bleibt dabei gleichgültig, ob diese Lösungen eine reale Entsprechung haben. Die E. einer Konstanten c , der Lichtgeschwindigkeit, besagt lediglich, daß die Lichtgeschwindigkeit nicht etwa dauernd wächst, abnimmt oder um einen bestimmten Wert schwankt, sondern durch eine bestimmte Maßgröße ausdrückbar ist. Es handelt sich um die E. einer festen Maßgröße innerhalb des Systems der Physik.

Die absolute E. ist unbeweisbar. Die E. eines Sachverhalts innerhalb einer Theorie läßt sich häufig aus dieser heraus beweisen, vielfach aber auch nicht. Ob die Lichtgeschwindigkeit eine Konstante ist, läßt sich z. B. nicht beweisen (→ Beweis).

Experiment (lat.), der wissenschaftlich durchgeführte Versuch. In der heutigen Physik sind diese Versuche vorwiegend quantitativer Art. Aber auch der qualitative Versuch ist ein E.; denn im anderen Falle wären der Oerstedsche Versuch der Magnetnadelablenkung durch den elektrischen Strom oder die Newtonsche Zerlegung des weißen Lichtes mit Hilfe eines Prismas keine physikalischen E.

Man hat das E. eine »Frage an die Natur« genannt. Jedoch muß man dabei berücksichtigen, daß es sich keineswegs um eine naiv gestellte Frage an die »Natur« schlechthin handelt. Erstens ist diese Frage aus einer Theorie heraus gestellt, zweitens bezieht sie sich auf eine zurechtgestellte Natur. Unter zurechtgestellter Natur verstehen wir, daß die Natur auf ein von Neben Umständen freies Grundphänomen reduziert wird und daß sie mit Meßinstrumenten registriert wird, die das Meßergebnis klar herausfiltern. Das E. ist kein Herumprobieren an der Natur, sondern steht in einem erkenntnistheoretischen Zusammenhang. Es setzt ein mit einem hypothetischen Ansatz. Auf ihm wird das eigent-

liche E. ausgerechnet. Es liefert die Bestätigung (oder Nichtbestätigung) des Ansatzes. Im letzteren Falle muß ein neuer Ansatz gemacht werden. Zahlreiche Wiederholungen des E. und ausführliche Meßreihen dienen dazu, Zufälligkeiten auszuschalten und zu prüfen, ob die exp. Ergebnisse den durch die Hypothese geforderten bestmöglich entsprechen.

Von P. Duhem stammt die Definition: »Ein physikalisches E. ist die genaue Beobachtung einer Gruppe von Erscheinungen, die verbunden wird mit der Interpretation derselben; diese Interpretation ersetzt das konkret Gegebene, mit Hilfe der Beobachtung wirklich Erhaltene durch abstrakte und symbolische Darstellungen, die mit ihnen übereinstimmen auf Grund der Theorien, die der Beobachter als zulässig annimmt.« Damit ist der Wechselbezug von E. und → Theorie klar herausgestellt.

Es gibt E., die zwischen widerstrebenden Theorien eine Entscheidung herbeiführen sollen. Man bezeichnet nach Bacon ein solches E. als experimentum crucis (Beispiele: Newtons Versuch, ob sich die Spektralfarben weiter zerlegen lassen, der Michelsonversuch). Duhem bestreitet die Möglichkeit eines experimentum crucis, da die Widerlegung einer Theorie durch ein E. nicht die Richtigkeit einer anderen Theorie beweist, sondern noch die Möglichkeit weiterer Theorien offenläßt.

Ein Gedankenexperiment ist die gedankliche Konstruktion eines in der Praxis i. a. nicht durchführbaren E. Von einem Gedankenexperiment ging beispielsweise J. R. Mayer bei der Herleitung des mechanischen Wärmeäquivalents aus. Bei dem Gedankenexperimenten handelt es sich keineswegs nur um eine reine theoretische Herleitung wie in der Mathematik; denn ihnen liegen immer experimentell gefundene Sachverhalte zugrunde, die theoretisch nicht ableitbar sind. Insofern ist auch das Gedankenexperiment ein E., das sich auf die physikalische Erfahrung gründet (→ analytische Methode, → Induktion).

L.: F. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*. Frankfurt 1969⁹ — H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938 — H. Dingler, *Das Experiment*. 1928 — M. Hartmann, *Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1959² — H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*. 2 Bde. Freiburg 1954/61 — M. v. Laue, *Experimentelle und theoretische Physik*. In: Aufsätze und Vorträge. Braunschweig 1962² — E. Mayr, *Kleiner Grundriß der Naturphilosophie*. Meisenheim 1949 — P. Duhem, *Ziel und Struktur der physikal. Theorien*. dt. Leipzig 1908

Extensive Größe → Quantität.

Fachsprache der Naturwissenschaft, die Sprache, die sich naturwissenschaftlicher Begriffe und Aussageweisen bedient. Sie stellt eine Präzision gegenüber einer »vorklassikalischen« Sprache dar, in der die Aussagen qualitativer Art sind. Diese Sprache ist wiederum die Überbauung der Wahrnehmungs- und Umgangssprache. Der Satz »Die Lampe leuchtet nicht hell« ist ein Satz der Wahrnehmungssprache. »Die Lampe sendet gelbes Licht aus« ist schon in vorphysikalischer Sprache ausgedrückt. Der Satz »Die Lichtquelle sendet elektromagnetische Wellen von der Frequenz $510 \cdot 10^{12}$ Hertz aus« ist in der physikalischen Fachsprache ausgedrückt.

Jede Wissenschaft muß eine eigene Begriffssprache aufbauen und nimmt dabei die Umgangssprache zu Hilfe; jedoch decken sie die Begriffe oft nicht mit denen der Umgangssprache. Es kann deshalb in die Irre führen, physikalische Begriffe etymologisch aus der Umgangssprache herzuliten. Nicht ohne Grund werden oft Fachausdrücke aus dem Lat. und Griech. gewählt, um anzudeuten, daß etwas anderes gemeint ist als die Wortbedeutung, die die wörtliche Übersetzung angibt (Spektrum, Frequenz,

Atom). Die Sätze einer Wissenschaft sind nur innerhalb des Aussagesystems der betreffenden Wissenschaft verständlich. Aussagen wie »Man legt an einen Kondensator eine Spannung an« oder »Ein angehobenes Elektron geht wieder in den Grundzustand zurück, wenn die absorbierte Frequenz ausgestrahlt wird«, sind nicht aus der Wahrnehmungssprache heraus verständlich. Da jedoch die Naturwissenschaft weitgehend auf die Wahrnehmungssprache angewiesen ist, können sich Mißverständnisse ergeben, wenn man einen physikalischen Sachverhalt, wie z. B. »den Sprung eines Elektrons«, im Sinne einer Erscheinung in der Wahrnehmungswelt denkt.

Falsifikation (lat.), Beweis für das Falschsein einer Aussage.

Farben sind Sinnesempfindungen, die, in eine anthropomorphe Wahrnehmungswelt hinausprojiziert, auch als Qualitäten dieser Welt hypostasiert werden können. Sie gehören in dieser Form nicht der Welt der Physik an. Sie dienen in der Physik lediglich als Orientierungsmittel. In dieser könnte man auf den Ausdruck »F.« verzichten und dafür von Wellenfrequenz sprechen. Selbst ein von Geburt Blinder könnte physikalisch über F. Forschungen anstellen, wenn ihm die geeigneten Meßinstrumente zur Verfügung stehen, an denen er die Frequenzen feststellen kann. Damit ist nicht gesagt, daß es F. in »Wirklichkeit« nicht gibt und diese lediglich als anthropomorphe Vorstellungsinhalte, aber nicht außerhalb dieser subjektiven Vorstellungswelt existieren. Darüber, wie die Welt des Seienden in ihrer Fülle beschaffen ist, vermag die auf Schemata reduzierte Erkenntnis der Physik keine Aussagen zu machen. Goethe hat gegen eine naturphysikalische Betrachtung der F. Einspruch erhoben. Er erkannte, daß durch eine derartige Betrachtung die Welt der Phänomene ausgeklammert wird. Für ihn waren die F. unableitbare Urphänomene. Deshalb ist es falsch, die Physik als volle Darstellung der Wirklichkeit oder auch als ihre Kopie anzusehen. Die Physik erstellt keine Welt, die die Wirklichkeit »ersetzt« oder »genau« zur Darstellung bringt, als es unsere Sinne vermögen. Sie ehle lediglich Strukturen des Seienden, die der Sinneswahrnehmung verborgen bleiben. Bei dieser Erhellung entschwinden ihr freilich ebenso notwendigerweise andere → Aspekte des Seienden.

Feld, ein physikalisch strukturierter Raum, in dem Kraftwirkungen nachweisbar sind. Die Richtung der Kräfte wird durch Kraftlinien angegeben. Man spricht von Gravitationsf., elektrischen, magnetischen, elektromagnetischen und nuklearen F. Um die Wirkung der Kräfte an Körpern nachweisen zu können, müssen diese Körper Träger von Eigenschaften sein, die der F.wirkung entsprechen, oder sie müssen in irgendeiner Weise diese Eigenschaften annehmen. Zum Beispiel besitzt ein Eisenstückchen die Eigenschaft, sich in der Richtung der F.linien einzustellen. Das F. ist eine physikalische Modellvorstellung, die zum ersten Male von Faraday für elektrische F. eingeführt wurde. Die F.theorie ist eine Nahwirkungstheorie.

Fernwirkungstheorie, die Theorie, daß Wirkungen ohne Vermittlung eines physikalischen Raumes übertragen werden können. Nach dieser Theorie breiten sich Kräfte mit unendlicher Geschwindigkeit aus, und die krafterzeugende Ursache zeigt ihre Wirkung sofort auch an einer entfernten Raumstelle. Eine solche F. ist die Newtonsche Gravitationstheorie. Faraday war der Ansicht, daß es keine Fernkräfte gibt, sondern daß diese von Raumstelle zu Raumstelle übertragen werden. Wir wissen, daß sich elektrische und magnetische Anziehungs- und Abstoßungskräfte mit endlicher und zwar Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Auch für die Gravitationskräfte nimmt man eine endliche

Ausbreitungsgeschwindigkeit an. Man kann sich nur nicht vorstellen, welches das Medium der Kraftübertragung sein soll. Ein mechanisches Medium (Wettrichter) kommt dafür nicht in Frage, da die Theorie des Wettrichters aufgegeben werden mußte (→ Äther). An die Stelle eines mechanischen Mediums ist heute das → Feld getreten.

Form, zum Unterschied vom Substrat (→ Substanz) eines Gegenstandes zunächst seine äußere (geometrische) Gestalt (dreieckig), im weiteren Sinne aber auch seine ganzheitliche → Struktur. Die Frage nach der F. ist eine Frage nach dem »Wie-sein« des Seienden und nicht eine Frage nach dem »Woher«, also nach den Ursachen des Geschehens und Werdens. Das Denken der ersten griechischen Naturphilosophen war vorwiegend ein Denken in → Ursachen. Sie fragten nach dem Welgrund, nach den Ursachen der Dinge und der Bewegungen. Andere Denker jedoch, wie Parmenides, Pythagoras und vor allem Platon, hoben die Bedeutung der F. hervor. Platon übte im »Phaidon« am reinen Ursachendenken Kritik und läßt Sokrates erklären, wie dieses Ursachendenken zu einer mechanistischen Denkweise führt. Zwar gäbe Anaxagoras als Ursache des Werdens und Geschehens den Geist an, verwende aber diesen Geist überhaupt nicht in seinen Darlegungen und führe keine Gründe an, die sich »auf das Anordnen der Dinge (also ihre F.) beziehen«. Die Platonische Idee ist in erster Linie F. Aristoteles hat den Versuch gemacht, den F.- und Ursachenbegriff zu einer Ganzheit zusammenzuschließen, indem er den Anteil beider am Begriff des Gegenstandes aufweist (→ Ursache).

In der Naturwissenschaft ist dieser Gegensatz von reinem Ursachendenken und F.-denken immer wieder hervorgetreten. Der Mechanismus des 19. Jh. versuchte, ein Programm durchzuführen, in dem auf das F.-denken völlig verzichtet wurde. In der »analytischen Mechanik« glaubte man, das Naturgeschehen am besten dadurch zu erfassen, daß man die Bewegungsvorgänge auf die Bewegung letzter Elementarteilchen (Massenpunkte) zurückführte und jene aus den Anfangsbedingungen dieser erklärte. Jedoch zeigte sich bald, daß dieses Programm, das Ganze nur als Summe der Teile zu begreifen, nicht durchführbar war. Der F.begriff und das F.-denken kamen wieder zu ihrem Recht. »Der Faraday-Maxwellsche Begriff des elektromagnetischen Feldes bildet hier den ersten entscheidenden Wendepunkt« (Cassirer s. u. S. 92). Auch der Atombegriff ist ein F.-begriff. Von Bedeutung ist der F.begriff in der Chemie, vor allem in der Biologie.

I.: E. Cassirer, *Zur Logik der Kulturwissenschaften*, Darmstadt 1961

Freiheit im Sinne von Willensfreiheit, ein der Ethik zugehöriger Begriff, den man nicht ohne weiteres auf naturwissenschaftliche Verhältnisse übertragen darf. Wir haben jedoch eine bestimmte Wahlfreiheit bei der Auswahl der physikalischen Grundbegriffe und Fundamentalsätze. Das bedeutet aber nicht, daß man völlig willkürliche Ansätze machen und Festsetzungen treffen kann (→ Axiome und → Größen). Die Festsetzungen dürfen den experimentellen Ergebnissen nicht widersprechen und sind Bedingungen unterworfen, die vom System der Physik bestimmt sind. Man gebraucht innerhalb der Physik den Begriff der F. im Gegensatz zur → Determination. Man hat von der »F.« des Atoms gesprochen, z. B. der des Radiumatoms, zu zerfallen oder noch unbestimmte Zeit fortzubestehen. Jedoch handelt es sich hierbei keineswegs um eine vom Atom ausgehende Wahlfreiheit, geschweige denn um eine Willenskundgebung des Atoms. Diese sogenannte »F.« des Atoms ist nur der etwas mißverständliche Ausdruck für eine andersartige Gesetzmäßigkeit im Bereich des Atomaren. Wir dürfen dabei nicht vergessen, daß Atommodell und Atomzerfall Begriffe sind, die unserer Wahrnehmungswelt entnom-

men bzw. mit Denk- und Vorstellungsmitteln der makrophysikalischen Welt gebildet sind. Unsere sinnliche Vorstellung einer großen Menge einzelner Atome, von denen irgendwelche plötzlich zu zerfallen beginnen, die andern dagegen zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt, ist nur ein Bild, in dem dann der → Zerfall des Einzelatoms unterminiert erscheint. Faßt man dagegen nur die Atomgesamttheit ins Auge, so läßt sich über deren Zerfall eine genaue Aussage machen.

Genauigkeit kennzeichnet den Abstand eines realisierten physikalischen Begriffs, einer Definition oder einer Messung von den Idealwerten. Die Begriffe wie ideale Ebene, nicht deformierbarer Körper (Körper, bei dem alle Parallelen immer den gleichen Abstand behalten), reines Vakuum, Massenpunkt lassen sich nicht mit absoluter G. realisieren. Wird z. B. ein Massenpunkt durch eine Kugel vom Durchmesser d realisiert, so ist d der G-abstand vom idealen Massenpunkt. Ist ein Maßbegriff empirisch und nicht ideell definiert, wie z. B. das Meter durch das Urmeter, so kann diese Definition unbrauchbar werden, wenn eine Meßgenauigkeit erreicht ist, die größer ist, als sie im Urmeter realisiert ist, für die also z. B. der Markierungsschritt auf dem Urmeter viel zu dick ist. Die Definition muß für derartige Messungen durch eine andere ersetzt werden (Definition mit Hilfe der Wellenlänge der roten Cadmium-Spektrallinie). Entsprechendes gilt für die Zeit- und Massendefinition.

Von der Begriffs- und Definitionsgr. ist die Meßgr. zu unterscheiden. Da alle Messungen letzten Endes räumliche Messungen (Zeigerausschläge) sind, legen sie einen nicht deformierbaren Körper zugrunde, der jedoch nicht realisierbar ist.

Die Meßgr. hängt ab 1. von der G. der Meßapparate, 2. der G. des Meßverfahrens, 3. der G., mit der das zu messende Objekt oder der zu messende Vorgang idealisiert, d. h. von seinen störenden Nebenumständen befreit werden kann. Die G. einer Geschwindigkeitsmessung beim freien Fall hängt z. B. ab von der G. der Uhren und Längenmaßstäbe, von der G., mit der Länge und Zeit zur Koinzidenz gebracht werden können (mit der also der Zusammenfall einer bestimmten Zeitmarke mit einer bestimmten Streckenmarke festgestellt werden kann) und schließlich von der Möglichkeit, den freien Fall zu realisieren, d. h. alles Störende, wie Luftwiderstand und sonstige Nebenumstände auszuschalten. Da sich jedoch für alle die bezeichneten Momente keine absolute G. erreichen läßt, so läßt sich auch die absolute G. einer Messung nicht realisieren. Gleichwohl können Apparate und Verfahren ständig verbessert und damit die Messungen unablässig verbessert werden. Man hat von einem »unendlichen G-prozess« gesprochen (Dingler), bei dem die Messungen gegen einen idealen Wert konvergieren, der zwar nicht erreicht wird, aber doch in der Idee vorhanden ist. Der Physiker geht davon aus, daß es diesen »richtigen« Wert gibt. Wenn im → Positivismus die physikalischen Größen als Meßergebnisse definiert werden, so liegt infolge der Ungenauigkeit der Messung eine gewisse Schwierigkeit vor; denn jede verbesserte Messung müßte eine neue Definition bedingen.

Für die Messung der Naturkonstanten werden G.grenzen angegeben, z. B. bei der Lichtgeschwindigkeit, der Gravitationskonstante usw. Hier handelt es sich um eine Fehlergrenze, die durch verbesserte Meßverfahren herabgedrückt werden kann. Der Begriff einer absoluten G.« mußte für den Bereich des Atomaren aufgegeben werden (→ Unbestimmtheitsrelation). Man ist der Ansicht, daß es im Bereich des Atomaren absolute Meßgrenzen gibt, die grundsätzlich (nicht nur aus Gründen der Nichtrealisierbarkeit) unübersteigbar sind.

L.: H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938 (unter Stichwort „Genauigkeit“ im Stichwortverzeichnis)

Geschichte der Naturwissenschaft ist nicht nur die historische Darstellung des Werdeganges, sondern vor allem die der Entwicklung der naturwissenschaftlichen Denkweisen, Methoden und Probleme. Das erste Kulturvolk, das die Natur unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten zu erfassen versuchte, war das griech. Die Griechen faßten als erste den Gedanken, daß es bei der Erkenntnis der Natur nicht darum gehen könne, die flüchtigen Sinneswahrnehmungen zu studieren, sondern die dieser Wahrnehmungswelt zugrunde liegende Seinswelt mit Hilfe des Logos zu erschließen. Die Griechen erstellen philosophische Entwürfe, die heute noch für die Naturwissenschaft von höchster Bedeutung sind. Von ihnen stammen die Gedanken einer ungewordenen und unzerstörbaren Urmaterie, aus der die Stoffe entstehen (Thales, Anaxagoras, Empedokles), des Atoms (Leukippos, Demokrit), der in Zahlen ausdrückbaren Ordnung der Natur (Pythagoras), der Elemente (Empedokles), der Materie (Aristoteles). Zugrunde liegt diesen Entwürfen die Ansicht, daß es eine objektive Erkenntnis der wahren Natur der Dinge geben müsse, eine von subjektiven Verfahrenen freie Theorie über das Seiende.

Im Altertum wurden durch Archimedes, Euklid und Heron Anfänge der → Mechanik (Hebelgesetz), → Optik, Akustik entwickelt, jedoch vorwiegend als Zweige der Mathematik. Experimente (Heronball) blieben vereinzelt. Erwa 150 n. Chr. stellte Ptolemaios ein Weltsystem auf, das erst durch das Kopernikanische abgelöst wurde. Im 5. Jh. entwickelten christliche Neuplatoniker den Gedanken, daß die Himmelsphären durch Engel bewegt würden. Die Zeit war der Entwicklung der Physik nicht günstig, z. T. wurde die Ansicht vertreten, daß die Beschäftigung mit derartigen Fragen unnützlich, wenn nicht schädlich sei. Im 6. Jh. trat Johannes Philoponos mit einer neuen Theorie über die Bewegung der Himmelskörper und der irdischen Körper auf. Er lehrte, daß Gott den Himmelskörpern eine Kraft, einen sogenannten »Impetus« mitgegeben habe, durch den sie sich in Bewegung halten. Ein geworfener Stein erhält ebenfalls durch den Bewegter einen Impetus, der ihn in Bewegung hält. Diese Impetuslehre lebte im 13. Jh. wieder auf und wurde weiterentwickelt. Sie stand neben den Lehren von Aristoteles, dessen Schritten im gleichen Jahrhundert, durch die Araber vermittelt, bekannt wurden. Die Anhänger der Impetuslehre vertraten auch die Ansicht, daß sich die Erde um ihre Achse drehe und diese Drehung durch einen ihr von Gott eingeößten Impetus bewirkt werde. Im gleichen Jahrhundert erschien eine kleine Schrift über den Magnetismus, in dem Experimente beschrieben, freilich auch nichtzutreffende Spekulationen angeführt werden. Die Physik jener Zeit ist dahin gerichtet, die Wirkkräfte zu erforschen oder, jedenfalls Spekulationen über sie anzustellen.

Die Entwicklung der heutigen Naturwissenschaft setzt erst im 16. und 17. Jh. ein. Das Buch des Kopernikus »De revolutionibus orbium coelestium« (1543) leitet diese Entwicklung mit einer neuen Theorie der Planetenbewegung ein. Simone Stevin gab 1586 sein Buch »Von den Grundlagen der Wägekunst« heraus. 1600 erschien das erste wissenschaftliche Buch über den Magnetismus und die Elektrizität »De magnetice, magneticque corporibus et magnetice tellure« des Leibnizes der Königin Elisabeth I., William Gilbert. Als das erste wissenschaftliche Physikbuch des Abendlandes kann man die »Discorsi« von Galileo Galilei bezeichnen, das 1638 erschien und in dem neben anderen physikalischen

Problemen vor allem die Theorie der Bewegung und des Fallens der Körper behandelt wird. Galilei entwickelte zugleich die Theorie des \rightarrow Experiments. Newton schuf die Theorie der Mechanik und des Lichts, ebenso sein großer Widersacher Huygens. Zum ersten Male wurden zwei große, verschiedenartige Theorien über die Natur des Lichts entworfen, von Newton die Korpuskulartheorie, von Huygens die Wellentheorie. Da mit waren die Grundsteine für die kommende Entwicklung gelegt.

In der Folgezeit wurden die einzelnen Gebiete der Physik (\rightarrow Einteilung der Physik) zunächst getrennt voneinander durchforscht. Dabei gehen Theorie und experimentelle Forschung Hand in Hand. Die Theorien standen oft gegeneinander, bis entscheidende Experimente die Klärung schafften, z. B. die Entscheidung zugunsten der Wellentheorie des Lichtes durch die Interferenzerscheinungen, vor allem aber durch die Möglichkeit, die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien zu messen. Im 19. Jh. wurden übergreifende Prinzipien und Theorien und durch diese die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Gebieten der Physik entdeckt. (z. B. das Energieprinzip, die elektromagnetische Lichttheorie). Im Jahre 1900 begann mit der Entdeckung der Quantentheorie durch Max Planck eine neue Phase der Physik, die einen Bruch mit der klassischen Physik darstellt. Das gleiche gilt von der Relativitätstheorie Einsteins, der Atomtheorie von Bohr und der Unsicherheitsrelation von Heisenberg.

Die Geschichte der Naturwissenschaft verläuft nicht geradlinig, sozusagen von Ergebnis zu Ergebnis. Neue experimentelle Ergebnisse erfordern immer wieder die Rückbesinnung auf die Ausgangspunkte und Grundlagen. Das Studium dieser Geschichte zeigt dem Menschen, wie ungeschwehert schwierig es ist, die Natur in den Griff zu bekommen, zeigt ihm die Grenzen seines Verstandes und seiner Methoden, aber ebenso die immer neuen Möglichkeiten, sich durch weiterreichende Theorien die Seinsweise der Natur zu erschließen. Ein Abschluß dieser Entwicklung ist vorläufig nicht abzusehen, und jede Theorie oder philosophische Deutung, die sich als endgültig ausgibt, ist kritisch zu beurteilen. Dies ist eine der Lehren, die wir aus der wechselvollen Geschichte der Naturwissenschaft ziehen können. Wir können aber ebenso aus ihr entnehmen, daß kühne Ansätze genialer Geister und unermüdete Einzelforschung theoretischer und experimenteller Art sich verbinden müssen, um die Naturwissenschaft einen Schritt vorwärts zu bringen.

L. M. Boas, *Die Renaissance der Naturwissenschaften*, dt. Gütersloh 1965 — F. Dannemann, *Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung* Leipzig 1920² ff. — E. J. Dijksterhuis, *Die Mechanisierung des Weltbilds*, Berlin 1956 — A. R. Hall, *Die Geburt der naturwissenschaftlichen Methode*, dt. Gütersloh 1965 — E. Hoppe, *Geschichte der Physik*, Braunschweig 1926 — H. Leisegang, *Physik*. In: *Realenzyklopädie von Pauly-Wissowa*, Bd. 20, S. 1034 ff. — S. F. Mason, *Geschichte der Naturwissenschaft*, Stuttgart 1961 — C. Ramsauer, *Grimmhandschrift der Physik in historischer Darstellung*, Berlin 1953

Gesetz \rightarrow Naturgesetz.

Gleichheit in der Physik, eine Relation zwischen physikalischen Maßgrößen, für die die mathematischen G. axiome gelten. Diese lauten:

1. $a = a$ (G. ist reflexiv)
2. aus $a = b$ folgt $b = a$ (G. ist symmetrisch)
3. aus $a = b$ und $b = c$ folgt $a = c$ (G. ist transitiv).

Der hier definierte Gleichheitsbegriff kann u. a. nicht auf sinnliche Wahrnehmungen angewandt werden, worauf Cassirer hingewiesen hat. Schon das 1. Axiom gilt für

Sinnesempfindungen nicht. Eine Druckempfindung a kann sich mit einer für sich als von Null verschiedenen empfundenen Druckempfindung c zusammensetzen und die Druckempfindung a ergeben, wenn c klein genug ist, d. h. $a + c = a$. Auch das 3. Axiom gilt nicht; denn ein Ton a kann gleich einem Ton b empfunden werden und b als gleich c . Dagegen kann die Tonempfindung von a und c durchaus verschieden sein. Bereits hieraus ersieht man, daß die Welt der Physik nicht eine Kopie der Wahrnehmungswelt sein kann, sondern daß in der Physik »der Maßstab der Betrachtung eine Wandlung erfährt« (Cassirer).

G. ist nicht dasselbe wie \rightarrow Identität. Diese würde Übereinstimmung physikalischer Objekte in sämtlichen Merkmalen bedeuten. Es können aber z. B. die Massen zweier Körper gleich sein, ohne daß ihre Volumina gleich sind, von anderen Merkmalen ganz abgesehen. In die G. relation dürfen also immer nur Einzelmerkmale eingehen; in anderen Merkmalen können die gleichgesetzten Objekte durchaus verschieden sein.

G. bedeutet nach den vorstehenden Axiomen, daß sich die als gleich bezeichneten Maßgrößen ohne Nebenbedingung wechselseitig vertreten können. Es darf also nicht eine von ihnen eindeutig, die andere mehrdeutig sein. In der Rundfunktechnik gilt folgende Einheitsdefinition der Kapazität: $1,11 \text{ pF}$ (Picofarad) $= 1 \text{ cm}$. 1 cm kann aber auch eine Länge bedeuten, und 1 cm kann nicht durch 1 pF vertreten werden. Man kann nicht die Wellenlänge des Kamertones a mit $84,5 \text{ pF}$ statt mit 76 cm angeben (Beispiel von Fleischmann, s. u.), Fleischmann schlägt vor: »Wenn eine Beziehung nur in der einen Richtung unbeschränkt gilt, in der umgekehrten aber nur mit Nebenbedingung oder mit Berücksichtigung einer Verabredung, dann muß anstelle des Gleichheitszeichens das Einspritzzeichen (\cong) stehen.« ($1,11 \text{ pF} \cong 1 \text{ cm}$).

Die G. relation findet Anwendung bei physikalischen \rightarrow Definitionen und \rightarrow Gesetzen. Sofern beide exakt formuliert sind, genügen Definitionen und Gesetze den oben genannten Axiomen. Und doch beschränkt ein entscheidender Unterschied bezüglich der G. So sagt z. B. das zweite Newtonsche \rightarrow Axiom aus, daß die Änderung der Bewegungsgröße gleich der Kraft ist: $\frac{d(mv)}{dt} = F$. Diese Relation genügt den mathematischen

G. axiomen. Man kann dieses Gesetz als Definition der Kraft auffassen; aber zweifellos sagt es mehr aus als eine rein mathematische G. Das Zusammenfügen von Kraft und Änderung der Bewegungsgröße zu einer G. beziehung setzt voraus, daß Masse, Geschwindigkeit und Kraft zunächst höchst ungleichartige physikalische Größen sind, die auch in eine ganz andere G. beziehung gebracht werden können als die, wie sie im Newtonschen Axiom ausgesprochen ist. Auch der Satz »Kraft gleich Masse mal Geschwindigkeit würde den mathematischen Axiomen nicht widersprechen. Das Zusammenfügen dieser Größen in eine G. relation geschieht erst auf Grund kategorialer Ansätze der Physik: die Kraft wird als Ursache einer Änderung der Bewegungsgröße angenommen. Es ergibt sich auf Grund von Experimenten wohl mathematische G., aber nicht physikalische Auswechselbarkeit. Masse mal Änderung der Bewegungsgröße ist von der Kraft begrifflich verschieden.

Eine besondere Stellung unter den physikalischen Sätzen nehmen die Sätze von der Erhaltung der Energie ein. Man findet in den Lehrbüchern verschiedene Schreibweisen: $1 \text{ Watsec} = 0,102 \text{ kpm}$ und $1 \text{ Watsec} \cong 0,102 \text{ kpm}$. Es handelt sich auch hier um keine begriffliche G.; denn die Physik vermag zwischen elektrischen und mechanischen Größen

wohl zu unterscheiden. Die G -relation stellt auch keine Definition der einen oder der anderen Maßgröße dar. Wir haben es hier mit einem Naturgesetz zu tun, das physikalisch unterscheidbare Größen in ein mathematisches Gleichheitsverhältnis bringt, ohne daß sie deshalb miteinander vertauscht werden könnten.

Eddington hat die Vermutung ausgesprochen, daß es sich bei den meisten » G «, die wir in Gesetzen vorfinden, um Tautologien handelt: es wird dabei derselbe Zustand durch verschiedene Instrumente gemessen und durch verschiedene Maßgrößen dargestellt. In Wirklichkeit würden also nur verschiedene Messungen zueinander in Beziehung gesetzt, so als wenn man etwa die gleiche Länge durch Ellen und Meter mißt und diese G , dann in Form eines G , → Gesetzes wiedergibt (→ *Leitgesetz*).

L: R. Fleischmann, *Einheitsinvariante Größenbeziehungen, Dimensionen*. In: Der Mathematiker und Naturwissenschaftliche Unterricht, 1959/60, H. 9 und 10 — E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3, Oxford 1954, S. 500 f. — *Grundzüge der Mathematik*, Bd. 1, hg. von H. Behnke, W. Süß, K. Fladt, Göttingen 1958, S. 30 — O. Haupt, *Beispiele der mathematischen Begriffsbildung*, Jahrb. 1953 der Akademie der Wissenschaften und Literatur, Mainz

Gleichzeitigkeit → Relativitätstheorie → Zeit.

Gravitation → Wechselwirkung.

Grenze der Naturwissenschaft kann verschieden verstanden werden. Ende des 19. Jh. glaube man, die Physik sei insofern an einer G . ihres Forschens angelangt, als nichts grundsätzlich Neues mehr zu finden sei. Es könne sich in der Physik, so meinte man, nur noch darum handeln, eine nicht mehr sehr bedeutsame Arbeit in Spezialfragen der im Grunde erforschten großen Erkenntnisgebiete zu leisten. Die nachfolgenden großen Entdeckungen auf dem Gebiete der Quantentheorie, Atomphysik und Relativitätstheorie haben dieser Meinung Unrecht gegeben. Schon Kant hatte es für unmöglich gehalten, daß die empirische Forschung jemals an eine G . stoßen könne, und zwar sowohl im ständigen Fortgang (also im Vorwärtsschreiten von Ergebnis zu Ergebnis), als auch im ständigen Rückgang auf ihre Grundlagen. In der Tat könnten sich immer noch ungreifendere Gesetzmäßigkeiten zeigen, aus denen sich Ansätze, die wir heute noch als unbeweisbar bezeichnen, herleiten lassen.

Eine andere Art von G . hat sich in der Quantentheorie gezeigt. Das Wirkungsquantum h hat sich als G .konstante erwiesen, die nicht unterboten werden kann. Es bleibt die Frage, ob es sich hier bereits um eine Senskonzante, also eine von der Natur gesetzte Schranke handelt oder eine Konstante, die lediglich durch den theoretischen Ansatz bedingt ist. Von gleicher G .bedeutung ist die → Unbestimmtheitsrelation von Heisenberg, derzufolge es eine genau angebbare Schranke grundsätzlicher Art gibt, die angibt, mit welcher Genauigkeit der Impuls eines Teilchens beschreibbar ist, wenn der Ort genau gegeben ist, und umgekehrt.

Von anderer Art ist die G . der (inner)physikalischen Erkenntnis gegenüber der philosophischen Erkenntnis, bei der es sich darum handelt, zwischen physikalischen und philosophischen Fragen zu unterscheiden. Fragen nach der Gültigkeit der Relativitätstheorie oder Quantentheorie sind innerphysikalische Probleme, die zu bearbeiten Sache des Physikers ist. Fragen, was Kausalität, was ein Naturgesetz, was Substanz ist, sind erkenntnistheoretische Fragen. Angelegenheit des Physikers ist die Prüfung, ob ein Satz ein Naturgesetz ist, auf welche Größen der Substanzbegriff zutrifft usw. Dazu muß er

vorher wissen, was Naturgesetz, Größe und Substanz bedeuten. Selbsterständlich kann der Physiker diese Probleme untersuchen; aber dann wird er zum Erkenntnistheoretiker.

Eine G . ganz anderer Art ist von Kant untersucht worden, nämlich die G . des Verstandes. Sie betrifft einmal die Frage nach der Wurzel von Sinnlichkeit und Verstand. Durch die Sinnlichkeit sind uns Dinge gegeben, vom Verstand werden sie durch seine Kategorien in Gegenstände der Erfahrung geformt. Der Verstand kann seine eigenen Kategorien nicht überschreiten und nie aus sich herausgelangen, um die gemeinsame Wurzel aufzudecken. Diese G . betrifft damit auch Wahrnehmungswelt und die Welt der Physik, die einen tiefen, jedoch verborgenen inneren Zusammenhang haben müssen. Aus diesem Grunde kann ein → Ding-an-sich nicht Gegenstand der Erkenntnis sein, da es ein »Ding« wäre, das ohne Zutuliffnahme des Verstandes »erkannt« werden sollte. Vom Standpunkte des transzendentalen Idealismus Kants ist es nicht möglich, »An-sich-Seiendes« zu erkennen. Der kritische Realismus jedoch ist der Ansicht, daß wir mit unserer Erkenntnis imstande sind, immer tiefer in das Seiende einzudringen.

Als G ., die der naturwissenschaftlichen Erkenntnis gesetzt sind, weisen sich auch die naturphilosophischen Fragen aus, bei denen der Verstand seine G . übersteigt und Fragen zu enträtseln versucht, die uns nur als Ideen gegeben sein können: die Frage nach dem Anfang der Welt, nach ihrer Totalität (Weltganzen), nach ihrer Struktur (unendliche Teilbarkeit oder Zusammengesetztheit aus endlichen Teilchen), nach ihrer kausalen Bestimmtheit oder der Möglichkeit, daß sie kausal nicht bedingte Anfänge gehabt hat, nach der obersten Ursache der Welt (Gott). Kant zeigte, daß die Vermunte antinomisch wird, wenn sie derartige Probleme sich zu lösen bemüht. Zu jeder These läßt sich eine Gegenthese aufstellen und beweisen, z. B. zur These: »Die Welt hat der Zeit und dem Raume nach einen Anfang« die Gegenthese: »Die Welt ist der Zeit und dem Raume nach unendlich, Man kann der Meinung sein, daß gewisse dieser Probleme doch einer Lösung zugeführt werden können, z. B. die Frage nach der räumlichen Endlichkeit der Welt oder ihrer Struktur. Wir dürfen aber nicht vergessen, daß es sich bei den darüber bestehenden Theorien um vom Verstande entworfene Modellvorstellungen handelt.

Als G ., die der naturwissenschaftlichen Erkenntnis gesetzt sind, sind schließlich alle die Probleme zu bezeichnen, die nicht von den → Kategorien der Naturwissenschaft voll erfaßt werden können, z. B. das Problem des Lebens, die Probleme der Psychologie, der Geschichte, der Sprache und des Menschen selbst.

L: O. Becker, *Größe und Grenze der mathematischen Denkweise*, 2. Kap. Freiburg 1959 — I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, 1781 — I. Kant, *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik*, S. 49 bis 55, 1783 — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*, Braunschweig 1964⁹ — W. Schulze-Sätle, *Die Problematik des Physikalisch-Realen*, S. 50 ff. Stuttgart 1962

Größe, Größenart, Größenwert. Unter Größe versteht man die Merkmalsquantität eines physikalischen Objekts. Diese kann allgemein sein, z. B. die Spannung U , die Länge l , die Masse m . In dieser Allgemeinheit gehen sie in physikalische → Gesetze ein. Die Merkmalsquantität kann aber auch speziell sein, z. B. die Länge 5 cm, die Spannung 100 Volt. Zur Unterscheidung von der allgemeinen Größe bezeichnet man die spezielle Merkmalsquantität als Größenwert. Ein physikalisches Objekt wird in der Regel verschiedene Merkmalsquantitäten besitzen, z. B. die Masse 0,5 g und die elektrische Ladung 3 Coulomb.

Größenarten oder Dimensionen sind qualitative Merkmalsbestimmungen, z. B. Länge (l), elektrische Ladung (Q), magnetisches Moment. Die Größenart gibt an, welches Merkmal gemessen werden soll. Zu einer Größenart gehören unendlich viele Größenwerte. Die Größenarten bilden eine multiplikative Abelsche Gruppe. Diese besitzt ein Basissystem von Grundgrößenarten, aus denen die anderen Größenarten als Potenzprodukte erzeugt werden können, z. B. $v = l \cdot t^{-1}$. Man muß stets mit einer Mindestzahl von Grundgrößenarten (Basiselementen) auszukommen versuchen. Für die Mechanik ist z. B. ein solches Basissystem: Länge, Zeit, Kraft, schwere Masse. Es gibt unbeschränkt viele gleichwertige Basissysteme. Für jedes Basissystem werden → »Einheiten« der Größenarten verabredet, z. B. für die Länge die Einheit 1 Meter. Die Einheiten der abgeleiteten Einheiten ergeben sich aus den Einheiten des Basissystems.

Der Größenwert ist invariant gegenüber der Quantität der Einheit. So haben 1 km, 1000 m, 100000 cm den gleichen Größenwert. Nur die *Zahlenwerte* sind verschieden. L.: R. Fleischmann, *Einheitsinvariante Größengleichungen, Dimensionen*. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht, 12. Bd., Nr. 9 und 10 — W. Westphal, *Die Grundlängen des physikalischen Begriffssystems*. Braunschweig 1965

Grundsatz → Axiom.

Hypothese (griech.), ein wissenschaftlicher Ansatz, der eine Reihe von Erscheinungen oder Meßreihen durch eine Allgemeinaussage verbindet, oder auch ein Ansatz, der physikalische Erscheinungen erklären soll. Zu den H. erster Art gehört der Galileische Ansatz des Fallgesetzes. Eine solche H. läßt sich durch das Experiment unmittelbar verifizieren. Zu den H. der zweiten Art gehören alle Theorien (Molekulartheorie, H. über die Struktur des Atoms usw.). Sie lassen sich zwar nicht unmittelbar durch Experimente bestätigen, wohl aber die Folgerungen, die sich aus solchen H. ergeben. Diese H. dienen der Erklärung zahlreicher Erscheinungen. Man kann so lange an ihnen festhalten, bis sie durch Experimente widerlegt werden, was z. B. bei der → Ätherhypothese der Fall war.

Als H. dritter Art sind die Spekulationen zu bezeichnen, die selbst oder deren Folgerungen in keiner Weise von der Wissenschaft nachprüfbar sind, z. B. Spekulationen über das Wesen der Gravitation. Derartige H. lehnte Newton ab (Hypothesen non fingo), nicht aber die wissenschaftliche H., die von Newton selbst benutzt wurde. Newton erkannte, daß man hinter einen Ausgangsansatz nicht zurückfragen und auf die Frage nach der Ursache der Schwerkraft keine physikalisch sinnvolle Antwort geben kann. Nicht alle Spekulationen sind wissenschaftlich wert- und bedeutungslos. Manche von ihnen haben zu echten physikalischen H. geführt, z. B. die Atomvorstellung Demokrits (→ Theorie).

L.: H. Poincaré, *Wissenschaft und Hypothese*. Leipzig 1928

Hypothesenfreie Wissenschaft, eine Wissenschaft, die keine hypothetischen, d. h. nicht verifizierbaren Elemente und Aussagen, sondern nur solche enthält, die aus unabdingbaren Grundsätzen abgeleitet werden können, oder auch solche, die sich unmittelbar durch Experimente verifizieren lassen. Der → Positivismus sah die h. W. als Ideal der Naturwissenschaft an. Diese sollte nur gesicherte → Tatsachen enthalten, die in Beschreibung ökonomisch zusammengefaßt waren. Nach Ansicht der meisten Denker gibt es eine h. W. nicht; denn die sog. Tatsachen haben erst im Rahmen einer → Theorie ihren Sinn, und → Experimente werden auf Grund von → Hypothesen und → Theorien durchgeführt.

Idealbild, physikalisches, gedankliche Konstruktion eines physikalischen Sachverhaltes unter Ausschaltung von Neben Umständen, damit er der mathematischen Behandlung zugänglich wird. Diese Konstruktion kann mit einer gewissen Annäherung in → Experimenten realisiert werden. So bezieht sich der im Fallgesetz beschriebene Fallvorgang auf das I. des freien Falles. I. werden auch in Gedankenexperimenten konstruiert, z. B. in dem Gedankenexperiment von Julius Robert Mayer, mit dem er das mechanische Wärmeäquivalent berechnete (→ Experiment).

Die Konstruktion von I. hat ihre besondere Bedeutung, wenn es um die statistische Erfassung einer großen Anzahl von Individuen geht, z. B. in der kinetischen Wärmetheorie. Man stellt sich die Moleküle eines idealen Gases als homogene, vollkommen elastische Kugeln gleicher Masse vor, die vollkommen glatt sind, so daß Reibungskräfte wegfallen, und die nicht der Schwerkraft unterliegen. Diese Kugeln bewegen sich in einem idealen Gefäß mit homogenen, vollkommen elastischen und glatten (reibungslösen) Wänden. Man kann auf eine oder mehrere der Idealisierungsbedingungen verzichten. Die Untersuchungen der theoretischen Physik sind zumeist Untersuchungen an I., die in der Realität nicht erreichbar sind. Trotzdem können durch diese I. die realen Vorgänge mit großer Annäherung erfaßt werden, wenn es sich um eine große Anzahl von Individuen handelt und die Realisierung des Idealfalles mit großer Annäherung möglich ist. Sollten sich durch das Experiment große Unterschiede zwischen den errechneten und gemessenen Ergebnissen zeigen, dann müssen gewisse idealisierende Momente aufgegeben und andere Annahmen gemacht werden.

L.: H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938, S. 306 ff

Idealismus (griech.), Oberbegriff, der eine Reihe von philosophischen Standpunkten kennzeichnet, die jedoch untereinander verschieden sind und sich z. T. widersprechen. Gemeinsam ist allen diesen Standpunkten, daß in ihnen das Denken, der Geist oder die Vernunft der Wahrnehmungswelt oder der materiellen Wirklichkeit vor- oder übergeordnet sind oder daß sogar die materielle Wirklichkeit in ihrer Existenz geleneget wird, indem das Sein nur als Bewußt-sein aufgefaßt wird. Als Beispiele seien hier nur zwei große Strömungen genannt, die sich auch auf die Naturphilosophie ausgewirkt haben.

a) Der *Platonische Standpunkt*: Die objektive Wirklichkeit ist die der Ideen und des Geistes. Erkenntnis kann nur dadurch gewonnen werden, daß man sich dem Studium der Ideen und des Geistes zuwendet. Von Naturwissenschaftlern ist zwar der extreme platonische Standpunkt nicht vertreten worden, da die Naturwissenschaft experimenteller Methoden bedarf und sich nicht nur dem Studium der Theorie zuwenden kann. Dagegen sind von Naturwissenschaftlern gelegentlich platonische Gedankengänge geäußert worden, z. B. von Heisenberg, der eine Ähnlichkeit zwischen den Vorstellungen bei Plato und denen der modernen Atomphysik feststellte. Die physikalischen Modelle sind gedankliche Konstruktionen und als solche eher als »Formen« (Ideen) aufzufassen denn als stoffliche Inhalte.

b) Der *transzendente Idealismus Kants*: Die Natur »an sich« ist nach Kant für uns unerkennbar. Nur durch die Empfindungen haben wir eine Kenntnis von ihrer Existenz. Damit aus unseren Wahrnehmungen Erkenntnis werden kann, müssen diese unter den → Kategorien des Verstandes gedacht werden. Diese transzendenten (über aller Erfahrung, nur im Verstande gründenden) Kategorien haben ihre Analogien in der Erfahrung und sind dort Ordnungsschemata der empirischen Erscheinungen (s. »Texte der

Philosophie, hg. v. Hüniger, Schottky, Zahn. Lehrerkommentar S. 90 ff. München 1961). Solche Ordnungsschemata sind: Substanz, Kausalität, Wechselwirkung.

Es gibt in der neueren Naturphilosophie zahlreiche Modifikationen des I.

Identität (lat.), völlige Übereinstimmung eines Gegenstandes oder Sachverhalts im zeitlichen Verlauf, bei räumlichen Änderungen und unter verschiedenen Umständen in allen seinen übrigen Bestimmungselementen. Ein Gegenstand kann streng genommen immer nur mit sich selbst identisch sein. Stimmen zwei Gegenstände zum gleichen Zeitpunkt in allen Eigenschaften überein, so sind sie doch nicht identisch; denn sie unterscheiden sich in ihren Raumkoordinaten. Dagegen können zwei Gegenstände zu verschiedenen Zeitpunkten mit verschiedenen Raumkoordinaten identisch sein. Heraklit hat die Möglichkeit der I. gelehrt, weil seiner Ansicht nach die Gegenstände und auch wir selbst immer andere sind. (In dieselben Flüsse steigen wir und steigen wir nicht, wir sind und wir sind nicht).

Das Problem der I. taucht in der modernen Physik wieder auf. Ein Elektron, das sich durch einen Kristall bewegt, ist nach dem Durchgang nicht mehr als dasselbe identifizierbar. I. verlangen wir vom \rightarrow Begriff. Nur auf Grund der I. ist Begriffsbildung möglich. Naturwissenschaftliche Begriffe dürfen sich im Verlaufe einer Untersuchung nicht ändern, sondern müssen immer mit sich identisch bleiben.

Induktive Methode, Induktion (lat.), ein Verfahren, aus Einzelbeobachtungen oder Versuchsreihen allgemeine Ergebnisse, d. h. Aussagen zu gewinnen, die über die Einzelbeobachtungen hinausreichen. Man unterscheidet zwischen generalisierender I. und exakter (reiner) I. »Bei der generalisierenden I., der vergleichenden Methode, werden durch Vergleich von Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten der Naturkörper, ihrer Teile und der Naturvorgänge, die einzelnen Naturgegenstände selbst, ihre Teile und die sich daran vollziehenden Vorgänge in ein System von allgemeinen Begriffen und Aussagen gebracht.« (M. Hartmann s. u. S. 126) Durch generalisierende I. gelang Balmer die Aufstellung seiner Serienformel.

Die exakte I., zuerst von Galilei angewandt, besteht in der Analyse eines Einzelfalles und in Verallgemeinerung dieses Falles auf alle entsprechenden (d. h. unter den gleichen Bedingungen stehenden) Fälle. Das beobachtete Besondere wird bereits im Hinblick auf das Allgemeine untersucht. Besonders klar zeigt sich dieses Verfahren beim Auffinden des Fallgesetzes durch Galilei. Der erste Schritt besteht in der *Idealisierung* des Falles, d. h. es sollen nicht Steine, Blätter usw. beim Fallen beobachtet, sondern es soll das Fallen von Massenpunkten im luftleeren Raum in seiner Gesetzmäßigkeit erkannt werden (\rightarrow Idealbild). Das Experiment muß diesen gedanklichen Entwurf bestätigen. Der zweite Schritt besteht im Aufstellen einer \rightarrow Hypothese. Sie lautet bei Galilei, daß die Geschwindigkeit bei allen frei fallenden Körpern von der Größe ihrer Masse unabhängig ist und gesetzmäßig wächst. Für diese Gesetzmäßigkeit gab es viele Möglichkeiten. Galilei zog zwei in Betracht: 1. Die Geschwindigkeit wächst proportional zur Fallstrecke; 2. die Geschwindigkeit wächst proportional zur Fallzeit. (Die erste Annahme erwies sich bei der experimentellen Nachprüfung als falsch.) Nun leitete Galilei als dritten Schritt aus der zweiten Annahme das Verhältnis von Fallstrecken und Fallzeiten ab. Den vierten Schritt des induktiven Verfahrens bildet das \rightarrow Experiment, bei der die Natur so zurechtgestellt wird, daß sie auf die Frage Antwort geben kann: Fallen die Körper mit gleichförmig beschleunigter Bewegung, oder tun sie das

nicht? Der fünfte Schritt besteht in der Prüfung und Auswertung der Meßergebnisse. Das Aufstellen der allgemeinen Formel des Fallgesetzes schließt das Verfahren ab.

Man sieht, daß bei dieser I. auch deduktive Ableitungen vorliegen. Der Einzelfall, seine Gesetzmäßigkeit, wird aus der Hypothese, daß es sich um eine gleichförmig beschleunigte Bewegung handelt, deduziert, und das Experiment stellt die Nachprüfung einer Deduktion dar. Wenn das Experiment die Hypothese nicht bestätigt, so wird nicht weiter experimentiert, sondern zunächst eine andere Hypothese aufgestellt.

Das I. Verfahren hat drei wichtige Voraussetzungen: 1. die Gleichförmigkeit des Naturgeschehens, (jeder Fall eines Körpers muß in gleicher Weise verlaufen, so oft er auch stattfindet); 2. die Gesetzmäßigkeit des Naturgeschehens (es muß ein Gesetz des Fallens geben, das sich als analytische Funktion darstellen läßt); 3. die Begrifflichkeit des Naturgeschehens (der Mensch muß instande sein, die Vorgänge rational zu erfassen).

Auch der exakte I. schluß besitzt keine absolute Sicherheit. Es könnte sein (wenn es auch nicht anzunehmen ist), daß sich das Gesetz des freien Falles im Verlaufe der Zeit ändert. Logisch spricht nichts dagegen. Nach der polnischen Logikerschule ist der I. schluß der Spezialfall eines Reduktionsschlusses. Bei diesem wird in folgender Weise geschlossen: Wenn aus einer Aussage A die Aussage B folgt und B sich als wahr erweist, so ist auch A eine wahre Aussage. Es gibt aber kein logisches Gesetz dieser Art, und daher ist der Reduktionsschluß unsicher. Diese Schlüsse werden aber in der Physik immer wieder vollzogen, z. B.: Wenn aus dem Newtonschen Massenanziehungsgesetz die Keplerschen Gesetze folgen und diese sich als wahr erweisen, so ist auch das Newtonsche Massenanziehungsgesetz richtig. Oder: Wenn aus dem Bohrschen Atommodell die Spektralserien folgen, so ist das Atommodell richtig. Derartig erschlossene Aussagen müssen jedoch durch weitere Verifikationen gestützt werden. Je größer die Zahl der Verifikationen ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß die auf diesem Wege erschlossene Aussage richtig ist. Dagegen läßt sich aus der Falsifikation (dem Sich-als-falsch-ergeben-Haben) einer Aussage B, die sich als Folgerung aus der Aussage A ergab, mit Notwendigkeit schließen, daß auch die Aussage A falsch ist. Wenn aus der Newtonschen Annahme, daß das Licht aus Korpuskeln mechanischer Natur besteht, folgt, daß die Lichtgeschwindigkeit im Wasser größer als in Luft sein muß, die Folgerung aber durch das Experiment widerlegt wird, so ist die Annahme falsch.

I.: F. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*. Frankfurt 1960² — H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938 — M. Hartmann, *Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1959 — N. Hartmann, *Grundzüge einer Metaphysik der Erkenntnis*. Berlin 1949⁴ — Höfling, *Lehrbuch der Physik*. Bonn 1966⁷ — J. M. Bochenński, *Die zeitgenössischen Denkmethoden*. Dabp-Taschenbücher 304D

Intensive Größe \rightarrow Qualität.

Invarianz (lat.), Unveränderlichkeit. Die Forderung in der Physik besagt, daß die Verknüpfung physikalischer Maßgrößen, Definitionen, Naturgesetze und die allgemeinen \rightarrow Naturkonstanten unveränderlich gegenüber den gewählten Einheiten (Einheitsinvarianz), den Maßsystemen, gegenüber den Experimenten und gegenüber konstanten Raum- und Zeittransformationen sind. Zwar können die Zahlenwerte und Dimensionen je nach dem gewählten Maßsystem verschieden ausfallen, z. B. hat die Gravitationskonstante im MKS-System den Zahlenwert $6,67 \cdot 10^{-11}$ und die Dimension $m^3 kg^{-1} sec^{-2}$, im technischen Maßsystem den Zahlenwert $6,54 \cdot 10^{-10}$ und die Dimension

$m^2 \text{ kg ME}^{-2}$; jedoch ergibt eine Umrechnung von einem System ins andere \rightarrow Gleichheit. Entsprechendes ergibt sich für die Zahlenwerte eines Gesetzes, wenn man verschiedene Einheiten wählt (Minuten oder Sekunden, Meter oder Zentimeter usw.). Diese Invarianzforderung ist mathematisch-physikalischer Natur und an den Physiker gerichtet, die physikalischen Erscheinungen eindeutig zu beschreiben.

Die Forderung, daß die Gesetze und Konstanten gegenüber den Experimenten und kontinuierlichen Raum- und Zeittransformationen invariant bleiben, ist ein \rightarrow Postulat. Es erscheint uns zwar ziemlich sicher, daß ein Experiment, unabhängig davon, an welchem Ort und zu welcher Zeit es ausgeführt wird, immer die gleichen Ergebnisse liefert; aber dieses Postulat ist nicht selbstverständlich. Die Forderung, daß die Naturgesetze gegenüber kontinuierlichen Raum- und Zeittransformationen (auch gegenüber Drehungen, sowie Zeit- und Raumspiegelungen) invariant sein sollen, führt zu den \rightarrow Erhaltungssätzen.

L.: R. Fleischmann, *Einheitsinvariante Größengleichungen, Dimensionen*. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 1959/60, H. 9 und 10 — W. Kuhn, *Atomphysik in der Schule*. Braunschweig 1968⁸

Kategorie (griech.), eine Denk- oder Wirklichkeitsform, z. B. die Kausalität. K. sind die allgemeinsten Oberbegriffe. Für Kant waren die K. Ordnungsschemata des Verstandes, unter denen der Verstand die Wirklichkeit notwendig denken muß, um sie als zusammenhängende Ordnung begreifen zu können. Damit z. B. die Veränderungen in der Zeit als solche bestimmt werden können, muß ein Etwas gedacht werden, an dem sich die Veränderungen vollziehen und das selbst als unveränderlicher Bezugspunkt dieser Veränderungen angenommen werden kann. Kant nennt dieses Beharrende im Wechsel der Erscheinungen die »Substanz«. Substanzcharakter hat in der Physik die Energie. Früher glaubte man, daß auch die Masse Substanzcharakter besäße, der ihr aber auf Grund der Relativitätstheorie nicht mehr zukommt. Andere K. Kants sind z. B.: Einheit, Vielheit, Allheit, Kausalität, Wechselwirkung.

Manche Philosophen nehmen an, daß die K. nicht nur Denkformen des Verstandes (Bewußtseinsk.) sind, sondern Realk., also die Ordnung der Wirklichkeit selbst darstellen. N. Hartmann hat den Versuch unternommen, solche real-ontologischen K. zu finden und zu analysieren. Zu den von ihm untersuchten K. gehört die »Prozeßk.«, unter der alle in den Naturwissenschaften vorkommenden »Prozesse« stehen, z. B. Energieumwandlungen, chemische Prozesse, atomare Prozesse. Eine andere K. N. Hartmanns ist die »K. des dynamischen Gefüges«. Ein solches Gefüge ist beispielsweise unser Planetensystem. Während Kant zwölf K. aufstellte, nehmen manche Denker an, daß es unendlich viele K. gibt, von denen bis jetzt nur verhältnismäßig wenige entdeckt und erforscht sind. Jede \rightarrow Wissenschaft besitzt ihre eigenen K.

L.: M. Hartmann, *Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1959² — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*. Berlin 1950 — I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*. 1781 — H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*, 2 Bde. Freiburg 1954/1961

Kausalität (lat.), zunächst die Denkweise, daß jedes Geschehen eine vorangehende Ursache oder Ursachen habe, aus denen es mit Notwendigkeit folgt. Dabei bleibt noch fraglich, ob wir diese Kausalverknüpfung nur durch unseren Verstand herstellen oder ob sie real ist, d. h. in den Geschehnissen selbst liegt. Hume nahm an, daß wir auf das kausale Denken durch die Gewohnheit geführt worden sind. Weil wir immer wieder

festgestellt haben, daß die Sonne einen Stein erwärmt, denken wir die Sonnenbestrahlung als Ursache der Erwärmung. Kant erklärt die K. als \rightarrow Kategorie des Verstandes. Sie beruht nicht auf Erfahrung, sondern ist a priori gültig, kann jedoch nur im Bereich der Erfahrung angewendet werden. Die K. ist kein Naturgesetz. Das erkennt man schon daran, daß sie keine inhaltliche Bestimmtheit hat. Sie steht damit als Prinzip über den Naturgesetzen.

Für die klassische Physik war die K. der Ausdruck eines strengen \rightarrow Determinismus: Eine quantitativ bestimmte Ursache hat eine bestimmte quantitativ bestimmte Wirkung zur Folge. Diese Relation wird durch ein Gesetz ausgedrückt. Eine bestimmte Kraft, die auf einen Massenpunkt wirkt, hat — sofern sich dieser frei bewegen kann — eine ganz bestimmte Beschleunigung des Körpers zur Folge, die durch das Gesetz $F = m \cdot a$ zu errechnen ist. Umgekehrt läßt die beschleunigte Bewegung eines Massenpunktes auf eine bestimmte Kraft als Ursache schließen. Nach dieser mechanistischen Kausalauffassung der klassischen Physik sind die Naturvorgänge streng determiniert.

An der mechanistischen Interpretation des Kausalprinzips läßt sich in der Atom- und Quantenphysik jedoch nicht festhalten. Man hat gezeigt, daß diese strenge Kausalität durch eine Wahrscheinlichkeitsaussage ersetzt werden muß, wobei die Wahrscheinlichkeit in der klassischen Physik beliebig nahe an 1 gesteigert werden kann und mit dem Werte 1 die Form strenger Kausalität annimmt, während in der Quantenphysik dieser Steigerung prinzipielle Schranken gesetzt sind. Die Voraussetzungen der Ereignisse sind damit eingeschränkt. Wenn man die Voraussetzungen mit dem Kausalprinzip identifiziert, dann wäre in der Tat das Kausalprinzip nicht mehr gültig. Viele Naturphilosophen und Naturforscher sind jedoch der Ansicht, daß das Kausalprinzip weiter Gültigkeit habe, daß jedoch in der Quantenphysik die Prämisse dieses Gesetzes, die Ursache, nicht mit der Schärfe bestimmbar sei, daß sie für eine Determination ausreicht. Nicht die Existenz des Kausalprinzips sei damit in Frage gestellt, sondern nur seine unbeschränkte Anwendbarkeit. Man hat darauf hingewiesen, daß auch der Heisenbergschen Unschärferelation ein kausales Denken zugrunde liege, daß sie also selbst unter dem Kausalitätsprinzip formuliert sei; denn die genaue Bestimmung des Impulses eines Elektrons ist die Ursache dafür, daß der Ort nicht genau bestimmt werden könne. In der *Denkform* liegt nicht schon die Forderung, daß Ursache und Wirkung, die in der Physik jeweils einen Komplex von Maßbestimmungen enthalten können, auch für alle Elemente dieses Komplexes in aller Schärfe zu bestimmen sind. Jedes Gesetz setzt K. als *Prinzip* voraus, aber nicht die spezielle Interpretation der K. im Sinne der Determiniertheit.

L.: F. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*. Frankfurt 1960² — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*. Berlin 1950 — E. May, *Kleiner Grundriß der Naturphilosophie*. Meisenheim 1949

Klassische Physik, nicht ganz einheitliche Bezeichnung für einen Teil der Physik. Teils bezeichnet man damit die Physik vor 1900, also vor dem Auftreten der Quantentheorie und der Relativitätstheorie. Dabei wird die spezielle Relativitätstheorie teils als Abschluß der k.P., teils als Beginn der neuen Physik angesehen. Andere Naturforscher bezeichnen als k.P. diejenige Physik, deren Ursprünge auf Galilei und Newton zurückgehen und die unter Zugerundelegung des euklidischen Raums alle Erscheinungen der Physik auf die Mechanik zurückführen wollte. Danach wären zur k.P. außer Mechanik nur Akustik und Wärmelehre zu rechnen, die als Teilgebiete der Mechanik erkannt

wurden. Der gleiche Versuch wurde für die Optik und die Elektrizitätslehre gemacht. Doch zeigte es sich, daß man in diesen Gebieten nicht mehr rein mechanische Denkweisen anwenden und mit dem Begriffssystem der Mechanik auskommen konnte. Die von Faraday, Maxwell und Hertz entwickelte Feldtheorie ist jedoch noch der k.P. zuzurechnen, da diese Felder kontinuierlich den Raum erfüllen und von Diskontinuitäten noch nicht die Rede ist. Die Diskontinuität von Energiewirkungen tritt erst in der Quantentheorie Plancks auf. Die klassische Mechanik Newtons wurde schließlich durch die relativistische erweitert, so daß jene als Grenzfall dieser (für kleine Geschwindigkeiten) aufzufassen ist.

Komplementarität (lat.), eine Denkform der neuesten Physik, die von Niels Bohr zum Prinzip für die Naturbetrachtung mikrophysikalischer Vorgänge erhoben wurde. Dieses Prinzip soll dazu dienen, Unklarheiten oder gar Widersprüche in quantenphysikalischen Vorgängen aufzulösen. Heisenberg hatte in seinem Buche »Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie« (1929) gezeigt, daß es — auch gedanklich — nicht möglich ist, Ort und Impuls eines Elektrons gleichzeitig mit beliebig großer Genauigkeit zu bestimmen. Je größer die Genauigkeit der Impulsmessung ist, desto geringer muß die Genauigkeit der Ortsmessung werden. Ist die Unsicherheit der Impulsmessung Δp und die Unsicherheit der Ortsangabe Δx , so ist $\Delta p \cdot \Delta x \geq h$, wobei h die Plancksche Konstante bedeutet. Diese Beziehung ist die Heisenbergsche \rightarrow Unsicherheitsrelation. Die Unsicherheit beruht nicht darauf, daß unsere Meßinstrumente noch zu unvollkommen sind, sondern auf einem unlöslichen Wechselbezug zwischen beobachtetem Objekt und Beobachtungsinstrument bzw. Beobachter. Um den Ort eines Elektrons möglichst genau festzustellen, müßte man es mit möglichst kurzwelligem Licht (γ -Strahlen) beleuchten. Diese energiereiche Strahlung bewirkt jedoch einen Energieaustausch zwischen Elektron und γ -Quant, so daß es nicht gleichzeitig möglich ist, den Impuls des Elektrons festzustellen. Verwendet man dagegen weniger energiereiche, also langwelligere Strahlung, so ist zwar der Impuls genauer festzustellen, dagegen nicht mehr der Ort, da das Elektron sehr klein gegenüber der verwendeten Wellenlänge der Strahlung ist. Man nennt Ort und Impuls komplementäre Größen.

Komplementäre Größen sind auch Energie und Zeit, Wellenlänge und Impuls. Das Produkt komplementärer Größen hat immer die Dimension einer »Wirkung«. Es kann nicht kleiner sein als das Plancksche Wirkungsquantum, da es kleinere Wirkungen als das Wirkungsquantum nicht gibt. Die K. gilt also für alle physikalischen Maßgrößen, deren Produkt die Dimension einer Wirkung (Energie mal Zeit) hat. Auf dieser K. beruht auch der \rightarrow Dualismus Korpusskel-Wellen. Die Phänomene, die mit der Wellennatur des Lichts (z. B. die Interferenz) und diejenigen, die mit seiner korpusskularen Natur verknüpft sind (genaue Bahn eines einzelnen Lichtquants), lassen sich niemals durch dasselbe Experiment feststellen.

Es ist zu beachten, daß es sich bei Ort und Impuls um komplementäre \rightarrow Größen, bei Welle und Korpusskel um komplementäre \rightarrow Bilder handelt, innerhalb deren Größen als komplementäre Merkmale auftreten. Schließlich gibt es eine dritte, noch übergeordnete Form der K.: die kausalmechanische Beschreibung eines Phänomens in Raum und Zeit und die quantenmechanische Beschreibung, die keine raum-zeitliche Beschreibung im Sinne der klassischen Physik zuläßt.

Verschiedene Philosophen und Naturwissenschaftler haben das K.prinzip philosophisch zu deuten versucht. Die einen halten die K. nicht nur für eine Denkform, zu der uns die neueste Physik genötigt hat, sondern als in der Seinsweise des Seienden begründet, nämlich für den physikalischen Ausdruck des komplementären Gegensatzes von Sein und Geschehen (Elektron — Welle) (Max Wundt). Andere sehen in den komplementären Bildern nur verschiedene Gegenstandsstufen der Wirklichkeit (Max Bense). Demgegenüber gibt es Forscher, die im K.prinzip eine Denkform sehen, die nicht in der Seinsweise der Natur, sondern in der Dialektik unseres Geistes begründet ist. Wieder andere Denker weisen darauf hin, daß die K. weder ein Seins- noch ein Denkprinzip, sondern nur durch den Zustand der augenblicklichen Forschung oder auch nur durch die Form des physikalischen Denkens bedingt sei. Man könne sich denken, daß eine weitergehende Forschung tiefere Schichten der Wirklichkeit erreiche, in denen die K., ihre Lösung und Auflösung findet, oder auch, daß der Schematismus der heutigen Physik noch zu beschränkt und unsere Denkweise noch zu beengt ist, um die Seinsweise des physikalischen Seienden zu erfassen. Es könnte z. B. so sein, daß Korpusskelbild und Wellenbild zu einfache Schemata für die Erfassung der Natur sind und daß die K. bei Anwendung komplizierterer Schemata nicht mehr auftritt (Ed. May und H. Dingler).

L.: N. Bohr, *Atomtheorie und Naturbeschreibung*. Berlin 1931 — W. Heisenberg, *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*. Leipzig 1943 — A. March, *Die physikalischen Grundlagen der Erkenntnis*. Braunschweig 1964³ — W. Pauli, *Die philosophische Bedeutung der Ideen der Komplementarität*. In: Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie. Braunschweig 1960 — L. v. Strauß und Torrey, *Das Komplementaritätsprinzip der Physik in philosophischer Analyse*. In: Zk. f. philos. Forschung, Bd. 10, 1956

Konstante (lat.), **Naturkonstante**, ein Größenwert oder eine Maßgröße, die unter bestimmten Bedingungen unveränderlich gehalten werden oder unveränderlich sind, oder solche Größen, die nach unseren bisherigen Kenntnissen überhaupt und unter allen Bedingungen unveränderlich sind. Letztere bezeichnet man als universelle K. Die Konstanz bestimmter Größen ist die Voraussetzung für eine quantitative Naturbeschreibung.

Bei einem Experiment ist es notwendig, bestimmte Größen konstant zu halten, um die gesetzmäßige Abhängigkeit anderer Größen zu bestimmen, z. B. die Massen, wenn man die Abhängigkeit der Beschleunigung von der Kraft erkennen will, oder den Querschnitt und das Material eines Leiters, wenn man zeigen will, wie der Widerstand von der Länge abhängt. Es kann freilich die weitere Forschung ergeben, daß die Konstanz der vermeintlichen K. noch an weitere Bedingungen geknüpft ist.

Während diese Konstanz vom Experimentator willkürlich hergestellt und auch wieder aufgehoben werden kann, gibt es individuelle K., die nicht willkürlich geändert werden können, z. B. die Dichte, die spezifische Wärme, den spezifischen Widerstand eines Stoffes usw. Es handelt sich hierbei um »Merkmale«. Es kann sich erweisen, daß bei Abänderung der Bedingungen die Konstanz nicht gewahrt bleibt; z. B. hängt der Siedepunkt vom Druck ab.

Es gibt weiterhin K., die sich experimentell aus einer gesetzmäßigen Beziehung ergeben (Beispiele: Der Quotient aus schwerer und träger Masse, das Produkt aus spezifischer Wärme und Atomgewicht eines Elements). — Ferner gibt es universelle K., die

nach unserer bisherigen Kenntnis unabhängig von jeder Zusatzbedingung sind: die Massen der Elementarteilchen, die Gravitationsk., die elektrische Elementarladung, die universelle Gask., die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, das Plancksche Wirkungsquantum.

Die Konstanten decken oft tieferliegende Zusammenhänge auf. So führte die Übereinstimmung der Geschwindigkeit elektromagnetischer Wellen und der Lichtgeschwindigkeit zur Annahme, daß die Lichtwellen elektromagnetische Wellen sind; die Gleichheit von träger und schwerer Masse gehört zu den experimentellen Grundlagen der Relativitätstheorie (Einsteinsches Kastensexperiment). Die universellen K., z. B. die sog. Kopplungskoeffizienten (Gravitationsk., K. der elektr. und der nuklearen Wechselwirkung), vor allem aber die noch tiefer liegenden K. der Lichtgeschwindigkeit und des Wirkungsquantums deuten auf die physikalische Grundstruktur der Welt hin. Wir wissen freilich noch nicht, wie weit die Einsicht in diese Grundstruktur schon erreicht ist. Ziel der Forschung ist ein Zusammenschluß der K., durch den sich Gebiete als zusammenhängend erweisen würden, die bisher noch getrennt sind, wie z. B. Gravitation und elektrische oder nukleare Wechselwirkung. Pascal Jordan hat den Gedanken ausgesprochen, daß auch die universellen K., wie die Lichtgeschwindigkeit, einer zeitlichen Veränderung unterliegen könnten.

Eine K. eigener Art, deren Wert sich jedoch nicht angeben läßt, ist die Gesamtenergie des Weltalls, die nach den bisherigen Vorstellungen als konstant angenommen wird.

L.: E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. III, S. 510ff. Oxford 1954

Kontingenz (lat.) der Naturgesetze bedeutet zunächst ihre Zufälligkeit. Leibniz hat den Gedanken ausgesprochen, daß Gott auch eine andere Welt mit ganz anderen Naturgesetzen hätte schaffen können, daß er aber die beste Welt mit den zweckmäßigsten Naturgesetzen geschaffen habe. Auch für Kant sind die *speziellen* Naturgesetze nicht denknotwendig. Zwar gelte dies für die große Gesetzmäßigkeit, für die vom Verstande entworfenen Gesetze, nicht aber für die empirisch ermittelte. So kann man sich wohl denken, daß z. B. das Brechungsgesetz ganz anders lauter. Man hätte dann freilich ein anderes Lichtmodell schaffen müssen. Man könnte sich auch vorstellen, daß unsere Weltkonstanten (→ Konstante) andere Werte haben. Es ist nicht denkunmöglich, daß unsere Naturgesetze und unsere Weltkonstanten sich im Laufe der Zeit ändern. Das Gegenteil läßt sich nicht beweisen. In etwas anderem Sinne hat Boutroux von einer K. der Naturgesetze gesprochen. Er hält diese Gesetze nicht für strenge Gesetze. Sie lassen dem Zufall und der Freiheit des Handelns noch Raum.

L.: E. Boutroux, *Die Kontingenz der Naturgesetze*, dt. Jena 1911

Kontinuum, Kontinuität (lat.), stetiger Zusammenhang, der keine Lücken besitzt. Wir können unterscheiden zwischen K. der Wahrnehmungen (in Raum und Zeit), K. des Seins (der Dinge), K. des Erlebens, K. des Denkens. K. bedeutet eine durchgängige Verknüpfung, bei der keine Wahrnehmung, kein Ding, kein Erlebnis, kein Denkinhalt für sich isoliert ist und nicht mit den anderen im Zusammenhang steht. Mit Entschiedenheit hatte vor allen Kant die K. der Erscheinungen zum Prinzip erhoben. Erfahrung wäre nach Kant nicht möglich, wenn es zwischen den Erscheinungen unüberbrückbare Klüfte gäbe, wenn man sie also nicht in der gleichen Erfahrung denken könnte. Dagegen erhob Kierkegaard den Einwand, die K. sei eine Abstraktion, ein Prinzip, das nur in unserem Denken erfüllt sei, während die Ereignisse des Lebens oder der Welt diskontinuierlich, sprunghaft vor sich gingen.

Von der philosophischen K. ist die mathematische zu unterscheiden. Die Mathematik bezeichnet die Menge der reellen Zahlen als ein K. Sie kann durch die Punkte einer Geraden dargestellt werden. Die Menge der Punkte einer Geraden (oder einer Strecke) ist der Menge der reellen Zahlen äquivalent. Dasselbe gilt von den Punkten einer Ebene und den Punkten des Raumes, die ebenfalls (ein zwei- bzw. dreidimensionales) K. bilden. Diesen geometrischen Raum legte man dem physikalischen Raum zugrunde. Entsprechend dem Raum stellte man sich die Zeit als lineares K. vor. Die Menge der Zeitpunkte auf der Zeitachse ist der Menge der Raumpunkte auf einer Wegachse äquivalent. Davon wird bei der Darstellung von Bewegungen eines Massenpunktes durch ein Raum-Zeit-Diagramm Gebrauch gemacht. Nach der klassischen Physik können sich auch Feld (Gravitations- oder elektromagnetisches Feld) und Energie kontinuierlich im Raum verteilen und kontinuierlich in der Zeit fortschreiben. Minkowski hat in Anknüpfung an die Relativitätstheorie von Einstein ein Weltbild entworfen, in dem Raum und Zeit zu einem vierdimensionalen K. zusammengeschlossen sind.

In der neuesten Physik mußte die Vorstellung von der durchgängigen K. der physikalischen Welt und der physikalischen Vorgänge aufgegeben werden. Die Atomphysik zeigt die Diskontinuität in der Verteilung der Materie und in Bewegungsvorgängen (Sprung des Elektrons), die Quantenphysik lehrt die Diskontinuität der Energie und der Strahlung. Man hat annehmen müssen, daß auch die vierdimensionale Raum-Zeit-Welt kein K. sei, sondern Löcher oder sogar Tunnel besitze. Mit diesen Ergebnissen der modernen Physik ist aber noch nichts darüber gesagt, wie das Seiende selbst beschaffen ist, ob also seine Struktur kontinuierlich oder diskontinuierlich ist.

L.: D. ter Haar und A. C. Crombie, *Wendepunkte in der Physik*. Braunschweig 1963 — W. Kühn, *Atomphysik in der Schule*. Braunschweig 1968⁸ — M. von Laue, *Materie und Raumverfüllung*. In: Aufsätze und Vorträge. Braunschweig 1962² — H. Weyl, *Das Kontinuum*. Berlin 1932

Konventionalismus (lat.), der naturphilosophische Standpunkt, daß die Fundamentalsätze der Physik lediglich konventionelle Festsetzungen (Festsetzungen durch Übereinkunft) seien. Dieser Standpunkt wurde vor allem von dem französischen Mathematiker J. H. Poincaré entwickelt. Während nach Kant die euklidische Geometrie und die Grundsätze der Newtonschen Mechanik eine Geltung → a priori beanspruchen und damit der Physik notwendig zugrundegelegt werden mußten, vertritt der K. die Ansicht, daß der Physik auch jede andere nicht-euklidische Geometrie oder nicht-newtonsche Mechanik als Fundamente dienen könnten, daß also die Ergebnisse der Physik auf jeder konventionellen geometrischen und kinematischen Grundlage interpretiert werden könnten. Man wird sich durch Konvention dann für die zweckmäßigste entscheiden. Die klassische Physik hat sich für die euklidische Geometrie und die Newtonsche Mechanik als Grundlage entschieden, was aber nicht ausschließt, daß, durch den Fortschritt der Physik bedingt, andere Konventionen zweckmäßiger sein können, weil sich auf ihrer Grundlage das System der Physik einfacher darstellen läßt.

Gegen diesen K. ist der Standpunkt vertreten worden, daß es nur ein einziges Fundamentalsystem geben könne, eben dasjenige, das der Seinsweise der Natur entspricht, und daß unsere naturwissenschaftliche Erkenntnis — bei allen notwendigen Korrekturen — gegen ein einheitliches Erklärungs-system konvergiert (→ Konvergenzprinzip).

Konvergenzprinzip (lat.), ein von Baym gegen den → Positivismus aufgestelltes naturphilosophisches Prinzip, nach dem unsere naturwissenschaftlichen Erkenntnisse

immer sicherer werden und die Wirklichkeit immer besser darstellen, während die falschen Erkenntnisse allmählich ausscheiden. Bawink stützt sich dabei auf die empirische Feststellung, daß die physikalischen Konstanten trotz verschiedener Bestimmungsmethoden gegen ganz bestimmte Werte konvergieren, daß Erscheinungen, die zunächst gar nichts miteinander zu tun zu haben scheinen, in eine einheitliche Theorie einmünden und schließlich, daß sich auch verschiedene Theorien einander annähern und gegenseitig stützen.

Diese Argumentation ist jedoch kein Beweis des Prinzips, sondern eine empirische Feststellung, die eines Tages korrigiert werden könnte. Wenn die Ergebnisse der Messung einer von uns für konstant gehaltenen Größe gegen einen bestimmten Wert konvergieren, so besagt das nicht, daß nicht eines Tages Meßergebnisse oder Überlegungen auftreten, denen zufolge diese Größe gar keine Konstante darstellt. Vor allem Masse, die in der → Relativitätstheorie keine absolute Konstante darstellt. Vor allem können physikalische Messungen nicht die → Realität einer solchen Maßgröße beweisen. (Die Messungen der atomaren Konstanten beweisen nichts für ihre Existenz. Es könnten die Atome keine Realität besitzen und diese Konstanten im Rahmen einer anderen Theorie in anderer Bedeutung auftreten.) Das Einmünden von verschiedenartigen Erscheinungen in eine einheitliche Theorie ist noch kein Beweis für die »Realität« dieser Theorie; denn die Erscheinungen könnten im Rahmen einer anderen Theorie auch anders gedeutet werden. Ebensowenig kann der Zusammenschluß verschiedener Theorien und ihr gegenseitiges Sich-stützen die Unmöglichkeit verbürgen, daß nicht eines Tages Erkenntnisse gewonnen werden, die diesen Zusammenschluß problematisch machen, oder daß ganz andere Theorien aufgestellt werden müssen, die die Meßergebnisse und Erkenntnisse anders interpretieren. Gerade die moderne Physik hat gezeigt, daß ihre Ergebnisse nicht immer gegen eine einheitliche Deutung konvergieren.

L: B. Bawink, *Die Bedeutung des Konvergenzprinzips für die Erkenntnistheorie der Naturwissenschaften*. In: Zt. f. phil. Forschung, Bd. 2, 1947

Kosmogonie (griech.), Lehre von der Weltenstehung, zuerst in mythischer Form auftretend. Jedes Volk hat seine Schöpfungsmythen, zumeist religiöser Art, in denen Gott Schöpfer oder Bildner der Welt ist. Es gibt jedoch auch K., in denen die Weltentstehung ohne göttliche Mitwirkung beschrieben wird, z. B. die der Vorsokratiker. Die neuen K. beruhen auf naturwissenschaftlichen Überlegungen (→ Kosmos, → Kosmologie).

Kosmologie (griech.), Lehre von der räumlichen und zeitlichen Struktur der Welt (→ Kosmogonie, → Kosmos). K. wurden schon von den Vorsokratikern, Platon (Timaios) und Aristoteles (»Über den Himmel«) aufgestellt. Die K. der Naturwissenschaften sind physikalische Theorien, die besonders durch die Ergebnisse der modernen Naturwissenschaft entscheidend beeinflußt wurden.

Kosmos (griech.), ursprünglich die Welt als Einheit, Ordnung und Harmonie. Als erster soll Pythagoras die Welt als K. bezeichnet haben. Über die räumliche und zeitliche Struktur des K. sind seit dem griech. Albertum naturphilosophische und später naturwissenschaftliche Vorstellungen entwickelt worden (→ Universum, → Welt).

Leerer Raum → Raum, → Vakuum.

Leitgesetz, ein von Sir Arthur St. Eddington gebrauchter Begriff für diejenigen Gesetze, die wirkliche Sinesetze sind. Während nach Eddington z. B. die Erhaltungsgesetze, die wirkliche Sinesetze sind. Während nach Eddington z. B. die Erhaltungsgesetze, die wirkliche Sinesetze sind.

sätze und Feldgesetze Gesetzmäßigkeiten sind, die der menschliche Geist für die Natur ausgewählt hat, um sie zu beschreiben, hält er es für möglich, daß die Gesetze der Quanten- und Atomtheorie vom menschlichen Geist unabhängig bestehen, weil sie keine ihm entsprechende Struktur aufweisen, z. T. sogar seiner natürlichen Denkweise widersprechen. Doch ist es nicht ausgeschlossen, daß sich bei weiterem Forschen auch diese Gesetze wiederum nur als vom menschlichen Geist entworfene Gerüste erweisen.

L: A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik*. Braunschweig 1931

Lichttheorie, eine naturwissenschaftliche → Theorie, durch die sich die bis heute bekannten, experimentell ermittelten Phänomene des Lichtes und ihre Meßdaten beschreiben und deuten lassen. Diese Beschreibung geschieht durch → Modelle oder im mathematischen Darstellung. Die beiden bedeutendsten Modellvorstellungen vom Licht am Beginn der neuzeitlichen Physik, von Newton und Huygens, gehen auf ältere metaphysische Entwürfe und vorbereitende wissenschaftliche Spekulationen zurück: Grössete hielt das Licht für eine sehr feine körperliche Substanz an der Grenze des Unkörperlichen, die sich ständig neu erzeugt. Von dieser Substanz geht infolge der Selbsterzeugung eine Eigenschaft aus, die wir als Licht wahrnehmen. Grössete sprach von einer unendlichen Vermehrung des Lichts nach allen Seiten hin. In diesem metaphysischen Entwurf sind die Züge beider Modellvorstellungen, der korpuskularen (feine körperliche Substanz) und der Wellenvorstellung (Ausbreitung = Selbstvermehrung) vorgebildet. Newton hielt das Licht für kleine Körper, die beim Auftreffen auf den Lichtäther Schwingungen erregen, die ihrerseits wieder auf die Korpuskeln wirken. Huygens erklärte das Licht für eine longitudinale Wellenbewegung des Lichtäthers.

Beide Modelle führten zu Schwierigkeiten; zunächst das Newtonsche, das der geringeren Lichtgeschwindigkeit im Wasser gegenüber der im Vakuum widersprach; dann aber auch das Huygenssche, als sich das Licht als transversale Wellenbewegung erwies, woraus sich ergab, daß der → Äther die Eigenschaft eines festen Körpers haben mußte. Für Newton und Huygens handelte es sich freilich nicht um Modelle, sondern sie glaubten durch ihre Erkenntnisse das »Wesen« des Lichts entdeckt zu haben.

Diese mechanischen Modelle wurden von dem Modell des Lichts als elektromagnetische Welle abgelöst, zu dem die theoretischen Arbeiten von Maxwell hingeführt hatten. Die elektromagnetische Welle macht die Annahme eines → Äthers überflüssig. Mit Hilfe dieses Lichtmodells lassen sich alle Erscheinungen der Makrophysik beschreiben. Doch experimentelle Erfahrungen am Ausgang des 19. Jh. — unter ihnen vor allem der lichtelektrische Effekt — zeigten, daß auch das Wellenmodell nicht ausreichend für die Deutung bestimmter Phänomene war.

Erst die Plancksche Quantentheorie vermochte auch sie zu deuten. Nach ihr breitet sich das Licht nicht, wie es nach der Wellentheorie der Fall sein müßte, stetig über den Raum aus, sondern ist in Lichtquanten konzentriert. Dieses Lichtmodell ist also wieder ein Korpuskelmodell. Dieses Modell führte nicht zur Aufgabe des Wellenmodells. Im Gegenteil, auch bei Kathodenstrahlen, bei denen es sich um Korpuskeln handelt, sind Interferenzerscheinungen nachweisbar, die sich nur durch das Wellenmodell erklären lassen. Im atomaren Bereich sind daher zwei Modelle zur Erklärung der experimentell gewonnenen Ergebnisse notwendig. Dabei hat sich gezeigt, daß niemals im gleichen Experiment Wellen und Korpuskeln zugleich auftreten. Die Modelle schließen sich gegenseitig aus und ergänzen sich. Sie sind komplementär (→ Komplementarität). Man

hat von einer »Doppelnatur« der Strahlung gesprochen. Doch ist damit nichts über das »Wesen« des Lichts ausgesagt, sondern nur, daß die Lichtphänomene bald durch das eine, bald durch das andere Denkmodell beschrieben werden müssen.

Logik der exakten Naturwissenschaften, die Lehre von den Begriffen und Ausdrucksformen der exakten Naturwissenschaft und von ihren Verknüpfungen. Durch die L.d.N. werden nicht die Gegenstände der Natur selbst untersucht, sondern nur noch die Begriffe und Aussagen über sie, und zwar geht es dabei nicht um inhaltliche Aussagen, sondern um sogenannte »Leerformen« von Aussagen. Durch Einsetzen von Gegenständen oder Eigenschaften in eine formale Aussage entsteht eine spezielle. In die einfache Aussage »A ist « lassen sich spezielle Werte einsetzen, z. B. Wärme und Molekularbewegung, Licht und elektromagnetische Welle usw. Die L.d.N. hat die Aufgabe, die logische Struktur und den Wahrheitswert von Leerformen naturwissenschaftlicher Aussagen zu untersuchen. Der Sinn dieses Vorgehens ist dabei ein doppelter: 1. Indem naturwissenschaftliche Aussagen in einen logischen Formalismus gefaßt werden, werden sie von der Sprache und ihren Ungenauigkeiten und Widersprüchlichkeiten unabhängig. Es wird für die Naturwissenschaft eine künstliche Sprache geschaffen. Die Mathematik ist bereits eine solche »Kunstsprache« der Naturwissenschaft. 2. Die in der Sprache der Logistik gefaßten naturwissenschaftlichen Aussagen lassen sich im Sinne der Logistik bearbeiten. Man kann z. B. Elementaraussagen nach festgelegten Operationen verknüpfen und diese Verknüpfungen aus Wertetabeln auf ihren Wahrheitswert untersuchen usw. Zu diesem Verfahren macht Bense die Bemerkung: »Was durch Regeln konstruiert und definiert wird wie die künstlichen Sprachen und ihre wissenschaftliche Welt, erscheint uns ohne Tiefe, aber der Verlust an Tiefe, so möchte ich korrigieren, wird ersetzt durch die größere Klarheit und durch die Vertiefung dessen, was gesehen und beschrieben wird« (s. u. S. 116).

Die Entwicklung der modernen Physik hat zu der Frage geführt, ob dieser eine zweiwertige oder eine dreiwertige Logik zugrunde zu legen sei. In der zweiwertigen Logik lassen sich die Aussagen in bezug auf ihren Wahrheitswert in zwei Klassen einteilen, in wahre und falsche. Moderne Logiker, vor allem Łukasiewicz, haben daneben eine dreiwertige Logik entwickelt, bei der zwischen den Klassen der wahren und der falschen Aussagen noch eine dritte eingeschaltet wird, nämlich diejenigen Aussagen, deren Wahrheitswert unbestimmt ist, also z. B. Aussagen, die nicht falsch, aber auch nicht beweisbar sind. Es sind Logiken entwickelt worden, in denen noch weitere Klassen von Aussagen aufgestellt werden, z. B.: mögliche, unwahrscheinliche, zufällige Aussagen usw. Reichenbach hat den Standpunkt vertreten, daß der modernen Physik eine dreiwertige Logik angemessen sei. In die 3. Klasse der weder wahren, noch falschen Aussagen sollen danach alle diejenigen fallen, die sich nicht verifizieren lassen. So läßt sich auf Grund der → Unbestimmtheitsrelation von Heisenberg keine Aussage über den Ort eines Elektrons machen, sofern dessen Impuls genau bestimmt ist. Eine Aussage über den Ort fele in die Klasse der unbestimmten Aussagen. Andere Denker haben die Anwendbarkeit einer dreiwertigen Logik auf die Physik besritten und darauf hingewiesen, daß auch jeder mehrwertigen Logik eine zweiwertige zugrunde liegt; denn bereits beim Aufbau einer mehrwertigen Logik wird die zweiwertige vorausgesetzt.

L: M. Bense, *Der Begriff der Nauphilosophie*. Stuttgart 1953 — P. Berger, *Philosophische Vertiefung des Physikunterrichts*. Braunschweig 1967 — J. M. Bochenski, *Die zeitgenössischen Denkmethoden*.

Dalp Taschenbuch 304 — B. von Freytag gen. Löninghoff, *Logik*. Stuttgart 1955 — G. Henemann, *Zur Frage nach dem ontologischen Hintergrund der modernen Atomphysik*. In: *Philosophia naturalis*, Bd. VI, 1960 — P. F. Imke, *Die mehrwertigen Logiken und das Wahrheitsproblem*. In: *Ze f. philos. Forschung*, Bd. 3, 1949 — H. Reichenbach, *Wahrscheinlichkeitslehre*. Leiden 1935 — H. Reichenbach, *Philosophische Grundlagen der Quantenmechanik*. Basel 1949 — C. F. v. Weizsäcker, *Zum Weltbild der Physik*. Stuttgart 1963¹⁰

Makrophysik (griech.), der Teil der Physik, der die Größenordnungen umfaßt, die im Bereiche der menschlichen Wahrnehmungen liegen. Eine solche Definition ist insofern nicht scharf, als es die M. auch mit Massenpunkten oder mit elektrischem Strom und elektrischen und magnetischen Feldern zu tun hat, die alle nicht direkt wahrnehmbar sind. Im ersteren Falle handelt es sich jedoch um Bewegungen der Massenpunkte, im zweiten um Wirkungen, die beide — grundsätzlich — wahrnehmbar sind. Man hat vorgeschlagen, alle physikalischen Vorgänge, die nicht zur → Mikrophysik gehören, zur M. zu rechnen. In der Mikrophysik spielt die Plancksche Konstante h , das Wirkungsquantum, eine entscheidende Rolle. Demnach wäre die M. dadurch gekennzeichnet, daß in ihr das Wirkungsquantum nicht auftritt.

Makrokosmos (griech.), ein Begriff der Philosophie und Psychologie, der aber nicht dem Bereich der Makrophysik entspricht. Der Makrokosmos ist die große Welt, das All, das Universum in seiner Größe und Erhabenheit. Dieser Welt gegenüber ist der Mensch ein → Mikrokosmos.

Materie (lat.), zunächst der von den Griechen herausgearbeitete, philosophische Entwurf eines Weltstoffes. Dieser zunächst völlig unbestimmte Weltstoff kann nicht vermehrt oder vermindert werden. Aus ihm gehen die Elemente hervor. Die erste Analyse des Begriffes M. stammt von Aristoteles. Für ihn ist die M. das allen Gegenständen »Zugrundeliegende«, qualitätslos, quantitätslos, ohne Kräfte. Sie ist noch nicht ins »Sein« getreten. Dies geschieht erst durch die »Form«. M. und Form bestimmen somit den realen Gegenstand. In der Naturwissenschaft bestimmte man zunächst die mechanischen Eigenschaften dieses unbestimmten Urstoffes, die quantitas (Newton), und bezeichnete sie als Masse, ferner die Raumerfüllung, die Schwere und Trägheit. Nach der Lehre des Atomismus erfüllt die M. nicht kontinuierlich den Raum, sondern ist nur in bestimmten Punkten des Raumes, den Elementarteilchen, konzentriert. Es zeigte sich, daß die M. nicht nur mechanische Eigenschaften oder Wirkungen hat, sondern z. B. auch elektrische und magnetische. In der modernen Feldertheorie ist die M. als Knotenpunkt (Singularität) des elektromagnetischen Feldes definiert.

Aber auch durch diese Definition wird uns das Wesen der M. nicht klarer. Offenbar ist der M.begriff naturwissenschaftlich nicht zu fassen, wohl aber muß er der Naturforschung als Leibbegriff zugrundegelegt werden. Bereits bei Anaxagoras wurde der Urstoff und Geist unterschieden. In den meisten philosophischen Systemen — außer den materialistischen — wird angenommen, daß die M. zwei Eigenschaften nicht hat und nicht aus sich hervorbringen kann: Leben und Geist. Im → dialektischen Materialismus wird die M. zur einzigen objektiven Realität erklärt.

L: M. von Laue, *Was ist Materie?* In: *Universitas* 1947. H. 2 — F. Lieben, *Vorstellungen über den Aufbau der Materie im Wandel der Zeiten*. Wien 1953 — Fr. Schneider, *Das Problem der Materie in der gegenwärtigen Naturphilosophie*. In: *Philosophia naturalis*, Bd. V 1958 — M. Jammer, *Der Begriff der Masse in der Physik*, dt. Darmstadt 1964

Mathematik und Physik sind erst mit Beginn der neueren Naturwissenschaft im 16. Jh. eine enge Verknüpfung eingegangen. Durch diese Verknüpfung ist die Physik zur → exakten Naturwissenschaft geworden. Der Gedanke, daß das Sein der Welt Zahl-Sein ist und ihre Ordnung in Zahlverhältnissen besteht, ist aus mythischen Vorstellungen über die Bedeutung der Zahl von Pythagoras und seinen Schülern entwickelt worden. »In der Tat hat ja alles, was man erkennen kann, Zahl. Denn es ist nicht möglich, irgend etwas mit dem Gedanken zu erfassen oder zu erkennen, ohne dieses«, sagt der Pythagoreer Philolaos aus Kroton. Während Pythagoras und seine Schüler versuchten, die Zahlenverhältnisse in der Natur aufzuspüren, faßte der späte Platon den Gedanken, das System der Ideen, die ihm als Urbilder der Wirklichkeit galten, nach dem Muster der Zahlenlehre zu entwickeln, also deduktiv herzuleiten. Beide Entwürfe sind für die spätere Physik von ausschlaggebender Bedeutung geworden. Der pythagoreische Gedanke kehrt im messenden → Experiment Galileis und in der auf Beobachtung gegründeten mathematischen Naturbeschreibung Keplers wieder; der platonische Gedanke liegt der deduktiven Methode der theoretischen Physik zugrunde.

Zunächst handelt es sich bei dem Verhältnis von Natur und M. um eine Zuordnung von Wahrnehmungen zu mathematischen Begriffen, wobei keineswegs eine Identität zwischen beiden besteht. Eine rote Spektralfarbe ist nicht mit der Frequenz dieser Farbe identisch. Physikalischen Eigenschaften, z. B. Masse, Temperatur, werden bestimmte Maßgrößen zugeordnet, wobei eine Meßvorschrift angegeben sein muß, wie z. B. Verteilungen und Zustandsänderungen zu messen sind. Zuständen werden Funktionen, statistische Verteilungen und Zustandsänderungen werden mathematische Operationen zugeordnet. Die Operationen ermöglichen in der klassischen Physik die Berechnung eines Zustands zur Zeit t_2 , wenn der Zustand zur Zeit t_1 bekannt ist. Die Zustandsänderungen erfolgen nach den Vorstellungen der klassischen Physik stetig und streng determiniert. Als adäquates Mittel zur Darstellung der Zustandsänderungen erwies sich die Infinitesimalrechnung. Zur Erfassung der Vorgänge im Atomaren mußten neue mathematische Hilfsmittel herangezogen werden, die der Unstetigkeit und nicht strengen Determiniertheit dieser Vorgänge Rechnung trugen. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung erwies sich da als geeignetes Darstellungsmittel, wo die Einzelvorgänge nicht mehr faßbar und die Bestimmungsmomente nicht mehr alle meßbar waren.

Es erhebt sich nunmehr die Frage, warum die Naturwissenschaft der M. zugeordnet werden kann, warum die Naturgesetze mathematische Struktur haben. Daß dies so ist, ist keine Selbstverständlichkeit. Die Natur könnte sich *jeder* mathematischen Erfassung entziehen. Die organische Natur ist nicht — oder nur sehr bedingt — mathematisch faßbar. Kant erklärte den Zusammenhang in folgender Weise. Gegenstände sind uns in der Anschauung gegeben. Die reinen Formen der Anschauung sind Raum und Zeit. Diese Anschauungsformen als Ordnung des Nebeneinander und des Nacheinander begründen die M. In den sogenannten »Analogien der Erfahrung« (Kritik der reinen Vernunft) verschmelzen sich die → Kategorien des Verstandes mit den Anschauungsformen und werden zu Prinzipien des physikalischen Denkens (Substanz, Kausalität, Wechselwirkung). Raum und Zeit, die zunächst reine Anschauungsformen sind, erhalten durch die Kategorien ihren physikalischen Charakter, sie werden zu Grundlagen der physikalischen Messung.

Nicolai Hartmann, der Vertreter des kritischen Realismus, hat den engen Zusammenhang von M. und Naturwissenschaft ontologisch gedeutet. Die mathematischen Kategorien dringen in die Seinschicht der Natur ein; aber sie beherrschen diese Seinschicht der Natur nicht vollständig. Das zeigt sich bei den Naturgesetzen. Man kann bei ihnen das Mathematische vom Unmathematischen unterscheiden. Die Symbole Temperatur, Masse, Kapazität sind nicht lediglich mathematische Größen, sondern sie greifen über die Mathematik hinaus und haben ihren physikalischen Symbolwert. Die in der Physik auftretenden Formeln sind erst verständlich, wenn man die physikalische Bedeutung der in diesen Formeln vorkommenden Symbole kennt. Nur mit Hilfe der M. ist diese Bedeutung nicht erfäßbar.

L: M. Bense, *Konturen einer Geistesgeschichte der Mathematik*. Hamburg 1949 — E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3, Oxford 1954 — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*, Berlin 1950 — *Handbuch der Mathematik*, hg. von G. Wolf, Bd. 5, Hannover o. J. — *Der Mathematikunterricht*, hg. von Löffler, Heft 4, Stuttgart 1960

Mechanik (griech.), die Lehre von den Bewegungen und ihren Ursachen. Sie steht historisch am Beginn der neuzeitlichen Physik, bildet aber auch die Grundlage der Physik. Die ersten bedeutenden Bücher, die sich mit der M. beschäftigen sind: Simone Stevin, Von den Grundlagen der Wägekunst, 1586, Galileo Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenschaften, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, 1638, Isaac Newton, Mathematische Prinzipien der Naturwissenschaft, 1686, und Christian Huygens, Abhandlung über die Zentrifugalkraft, 1703, Abhandlung über die Bewegung der Körper durch den Stoß, 1703.

Die Erfindung der Infinitesimalrechnung durch Newton und Leibniz ermöglichte die Beherrschung der mechanischen Vorgänge. Durch die Weiterentwicklung der Mathematik, aber auch durch die experimentelle Forschung, durch die Entwicklung neuer Apparaturen und Meßinstrumente nahm die M. einen gewaltigen Aufschwung. Im 19. Jh. gelang es, weitere Gebiete der Physik an die M. anzuschließen bzw. als Zweige der M. zu erklären, z. B. die Wärmelehre in Gestalt der kinetischen Theorie der Materie, die Akustik als Lehre der Luftschwingungen. Das alle Gebiete der Physik verbindende Glied schienen mit dem Begriff der Energie gefunden zu sein. Die mechanische Energie war bereits von Leibniz erkannt worden. Die im 19. Jh. gefundenen Äquivalente zwischen mechanischer und anderer Energie (Wärmeenergie, elektrischer Energie) schienen eine Bestätigung dafür, daß man die Physik restlos auf die M. zurückführen könne. Auch die Atomtheorie trat zunächst in rein mechanistischer Form auf.

Von den Gebieten der klassischen Physik widerstanden vor allem die Elektrizitätslehre und mit ihr die Wellenoptik einer Unterordnung unter die M., obwohl man sich in der zweiten Hälfte des 19. Jh. intensiv um diese Unterordnung bemüht hatte. So wurde durch das Experiment von Michelson die Theorie des mechanischen Lichtäthers erschüttert. Die Quantentheorie Plancks zeigte, daß das Programm, die gesamte Physik aus den Grundsätzen der M. aufzubauen, endgültig aufgegeben werden mußte.

L: B. Bavinck, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1954⁸/10 — H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*, 2 Bde. Freiburg 1954/1961 — S. F. Mason, *Geschichte der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1961

Mechanistisch. Im engeren (physikalischen) Sinne bezeichnet m. die Auffassung, daß alle Vorgänge der Physik auf Gesetze der → Mechanik zurückgeführt werden könnten. Diese Auffassung mußte aufgegeben werden. Im weiteren (philosophischen)

Sinne bezeichnet man mit *m.* die Auffassungen oder Darstellungsweisen des Geschehens, die darauf verzichtet, übernatürliche, seelische, geistige oder vitale (Lebens-)Kräfte für das Geschehen in Betracht zu ziehen, sondern die das Geschehen ausschließlich auf physikalische Ursachen zurückzuführen und es in der Sprache der exakten Naturwissenschaften zu beschreiben versuchen. Der Zusammenhang der Phänomene wird als durchgängiger Kausalnexus angesehen, und es werden keine finalen (Zweck-)Ursachen angenommen (→ Ursache). Der Ausdruck *m.* stammt aus dem 19. Jh., als man noch die gesamte Naturwissenschaft auf die Mechanik zurückführen zu können glaubte.

Dabei ist noch zu unterscheiden, ob die nichtphysikalischen Kräfte nur außerhalb der Betrachtung bleiben oder ob sie grundsätzlich geleugnet werden. So kann z. B. die *m.* Auffassung sehr wohl als reine Arbeits- oder Forschungshypothese angesetzt werden, ohne daß damit die Existenz außerphysikalischer Kräfte geleugnet wäre. Werden Tatsachen, Kräfte oder Antriebe nichtphysikalischer Art prinzipiell in Abrede gestellt, so spricht man von *m. Weltanschauung*. Diese Weltanschauung kann nicht durch den Hinweis widerlegt werden, daß sich Elektrodynamik und Atomphysik nicht auf die Mechanik zurückführen lassen. Damit wird nur die *m. Auffassung* im engeren Sinne (also *innerhalb*) der Physik widerlegt, nicht aber der Physikalismus im Sinne einer *m. Weltanschauung*.

L.: F. Cassirer, *Zur Logik der Kulturwissenschaften*. Darmstadt 1961 — M. Hartmann, *Das Mechanismus-Valismus-Problem vom Standpunkte der kritischen Ontologie Nicolai Hartmanns*. In Z. f. Philos. Forschung, Bd. 3, 1948

Messung, die Zuordnung von Zahlenwerten zu physikalischen Objekten und Vorgängen. Für jede *M.* muß ein Meßverfahren festgelegt werden (→ Definition, → Einheit). Die *M.* besteht darin, daß die zu messenden Größen mit den Einheiten verglichen werden und festgestellt wird, wie oft diese in jenen enthalten sind. So kann man eine Strecke durch direktes Anlegen der Einheit messen. Zu *M.* gehören auch Zählungen von Mengen. Man kann z. B. eine Masse mit Hilfe einer Waage dadurch messen, daß man die Masse mit einer Menge von Einheitsmassen ins Gleichgewicht bringt und diese Menge auszählt. Mit Zählrohren und Zählwerken wird die Zählung von Impulsen und Elementarteilchen ausgeführt. Da wir nur Längen-, Winkel- und Mengem. direkt durchführen können, sind alle anderen *M.* indirekt. Bei der Temperaturm. wird z. B. die Längenausdehnung eines Quecksilberfadens gemessen. Die Art der indirekten *M.* kann auf einer Festsetzung beruhen (wie bei der Temperatur); ihr kann aber auch ein gesetzmäßiger Zusammenhang der zu messenden Größe mit anderen zugrundeliegen. So können elektrische Spannungen durch Strommesser mit großem Widerstand auf Grund des Ohmschen Gesetzes gemessen werden. Viele Größen werden überhaupt nicht direkt gemessen, sondern auf Grund von *M.* erst berechnet, z. B. die Elektronenladung und Elektronenmasse.

Bei jeder Messung treten Wechselwirkungen zwischen Meßinstrument und dem Gegenstand der *M.* ein, die den Meßvorgang stören. Z. B. wird durch die Bewegung eines Zeigers Energie verbraucht, und diese Störung wirkt sich auf die *M.* aus. Die Meßinstrumente müssen also so eingerichtet sein, daß die Störung möglichst gering ausfällt. Diese Forderung ist im Bereiche der Makrophysik erfüllbar, dagegen nicht in dem der Mikrophysik. Während im makrophysikalischen Bereich die Störung berechnet und eliminiert werden kann, ist dies im mikrophysikalischen Bereich grundsätzlich nicht

möglich. Diese Feststellung bedeutet nicht, daß exakte *M.* im Bereich des Atomaren überhaupt unmöglich sind. Der Eingriff in die Struktur des Atoms durch die *M.* hat zur Folge, daß z. B. bei genauer Impulsmessung keine genaue Ortsmessung eines Elektrons möglich ist. Eine weitere Schwierigkeit bezüglich der *M.* ist durch die Relativitätstheorie aufgewiesen worden. *M.* setzt feste Maßstäbe und Skalen voraus, die innerhalb des Raum-Zeit-Kontinuums unveränderlich bleiben. Diese Forderung ist nach der Relativitätstheorie nicht mehr erfüllbar. Da die Metrik des Raumes durch die Verteilung der Massen bestimmt wird, bedeutet bereits die Einführung eines Meßinstruments in einen Raum eine Veränderung seiner Metrik und damit des Meßinstruments selbst. Die Maße selbst werden flüssig, räumliche Messungen können nicht mehr mit absoluten Maßstäben ausgeführt, der Raum also nur noch mit sich selbst verglichen werden. Die Probleme sind weder physikalisch noch naturphilosophisch gelöst.

L.: H. Dingle, *Die Methode der Physik*. München 1938 — A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik*. Braunschweig 1938 — L. von Strauß und Torney, *Der Wandel in der physikalischen Begriffsbildung*. Braunschweig 1949

Metaphysik (griech.), diejenige philosophische Disziplin, die sich mit dem Sein des Seienden, seinem Ursprung, seiner Struktur und seinen Kategorien befaßt. In dieser Form tritt sie bei den Vorsokratikern, vor allem aber bei Platon auf. Die erste systematische *M.* schrieb Aristoteles. Er wollte neben der Physik auch das der Natur zugrundeliegende, die Urgründe, erforschen. Zu diesen Problemen gehören Materie und Form, Zweck, Ursache, Substanz, Kategorien, erste Ursache der Bewegung. In der späteren Philosophie wurden die Fragen nach Freiheit, Gott, Unsterblichkeit, Seele als metaphysische Probleme bezeichnet. Es wurde versucht, sie spekulativ zu lösen.

Kant zeigte jedoch, daß die Vernunft keine wissenschaftlichen Aussagen über Gegenstände machen kann, die die Erfahrung transzendieren. Er wollte eine *M.* begründen, die als Wissenschaft auftreten könnte. Seine *M.* der Natur hat nicht die Erkenntnis der → »Dinge an sich« zum Ziele, von denen eine Erkenntnis unmöglich sei. Die Kantische *M.* der Natur beschäftigt sich mit dem Problem, wie die sinnlichen Empfindungen im Sinne einer Naturerfahrung geordnet werden können. Die Antwort lautet: durch die Anschauungsformen → Raum und → Zeit und die → Kategorien des Verstandes. Diese Kategorien haben nur in der Erfahrung ihren Anwendungsbereich. Sie bestimmen die Verknüpfung der Erscheinungen, die der Verstand vollzieht, nicht Verknüpfungen der »Dinge-an-sich«. *M.* hat es außer mit Naturbegriffen, die in der Erfahrung jederzeit ihre Anwendung finden, noch mit reinen Vernunftbegriffen zu tun. («Prolegomena zu einer jeden künftigen *M.*») Diese Vernunftbegriffe heißen bei Kant Ideen. Sie liegen in der Natur der Vernunft und sind oberste Vernunftprinzipien, die zwar keine Anwendung in der Erfahrung haben, aber vorausgesetzt werden müssen, wenn die Tätigkeit des Verstandes überhaupt sinnvoll sein soll. Kant nennt drei Ideen: die psychologische Idee (absolute Einheit der Seele, ihre Fähigkeit, alles Gedachte in einem Bewußtsein zu verknüpfen), die kosmologische Idee (absolute Einheit der Reihe der Bedingungen der Erscheinung), die theologische Idee (die absolute Einheit der Bedingungen aller Gegenstände des Denkens, die Idee einer unendlichen Vernunft = Gott).

Von den Nachfolgern Kants wurde die *M.* der Naturwissenschaft z. T. in spekulativer Form weiter entwickelt (Fichte, Schelling, Hegel); doch fanden diese Spekulationen bei den Naturwissenschaftlern wenig Anklang. Immer mehr setzte sich der mfeindliche

→ Positivismus durch, der ein Zurückfragen hinter die Wirklichkeit für unnötig und sinnlos erklärte. Am Anfang des 20. Jh. wandte man sich wieder der M. zu, die wieder nach den Urgründen und nach dem Seienden fragte. Die M. der Naturwissenschaften geht von den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen aus und versucht hinter diese zurückzuringen und ihren Zusammenhang mit einer metaphysischen Seinsordnung aufzudecken. Sie ist weitgehend Wedeutung. Aloys Wenzl nennt folgende Probleme der Naturm.: 1. Worin besteht das materielle Sein; welchen Begriff können wir mit materieller Substanz verbinden; welche Wesensmerkmale (Attribute) können wir ihr zuerkennen; können wir die Mannigfaltigkeit der Körper und Stoffe auf eine Einheit der Substanz zurückführen? 2. Welche Ursachen liegen dem materiellen Geschehen zugrunde, welche ontologischen Begriffe gehen in die Gesetzmäßigkeiten ein? 3. Gibt es echt teleologisch zu betrachtendes Naturgeschehen? Die moderne M. ist sowohl M. der Erkenntnis als auch M. der Wirklichkeit (des Realaufbaus der Welt).

L: F. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*. Frankfurt 1960 — N. Hartmann, *Grundzüge einer Metaphysik der Erkenntnis*. Berlin 1949⁴ — N. Hartmann, *Der Aufbau der realen Welt*. Berlin 1949² — A. Wenzl, *Die philosophischen Grenzfragen der modernen Naturwissenschaft*. Urbanbücher Bd. 11

Methode (griech.) der Naturwissenschaft, der wissenschaftliche Weg, auf dem die Naturwissenschaft zu ihren Erkenntnissen gelangt. Die M. des (philosophischen) Denkens wurde zuerst von Sokrates entwickelt. Ihr Ziel ist das Hinführen zum → Begriff. Die M. des wissenschaftlichen Denkens wurde in systematischer Weise zuerst von Aristoteles untersucht. Er wies darauf hin, daß man in der Wissenschaft zunächst nach den Ursachen, Prinzipien und Elementen suchen müsse, um daraus weitere Erkenntnisse abzuleiten oder um z. B. die Wahrnehmungen von den → Ursachen her zu verstehen. Aristoteles nennt zwei Wege, um zu wissenschaftlichen Wahrheiten zu gelangen: den → Beweis und die → Induktion. Während man von der M. der Mathematik schon recht früh eine deutliche Vorstellung hatte — sie wurde systematisch zuerst von Euklid gehandhabt —, wurde die M. unserer heutigen Naturwissenschaft erst von Galilei und Newton entwickelt. Galilei gilt als der Erfinder der resolutiven und kompositiven Methode (→ analytische Methode, → induktive Methode) und des methodischen → Experiments; Newton versuchte, die Prämissen der Naturwissenschaften, d. h. die axiomatischen Voraussetzungen aufzuzeigen, aus denen sie zu entwickeln war. Newton hat auch als erster den systematischen Charakter der Physik aufgewiesen und zwei ihrer Disziplinen (Mechanik und Optik) systematisch entwickelt. Er hat in der Infinitesimalrechnung das Mittel für die → mathematische Beherrschung der Naturvorgänge geschaffen. Die erkenntnistheoretische Frage nach der M. der Physik ist mit der Begründung der Naturwissenschaft durch Galilei und Newton noch nicht endgültig gelöst worden. Gerade die moderne Physik hat bezüglich der M. neue Probleme aufgeworfen.

Von dieser wissenschaftstheoretisch bestimmten allgemeinen M., die das grundsätzliche Vorgehen des Physikers beim Aufbau seiner Wissenschaft als eines systematischen Satzgebüdes bestimmt, ist das heuristisch-methodische Vorgehen des Forschers in der konkreten Problemsituation zu unterscheiden, d. h. also die spezielle Weise, wie er zu seinen Ergebnissen gelangt. Hier gibt es viele M., z. T. sehr spezieller Art. Zu ihnen gehören die besonderen experimentellen Anordnungen, das Aufstellen von Meßreihen, ihre Auswertung, die theoretischen Berechnungen mit den verschiedenen mathemati-

sehen Mitteln, die Auswahl und die Bewertung der Mittel usw. Vieles am heuristisch-methodischen Arbeiten innerhalb der Physik ist erlernbar, anderes jedoch nicht. Das Aufstellen produktiver Hypothesen, neuer Theorien ist nicht nach sicherer methodischer Anweisung zu leisten. Hier sind immer der geniale Einfall, die Intuition im Spiel. Es gibt hier höchstens Vorbilder (s. hierzu: Einstein, Rede zum 60. Geburtstag von Max Planck, und Antrittsrede vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften, beide abgedruckt in: Albert Einstein, *Mein Weltbild*, Ullsteinbuch Nr. 65).

L: F. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*, Frankfurt 1960² — H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938 — E. May, *Kleiner Grundriß der Naturphilosophie*. Meisenheim 1949

Mikrokosmos (griech.), die kleine Welt im Gegensatz zum → Makrokosmos. Als M. wird jedes System und jede Ganzheit bezeichnet, deren Dimension in der Größenordnung menschlicher Maße liegt. Insbesondere spricht man vom Menschen selbst als von einem M.

L: H. Lotze, *Mikrokosmos*, 3 Bde. 1923

Mikrophysik (griech.), Physik der kleinsten Teilchen (Moleküle, Atome und Elementarteilchen) bzw. derjenige Teil der Physik, in dem das Plancksche Wirkungsquantum eine entscheidende Rolle spielt oder — was dasselbe besagt — für den die Heisenbergsche → Unbestimmtheitsrelation kennzeichnend ist. Die Mikrophysik unterscheidet sich von der → Makrophysik nicht nur größenordnungsmaßig, sondern prinzipiell. Das → Atom kann nicht als verkleinertes Abbild des Planetensystems angesehen werden. Atommodelle, die auf dieser Vorstellung beruhen, erwiesen sich als unzureichend und mußten aufgegeben werden. Die M. verlangt Vorstellungen, Begriffe und Methoden, die in der Makrophysik keine Entsprechung haben. Auch sind ihre Gesetze von anderer Form als die der Makrophysik (→ Kausalität, → Komplementarität, → Statistik, → Wahrscheinlichkeit).

L: W. Braunschweig, *Grundbegriffe der Kernphysik*. München 1963 — W. Heider, *Der Mensch und die naturwissenschaftliche Erkenntnis*. Braunschweig 1966⁴ — L. v. Strauß und Torney, *Der Wandel in der naturwissenschaftlichen Begriffsbildung*. Braunschweig 1949

Modell (lat.), anschauliches, raum-zeitliches Bild physikalischer Gegenstände oder Vorgänge, die selbst nicht anschaulich sind (z. B. das Atom, Vorgänge in Gasen, die Elektrizität). Wir erhalten Kenntnis von diesen unseren Sinnen verborgenen Vorgängen durch die uns sichtbaren Gesamtphänomene oder durch Meßergebnisse, die die Gesamtphänomene charakterisieren, während die diesen zugrundeliegenden Einzelgegenstände oder Prozesse der direkten Beobachtung oder Messung unzugänglich bleiben. Das M. ist eine Schöpfung des menschlichen Geistes und hat den Sinn, die Phänomene und Meßergebnisse physikalisch zu deuten. Es ist nicht gesagt, daß die Natur wirklich so beschaffen ist, wie sie durch das M. dargestellt wird.

An das M. muß die Forderung gestellt werden, daß den nicht anschaulichen Objekten und Vorgängen M.eigenschaften und Vorgänge im M. entsprechen, aus denen sich die sichtbaren Phänomene und Meßergebnisse als Folgerungen ergeben. So lassen sich z. B. die Vorgänge bei der Lichtbrechung durch das Wellenn. des Lichts darstellen, bei dem das aus ihm erschlossene oder berechnete Ergebnis dasselbe ist wie das von uns tatsächlich beobachtete und gemessene. Das M. soll fernestmöglichst nur solche Eigenschaften aufweisen, die den Eigenschaften des (unanschaulichen) physikalischen Vorgangs entsprechen, und es dürfen aus dem M. keine Resultate erschlossen werden können, die

den Beobachtungen und Messungen nicht entsprechen. Das klassische Korpuskelmodell des Lichts von Newton führte teils zu Ergebnissen, die der Beobachtung entsprachen (Reflexion und Brechung), teils aber auch zu Ergebnissen, die der Messung widersprachen, z. B. ergab sich aus diesem M. finden, bei denen jeder Vorgang einen unanschaulichen Sachverhalt entspricht. Für das Licht ist noch kein solches M. gefunden worden, und manche Physiker nehmen an, daß auch keins zu finden ist.

Das M. ist keine Darstellung oder Kopie der Wirklichkeit, sondern nur ein anschauliches Schema für einen physikalischen Sachverhalt. Die Darstellung physikalischer Vorgänge kann auch mit Hilfe der Mathematik erfolgen. Mathematische Darstellung und M. sollen sich entsprechen, wie es bei den Maxwell'schen Gleichungen und dem Wellenmodell des Lichts der Fall ist. Von Dingler ist darauf hingewiesen worden, daß die Entsprechung von Mathematik und M. nur dann vorhanden sein kann, wenn ein gemeinsamer »Unterbau« vorhanden ist, der weder M. noch Mathematik ist.

L.: H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938, S. 363ff. — W. Heisenberg, *Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft*. Stuttgart 1945. — P. Duhem, *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien*, dt. Leipzig 1908, S. 67ff.

Mythisches Weltbild → Weltbild.

Nahewirkungstheorie → Fernwirkungstheorie, → Feld.

Naturgesetz, eine Aussage über eine notwendige Beziehung zwischen physikalischen Größen. Es tritt in der Form einer mathematischen Gleichung oder auch Ungleichung auf. Die Aussage ist eine Klassenaussage, die die Einzelfälle umfaßt. So umfaßt das Fallgesetz sämtliche möglichen Erscheinungen des freien Falles. Die Aussage bezieht sich auf einen Zustand, wie er unter bestimmten Bedingungen mit Notwendigkeit herrscht, oder einen Vorgang, wie er unter bestimmten Bedingungen mit Notwendigkeit abläuft. Das N. konstatiert keine bloßen Regelmäßigkeiten in der Erscheinungswelt, sondern den physikalischen Zusammenhang von Phänomenen. Dieser Zusammenhang wird durch die → Kategorien der Physik gestiftet. Nach Bauch (s. u.) ist ein N. »ein allgemeiner, durch empirische Inhalte erfüllter Kategorienkomplex«. So gründet sich z. B. das Newton'sche Massenanziehungsgesetz u. a. auf die Kategorie der → Wechselwirkung. Die empirischen Inhalte sind die Masse und die Kraft.

An jedem N. sind eine Anzahl von Kategorien beteiligt, und es ist Aufgabe einer Kategorienanalyse, wie sie z. B. Nicolai Hartmann vorgenommen hat, die verschiedenen Kategorien in den Naturvorgängen zu analysieren. N. Hartmann hat betont, daß in den N. das Ummathematische und das Mathematische zu unterscheiden seien. Zum Ummathematischen zählt er die Dimensionen wie Geschwindigkeit, Temperatur, Druck usw. also das, was durch Buchstaben Symbole ausgedrückt wird. »Verständlich sind die Formeln auch durchaus nur, wenn man schon weiß, was diese Symbole heißen«. (Philosophie der Natur, S. 401). »Das Mathematische dagegen besteht in der Art, wie diese Größen verschiedener Dimensionen bzw. ihre Zahlenwerte aufeinander bezogen sind« (ebenda).

Nach Arthur St. Eddington gibt es drei verschiedene Klassen von N.: 1. die identischen Gesetze, 2. die statistischen Gesetze, 3. die transzendenten Gesetze. Zu den identischen Gesetzen rechnet Eddington diejenigen, bei denen dieselbe Größe durch verschiedene Verfahren gemessen wird. Eddington glaubt, daß unsere → Erhaltungssätze zu dieser Klasse gehören. Die statistischen Gesetze sind Aussagen über große Mengen

von Einzelobjekten, wobei sich über das Verhalten des Einzelobjekts keine Aussage machen läßt. Zu der Gruppe der transzendenten Gesetze rechnet Eddington die Gesetze, die Aussagen über die atomistische Struktur der Materie machen.

Ein N. kann aus theoretischen Ansätzen entwickelt werden. Jedoch muß es durch Experimente bestätigt werden. Für die Erkenntnis eines N. durch Induktion hat F. Dessoir vier Schritte angegeben (→ Induktion).

In der → Mikrophysik vermag man keinen Einzelzustand oder Einzelvorgang (z. B. die Bewegung eines bestimmten Elementarteilchens) zu erfassen, es lassen sich nur statistische Aussagen (→ Statistische Methode) und Wahrscheinlichkeitsprognosen (→ Wahrscheinlichkeit) machen, die sich auf eine große Anzahl von Teilchen beziehen. E. Schrödinger hat die Vermutung ausgesprochen, daß für die meisten Erscheinungsabläufe »die Wurzel der beobachteten strengen Gesetzmäßigkeit der Zufälle ist«; jedoch ist unter Zufall nicht die totale Ungesetzmäßigkeit zu verstehen, da er sich mathematisch erfassen und als statistische Gesetzmäßigkeit darstellen läßt.

Cassirer hat darauf hingewiesen, daß Zusammenhänge von Konstanten (→ Naturkonstante), die in verschiedenartigen Gesetzen auftreten, erkannt wurden und dadurch Gebiete der Physik zusammenrückten, die zunächst voneinander getrennt waren, und durch umfassende Gesetze verbunden wurden.

Man hat die Frage nach dem Wesen der N. aufgeworfen. Zunächst ist es nicht selbstverständlich, daß es überhaupt N. gibt. Für Mach war ein N. lediglich die denkökonomische Zusammenfassung einer großen Zahl von Einzelvorgängen. In dem Fall der Körper durch lange Tabellen zu beschreiben, wurden diese Tabellen im Fallegesetz zusammengefaßt. Eddington hat die Meinung vertreten, daß die meisten Gesetze selektive Gesetze sind, d. h. daß sie in Wirklichkeit nicht Gesetze der Natur, sondern durch die Auswahl hervorgebracht sind, die unsere Sinnesorgane und unser Verstand vorgenommen haben. Es wird jedoch auch angenommen, daß die N. oder wenigstens ein Teil von ihnen Gesetze der Natur selbst sind, die sie uns im Verlaufe der Forschungen mitgeteilt hat.

L.: B. Bauch, *Das Naturgesetz*. Leipzig 1924. — E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3, Oxford 1954. — F. Dessoir, *Naturwissenschaftliches Erkennen*, Frankfurt 1964². — A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik*, Braunschweig 1931. — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*, Berlin 1950. — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*, Braunschweig 1964². — E. Schrödinger, *Was ist ein Naturgesetz?* München 1967². — L. von Strauß und Torney, *Wandel in der physikalischen Begriffsbildung*, Braunschweig 1949.

Naturkonstante → Konstante.

Naturphilosophie, im weitesten Sinn das philosophische Bemühen, den Begriff der Natur zu erfassen und zu deuten. Dabei braucht es sich nicht um die von der Naturwissenschaft aufgewiesene und erforschte Natur zu handeln. N. finden wir bereits bei den ionischen Naturphilosophen, die nach dem Urrund der Welt, nach dem Urstoff, aus dem sie entstanden ist, nach der Möglichkeit und Art dieses Entstehens und nach ihrem Aufbau gefragt haben. Die griech. N. lieferte der späteren Naturwissenschaft bestimmte Entwürfe (z. B. den Begriff des Urbausteins, des Atoms, der Materie, der mathematischen Erfassung der Natur, der Erhaltung der Materie, die Möglichkeit einer vom Subjekt unabhängigen Naturerkenntnis, das Zurückgehen hinter die sinnlichen Qualitäten auf ein dahinterliegendes Naturgeschehen usw.).

Mit dem Aufkommen der Naturwissenschaft — bereits im Mittelalter — übernahm die N. die Aufgabe, den Naturvorgängen eine Deutung zu geben, um sie verständlich zu machen; z. B. wurden anziehende Kräfte (Magnetismus, Adhäsion), wie man sie in der Natur beobachtet, durch das Prinzip der *„inclinatio ad similitudinem“* (der Hinnneigung zum Gleichen) erklärt. Erst mit Galilei trat die N. in ein neues Stadium. Sie erhielt in der Folgezeit eine methodische Aufgabe und hatte Fragen zu behandeln wie folgende: Was ist ein Experiment? Was ist ein Naturgesetz? Was sind physikalische Grundbegriffe und Axiome? Was ist eine Hypothese? usw. Daneben gibt es eine N., die sich mit Fragen befaßt wie: Wird durch die Physik die Natur wirklich erkannt, und ist die Natur so beschaffen, wie wir sie durch die Physik erkennen? Sind die → Kategorien der Physik Seinskategorien (also der Natur immanent) oder nur Kategorien unseres Bewußtseins? Sind die Fundamentalsätze solche der Natur oder handelt es sich um Konventionen? Die Antwort auf diese Fragen ist standortbedingt und wird in den verschiedenen naturphilosophischen Richtungen verschieden gegeben. Solche naturphilosophischen Richtungen sind: der → Empirismus; der kritische → Realismus; der transzendente → Idealismus (Kant), der → dialektische Materialismus; der → Positivismus usw. Jeder dieser Standpunkte hat zahlreiche Spielarten. Von manchen Naturphilosophen wird der Versuch gemacht, auf Grund der naturwissenschaftlichen Einsichten und eigener Überlegungen einen ontologischen Aufbau der Welt zu entwerfen. Es sei hinzugefügt, daß die sogenannte Methodenlehre, die methodologische Probleme untersucht, auch nicht absolut standortfrei ist.

Keiner dieser Standpunkte ist durch die N. und erst recht nicht durch die Naturwissenschaft sicher zu begründen. Alle Beweise, die in dieser Beziehung versucht wurden, enthalten bereits unbeweisbare Voraussetzungen. Man ist angesichts der Vielzahl der möglichen Deutungen im 19. Jh. auf den Gedanken gekommen, von jeder naturphilosophischen Deutung abzusehen und die Ergebnisse der Naturwissenschaft selbst als Ausdruck letzter erreichbarer Wahrheit aufzufassen. Man glaube an eine Ablösung der N. durch die Naturwissenschaft. Jedoch haben gerade die Ergebnisse der neuesten Physik gezeigt, daß die naturwissenschaftlichen Ergebnisse immer wieder eine naturphilosophische Bestimmung erfordern. Man darf angesichts der Vielfalt philosophischer Deutungsversuche nicht auf den Gedanken kommen, es müßten doch die meisten falsch sein und der Verzicht auf diese Deutungen sei die einzig mögliche Konsequenz, die aus dieser Sachlage zu ziehen ist. Jede N. vermag der Naturwissenschaft Impulse zu geben, wie es sich bereits bei der griech. N. gezeigt hat, ohne die wir nicht zur exakten Naturwissenschaft hätten vordringen können.

Naturwissenschaft → Geschichte der Naturwissenschaft, → Wissenschaft.

Objektivierbarkeit, Darstellung eines physikalischen Zustandes oder Vorganges im Sinne der → klassischen Physik, also durch genaue Festlegung aller seiner einzelnen Momente unabhängig vom Beobachtungsgertät. Eine Pendelschwingung kann in diesem Sinne genau beschrieben werden; die Weg-Zeit-Kurve der Pendelschwingung läßt sich genau in einem Koordinatensystem wiedergeben. In der Quantenphysik jedoch gibt es Zustandsgrößen, die in dieser Weise nicht genau festgelegt bzw. keine festgelegten Werte haben, so daß der Gesamtzustand des Systems nicht mehr in der Weise als objektivierbar bezeichnet werden kann wie die Systeme der klassischen Physik. Der Grund

für diese Nichtobjektivierbarkeit liegt in der Heisenbergschen → Unbestimmtheitsrelation. Es läßt sich nicht sagen, ob diese Nichtobjektivierbarkeit grundsätzlich ist oder nur der gegenwärtigen Theorie anhaftet.

Objektivität (lat.), die Sachlichkeit einer Darstellung, die frei von subjektiven Zurechnungen des Darstellenden ist. Die griech. Philosophen bemühten sich zuerst, von der subjektiven Sinneswahrnehmungen zu abstrahieren, um mit dem Verstande das Sein des Seienden zu erforschen.

Die → klassische Physik ging davon aus, daß die Naturwissenschaft objektive Erkenntnisse vermittelt. Das → Naturgesetz war der Ausdruck für diese objektive, subjektunabhängige Darstellung der Naturvorgänge. Seine mathematische Formulierbarkeit schien ein höchstes Maß von O. zu verleihen. Man glaube, eine Trennung von Subjekt und Objekt durchgeführt zu haben. Für Kant, nach dem der Mensch die Natur mit den → Kategorien (Denkformen) seines Verstandes erkennt, war diese Erkenntnis objektiv, obgleich der Verstand zunächst ein Vermögen des Subjekts ist. Da aber der Verstand selbst eine objektive, unveränderliche Ordnung darstellt und von den Stimmungen, Empfindungen, Wahrnehmungen usw. des Subjekts unabhängig ist, da der Verstand zudem tanglich ist, die Erscheinungswelt gesetzlich zu ordnen, hielt Kant diese Ordnung für objektiv.

Die Quantenphysik hat dem Problem der O. eine neue Wendung gegeben und zugleich ein Beispiel dafür aufgestellt, wie die Physik Probleme aufwirft, die einer naturphilosophischen Klärung bedürfen. Im atomaren Bereich sind Beobachtung- und Meßverfahren eines Objekts (Elektrons) nicht unbeeinflußt von dem Beobachtungs- und Meßverfahren (→ Komplementarität). Doch die Verschränkung von Objekt und Meßapparat kann objektiv beschrieben werden, nämlich durch die Heisenbergsche Unsicherheitsrelation. Auf diese selbst hat das »Subjekt keinen Einfluß mehr. Die O. ist nur nicht mehr im Sinne der → klassischen Physik vorhanden, wo noch eine scharfe Trennung von beobachtetem Objekt und Beobachtungsmittel möglich war, weil dieses ohne Einfluß auf jenes war bzw. dieser Einfluß eliminiert werden konnte (→ Messung). In der Mikrophysik verliert die Objektivierbarkeit bestimmter Zustände ihren Sinn, nicht aber die O. als solche; denn auch die Verschränkung von Meßapparat und Meßobjekt ist ein dem Subjekt gegenüberretterender objektiver Befund.

Oculae Qualitāt → *qualitas occulta*.

Ontologie (griech.) ist die Lehre vom Sein. Die ontologische Richtung der modernen → Naturphilosophie, zu der u. a. N. Hartmann, F. Dessauer und A. Wenzl gehören, versucht in kritischer Weise die Wirklichkeitsstruktur der Welt zu erforschen. Es werden die Realkategorien aufgesucht und analysiert, nach denen die Wirklichkeit strukturiert erscheint. Diese → Kategorien sind keine Denkschemata wie bei Kant, sondern sie haben ihr Fundamentum in re. Es wird sowohl nach der Ordnungsstruktur der materiellen Welt als auch nach der des organischen Lebens und des geistigen Seins gefragt und (bei Hartmann) ein Schichtenaufbau der realen Welt entworfen, wobei in jeder höheren Schicht neue Realkategorien auftauchen, die die Kategorien der darunterliegenden Schicht überbauen. Ungelöst bleibt die Frage, mit welchen Mitteln Realkategorien von Denkategorien unterschieden werden können und wie man wissen kann, daß man zu einer Realkategorie oder einem Seinsgesetz vorgedrungen ist.

Optik → Lichttheorie.

Ordnung → Struktur.

Perpetuum mobile (lat.), das sich in Ewigkeit Bewegende, eine Vorrichtung oder Maschine, die ohne Zufuhr von Energie dauernd Energie erzeugt. Der Name ist insofern irreführend, als ein Körper, der sich dauernd bewegt, kein P.m. ist. Diese dauernde Bewegung ist auf der Erde zwar nicht zu realisieren, wohl aber im Weltraum. Ein reibungsfreies Pendel im Vakuum stellt kein P.m. dar, wohl aber wäre das der Fall, wenn der Massenzentrum des Pendels seine Anfangslage übersteigen würde. Aus der Tatsache, daß dies nicht der Fall ist, erklärte bereits Huygens die Unmöglichkeit eines *mechanischen* P.m. Doch hielt er es für möglich, mit Hilfe eines Magneten ein solches zu konstruieren. Die Unmöglichkeit eines P.m. ergibt sich aus dem Energieprinzip (→ Erhaltungssätze). Jedoch ist dieses Prinzip ebenfalls nicht beweisbar. Planck hat den Beweis des Energieprinzips auf Grund der Unmöglichkeit des P.m. geführt, weil er diesen Satz durch die Erfahrung als gesichert ansah. Folgende Sätze sind gleichwertig: 1. das Energieprinzip, 2. die Unmöglichkeit eines P.m., 3. die Forderung der Invarianz der Naturgesetze gegenüber kontinuierlichen Zeittranslationen.

Man bezeichnet das hier beschriebene P.m. auch als P.m. 1. Art zum Unterschied vom P.m. 2. Art. Darunter versteht man eine Vorrichtung, die bewirkt, daß in einem abgeschlossenen System (also ohne irgendwelche äußere Einwirkung) Wärme von einem kälteren Körper auf einen wärmeren übergeht. Der Satz, daß dies nie geschieht, ist jedoch kein Unmöglichkeitssatz, sondern eine Wahrscheinlichkeitsaussage. Er besagt, daß die Wahrscheinlichkeit für den selbständigen Übergang der Wärme von einem kälteren zu einem wärmeren Körper außerordentlich gering (praktisch gleich Null), dagegen die Wahrscheinlichkeit für den Übergang der Wärme in umgekehrter Richtung außerordentlich groß (praktisch gleich 1) ist.

Phänomen (griech.), das Erscheinende, das, was sich zeigt, z. B. die Farben des Spektrums, der Dopplereffekt, die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom. Das P. gibt von etwas Kunde, was ihm zugrunde liegt, z. B. die Farben des Spektrums von der Zusammensetzung des weißen Lichts, von der verschiedenen Frequenz der einzelnen Lichtsorten usw. Von Goethe stammt der Gedanke des Urphänomens als des letzten Erkennbaren und Seienden, das auf nichts anderes mehr zurückverweist und gleichsam nur von sich selbst Kunde gibt. Das Urphänomen entspricht etwa der Platonischen Idee.

Physikalisches Weltbild → Weltbild, → mechanistisch.

Physikalismus → mechanistisch.

Polarität (lat.), eine Kategorie, die von Goethe und der Philosophie der Romantik bevorzugt verwendet wurde. Sie ist vom Phänomen des Magneten her konzipiert worden und bedeutet die Existenz zweier gegensätzlicher Momente an einem Gegenstand, Wesen oder Geschehen, die sich gegenseitig bedingen und nicht absolut getrennt werden können, so wie es bei den verschiedenartigen Polen eines Magneten der Fall ist. Zwischen den polaren Momenten herrscht eine ursprüngliche Spannung, die nach Aufhebung strebt. »Wenn man diesen spezifizierten Gegensatz in sich vernimmt, so heben sich die beiderseitigen Eigenschaften nicht auf; sind sie aber auf den Punkt des Gleichgewichts gebracht, daß man keine der beiden besonders erkennt, so erhält die Mischung wieder etwas Spezifisches fürs Auge, sie erscheint als eine Einheit, bei der wir an die Zusammensetzung nicht denken« (Goethe, Farbenlehre). Solche polaren Gegensätze

sind nach Goethe: Plus—Minus, Gelb—Blau, Licht—Schatten, Hell—Dunkel, Wärme—Kälte, Abstoßen—Anziehen.

Der Begriff der P. hat als Kategorie in der Physik keinen Eingang gefunden, weil sich die meisten Vorgänge der Physik nicht als P. deuten lassen. Bei den Polen des Magneten und des elektrischen Stromes handelt es sich um → Bilder. Als P. läßt sich das → Komplementaritätsprinzip deuten, jedoch handelt es sich hier in erster Linie um eine P. des Erkennens.

In der Dialektik, wie sie der → dialektische Materialismus lehrt, liegt ein ähnliches Prinzip vor. Die gegensätzlichen Momente der Dialektik unterscheiden sich jedoch von denen der P. dadurch, daß jene ineinander übergehen sollen. Sie stimmen mit der P. insofern überein, als die Momente nicht voneinander zu isolieren sind und die Vorgänge durch die Gegensätzlichkeit (ihren Kampf, ihre Spannung) bewirkt werden.

L.: M. Wagenstein, *Die pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig 1962

Positivismus, eine philosophische und wissenschaftliche Richtung, die auf Comte zurückgeht und sich nur auf gesicherte Tatsachen und ihre gesetzlichen Verbindungen stützen will. Der P. Comtes hat unter den Naturwissenschaften des 19. und 20. Jh. eine große Anhängerschaft gefunden. Für den Positivismus besteht die physikalische Wirklichkeit aus der Gesamtheit der Beobachtungsergebnisse. Jede physikalische Größe ist lediglich ein Meßergebnis. Aufgabe der Physik ist es, diese Meßergebnisse und ihren Zusammenhang auf möglichst einfache Art darzustellen (→ Erklärung). Ontologische und metaphysische Fragen werden vom P. als nutzlose Scheinprobleme abgelehnt. Anerkannt werden nur solche Fragen, deren Lösung sich grundsätzlich direkt an der Wirklichkeit oder durch Meßergebnisse verifizieren oder falsifizieren läßt. Bloße *Realitätserschließungen* werden als Erkenntnis nicht zugelassen.

Der Neopositivismus, besonders der Wiener Kreis, sieht seine Grundlage in der Logik bzw. Logistik, die den Zweck hat, die Erkenntnistatsachen zu verbinden. Auf diese Weise werden sie einem logisch geschlossenen System eingegliedert. Die Erkenntnistatsachen haben nur innerhalb dieses »Rahmenwerkes« (framework) ihren angebbaren Sinn, sonst aber keinen darüber hinausgehenden inhaltlichen. Der Verzicht auf die »Dingsprache« (in der die Dinge noch inhaltlich bestimmt sind) und der Gebrauch einer zweckmäßig gewählten Formalsprache erscheinen als Ideal wissenschaftlicher Darstellung. Mit Hilfe der Logistik betreibt der Positivist nunmehr die gesamte Grundlagenforschung und verzichtet auf Mitwirkung der Philosophie, die in anderer als logistischer Form als veraltet angesehen wird. Logisches Denken ist nichts weiter als ein tautologisches Uniformen. Die → Richtigkeit eines Satzes ist erwiesen, wenn er auf eine → Tautologie zurückgeführt wird.

Der P. hat seine nicht zu unterschätzende Bedeutung für die Naturwissenschaft gehabt. Er führte dazu, daß die Methoden der Wissenschaft klar durchdacht wurden, daß man sich der Grenzen der Wissenschaft bewußt und der Wert der nützlichsten, unter Verzicht auf spekulative Zutaten sachlichen Arbeit in den Vordergrund gerückt wurde. Positivistischer Geisteshaltung entspricht z. B. die Ablehnung des hypothetischen Weltäthers (Ausschaltung un beobachtbarer Elemente, → Äther). Die Relativitätstheorie und die Quantentheorie sind auf dem Boden positivistischer Denkweise entstanden, indem man Denkgewohnheiten aufgab und das Ergebnis des Experiments zur Grundlage der weiteren Überlegungen machte.

L: B. Bavink, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1954¹⁰ — H. Dingler, *Probleme der Positivismus*. In Zt. f. philos. Forschung, Bd. 5, 1951 — E. Mach, *Populärwissenschaftliche Vorlesungen*, 1896 — P. Jordan, *Über den positivistischen Begriff der Wirklichkeit*. In Naturwissenschaften, 1934

Postulat (lat.), das Geforderte, ein Ansatz, der notwendig gemacht werden muß, um einen bestimmten Gegenstandsbereich aufzubauen. P. sind keine bloßen Aussageformen wie die \rightarrow Axiome, jedoch sind sie ebenfalls nicht beweisbar. P. wurden zuerst von Euklid aufgestellt. Solche P. sind z. B. die Forderungen, daß man von jedem Punkt nach jedem Punkt eine Strecke ziehen kann, daß man um jeden Mittelpunkt mit jedem Halbmesser einen Kreis zeichnen kann, das Parallelenaxiom u. a. Die Forderungen gelten nicht an sich, sondern für den Aufbau einer bestimmten Geometrie. Auch in der Physik gibt es P. Die Forderungen sind dabei nicht an die Natur gestellt, sondern an die Theorie. Beispiel für P. sind die Newtonschen Axiome der Mechanik oder die Forderung der Invarianz der Naturgesetze gegenüber Inertialsystemen.

Es gibt zum Unterschied von P. mit physikalischen Inhalt auch solche, die an die Physik selbst gestellt werden. Ein solches ist das von positivistiischer Seite (\rightarrow Positivismus) formulierte P. der \rightarrow Verifikation. Von Dingler wurde das P. der Einfachheit (von ihm als Prinzip bezeichnet) benannt, demzufolge ein System der Physik ein Minimum definitorischer Bestimmungen enthalten soll. Kant stellte die P. des empirischen Denkens auf: 1. Was mit den formalen Bedingungen der Erfahrung (der Anschauung und dem Begriff nach) übereinkommt, ist möglich. 2. Was mit den materialen Bedingungen der Erfahrung (der Empfindung) zusammenhängt, ist wirklich. 3. Dessen Zusammenhang mit dem Wirklichen nach allgemeinen Bedingungen der Erfahrung bestimmt ist, ist (existiert) notwendig.

Ein P. folgt weder aus einem rein logischen Satz, noch aus den Begriffen, die im P. verwendet werden. Es ist also kein analytischer, sondern ein synthetischer Satz im Sinne Kants. Die Richtigkeit eines P. ergibt sich erst aus der Bewährung der mit seiner Verwendung aufgebrauten Theorie. P. gelten zunächst immer nur für den Bereich, für den sie aufgestellt sind.

Prinzip (lat.), griech. ἀρχή, Urgrund, Ursprung, oberste Ursache. Mit der Frage nach dem Urgrund beginnt die griech. Philosophie. Als Urgrund werden genannt: das Wasser (von Thales), das Feuer (von Heraklit), die Zahl (von Pythagoras), die Atome (von Demokrit) usw. Dieser Urgrund ist einerseits Realp., andererseits Erkenntnisp.; aus dem Urgrund heraus soll die Welt in ihrer Seinstruktur erkannt werden. Die Suche nach einem realen Urgrund durchzieht die abendländische Philosophie.

Bei den P. der Naturwissenschaft hat man zwischen solchen zu unterscheiden, die zu den allgemeinen Voraussetzungen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis gehören, den \rightarrow Kategorien, und solchen, die eine physikalische Grundaussage darstellen, aus denen sich Folgerungen deduzieren lassen, die durch das experimentell ermittelte Tatsachenmaterial bestätigt werden und dieses als zusammenhängenden Taschenkomplex erscheinen und deuten lassen. Ein P. ist nicht unmittelbar empirisch einseitig und beweisbar, sondern nur mittelbar durch die aus ihm gezogenen Folgerungen. Beispiele für P.: Energiep., P. des kleinsten Zwanges, Huygenssches P., P. der molekularen Unordnung, Relativitätsp., Quantenp. Als P. werden auch gewisse \rightarrow Postulate bezeichnet.

Protokollansage \rightarrow Tatsache.

Qualitas occulta (lat.), die verborgene Wirkkraft. Nach Aristoteles wohnt jedem Körper ein Bewegungsantrieb inne, an seinen natürlichen, ihm gemäßen Ort der Welt zu gelangen. Dieser Gedanke hatte sich zunächst gegen die auf pythagoreische Ideen zurückgehende Vorstellungen durchgesetzt, daß die Bewegung der Körper durch ein Prinzip außerhalb ihrer bestimmt seien, nämlich durch geometrische und Zahlenverhältnisse. In der mittelalterlichen Naturwissenschaft und Naturphilosophie herrscht der Gedanke, daß in den Körpern selbst die Kräfte vorhanden sind, die ihre Bewegung bestimmen. Der Körper selbst, so nahm man an, habe einen »Impetus«, einen Drang, sich so oder so zu bewegen. Der Gedanke der qu.o., der bei Aristoteles und in der mittelalterlichen Naturwissenschaft ein wissenschaftliches Gepräge hat, wurde jedoch mehr und mehr zu einer phantastischen Spekulation. Die mittelalterliche Alchemie schrieb den Stoffen, vor allem dem Stein der Weisen, wunderbare Wirkkräfte zu. (Er sollte alle Krankheiten heilen und alle Stoffe in Gold verwandeln können.) Die neuzeitliche Naturwissenschaft ist aus einem Gegensatz zu derartigen Auffassungen entstanden. Man griff den pythagoreisch-platonischen Gedanken auf, demzufolge die Naturvorgänge durch das Gesetz der Zahl bestimmt sind. Einen Naturvorgang »erklären« heißt nun fortan nicht mehr, ihn auf eine geheimnisvolle Wirkkraft, auf eine qu.o. zurückführen, sondern das Gesetz angeben, nach dem er verläuft. Wir dürfen nicht verkennen, daß damit die Warum-Frage nicht gelöst ist: warum die Massen die merkwürdige (und gar nicht notwendige) Eigenschaft besitzen, sich anzuziehen, warum sich eigentlich verschiedene Pole der Magnete anziehen und gleiche sich abstoßen. Wir müssen diese Tatsachen auf Grund von Experimenten hinnehmen und darin ihr Wahrheitskriterium sehen. Wenn also auch die qu.o. aus der Physik (durch eine Reduktion auf das im Experiment erfahrbare) ausgeklammert ist, so bleibt sie doch als metaphysisches Problem bestehen; denn wir können nicht leugnen, daß sowohl die Wirkkraft der Massen als auch die der Magnete für uns unverständlich sind. Das Ausklammern der qu.o. ist für die Entwicklung der Naturwissenschaft von höchster Bedeutung gewesen.

Qualität (lat.) ist zunächst eine durch die Sinnesempfindung erfahrbare Eigenschaft eines Gegenstandes, z. B. Härte, Wärme, Farbe, Geruch, und zwar handelt es sich dabei um die ganz *spezielle* Eigenschaft, die einem Ding zukommt, z. B. eine ganz bestimmte hellrote Farbe. In der griech. Philosophie sind die Qu. Erscheinungsweisen des Seienden, für deren Auftreten verschiedene Erklärungen gegeben werden. Demokrit versuchte, hinter sie zurückgehend, sie durch die Formen der Atome und ihr Zusammenstreuen zu erklären; Q. selbst bestünden nicht an sich, sondern nur in der menschlichen Wahrnehmung. Bei Platon finden wir den Gedanken, daß die Welt der Q. aus geometrischen Formen zusammengesetzt sei. Hier bahnt sich die zuerst bei den Pythagoreern ausgesprochene Idee einer rein quantitativen Bestimmung des Seienden an. Demgegenüber vertrat Aristoteles die Ansicht, daß es unmöglich sei, die Q. auf \rightarrow Quantitäten zurückzuführen. Er sah, daß die Q. der Quantität gegenüber etwas anderes ist. Beide Begriffe werden in seiner Kategorientafel als selbständige \rightarrow Kategorien aufgeführt.

In der neueren Philosophie wurden, z. B. von Berkeley und Hume, die Q. als nur dem Subjekt, nicht aber den Dingen zugehörig erklärt. Kant hat, wahrscheinlich durch die Newtonsche Mechanik angeregt, dem Problem eine entscheidende Wendung gegeben, die für den Begriff der physikalischen \rightarrow Größe außerordentlich bedeutsam ist. Er

unterscheidet zwischen der Q , der Empfindung, die jederzeit nur empirisch ist und \rightarrow a priori nicht vorgestellt werden kann, z. B. Farbe, Wärme usw., und der Q , als \rightarrow Kategorie des Verstandes, d. h. als Denkform, unter der Empfindungen gedacht werden müssen. Diese Denkform geht der eigentlichen Empfindung logisch voraus. Kant kommt zu dem Ergebnis, daß bereits für unsere Wahrnehmungen (also nicht erst für die physikalische Erfahrung) ein Prinzip benutzt wird, das lautet: »In allen Erscheidungen hat das Reale, was ein Gegenstand der Empfindung ist, eine intensive Größe, d. i. einen Grad« (z. B. eine Masse, eine Temperatur, eine Lichtstärke, eine Geschwindigkeit usw.). Hierbei ist zu beachten, daß es sich noch nicht um die *Maßgrößen* Masse, Temperatur usw. handelt, bei denen bereits eine Einheit vorausgesetzt ist, sondern um reine Q -bestimmungen *als* Masse, Temperatur usw. Wir wissen von ihnen nur, daß sie Null sein, vorhanden sein und sich steigern oder vermindern können. Wir können z. B. *keine* Wärme, *überhaupt* Wärme, ihre Zu- oder Abnahme empfinden. Diesen Veränderungen ist noch keine Zahlenreihe zugeordnet. Diese Zahlenzuordnung setzt eine weitere Kategorie, die \rightarrow Quantität, voraus.

Die Kantische intensive Größe liegt der \rightarrow Größenart oder der Dimension zugrunde. Jede Maßgröße ist die Verbindung einer quantitativen Größe mit einer qualitativen. Um diese Verbindung zu ermöglichen, bedarf es nach Kant noch einer Kategorie: der Relation. Unter diese Kategorie fallen die eigentlichen physikalischen: die \rightarrow Substanz, die \rightarrow Kausalität und die \rightarrow Wechselwirkung. Bei der physikalischen Messung wird diese Relation durch das Meßinstrument *praktisch* hergestellt. Ein Meßinstrument, das Temperatur (die intensive Größe) mißt, wird mit einer Zahlenskala versehen, um die quantitative Größe zu messen. Dabei wird vorausgesetzt, daß 1. die Skala, über die sich der Quecksilberfaden bewegt, fest bleibt bzw. daß sich die Skala nicht während des Meßvorganges unkontrollierbar ändert (Kategorie der \rightarrow Substanz oder der Beharrlichkeit), 2. daß das Steigen oder Fallen des Quecksilberfadens auf die Erwärmung des umgebenden Mediums nach einer bestimmten Regel folgt (Kategorie der \rightarrow Kausalität), 3. daß Quecksilberfaden und umgebendes Medium in einer Wechselwirkung stehen (Kategorie der \rightarrow Wechselwirkung). Man sieht daraus, daß eine physikalische Maßgröße nicht nur ein Zeigerausschlag ist, also eine quantitative Bestimmung besitzt, sondern im wesentlichen auch eine qualitative, die in das Meßgerät und in den Meßvorgang einght, vor allem aber maßgeblich für die \rightarrow Einheit der betreffenden Maßgröße ist.

Nun gibt es physikalische Maßgrößen, denen in der Empfindung nichts entspricht, nämlich die magnetischen und elektrischen. Jedoch werden diese intensiven Größen, wie Ladung, Stromstärke usw., über einen Umweg definiert, indem man ihre meßbaren Wirkungen für eine Bestimmung der Einheit benutzt. Das bedeutet nicht, daß man diese Einheiten auf diese Wirkungen zurückführen kann (Beispiel: 1 Ampere ist nicht *dasselbe* wie die 1,118 mg Silber, die in einer Sekunde durch diese Stromstärke aus einer Silberzellsolution ausgeschieden werden können). Bei manchen physikalischen \rightarrow Größenarten oder Dimensionen sind sich die Physiker noch uneinig, ob sie dieselbe intensive Größe darstellen oder nicht (\rightarrow hierzu Fleischmann, Einheitsinvariante Größengleichungen. In: Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 12. Bd., H. 9, S. 395). So herrscht keine Einigkeit darüber, ob die schwere Masse gleich der trägen Masse m_{tr} , d. h. ob beide identisch sind, oder ob die gleiche Quantität (Zahlengleichheit) und die gleiche Dimension auf einem Naturgesetz beruhen. Dieser Ansicht war Helm-

holtz. Dasselbe gilt von der Temperatur, der mittleren kinetischen Energie und einigen elektrischen und magnetischen Größen.

Im \rightarrow dialektischen Materialismus wird im Anschluß an Gedanken von Hegel und Marx das Umschlagen von Quantität in Q (Engels, *Herrn Engen Dührings Umwälzung der Wissenschaft*, 1878) und umgekehrt behauptet, um dadurch eine Verbindung beider Kategorien herzustellen. Eine Steigerung quantitativer Veränderungen (z. B. Temperaturzunahme) schlägt in eine qualitative Veränderung (Änderung des Aggregatzustandes) um; aber diese qualitative Veränderung schlägt sofort wieder in eine quantitative um, indem andere Maßgrößen auftauchen, die den neuen Aggregatzustand charakterisieren, jedoch bleibt es nicht bei diesen quantitativen Umschlag, sondern der Entwicklungsprozeß (der gesamten Natur und auch der Geschichte) muß »als Bewegung in aufsteigender Linie, als Übergang von einem alten qualitativen Zustand zu einem neuen qualitativen Zustand, als Entwicklung von Einfachem zu Komplizierterem, von Niederen zu Höherem aufgefaßt werden«. (Stalin, *Über den dialektischen und historischen Materialismus*, S. 1946)

Es gelang jedoch weder Hegel noch seinen Nachfolgern, Kriterien dafür anzugeben, wann und warum ein solcher Umschlag eintreten muß, vielmehr wird nur phänomenologisch gezeigt, daß er eintritt. Die Q ist nach dieser Auffassung gar keine Kategorie der Physik, sondern der sinnlichen Wahrnehmung (man nimmt einen Körper als fest, flüssig oder gasförmig wahr), die sich in physikalischer Beschreibung lediglich durch quantitative Daten wiedergeben läßt. Physikalisch gesehen, hat also keinerlei »Umschlag« stattgefunden, sondern der Umschlag besteht lediglich darin, daß sich der \rightarrow Aspekt geändert hat, unter dem man die Phänomene sieht. Diese Gegenüberstellung von Q und Quantität geht damit an der Kantischen Analyse vorbei, weil sie zwei *Denkformen* vereinfachend als Sensesweisen erklärt.

L.: J. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, 1781 — H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*, Bd. 2, S. 43ff. München 1961

Quantentheorie, die von Max Planck begründete Theorie, derenfolge sich die Strahlung nicht kontinuierlich über den Raum verteilt, sondern in Form von Lichtquanten ausgesandt wird. Das Plancksche Wirkungsquantum h , multipliziert mit der Frequenz der Strahlung ν , ergibt das Energiequant der betreffenden Strahlung. h ist eine universelle Naturkonstante. Sie ist überall im atomaren Bereich von entscheidender Bedeutung, und damit wurde die Quantentheorie zur grundlegenden Theorie der gesamten Atomphysik (\rightarrow Atom).

Die Quantentheorie hat philosophische Diskussionen ausgelöst, vor allem weil ihre Ergebnisse der \rightarrow Anschauung widersprechen oder sich einer anschaulichen Darstellung entziehen (\rightarrow Unbestimmtheitsrelation, \rightarrow Dualismus von Korpuskel und Welle, Quantensprung usw.), aber auch weil es schien, daß durch sie philosophische Begriffe problematisch wurden, die bis dahin als gesichert gegolten hatten (\rightarrow Substanz, Kausalität). Die Argumente des Erkenntnistheoretikers könnten nur dann für oder gegen die Quantentheorie entscheidend Berücksichtigung verlangen, wenn er nachweise, daß diese auf einer falschen Methode, auf falschen logischen Schlüssen oder auf sonstigen Denkfehlern beruhen oder zu falschen Ergebnissen führen. Andererseits ergeben sich aus der Quantentheorie keine Aufschlüsse über die Gültigkeit der \rightarrow Kategorien Substanz und Kausalität.

Die Quantentheorie kann sich nur mit der *inhaltlichen* physikalischen Interpretation dieser Kategorien befassen.

L: M. Born, *Physik im Wandel meiner Zeit*. Braunschweig 1966⁴ — W. Bichsel, *Quantentheorie und kritischer Realismus*. In *Philosophia naturalis*, Bd. 5, 1958 — F. Cassirer, *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*. Berlin 1937 — W. Gent, *Die Kernphysik und ihre weltanschaulichen Grenzen*. In *Philosophia naturalis*, Bd. 6, 1960 — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*. Berlin 1950 — W. Heisenberg, *Physikalische Prinzipien der Quantentheorie*. Mannheim 1958 — W. Kuhn, *Atomphysik in der Schule*. Braunschweig 1968³ — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*. Braunschweig 1964³ — W. Pauli, *Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie*. Braunschweig 1961 — L. v. Strauß und Torrey, *Der Wandel in der physikalischen Begriffsbildung*. Braunschweig 1949 — H. Wein, *Heinrichs Verhältnis und Mißverhältnis zwischen Philosophie und Naturwissenschaft*. In *Philosophia naturalis*, Bd. 1, 1950

Quantität (lat.), die zahlenmäßig bestimmte Größe oder Anzahl, bei Aristoteles als selbständige Kategorie genannt, die sich nicht auf die → Qualität zurückführen läßt und umgekehrt. Auch bei Kant ist die Q. eine selbständige Kategorie in der Klasse der mathematischen Kategorien und gliedert sich in Einheit, Vielheit, Allheit. Nach Kant ist die Allheit nichts anderes als die Vielheit als Einheit betrachtet, d. h. als Menge betrachtet. Durch Zuordnung einer quantitativen Bestimmung zu einer qualitativen entsteht eine physikalische Maßgröße (→ Qualität, → Größe).

Raum, nach Kant »die Form aller Erscheinungen äußerer Sinne, d. i. die subjektive Bedingung der Sinnlichkeit« (Kr. d. r. V.). Er ist also nach Kant kein Ding, kein Gefäß, in dem sich Dinge befinden wie bei Newton, sondern ein Ordnungsschema, und zwar das des Nebeneinander, das unsere empirischen Anschauungen zugrunde liegt. Es gibt jedoch viele R.theorien. Bereits das Tier besitzt einen Wirk- oder Aktionsr., in dem sich seine Bewegungen vollziehen, ohne daß es einen Überblick über diesen R. besitzt. »Die Gewinnung der R.-Anschauung wie die der Ding-Anschauung ist nur dadurch möglich, daß der Strom der sukzessiven Erlebnisse gewissermaßen angehalten — daß ihr bloßes Nacheinander in ein 'Zusamf' umgebildet wird.« (Cassirer s. u.) Dem Wahrnehmungsr. des Menschen liegt bereits ein Orientierungsschema mit Orientierungsmarkern zugrunde. Im magischen und mythischen Weltbild sind diese Orientierungsmarken durch magische oder mythische Akzente gesetzt (daher Ordnung der Gräber usw.). Der R. besitzt noch keine Homogenität im Sinne von auswechselbaren Orientierungen.

Derartige Orientierungsvorstellungen bilden sich erst im logischen Denken aus: oben—unten, rechts—links, hier—dort, zwischen, dahinter—davor, fern—nah, anwesend—abwesend usw. Hier ist bereits die Struktur des mathematischen R. vorgebildet. Die Struktur des Wahrnehmungsr. unterscheidet sich von der des mathematischen dadurch, daß in jenem Begriffe wie »stetig«, »unendlich«, »parallel« fehlen. Ein mathematischer R. wird durch eine Geometrie, d. h. durch die dieser Geometrie zugrundeliegenden → Axiome definiert. Erst ein solcher R.begriff ist für die exakte Naturwissenschaft brauchbar. Jedoch sind mathematischer und physikalischer R. nicht dasselbe. Die Mathematik kennt verschiedenartige R., z. B. topologische R. (in denen der Begriff Stetigkeit erklärt ist), metrische R. (in denen der Abstand zweier Punkte definiert ist). Zu diesen gehört der euklidische R., der durch die Axiome der euklidischen Geometrie definiert wird. In ihr gilt das Parallelenaxiom. Es gibt nicht-euklidische Geometrien, die durch andere Axiome als die euklidischen definiert werden. Die erste systematische nicht-

euklidische Geometrie war diejenige, in der alle Axiome der euklidischen Geometrie außer dem Parallelenaxiom gelten. In einem euklidischen R. hat ein Dreieck die Winkelsumme von 180°, in einem nicht-euklidischen ist sie größer oder kleiner. Auch die Metrik ist im nicht-euklidischen R. eine andere.

Man hat die Frage nach der Struktur des Natur- oder Realr. aufgeworfen. Nach N. Hartmann ist Realr. »der R., in dem die realen Dinge und Dingverhältnisse sind, die physisch realen Geschehnisse sich abspielen, in dem auch das menschliche Leben verläuft, soweit sein Ablauf ein dinglich-naturhafter und an Naturverhältnisse gebunden ist.«

Gauß hat, um die euklidische Struktur des R. nachzuprüfen, ein Dreieck (Brocken—Inselberg—Hoher Hagen) genau vermessen und für die Winkelsumme innerhalb der Fehlergrenzen keine Abweichung von dem Werte von 180° feststellen können. Eine andere Frage ist die, ob der Raum homogen oder inhomogen ist, d. h. ob er überall das gleiche Krümmungsmaß hat oder nicht. Im ersteren Falle müßten überall die gleichen geometrischen Verhältnisse herrschen, d. h. die gleichen geometrischen Konstruktionen müßten an allen Stellen des R. ausgeführt werden können und zu den gleichen Figuren führen.

Gegen die nicht-euklidische Struktur des R. hat F. A. Taurinus folgenden Einwand erhoben: Wenn nach Kant der R. eine reine Anschauungsform a priori ist, dann kann er keine empirischen Konstanten enthalten, d. h. er kann nicht durch Schwellungen oder Schrumplungen, die nur empirisch zu ermitteln sind, bestimmt sein. Frei von empirischen Konstanten sei aber nur der euklidische R.; denn sein Krümmungsmaß ist Null. Dieser Einwand betrifft jedoch nur den R. als »reine Form der Anschauung« im Sinne Kants. Von prinzipieller Art sind folgende Einwände. H. Dingler hat bemerkt, daß jede empirische Feststellung darüber, ob der R. euklidisch oder nicht-euklidisch sei, mit Meßapparaten vorgenommen wird, die auf der Grundlage der euklidischen Geometrie konstruiert sind. E. May hat darauf hingewiesen, daß es nur dann möglich sei, die Struktur des R. durch Messung zu ermitteln, »wenn man den geometrischen Begriff der Kongruenz physikalisch definiert und die Möglichkeit der Existenz eines unversetzten Kraftfeldes von vornherein verwirft« (s. u.). Beides müsse aber begründet werden. Diese Begründungen können aber nicht die Messungen liefern, weil die Messungen die vorgenannten Annahmen voraussetzen.

Nach Einstein wird die Struktur des R. durch die Materie mitbestimmt; die R.struktur bestimmt andererseits die Bahn, auf der sich die Materie bewegt. A. March (s. u.) hebt hervor, »daß in der Physik der Begriff der räumlichen Ordnung sich in bestimmten meßbaren Relationen erschöpft, in denen die Dinge zueinander stehen, und über diese Relationen hinaus keinen erfäßbaren Inhalt hat«. Die Dinge sind nach dieser Auffassung dem R.begriff der Physik vorgeordnet. R.begriffe, wie Ausdehnung und Gestalt, verlieren in der Anwendung auf Elementarteilchen ihren Sinn.

Gegen die Auffassung, daß R. etwas Sekundäres gegenüber den Dingen sei, sind von philosophischer Seite Einwendungen erhoben worden, u. a. von N. Hartmann: »Nicht der Realr. ist eine Funktion der Dinge (oder auch der Masse oder der Kraft), sondern die Dinge sind mit einer Funktion des Realr.«

Manche Physiker sind der Ansicht, daß der physikalische R. nur eine Art Ordnungsschema für die jeweiligen mathematischen Beschreibungen sei und daß sich die Physik

dasjenige R.modell aussuche, das den Bedürfnissen entspricht und möglichst einfache Beschreibungen zuläßt. Bei dieser Auffassung fallen Realf. und physikalischer R. nicht zusammen.

Die Frage nach der Endlichkeit oder Unendlichkeit des R. darf nach N. Hartmann nicht verwechselt werden mit der Frage nach der Endlichkeit oder Unendlichkeit der → Welt.

L.: O. Becker, *Größe und Grenze der mathematischen Denkweise*. Freiburg 1959, S. 46—53 — R. Carnap, *Der Raum*. Berlin 1922 — E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3. Oxford 1954, S. 165—188 und S. 486—496 — H. Conrad-Martius, *Der Raum*. München 1958 — H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938, S. 95—109 — A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik*. Braunschweig 1931, S. 84—90, S. 155—163 — A. Einstein, *Mein Weltbild*. Ullstein-Buch Nr. 65, S. 119—127, S. 138—147 — N. Hartmann, *Der Aufbau der realen Welt*. Berlin 1950 — M. Hartmann, *Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften*. Stuttgart 1959, S. 106f. — W. Heisenberg, *Das Naturbild der heutigen Physik*. rowohlt deutsche enzyklopädie Bd. 8 — F. Kaulbach, *Das Raumproblem bei Kant und in der modernen Physik*. In *Philosophia naturalis*, Bd. 6, 1960 — H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*, Bd. 1. Freiburg 1954 — E. May, *Kleiner Grundriß der Naturphilosophie*. Meisenheim 1949, S. 50—55 — M. v. Laue, *Von Kopernikus bis Einstein*. In *Naturw.* Rundschau 1957, H. 3 — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*. Braunschweig 1964³ — L. von Strauß und Torney, *Der Wandel in der physikalischen Begriffsbildung*. Braunschweig 1949, S. 28—51 — H. Tietze, *Gelüste und ungelöste mathematische Probleme*, Bd. 2. München 1967³ — C. F. von Weizsäcker und J. Jüttis, *Physik der Gegenwart*. kl. Vandenhoeckreihe 43 — A. Wenzl, *Die philosophischen Grenzfragen der modernen Naturwissenschaft*. Urbanbücher Bd. 11 — H. Weyl, *Raum-Zeit-Materie*. Berlin 1923 — M. Jammer, *Das Problem des Raumes*, dt. Darmstadt 1960

Raum-Zeit-Welt, auch Minkowskiwelt genannt, ein Entwurf des Mathematikers Hermann Minkowski, der in der Relativitätstheorie Einsteins seine Anwendung gefunden hat. In dem berühmten Vortrag Minkowskis vom Jahre 1908 (s. u.) heißt es: »Die Anschauungen über Raum und Zeit, die ich Ihnen entwickeln möchte, sind auf experimentell-physikalischem Boden erwachsen. Darin liegt ihre Stärke. Ihre Tendenz ist eine radikale. Von Stund' an sollen Raum und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken, und nur noch eine Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren.«

Minkowski ging von dem Gedanken aus, daß die Newtonschen Gleichungen der Mechanik invariant sind gegenüber Transformationen des Koordinatensystems und gegenüber gleichförmigen Translationen. Beide Transformationsgruppen wurden aber bis dahin getrennt voneinander betrachtet, weil Transformationen im Raume und Transformationen in der Zeit einen heterogenen Charakter zu haben schienen. Diese Heterogenität versuchte Minkowski durch folgende Überlegung zu überwinden: »Es seien x, y, z rechtwinklige Koordinaten für den Raum, und t bezeichne die Zeit. Gegenstand unserer Wahrnehmungen sind immer nur Orte und Zeiten verbunden. Es hat niemand einen Ort anders bemerkt als zu einer Zeit, eine Zeit anders als an einem Ort. Ich respektiere aber noch das Dogma, daß Raum und Zeit je eine unabhängige Bedeutung haben. Ich will einen Raumpunkt zu einem Zeitpunkt, d. i. ein Wertsystem x, y, z, t einen *Weltpunkt* nennen. Die Mannigfaltigkeit aller denkbaren Wertsysteme x, y, z, t soll die *Welt* heißen. . . Um nützlich eine gähnende Leere zu lassen, wollen wir uns vorstellen, daß allerorten und zu jeder Zeit etwas Wahrnehmbares vorhanden ist. Um nicht Materie oder Elektrizität zu sagen, will ich für dieses Etwas das Wort Substanz brauchen. Wir richten unsere Aufmerksamkeit auf den im Weltpunkt x, y, z, t vor-

handenen substantiellen Punkt und stellen uns vor, wir sind imstande, diesen substantiellen Punkt zu jeder anderen Zeit wiederzuerkennen. Einem Zeilelement dt mögen die Änderungen dx, dy, dz der Raumkoordinaten dieses substantiellen Punktes entsprechen. Wir erhalten alsdann ein Bild sozusagen für den ewigen Lebenslauf des substantiellen Punktes, eine Kurve in der Welt, eine *Weltlinie*, deren Punkte sich eindeutig auf den Parameter t von $-\infty$ bis $+\infty$ beziehen lassen. Die ganze Welt erscheint aufgelöst in solche Weltlinien, und ich möchte sogleich vorwegnehmen, daß meiner Meinung nach die physikalischen Gesetze ihren vollkommenen Ausdruck als Wechselbeziehungen unter diesen Weltlinien finden dürften.« Einstein hat es einmal so ausgedrückt: »Die Physik wird aus einem *Geschehen* im dreidimensionalen Raum gewissermaßen ein *Sein* in der vierdimensionalen »Welt.«

Die Minkowskiwelt gestattet eine einfache Darstellung der Gleichungen der Relativitätstheorie. Betrachtet man zwei Ereignisse mit den räumlichen Koordinatendifferenzen dx, dy und dz und der Zeitdifferenz dt in einem Galileischen Koordinatensystem und die gleichen Ereignisse in bezug auf ein zweites System, wo sie die räumlichen Koordinatendifferenzen dx', dy' und dz' und die Zeitdifferenz dt' haben, dann gilt die Bedingung:

$$dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2 = dx'^2 + dy'^2 + dz'^2 - c^2 dt'^2.$$

Der auf der linken und rechten Seite stehende Ausdruck ist also von der Wahl des Bezugssystems unabhängig. Setzt man $x = x_1, y = x_2, z = x_3, \sqrt{-1} ct = x_4$, dann erhält man:

$$dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2 = dx_1'^2 + dx_2'^2 + dx_3'^2 + dx_4'^2.$$

Man kann also das Raum-Zeit-Kontinuum als vierdimensionales euklidisches Kontinuum auffassen. Das Raum-Zeit-Kontinuum der allgemeinen Relativitätstheorie ist jedoch nicht-euklidisch. Seine Metrik wird durch die Materie bestimmt.

Die R.-Z.-W. Minkowskis ist ein Beschreibungsformalismus. Sie sagt nichts über die wirkliche Beschaffenheit der Welt aus und hebt nicht etwa die Andersartigkeit von Raum und Zeit auf. Cassirer sagt: »Räumlichkeit, Zeitlichkeit und Materialität sind nach wie vor *Momente* der physikalischen Wirklichkeit, aber diese Momente lassen sich nicht, wie es in der älteren Anschauung möglich war, gleich *Stücken* behandeln, aus denen sich diese Wirklichkeit zusammensetzt. Es gibt jetzt nicht mehr, wie etwa in der Newtonschen Theorie, einen leeren Raum, in welchen das stofflich Reale wie in eine fertige Mietkasernen einzieht. Im Begriff des »metrischen Feldes« ist ein Einheits- und Oberbegriff geschaffen, der die besonderen *Geschichtspunkte* des Raumes, der Zeit und der Materie in einer völlig neuen Weise aufeinander bezieht und miteinander verknüpft. Die Welt ist in systematischer Einheitlichkeit als eine (3+1)-dimensionale metrische Mannigfaltigkeit definiert; alle physikalischen Felderscheinungen sind Äußerungen der Weltmetrik.«

L.: E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3. Oxford 1954, S. 551ff. — A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik*. Braunschweig 1931 — A. Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. Braunschweig 1965³⁰ — E. May, *Kleiner Grundriß der Naturphilosophie*. Meisenheim 1949 — H. Minkowski, *Raum und Zeit*. Leipzig 1909

Realismus (lat.) ist derjenige philosophische Standpunkt, der eine unabhängig von unseren Empfindungen und außerhalb unseres Bewußtseins existierende Wirklichkeit

annimmt, die für den menschlichen Geist erkennbar oder erforschbar ist. Der naive R. nimmt die Wirklichkeit als so beschaffen an, wie sie uns als Wahrnehmungswirklichkeit erscheint. Nach dem kritischen R. dagegen müssen wir mit unseren Erkenntnismitteln diese Wirklichkeit erst erschließen und die Sinskategorien und -gesetze finden. Der R. tritt in verschiedenen Formen auf. Auch der → dialektische Materialismus ist ein R. Der Naturwissenschaftler muß, wie Planck einmal bemerkt hat, von der Realität der Außenwelt ausgehen, um überhaupt in ihr sinnvoll experimentieren zu können. Dieser Ansatz braucht jedoch für ihn nicht mehr als eine Arbeitshypothese zu sein; als Erkenntnistheoretiker kann er durchaus auf einem anderen Standpunkt als dem realistischen stehen.

(→ Realität)

Realität (lat.), Dinghaftigkeit, ein Begriff der im alltäglichen Gebrauch, in der Wissenschaft und auch in der Philosophie nicht einheitlich bestimmt ist. R. ist zu unterscheiden von → Wirklichkeit.

Bei Kant tritt der Begriff in doppelter Weise auf, und zwar unter den → Kategorien. R. ist erstens eine qualitative Bestimmung, nämlich das, was Gegenstand der Empfindung ist, z. B. eine Farbe, Wärme. Das Reale hat einen Grad, d. h. es gibt kontinuierliche Stufen desjenigen, was der Empfindung entspricht, z. B. kontinuierliche Wärmeübergänge. Kant spricht aber noch von einer modalen Bestimmung der R. Modalität ist eine → Kategoriengruppe, die die → Postulate des empirischen Denkens enthält. Unter die Modalität fallen nach Kant drei Kategorien: die Möglichkeit, die Wirklichkeit und die Notwendigkeit eines Gegenstandes. Möglich ist das, was mit den formalen Bedingungen der Erfahrung übereinkommt (Kant, Kr. d. r. V.). Unter den formalen Bedingungen sind die Anschauungsformen Raum und Zeit und die → Kategorien zu verstehen. Was möglich ist, besitzt nach Kant bereits objektive R., auch wenn es nicht wirklich ist. So ist der freie Fall eine objektive R., weil er im Vakuum möglich ist, obgleich er niemals in absoluter Reinheit zu verwirklichen ist. Ein künstlich hergestelltes Element besitzt objektive R., sofern es »möglich« ist, auch wenn es im Augenblick nirgends existiert.

»Wirklich« ist nach Kant nur das, was wahrnehmbar ist. Zwar braucht der Gegenstand selbst nicht wahrnehmbar zu sein, aber er muß doch einen Zusammenhang mit der Wahrnehmung haben. Die Vorgänge im Atom sind zwar selbst nicht wahrnehmbar, aber doch die Zeigeranschläge, die von diesen Vorgängen Kunde geben. Die R. bei Kant ist nicht das »Seiende«, nicht das → »Ding-an-sich«, von dem wir nach Kant keine Erkenntnis haben können, sondern eine Konstruktion des Verstandes. Was »Masse-an-sich« ist, können wir nach Kant nicht erkennen; wir können nur ihren Begriff unter den Kategorien der Erfahrung bestimmen, d. h. sie mit dem Verstande konstruieren.

H. Dingler unterscheidet verschiedene R.-Schichten: die R. des reinen Erlebens (z. B. den reinen Anblick der Himmelskörper ohne jede Reflexion), die tägliche R., die bereits eine Abstraktion gegenüber dem reinen Erleben darstellt, (z. B. wenn wir von der Bahn der Planeten am Himmel sprechen). Die »systematische R.« dagegen wäre die Eingliederung der Gestirnsbewegungen in das kopernikanische System.

Von Kaila stammt eine positivistische Deutung des R.-begriffs. R. ist nach dieser Auffassung die »maximale → Invarianz«. Solche Invarianzen sind: Gleichheit, Ähnlichkeit, Gleichförmigkeit, Analogie, Isomorphie usw. Gegenüber der Alltagserfahrung be-

sitzt die physikalische Welt eine höhere Invarianz. In der Alltagserfahrung finden wir keine Gesetze, keine Konstanten usw. wie in der Welt der Physik. Das heliozentrische System besitzt physikalische R. gegenüber dem geozentrischen, das nur eine Realbeschreibung darstellt. Im heliozentrischen tritt im Gravitationsfeld eine Invarianz auf, die im geozentrischen System fehlt, die Gravitationskonstante. Das heliozentrische System besitzt also höhere Invarianz.

Von dieser rein erkenntnistheoretischen Problemstellung unterscheidet sich die ontologische und metaphysische, die das Sein der Natur erforschen und nicht nur eine Theorie der Naturerkenntnis entwickeln will. Es wird nach einer R. gefragt, die nicht vom Verstande erstellt oder von ihm mitgeformt ist. Denn das Reale, so sagt man, müsse unabhängig davon sein, ob der Verstand es erkennt oder nicht.

Locke unterscheidet zwischen primären Qualitäten, (Zahl, Größe, Ausdehnung, Bewegung) und sekundären (Farbe, Geruch, Geschmack usw.) und war der Ansicht, daß nur die ersteren R. besäßen. Eine besondere Schwierigkeit bereitete z. B. die Frage, ob die Kraft eine R. sei und nicht vielmehr zu den sekundären Qualitäten (Kraftempfindung) gehöre. Das gilt auch von der Gravitationskraft als Fernkraft. Newton nahm sie als physikalische R. hin. In der modernen Physik wird die Frage nach der physikalischen R. noch schwieriger und ist nicht einheitlich beantwortet worden. Ist z. B. das → Raum-Zeit-Kontinuum R. oder ein mathematischer Entwurf, sind Atome R. oder Hilfsbegriffe zur Deutung der Erscheinungen? Noch größer sind die Schwierigkeiten, die durch den → Dualismus »Korpuskel-Welle« und durch die → Unsicherheitsrelation eingetretten sind. Es handelt sich dabei um den Einfluß des Beobachters auf die »realen« Vorgänge. Wie kann etwas real sein, das erst durch ein Experiment oder durch einen Beobachter veranlaßt wird? Man hat neben vielen anderen Deutungsversuchen die Vermutung ausgesprochen, daß es vielleicht niemals gelingt, das Reale zu treffen.

I.: O. Becker, *Größe und Grenze der mathematischen Denkweise*. Freiburg 1959 — M. Born, *Physikalische Wirklichkeit*. In M. B., *Physik im Wandel meiner Zeit*. Braunschweig 1964 — H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938 — W. Heisenberg, *Die Entwicklung der Deutung der Quantenmechanik*. In Physikalische Blätter 12, H. 7 — E. Kaila, *Über den physikalischen Realitätsbegriff*. In Acta Philosophica Fennica, Fasc. IV, 1941 — H. Lange, *Geschichte der Grundlagen der Physik*, 2 Bde. Freiburg 1954/1961 — W. Pauli, *Phänomen und physikalische Realität*. In W. P., *Aufsätze und Vorträge über Physik und Erkenntnistheorie*. Braunschweig 1961 — W. Schulze-Soede, *Die Problematik des physikalisch-Realen*. Stuttgart 1962

Reduktionsschluß → Induktion.

Regel, eine Anweisung für den Menschen, nach der er sich richten kann oder soll (lat. regula = Richtscheit). Der R. als Aussage liegen Regelmäßigkeiten zugrunde, die vom Menschen festgesetzt oder hergestellt wurden (Wetter-, Gesunderheits-, grammatische R., Spiel-, Verkehrsr.). Zu den festgestellten R. gelangt man auf Grund zahlreicher Einzelstellungen. Eine festgestellte R. unterscheidet sich vom → Naturgesetz dadurch, daß sie keine Notwendigkeit besitzt. Sie hat Ausnahmen. Auch vermittelt eine R. keine Einsicht in einen Vorgang. Die sog. »Goldene Regel der Mechanik« ist keine Regel, sondern ein »Gesetz«, und zwar ein Spezialfall des Gesetzes von der Erhaltung der mechanischen Energie.

Relativitätsprinzip, R. Theorie, von Einstein aufgestellt, die sich in die spezielle (1906) und die allgemeine (1916) R. gliedert. Sie ist die Erweiterung des Relativitäts-

prinzips der klassischen Mechanik, das zuerst von Galilei ausgesprochen wurde. Dieses Prinzip behauptet die \rightarrow Invarianz der mechanischen Gesetze in zueinander geradlinig und gleichförmig bewegten abgeschlossenen Systemen. Das Relativitätsprinzip ist ein *Invarianzprinzip*. Anders ausgedrückt lautet es: Man kann *innerhalb* eines abgeschlossenen Systems durch mechanische, messende Experimente nicht feststellen, ob sich dieses System gegenüber einem anderen bewegt oder nicht bewegt. Es gibt kein absolutes Bezugssystem für geradlinig und gleichförmig verlaufende Bewegungsvorgänge, sondern es lassen sich immer nur Relativbewegungen feststellen. Die spezielle R. erweitert diese Invarianzforderung auf die Gesetze der Elektrodynamik. Auch mit ihrer Hilfe kann man nicht feststellen, ob sich ein System gegenüber einem anderen in Bewegung befindet. So wie in zwei Bezugssystemen, die sich gegeneinander jeweils mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen, die Gleichungen der Mechanik invariant bleiben (Galileisches R.), so bleiben auch die Maxwell'schen Gleichungen invariant (Einsteinsches R.). Dieses Prinzip schließt zwei Aussagen ein: 1. Es gibt keinen ruhenden Lichtäther, der als absolutes Bezugssystem gelten könnte. 2. Die Lichtgeschwindigkeit ist in allen sich relativ zueinander mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegenden Systemen in allen Richtungen dieselbe (Bestätigung durch den Versuch von Michelson im Jahre 1887).

Als Folgerung aus dem speziellen Relativitätsprinzip ergab sich eine neue Fassung des Begriffs der physikalischen Gleichzeitigkeit. Dabei zeigte sich die Fruchtbarkeit eines \rightarrow positivistischen, freilich erst später von Heisenberg formulierten erkenntnistheoretischen \rightarrow Postulats, daß Begriffe, die nicht experimentell bestätigten Ergebnissen entsprechen, in der theoretischen Physik nicht gebraucht werden sollen (Postulat der Verifizierbarkeit). Nach der klassischen Physik ließen sich zwei Uhren in relativ zueinander bewegten Systemen S und S' synchronisieren, d. h. auf die gleiche Uhrzeit und den gleichen Gang einstellen. Es galt die Gleichung $t = t'$ für die Systeme S und S'. Es ließen sich also zufolge dieser Auffassung alle Ereignisse im Universum an eine absolute Zeitskala anheften, wobei von jedem Ereignis A im absoluten Sinne angehebbar sein sollte, ob es vor oder nach einem Ereignis B oder gleichzeitig mit ihm stattgefunden habe. Diese Angaben haben nach der R. aber nur innerhalb eines Systems Sinn. Ereignisse, die für das eine System gleichzeitig sind, sind es nicht auch für ein System, das sich relativ zum ersten bewegt. Der Grund für diese Tatsache ist darin zu suchen, daß die Lichtgeschwindigkeit die höchstmögliche Signalgeschwindigkeit ist.

Eine weitere Folgerung aus der speziellen Relativitätstheorie ist die Äquivalenz von Energie und Masse. Die Masse eines Körpers hat keinen festen Wert, sondern er hängt von der Geschwindigkeit ab. Durch diese Erkenntnis werden die Gesetze von der Erhaltung der Masse und von der Erhaltung der Energie zu einem Gesetz verbunden.

Die allgemeine R. erweitert die Betrachtung auch auf nicht geradlinig oder gleichförmig zueinander bewegte Systeme. Sie gründet sich auf die experimentell festgestellte Tatsache, daß träge Masse gleich schwerer Masse ist. Daraus ergibt sich, daß es nicht zu unterscheiden ist, ob sich jemand in einem Schwerfeld oder einem gleichförmig beschleunigten Bezugssystem befindet (Kastenexperiment, ein Gedankenexperiment Einsteins). Auf Grund der Äquivalenz von Gravitations- und Beschleunigungsfeld arbeitet Einstein eine Theorie aus, die sich auf zwei fundamentalen Begriffen aufbaut \rightarrow Materie und \rightarrow Feld. Sie ist damit gleichzeitig eine Theorie der Gravitation. Die Grundgleichungen dieser Theorie geben erstens an, welches Feld durch eine bestimmte Anordnung der

Materie erzeugt wird, und zweitens, wie sich die Materie in einem bestimmten Gravitationsfeld bewegt. Der mathematischen Beschreibung dieser Theorie muß eine nicht-euklidische Geometrie zugrundegelegt werden.

Die Einsteinsche Theorie hat Anlaß zu erkenntnistheoretischen Untersuchungen gegeben. Es gibt Denker, die in ihr eine Überwindung der Kantischen Raum-Zeit-Lehre sehen. Die R. betrifft nicht die Kantischen »Anschauungsformen« \rightarrow Raum und \rightarrow Zeit, berührt aber insofern die Kantische Raum-Zeit-Lehre, als Kant aus den Anschauungsformen eine Extrapolation auf die Metrik des Raumes vorgenommen hatte, derzufolge die euklidische Geometrie a priori der Metrik des Raumes zugrunde zu legen sei. Hier liegt eine Grenzüberschreitung von seiten der Philosophie vor. Es gibt Denker, die die R. zu widerlegen versuchen, indem sie den Begriff der \rightarrow Gleichzeitigkeit einer Kritik unterzogen. Grundsätzlich ist hierzu zu sagen: Die R. ist eine *physikalische* Theorie, und es ist nicht Angelegenheit der Philosophie, ihre Richtigkeit zu untersuchen. Diese Untersuchung könnte sich nur darauf beziehen, ob etwa unzulässige Begriffe gebraucht, logische Fehlschlüsse gemacht oder nach falschen Methoden gearbeitet wurde. Das Inhaltliche der Theorie ist ausschließlich Sache des Physikers. Die spezielle R. ist nicht eine Theorie von Raum und Zeit, sondern eine Theorie der Raum- und Zeitmessung. Über die Ergebnisse von Messungen werden Aussagen gemacht, nicht aber über die ontischen Verhältnisse, also etwa die *Beschaffenheit* von Uhren und Menschen. Es gibt jedoch Physiker, die der Meinung sind, daß die R. Aussagen über den Realraum und über die Realzeit mache. Die Diskussion über die philosophische Interpretation der Relativitätstheorie ist noch im Fluß.

L.: H. Conrad-Martius, *Der Raum*, München 1958 — A. Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, Braunschweig 1965²⁰ — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*, Berlin 1950 — M. v. Laue, *Die spezielle Relativitätstheorie*, Braunschweig 1961 — M. v. Laue, *Die allgemeine Relativitätstheorie*, Braunschweig 1965²¹ — E. Cassirer, *Zur modernen Physik*, Darmstadt 1964

Richtigkeit, im wissenschaftlichen Sinne Kennzeichnung eines Sachverhalts, daß er unmitttelbar einsichtig ist oder auf Grund logischer Schlüsse, Regeln oder mit wissenschaftlichen Methoden aus vorgegebenen Daten erlangt wurde. Der Sachverhalt kann in der Naturwissenschaft ein experimentelles Ergebnis, ein Begriff, eine Aussage, eine Aussagenfolge, eine Modellvorstellung, eine Theorie, ein System sein. Die R. kann aber auch das wissenschaftliche Verfahren selbst kennzeichnen. Die Ansätze (\rightarrow Axiome, \rightarrow Postulate, \rightarrow Prinzipien) brauchen nicht notwendig selbst richtig zu sein. Oft erweist sich die Um. dieser Ansätze erst, wenn man zu offenbar unrichtigen Ergebnissen kommt, die denen widersprechen, die man auf anderem Wege oder mehreren anderen Wegen ermittelt hat. In der Logik wird für richtig der Terminus wahr verwendet. Mit Hilfe des logischen Kalküls und von Wahrheitstabellen kann die logische R. von Aussagen und Aussageverknüpfungen ermittelt werden. In einer zweiterartigen Logik ist eine Aussage entweder wahr oder falsch.

R. ist nicht mit \rightarrow Wahrheit identisch. Eine Aussage kann innerhalb einer Theorie richtig sein; es könnte jedoch die ganze Theorie nicht wahr sein und damit die Aussage ebenfalls nicht. Ein Modell oder eine Theorie können für bestimmte Zwecke richtig, brauchen aber nicht unbedingt wahr zu sein. R. ist ein relativer Begriff, \rightarrow Wahrheit jedoch nicht.

Sinneswahrnehmung \rightarrow Wahrnehmung.

Spekulation (lat.), ein gedanklicher Entwurf, der sich von einem sicheren Erkenntnisgrunde oder der Erfahrung löst und auf Begründungen verzichtet. In diesem Sinne stellen die Entwürfe der ionischen Naturphilosophen über den Urvorgang, den Ursprung und die Struktur der Welt S. dar. Besonders die kritische Philosophie hat sich gegen die S. gewandt und sie als Träumereien erklärt. Hegel hat das Recht des spekulativen Denkens betont.

Man wird die S. auch im Bereiche der Wissenschaft nicht ohne weiteres verwerfen dürfen. Die S. der griech. Philosophen haben sich durchaus als bedeutsam erwiesen. Die → Hypothesen und → Theorien der Physik tragen oft spekulative Züge. Von ihnen unterscheidet sich jedoch die reine S. dadurch, daß sie nicht wieder zur Erfahrung zurückkehrt und durch sie ihre Bestätigung zu finden versucht. S. sind auch alle Versuche, in denen aus wenigen, gerade passenden Erfahrungselementen eine Art Theorie errichtet und dann versucht wird, die gesamte Erfahrung hineinzupressen oder im Sinne dieser Spekulation zu deuten (Beispiel: Haeckel, *Die Welträtsel*, 1899, der → dialektische Materialismus).

Standortbedingtheit der Naturwissenschaft ist die Abhängigkeit von der wissenschaftstheoretischen und in weiterem Sinne philosophischen Grundlage, von der aus sie betrieben wird. Man könnte der Meinung sein, daß es für den Fortgang der Forschung belanglos sei, auf welchem Standpunkt der Naturforscher steht und ob er überhaupt einen solchen Standpunkt besitzt. Das gilt sicherlich für die nach bekanntem Verfahren und Methoden geleistete Arbeit in unseren Laboratorien. Und doch liegt auch diesen Forschungen ein Standort zugrunde, nämlich der der Galilei-Newton'schen Methode der Naturforschung, die den Standort beinhaltet, daß man sich die Natur im Experiment zurechtstellen müsse, um sie in der Ordnung der Mathematik zu ergreifen. Der aristotelischen und der mittelalterlichen Physik liegen andere Standpunkte zugrunde, ebenso der goetheschen Naturwissenschaft. Ihre Ergebnisse sind deshalb andere. Auch setzen die neuesten physikalischen Theorien (Quantenphysik, Relativitätstheorie) einen neuen geistigen Standort ihrer Entdecker voraus. Man mußte sich dabei von grundlegenden Vorstellungen lösen, die bis dahin als gesichert gegolten hatten.

Immerhin ist man sich, wenn man sich auf den Boden der von Galilei und Newton begründeten Physik stellt, über die → Methode dieser Physik einig. Unter → Modell, → Experiment, → Theorie, → Naturgesetz verstehen alle Forscher, sofern es um die *Anwendung* dieser Begriffe geht, weitgehend dasselbe. Das schließt nicht aus, daß auch auf dem Boden unserer Physik verschiedene Formen ihres Aufbaus möglich sind. Boltzmann hat darauf hingewiesen, daß sogar die Möglichkeit ganz verschiedener Theorien besteht, die gleich gut mit den physikalischen Ergebnissen übereinstimmen. Je nach dem Standpunkt kann man sich auf den Boden einer dieser Theorien stellen.

S. spielt vor allem dort eine Rolle, wo wir es mit *Ausdeutungen* zu tun haben. Diese hängen von den natur-philosophischen Richtungen ab (→ Naturphilosophie). So sind z. B. die Antworten auf die Frage nach der → Realität der physikalischen Erkenntnis standortbedingend.

Statistische Methode, ein mathematisch-physikalisches Verfahren, um Gesamtausagen über eine sehr große Zahl von Objekten zu machen, über die keine Einzelaussagen möglich sind. Man behandelt die Objekte als statistische Gesamtheit. Die st. M. wurde in der Physik zuerst in der kinetischen Gastheorie angewandt: Die Moleküle eines Gases

bilden eine statistische Gesamtheit. Über das einzelne Molekül lassen sich keine Aussagen machen. Man kann auch nicht die genauen Anfangsbedingungen eines Zustands, aus denen man auf einen späteren Zustand Schlüsse ziehen könnte. Diese genauen Anfangsbedingungen sind auch nicht wesentlich. Es kommt hier nur auf das Verhalten der Gesamtheit der Moleküle an. Um nun zu statistischen Aussagen zu kommen, müssen für die Gesamtheit bestimmte Bedingungen vorausgesetzt werden. Solche sind: 1. sehr große Zahl von Molekülen, 2. keine Wirkung der Moleküle aufeinander außer im Augenblick des Zusammenstoßes, 3. Eintreten eines Gleichgewichtszustandes, der die wahrscheinlichste Verteilung der Moleküle über die verschiedenen Zustandsgrößen darstellt.

Der kinetischen Theorie der Materie liegt eine Verteilung der Moleküle zugrunde, die als Boltzmann-Statistik oder klassische Statistik bezeichnet wird. Die Art der Statistik wird a posteriori durch die experimentellen Ergebnisse bestimmt. Es besteht daher ein grundlegender Unterschied zwischen der Statistik, wie sie die kinetische Theorie der Gase und dergleichen, wie sie die → Quantentheorie zugrunde legt. Die erstere setzt genau geltende Naturgesetze voraus, auf die sich die Wahrscheinlichkeitsaussagen gründen, z. B. die Gesetze des elastischen Stoßes usw. In der Quantenmechanik stützt sich jedoch die Wahrscheinlichkeit nicht auf die Geltung bestimmter Naturgesetze, sondern erscheint gegenüber dem Naturgesetz als vorrangig. Das Naturgesetz wird durch die Wahrscheinlichkeitsaussage ausgedrückt. Da es wegen der Unsicherheit nicht möglich ist, den Zustand eines vorgegebenen Systems dadurch genau festzulegen, daß die Koordinaten und die Impulse mit gleicher Schärfe bestimmt werden, kann der Ausgangszustand nur mit Hilfe der Statistik beschrieben werden. Entsprechend sind die Gesetze, die die Zustandsänderungen ausdrücken, grundsätzlich nur statistischer Art. Die statistischen Gesetze der Quantenphysik sind nicht der »Ersatz« für eine strenge Gesetzmäßigkeit, zu der wir aus technischen Gründen nicht vordringen können, sondern liegen in der Sache selbst begründet (→ Determinismus).

Diese Feststellungen werfen das ontologische Problem auf, ob das Seiende selbst indeterminiert ist oder ob hier nur eine — vielleicht nur vorläufige — Erkenntnisgrenze besteht. Während ein Teil der Forscher die Indeterminiertheit für eine grundsätzliche Ansicht, halten andere an der Determiniertheit fest und weisen darauf hin, daß wir mit unseren Mitteln noch nicht weit genug zum Seienden vordringen sind, um Aussagen darüber machen zu können, welche Zustände dort in Wahrheit herrschen. Es könnte sein, daß die Plancksche Konstante h keine ontologische Letztheit ist und wir mit anderen Mitteln wieder zu strenger Gesetzmäßigkeit vordringen.

L.: M. Born, *Quantenmechanik und Statistik*. In *Die Naturwissenschaften* 1927, H. 25 — M. Born, *Die statistische Deutung der Quantenmechanik*. In *Les Prix Nobel en 1954*. Stockholm 1955 — A. St. Eddington, *Philosophie der Naturwissenschaft*. Wien 1959 — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*. Berlin 1950 — R. Kurth, *Über den Begriff der Wahrscheinlichkeit*. In *Philosophia naturalis*, Bd. 5, 1958 — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*. Braunschweig 1964³ — W. Del Negro, *Die Begründung der Wahrscheinlichkeit und das Anwendungsproblem des Apriorischen*. In *Zs. f. philos. Forschung*, Bd. 3, 1948

Streitigkeit → Kontinuum.

Stoff → Materie.

Struktur (lat.), innere Gesetzmäßigkeit und innerer Aufbau eines Gebildes ohne Berücksichtigung der speziellen Eigenschaften seiner Elemente. Der S. begriff spielt in der

modernen Mathematik eine wichtige Rolle. Beispiel für eine S. ist die Gruppe. Man spricht von einer Gruppe, wenn in einer Menge von Elementen Verknüpfungen dieser Elemente durch die Gruppenaxiome definiert sind. Durch die Angabe der S. werden die speziellen Eigenschaften der Elemente nicht näher gekennzeichnet. Diese können z. B. Zahlen, aber auch Transformationen sein. Verschiedene Gebilde können die gleiche S. haben. Zum Beispiel hat die Menge der rationalen Zahlen und die der reellen Zahlen die S. einer multiplikativen Gruppe. Ein Gebilde kann aber auch verschiedene S. (andere als die einer Gruppe) haben.

Der S.begriff hat auch in die modernen Physik Eingang gefunden. Der Grund ist einmal der, daß S. vergleichbar und mitteilbar sind. Sinneseindrücke sind es nicht in der gleichen exakten Art. Der zweite Grund ist der, daß wir über das Was-sein der physikalischen Objekte nur unzureichend Bescheid wissen, daß wir dagegen oft ihre S. angeben bzw. erforschen können. »Physikalisches Wissen besteht aus rein strukturellem Wissen«, behauptet Eddington. Als S.begriff verliert ein physikalisches Objekt, z. B. ein Elementarteilchen, die Eigenschaft der Dinglichkeit. Es wird als S. beschrieben, d. h. in mathematischer Symbolik. Weil der Zusammenhang mit dem Wahrnehmungsraum verlorengeht, wird es uns fremder; aber es verlieren sich auch gewisse Unverständlichkeiten, die auftreten, wenn man sich z. B. das Elektron als »kleines Ding« im Wahrnehmungsraum »vorstellen« versucht. Was man von der physikalischen Welt kennt, »ist eine S. von der Art, wie sie in der mathematischen Gruppentheorie definiert und untersucht wird«.

»Es hat keinen Sinn, gewisse nicht-physikalische Ebenbilder von gewissen Teilen der S. der Außenwelt zu erfinden und auf diese Ebenbilder die nicht-strukturellen Eigenschaften zu übertragen, deren wir im Sinneindruck gewahr werden. Diese Teile des äußeren Universums, von denen wir zusätzliches Wissen durch unmittelbares Gewahrwerden besitzen, belaufen sich auf einen sehr kleinen Bruchteil des Ganzen; vom übrigen wissen wir nur die S. und nicht, wovon es die S. ist.« (Eddington)

- L.: *Grundzüge der Mathematik*, Bd. 1, hg. von H. Behnke, W. Stüß, K. Fladt, Göttingen 1958 — F. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*, Frankfurt 1960² — A. St. Eddington, *Philosophie der Naturwissenschaft*, Wien 1959 — M. Hartmann, *Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1959² — W. Kuhn, *Atomphysik in der Schule*, Braunschweig 1968³ — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*, Braunschweig 1964³

Substanz (lat.) ist dasjenige am Gegenstand, was gegenüber seinen wechselnden Zuständen beharrt. Der Begriff gehört zu den grundlegenden der Naturwissenschaft und begegnet uns schon als Urstoff bei den Vorsokratikern, vor allem bei Anaxagoras. Aristoteles hat ihn zuerst eingehend untersucht. S. ist für ihn dasjenige, wodurch sich das Einzelding als solches bestimmt. Ihm liegt ein reales *Substrat*, die → Materie, zugrunde, aber erst durch die → Form wird es zum setzenden Einzelding. S. ist bei Aristoteles also »Dinghaftigkeit«, aber gleichzeitig Gattungsbestimmtheit. Indem der Gegenstand als S. bestimmt wird, wird er zugleich auch einem bestimmten Bereich zugewiesen, z. B. das Eisen den Metallen. Mit der Bestimmung des Eisens als S. soll das Bleibende in seinen wechselnden Gestalten erfaßt und bestimmt werden.

In der abendländischen Naturwissenschaft erhält der S.begriff eine besondere Bedeutung. Es geht um die *quantitative* Erfassung desjenigen, was in einem Körper verharrt. Descartes glaubte, es im »Volumen« eines Körpers gefunden zu haben. Die S. wurde

von ihm rein geometrisch bestimmt. Leibniz erkannte, daß die potentielle und kinetische Energie eines Körpers S.charakter hat, daß also die Gesamtenergie konstant bleibt. Lavoisier behauptete, daß die Masse unveränderlich und daß sie daher »Substanz« ist. Mit Kant trat das S.problem in eine neue Phase ein. Er zeigte, daß die S. eine → Kategorie des Verstandes ist, die der Verknüpfung von Wahrnehmungen dient, damit diese zur → Erfahrung (im naturwissenschaftlichen Sinn) werden. Ohne diese Kategorie wäre eine Naturwissenschaft nicht möglich, denn man könnte den Wechsel der Erscheinungen auf nichts Festes beziehen.

Diese reine Verstandeskategorie hat ihre »Analogie«, ihre Entsprechung, in der Erfahrung. Es ist Sache des Physikers, dasjenige in der Physik zu finden, was sich als »S.« erweist. Es ist dies z. B. die Energie (→ Erhaltungssätze). Auch dem Elektron schrieb man S.charakter zu. Versteht man unter S. die aristotelische Dinghaftigkeit, so besitzt das Elektron diese Dinghaftigkeit nicht. Eddington hat den Vorschlag gemacht, den S.begriff durch den Strukturbegriff (→ Struktur) zu ersetzen. Dann aber wäre die Struktur nichts anderes als die S. Nicht das Dinghafte ist das Wesentliche der S., sondern ihre Beharrung. Dieses Beharrende kann auch eine Struktur sein. Die Kategorie der S. bleibt unberührt von dem Wandel des S.denkens des Naturwissenschaftlers. Es ist Sache des Naturwissenschaftlers, dasjenige zu suchen, was S.charakter besitzt. Zeigt es sich z. B. — wie es bei der Masse der Fall war —, daß eine gemundene Größe nicht S. ist, so verliert damit die Kategorie keineswegs ihren Sinn.

- L.: E. Cassirer, *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*, Berlin 1910 — J. Hessen, *Das Substanzproblem in der Philosophie der Neuzeit*, Berlin 1932 — A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik*, Braunschweig 1931. — *Texte der Philosophie, Lehrerkommentar*, hg. von Hunger, Schotky, Zehn. München 1965² — M. Jammer, *Der Begriff der Masse in der Physik*, dt. Darmstadt 1964

Symbol (griech.), Zeichen, Simbild. Im vordergründigen Sinne in der Naturwissenschaft ein verabredetes, eindeutiges Zeichen, mit dem man wissenschaftlich arbeiten kann, z. B. Na für Natrium, U für die Spannung, 1 kg für die Masseneinheit, n für das Neutron usw. Jedoch liegt die Bedeutung des S. nicht in der »Abkürzung«, Masse, Feld, Atom, Welle sind ebenfalls S., und zwar in dem Sinne wie die → Bilder von Hertz. S. ist nicht das Abbild oder das stellvertretende Zeichen von »Dingen«, sondern ein konstruktiver Entwurf der Naturwissenschaft. Die Frequenz einer elektromagnetischen Welle ist also nicht das S. für eine bestimmte Farbe. Das S. »Frequenz« gehört einer anderen geistigen Dimension an als die wahrgenommene Farbe. Es erstreckt auf dem Boden physikalischer Grundbegriffe und → Hypothesen. Das S. hat Darstellungsfunktion, Bedeutungsfunktion und Erkenntnisfunktion. Die Welle (und ihre mathematische Behandlung) stellt physikalische Sachverhalte mit Hilfe des physikalischen Begriffssystems in möglichster Prägnanz dar. Das S. Welle ist sozusagen der Brennpunkt, in dem sich die verschiedenen physikalischen Sachverhalte (Brechung, Beugung usw.) sammeln. Aber das S. »Welle« ist nicht nur reine Darstellung, sondern bedeutet zugleich eine Verknüpfungsordnung. Die Bedeutung des S. liegt darin, daß es selbst in einem physikalischen Zusammenhang zum Ausdruck bringt, aber auch darin, daß es in einem größeren Zusammenhang seine spezifische Bedeutung erhält und daher nicht isoliert steht. Das S. schließt damit eine ganz bestimmte theoretische Auffassung des im S. Erfassten ein, z. B. ist die Welle eine andere Auffassung als das Korpuskel.

Von besonderer Wichtigkeit ist das S. in seiner Erkenntnisfunktion. Es erschließt weitere Erkenntnisse oder vermag gefundene Meßergebnisse zu deuten, wie es z. B. beim Bohr'schen Atommodell der Fall war. Hält ein S. im Fortgang der Forschung neuen Forschungsergebnissen nicht stand, so muß es aufgegeben oder modifiziert werden. So war es z. B. beim »Wärmestoff«, beim »Lichtäther«, bei der »Masse als unveränderlicher Substanz« und beim »Rutherford'schen Atommodell« der Fall.

Die physikalischen Begriffe sind ebenfalls S. Das besagt, daß sie nicht von den Wahrnehmungen hergeleitet, sondern innerhalb der physikalischen S. welt entwickelt werden. Mit Hilfe der S. werden die Wahrnehmungen unter einem neuen Gesichtspunkt erfaßt und gedeutet. Dabei entspricht nicht jedem Gegenstand der Wahrnehmungswelt ein bestimmtes physikalisches S., sondern es geht »vielmehr« darum, die Wirklichkeit der sinnlichen Erscheinungen, der Farben und Töne, der Tast- und Temperaturempfindungen als *Ganzes* auf einen neuen geistigen Maßstab zu beziehen und sie vermöge dieser Beziehung in eine andere *Dimension* der Betrachtung zu erheben.« (E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. III, S. 481. Oxford 1954)

Eine über die Erkenntnis hinausgreifende Bedeutung des S. ist in der Philosophie vor allem von Nicolaus von Cues und Gottfried Wilhelm Leibniz entwickelt worden, derzufolge S. Zeichen einer metaphysischen Wirklichkeit sind. Sie repräsentieren in menschlichen Zeichen die göttliche Ideenwelt. Auch in der neueren Naturphilosophie sind wiederholt derartige Gedanken ausgesprochen worden.

L.: H. Conrad-Martius, *Naturwissenschaftlich-metaphysische Perspektiven*. Heidelberg 1948 — E. Desaner, *Naturwissenschaftliches Erkennen*. Frankfurt 1960² — H. Hertz, *Die Prinzipien der Mechanik*. 1894 — E. Nickel, *Das physikalische Modell und die metaphysische Wirklichkeit*. Basel 1952 — W. Schulze-Söle, *Die Problematik des Physikalisch-Realen*. Stuttgart 1962

Synthese (griech.), das Zusammensetzen oder Zusammenfassen eines Mannigfaltigen zu einem einheitlichen Gefüge, wobei die Einzelsachverhalte zu Gliedern des Gefüges werden. Die S. ist kein bloßes Zusammenstellen oder Summieren einzelner Tatbestände. Der Begriff der S. für die Erfahrungserkenntnis wurde besonders von Kant herausgearbeitet. »Ich verstehe aber unter Synthesis in der allgemeinsten Bedeutung die Handlung, verschiedene Vorstellungen zueinander hinzu zu tun und ihre Mannigfaltigkeit unter einer Erkenntnis zu begreifen.« (Kr. d. r. V.) Damit die S. kein bloßes Zusammenstellen ist, bedarf es der Verknüpfungsprinzipien, der leitenden Gesichtspunkte, nach denen die Verknüpfung vollzogen wird. So werden nach Kant die Sinnesempfindungen unter den »Anschauungsformen« Raum und Zeit zu Anschauungen miteinander verknüpft, die Anschauungen wiederum durch die → Kategorien zu Erfahrungsbegriffen und Erfahrungsurteilen. Jeder Begriff der Physik und jedes Naturgesetz sind das Ergebnis einer S. (→ analytische Methode).

System (griech.), Zusammenschluß von Gegenständen oder Sätzen unter → Prinzipien oder unter bestimmten → Kategorien, die eine Einheitlichkeit erzeugen, so daß die Mannigfaltigkeit sich ordnen und gliedern, in einen logischen Verknüpfungszusammenhang bringen und auf diese Weise durchschauen läßt. Der Einzelgegenstand oder der einzelne Satz nimmt in diesem Ganzen die durch die Prinzipien bestimmte Stelle ein. Durch die Prinzipien bzw. Kategorien wird zugleich angegeben, welche Gegenstände oder Sätze zum S. gehören und welche nicht.

Der S.begriff spielt zunächst *innerhalb* der Naturwissenschaft eine besondere Rolle. Wir sprechen von einem »S. von Körpern«, wenn sie unter dem Gesichtspunkt von Kraftwirkungen betrachtet werden. Solche Wirkungen können auch von außerhalb dieses S. befindlichen Körpern herrühren. (Sind solche Wirkungen nicht vorhanden, so spricht man von einem geschlossenen S.). Das »Planetens.« ist bei Kepler ein geometrisches und kinematisches Ordnungsschema, bei dem die Planeten unter dem Gesichtspunkt ihrer Entfernungen und Bewegungsabläufe miteinander verknüpft werden. Die Kepler'schen Gesetze sind die Verknüpfungsgesetze des Planetens. Newton fand als übergeordnetes Verknüpfungsprinzip sein Massenanziehungsgesetz.

Das »periodische S. der Elemente« wurde zunächst auf Grund des ordnenden Prinzips der Atomgewichte aufgestellt. Das so gebildete S. zeigte jedoch noch weitere innere Zusammenhänge, die darauf hindeuteten, daß es sich hier um ein natürliches S. »handelte im Gegensatz zu »künstlichen S.«, wie es das Linné'sche S. der Pflanzen darstellt, bei dem der ordnende Gesichtspunkt die Anzahl der Staubgefäße ist.

Die Grundgrößenarten und die von ihnen abgeleiteten Größenarten bilden ein Größen., die entsprechenden Einheiten ein Einheitsen. Die Physik selbst erstrebt einen S.aufbau. Er war zunächst an den Sinnesempfindungen orientiert und die Physik deshalb in S.bereiche unterteilt, die allmählich unter umfassenderen Gesichtspunkten zusammengeschlossen werden konnten. Der erste Versuch, die Physik nach dem Vorbild der Mathematik als S. aufzubauen, wurde von Newton unternommen. Von Einstein stammt folgende Erklärung: »Ein S. der theoretischen Physik besteht aus Begriffen, Grundgesetzen, die für jene Begriffe gelten sollen, und aus durch logische Deduktion abzuleitenden Folgesätzen. Diese Folgesätze sind es, denen unsere Einzelerfahrungen entsprechen sollen.« Eine systematisierte Wissenschaft muß folgende Mindestforderungen erfüllen: »a) das Satzpostulat, das besagt, daß die Wissenschaft aus Sätzen besteht, für die das Wahrsin behauptet wird; b) das Gegenstandspostulat, das besagt, daß die Menge von Sätzen, die wir Wissenschafternennen, Sätze über einen vorgegebenen Bereich von Gegenständen, die einer Homogenitätsforderung genügen, darstellen; c) das Kontrollierbarkeitspostulat, das besagt, daß die Sätze, für die das Wahrsin behauptet wird, nachgeprüft werden können, d. h. es müssen Methoden angegeben werden, mit deren Hilfe dies geschehen kann« (Bense). Für »die Aufstellung einer universellen Systematik der Naturgegenstände und Naturvorgänge« ist »die Ausbildung einer wissenschaftlichen Formelsprache« von größter Bedeutung (Cassirer, a. a. O., Bd. III, S. 515).

L.: M. Bense, *Philosophie als Forschung*, Köln 1947 — E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Oxford 1954² — A. Einstein, *Zur Methodik der theoretischen Physik*, in: *Mein Weltbild*, Ulsteinbuch Nr. 65 — Th. Häering, *Das Problem der naturwissenschaftlichen und geisteswissenschaftlichen Begriffsbildung*, in: *Zk. f. philos. Forschung*, Bd. II, H. 4 — W. Wessphal, *Die Grundlagen des physikalischen Begriffssystems*, Braunschweig 1965

Tatsache, etwas vorgefundenes Wirkliches, das vom Subjekt unabhängig ist. In der Physik wird als T. ein experimenteller Befund, aber auch das Ergebnis einer mathematischen Ableitung bezeichnet, soweit dieses experimentell verifiziert werden kann oder prinzipiell verifizierbar ist. Der → Positivismus hat die Bedeutung der T., d. h. der experimentell gesicherten Ergebnisse, hervorgehoben und als Aufgabe der Physik »die Konstatierung der T. und ihrer Zusammenhänge« bezeichnet (Mach). Eine Aussage, durch die Beobachtungsergebnisse festgelegt werden, wird als Protokollansage

bezeichnet. Eine physikalische T. muß beliebig oft reproduzierbar sein (was nur innerhalb der Fehlergrenzen möglich ist) bzw. als beliebig oft reproduzierbar gedacht werden können.

Die physikalische T. ist nicht das schlichte Vorgefundene. Jeder experimentelle Befund setzt bereits ein Begriffssystem und theoretische Ansätze voraus. Auch die Instrumente, mit denen experimentelle Ergebnisse festgesetzt werden, sind auf Grund von theoretischen Überlegungen gebaut. Die T. sind daher von vornherein → theoretisch orientiert. Die → Theorie tritt nicht nachträglich zu den T., noch wird sie aus diesen abgelesen. P. Duhem hat zwischen theoretischen und praktischen T. unterschieden. Theoretische T. sind solche, die sich aus Gesetzen, praktische diejenigen, die sich aus Messungen ergeben. So sind z. B. die genauen Weglängen, die man aus dem Fallgesetz für die einzelnen Zeiten berechnen kann, theoretische T., während die wirklichen experimentellen Ergebnisse, die diese Genauigkeit ja nicht erreichen, praktische T. sind.

L.: P. Duhem, *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien*, dt. Leipzig 1908 — E. Mach, *Beschreibung und Erklärung*. Naturw. Rundschau, 21. Jahrg., Nr. 38

Tautologie (griech.), eine immer wahre Aussage oder Aussagenverknüpfung, gleichgültig wie die Einzelaussagen lauten. So ist die Aussage: »Der Siedepunkt von Wasser liegt höher als der von Alkohol oder er liegt nicht höher« eine T. Eine T. ist z. B. auch folgende Aussagenverknüpfung (des Prädikatenkalküls): »Wenn alle Massen die Eigenschaft der Trägheit besitzen, so folgt daraus, daß auch eine Masse Eisen Trägheit besitzt.« Man kann die hier im Beispiel beschriebenen Aussagenverknüpfungen in allgemeinen logischen Zeichen wiedergeben. Ohne Gebrauch logischer Symbole lautet die erste: »Entweder gilt eine Aussage, oder sie gilt nicht.« Die zweite lautet: »Eine Eigenschaft, die allen Objekten eines Bereichs zukommt, kommt auch einem bestimmten Einzelobjekt des Bereichs zu.« Diese Form der Aussagenverknüpfung erscheint trivial und → evident. Jedoch lassen sich aus den trivialen Aussagenverknüpfungen kompliziertere ableiten, deren Evidenz nicht auf der Hand liegt.

Auch in der Physik gibt es tautologische Aussagen, z. B.: »Wasser siedet unter Normaldruck bei 100 °C«; denn ausführlich müße diese Aussage lauten: »Wenn der Siedepunkt des Wassers mit 100 °C definiert wird, dann siedet Wasser bei 100 °C.« Aussagen, die auf Experimenten beruhen, sind i. a. keine tautologischen Aussagen, z. B.: »Die Lichtgeschwindigkeit beträgt 299792 km/sec.« Dagegen ist folgende Aussage, die man auch experimentell gewinnen könnte, tautologisch: »10 kg = 10000 g«. Sie kann dadurch gewonnen werden, daß die Masse eines Körpers zuerst mit 10 kg und bei einer in g erfolgten Messung mit 10000 g festgestellt wird. Dieses Beispiel ist nicht so trivial, wie es im ersten Augenblick erscheint. Eddington hat die Vermutung ausgesprochen, daß auch unsere Erhaltungssätze T. sind. Man mißt z. B. eine bestimmte mechanische Energie, wandelt dann diese auf irgendeine Weise in elektrische Energie um, die man mit anderen Instrumenten mißt. Dann trifft man die Feststellung, daß die verschwundene mechanische Energie gleich der entstandenen elektrischen ist. Eddington meint, man habe in Wirklichkeit dasselbe Substrat (→ Substanz) — nur mit verschiedenen Meßmethoden — gemessen, genau so, als ob man eine bestimmte Masse einmal mit kg-Massen und das andere Mal mit g-Massen verglichen hat. Man habe also nur festgestellt, daß $A = A$ (eine bestimmte physikalische Größe sich selbst gleich) sei.

Technik (griech.), 1. Art und Weise, wie etwas gekommt wird (T. des Klavierspiels, Experimentiertechnik, Arbeitstechnik), 2. Welt der T., wie sie sich in ihren Gestalten (Maschinen usw.) zeigt. Begrifflich ist T. schwer zu definieren. Die griech. *Techné* bedeutet die Fähigkeit, einen Gegenstand aus Einsicht in die Ursachen zu gestalten, indem man die Ursachen des zu Gestaltenden zu einer Ganzheit zusammenfügt. T. mußten Ärzte, Handwerker, Künstler besitzen. Die Techné der Griechen steht als Hervorbringen von technischen Werken dem Handwerk näher, auch waren die technischen Leistungen der früheren Zeit von den handwerklichen nicht wesensverschieden. Sie waren es nur der Größe nach. Der Technizismus (die besondere Art der technischen Herstellung) war verhältnismäßig einfach und mußte praktisch erarbeitet werden.

Erst mit dem Entstehen der neuzeitlichen Naturwissenschaft fand eine grundlegende Wandlung der T. statt. Sie ist nicht etwa die Fortsetzung oder bloße Anwendung der Naturwissenschaft. Gemeinsam ist beiden, daß sie *Eingriffe* in die Natur vollziehen. Auch die T. bedient sich der → analytischen Methode. Jedoch unterwirft sie die Natur nicht nur einer gedanklichen Analyse, sondern zerlegt sie in ihre Bestandteile, um Neues aufzubauen, was von Natur aus noch nicht existierte. Ursprünglich am Handwerk orientiert, tritt die T. mit der Erfindung der Dampfmaschine im 18. Jh. in ein neues Stadium. Die Dampfmaschine machte den Menschen von den in der Natur vorkommenden (Wasser- und Wind)kräften und ihren Zufälligkeiten unabhängig. Durch die Erfindung der Elektro- und vor allem der Atomtechnik im 20. Jh. stellte der Mensch neue, undurchsichtige Kräfte in seinen Dienst. Die T. wuchs zu einer unheimlichen Macht.

Eine wesensbestimmende Definition der T. zu finden, hat sich als sehr schwierig erwiesen. Die folgenden Definitionen sind dem Buch von F. Dessauer, Streit um die Technik (Herder-Bücherei, Band 53) entnommen:

T. ist »die Betätigung des bewußten Geistes zur Umgestaltung der Rohstoffe für die Zwecke der Kultur, kürzer gesagt, bewußte Gestaltung der Materie.« (Wendt, Die Technik als Kulturmacht. 1926) — »T. ist die Kunst, Naturscheinungen planmäßig und auf Grund der erkannten natürlichen Wechselwirkung der Dinge ins Leben zu rufen.« (Engelmeier) — »Die T., als Meisterung der Natur, ist in ihrem letzten Grunde ... nur die erste Verwirklichung des tiefen Menschenwissens: ... Schöpferkraft inmitten gestaltend-schöpferischer Mächte, Gott inmitten von Göttern zu sein.« (E. von Mayer, Technik und Kultur. 1906) — »T. ist konkretes Sein aus Ideen.« (F. Dessauer) — Der T. »allgemeinstes Wesen beruht darauf, daß sie ein System von Mitreih, deren Zweck anderwärts her bestimmt ist, zugleich nach dem theoretischen Prinzip und nach dem ökonomischen Prinzip auswählt und ausgestaltet« (E. Spranger, Lebensformen. 1914). — »Die T. ist das Widernatürliche schlechthin« (H. Eckstein, Darmstädter Gespräch, 1952). — »T. ist reales Sein aus Ideen durch finale Gestaltung und Bearbeitung aus naturgegebenen Beständen« (F. Dessauer).

Man sieht, daß die Definitionsversuche verschiedenartig und uneinheitlich sind, je nachdem, was als das Wesentliche der T. angesehen wird, das menschliche Tun oder das Sein technischer Gebilde. Die Definitionen setzen philosophische Deutungsversuche der T. voraus, von denen es höchst verschiedenartige gibt (s. Literaturverzeichnis).

Wenn man die T. definiert oder deuten will, so muß man vor allem auch das Verhältnis des Menschen zur T. ins Auge fassen. Die T. hat ein neues Verhältnis des Menschen zur Arbeit, zur Welt und zur Gesellschaft zur Folge. Das Problem der T. ist daher

verknüpft mit sozialen, ethischen und kulturellen Problemen. In dieser Hinsicht besitzt die T. — wie jede geistige oder reale Macht — ihre Gefahren. Es ist jedoch falsch, sie unter einseitigen Wertgesichtspunkten, als reinen Segen oder als absolutes Übel, zu betrachten. Freilich kann sie zur Gefährdung der menschlichen Existenz führen, »wenn das technische Denken über die Schranken des ihm zugewiesenen Bereiches hinauswuchert« (Th. Litt s. u.).

L: B. Bavinck, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1954¹⁰, S. 673ff. — M. Bense, *Technische Existenz*, Stuttgart 1949. — N. Berdjajew, *Der Mensch in der technischen Zivilisation*, Wien 1948. — D. Brinkmann, *Mensch und Technik*, Bern 1949. — F. Dessauer, *Streit um die Technik*, Herder-Bücherei, Bd. 53. — A. Gehlen, *Die Seele im technischen Zeitalter*, Hamburg 1957. — M. Heidegger, *Zur Frage nach der Technik*. In M. H., *Vorträge und Aufsätze*, Pfullingen 1967⁸. — W. Heisenberg, *Das Naturbild der heutigen Physik*, rowohlt's deutsche enzyklopädie. — W. Linke, *Technik und Bildung*, Heidelberg 1961. — T. Litt, *Technisches Denken und menschliche Bildung*, Heidelberg 1964⁹. — H. J. Meyer, *Die Technisierung der Welt*, Tübingen 1961. — Ortega y Gasset, *Betrachtungen über die Technik*, Stuttgart 1949. — M. Schrüfer, *Philosophie der Technik*, München 1934. — O. Spengler, *Der Mensch und die Technik*, München 1932. — H. Weinstock, *Mänschen und Bildung*, Heidelberg 1954. — A. Wenzl, *Die Technik als philosophisches Problem*, München 1946.

Theoretische Physik, das im 19. Jh. ausgebildete Teilgebiet der Physik, bei dem die physikalischen Aussagen in einen systematischen, logisch-mathematischen Zusammenhang gebracht werden. Sie bedient sich dabei planmäßig der Methode, ihre Ergebnisse auf der Grundlage einer mathematisch formulierten Theorie mit Hilfe von mathematischen Ableitungen zu entwickeln. So läßt sich aus den Newtonschen → Axiomen ein grober Teil der → Mechanik, aus den Maxwell'schen Gleichungen die klassische → Optik entwickeln. Es könnte so scheinen, als handle es sich nur noch um mathematische Untersuchungen mathematischer Formeln und als seien Experimente überflüssig. Jedoch sind schon beim Aufstellen der Ausgangsformeln physikalische Gesichtspunkte maßgebend, nicht nur mathematischer; die Ausgangsformeln und ihre Ableitungen müssen eindeutig physikalisch ausdeutbar sein. So bestimmen auch bei der rein mathematischen Herleitung weiterer Formeln immer die *physikalischen* Probleme den Sinn der Herleitungen.

Theorie (griech.), ein System von Aussagen, durch das Einzelaussagen über → Begriffe, Erscheinungen, → Tatsachen und Vorgänge in einem wissenschaftlichen Begründungszusammenhang gebracht werden. Bei Aristoteles ist T. das Erfassen des dem Seien den Innewohnenden. Aristoteles unterscheidet die theoretischen Wissenschaften (Mathematik, Physik und Theologie) von den praktischen (Ethik, Ökonomie und Politik) und den poetischen. T. wird bereits bei den Griechen in einem Gegensatz zur Empirie gestellt. Dieser Gegensatz wirkt sich bei der späteren Naturwissenschaft in der Weise aus, daß man entweder die T. als höhere Form der Erkenntnis ansieht, die die Tatsachen darstellt und beherrscht, oder aber — wenn man sich auf den Standpunkt des → Empirismus stellt — als eine vorläufige und unsichere Darstellung eines naturwissenschaftlichen Sachverhaltes, von dem man nur mangelhafte und unvollständige empirische Kenntnisse hat, sei es, weil zu wenig Tatsachematerial vorliegt, sei es, weil man in die Dinge keinen Einblick hat. Zu den ersten gehören z. B. T. über kosmische Ereignisse, zu den letzteren z. B. die Molekular- der Wärme.

E. Mach hat zwei Arten von T. unterschieden. Als Muster einer T. gilt ihm die, die sich auf Tatsachen stützt und sie in einer mathematischen Form »nachbildet«. Wenn

z. B. die Brechung des Lichts durch eine geometrische und rechnerische Darstellung wiedergegeben wird, so spräche man von einer »geometrischen« Licht. Einer solchen T. hafter nach Mach keine Unsicherheit an, da sie nur das in schärferer Form und systematischer Ordnung wiederholt, was als Tatsache schon bekannt ist. Dagegen ist nach Mach die kinetische Gastheorie eine T., die mit einem Unsicherheitsfaktor behaftet ist. Sie ist aufzugeben, wenn neue Tatsachen den aus ihr gezogenen Folgerungen widersprechen.

Von Mach beeinflußt, definierte P. Duhem: »Eine physikalische T. ist keine Erklärung. Sie ist ein System mathematischer Lehrsätze, die aus einer kleinen Zahl von Prinzipien abgeleitet werden und den Zweck haben, eine zusammengehörige Gruppe experimenteller Gesetze ebenso einfach wie vollständig und genau darzustellen.« Da danach also die T. keine *Darstellung* verborgener Phänomene und Vorgänge ist, »kann man den Physiker nicht hindern, verschiedene Gruppen von Gesetzen oder sogar eine einzige Gruppe von Gesetzen durch mehrere unvermeidbare T. zu beschreiben; man kann den Mangel an Zusammenhang physikalischer T. nicht verurteilen« (Duhem).

Bavinck unterscheidet im Anschluß an Mach ebenfalls zwei Arten von T.: ausführende und erklärende T. Ausführende sind solche, die keine hypothetischen Elemente enthalten (T. der Linsen, des Hohlspiegels usw.); T. wird hier im Sinne einer mathematischen Darstellung gebraucht. Man will hierbei andeuten, daß es sich um »theoretische« Überlegungen und nicht um »Praxis« (Messungen usw.) handelt. Erklärende T. sind z. B. die Atomt., die Wellent. usw. Das Charakteristische dieser Art von T. sieht Bavinck erstens in der spekulativen Voraussetzung, zweitens in der dadurch gewonnenen Möglichkeit, die Verknüpfungen des einzelnen zum logischen Ganzen zu durchschauen. Eine solche T. vermag Erscheinungen zu *erklären*, wie z. B. die Wellent. des Lichts die Beugungerscheinungen u. a.

Man hat in neuerer Zeit darauf hingewiesen, daß die scharfe Unterscheidung zwischen durch Tatsachen fundierten T. und solchen T., die einen geringeren Sicherheitsgrad haben, nicht haltbar ist. Denn auch den einfachsten naturwissenschaftlichen Tatsachen liegt bereits eine T. zugrunde, und erst auf Grund dieser T. kann man bei den Phänomenen von physikalischen Tatsachen sprechen. Selbst eine so einfache Tatsache wie die Brechung des Lichts setzt eine Fülle un beobachtbarer theoretischer Elemente voraus (Korpuskular- oder Wellent., Medien verschiedener optischer Dichte, Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in den einzelnen Medien usw.). Nicht die Brechungphänomene begründen die T., sondern die Brechung wird durch die T. erklärt. Wer die bloßen Tatsachen kennt, »begreift« die Brechung noch nicht. Er begreift die Tatsachen erst auf Grund einer T. Wissenschaft besteht nicht darin, daß Tatsachen gesammelt werden und über diese eine T. gebreitet wird, sondern sie besteht geradezu im Erinnern von T., mit deren Hilfe der empirische Befund interpretiert wird.

Bei dem Entwurf einer T. werden bestimmte Fundamentalsätze angesetzt, die ein möglichst einfaches → System darstellen sollen. Die aus dem theoretischen Ansatz sich ergebenden Folgerungen müssen mit den experimentellen Ergebnissen übereinstimmen. Ist das nicht der Fall, so muß die T. modifiziert oder aufgegeben werden. Das war z. B. bei der T. des Wärmestoffs der Fall. Herrscht jedoch Übereinstimmung, dann sind die Allgemeinaussagen → Naturgesetze. T. und → Experiment stehen in keinem ursprünglichen Gegensatz, sondern in einer Wechselbeziehung; denn ein Experiment wird immer schon im Sinne einer T. durchgeführt. Auch die Meßinstrumente sind bereits auf Grund

theoretischer Einsichten gebaut. Es gibt keine Experimente, die nur Tatsachen konstruieren, ohne daß bereits theoretische Ansätze zugrunde liegen.

L.: B. Bavink, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1954¹⁰ — P. Duham, *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien*, dt. Leipzig 1908 — E. Mach, *Die Prinzipien der Wärmelehre*, Leipzig 1919⁹, — E. May, *Kleiner Grundriß der Naturphilosophie*, Meissenheim 1949

Unbestimmtheitsrelation, auch Unsicherheitsrelation, von Heisenberg im Jahre 1927 aufgestellt, → Kausalität, → Komplementarität.

Unendlichkeit der Welt → Welt.

Universum (lat.), der physikalisch-astronomische → Aspekt der Welt. Newton stellte sich die Welt als stabiles System vor, das räumlich und zeitlich unendlich ist. Nach de Sitter und Einstein ist das U. eine vierdimensionale → Raum-Zeit-Welt, die sich ausdehnt und nicht stabil ist. Für ein solches U. gibt es eine → Kosmogonie. Das U. muß einen Anfang gehabt haben, sein Zustand ist nicht zu allen Zeiten der gleiche. Für dieses U. hat Milne eine reale *t-Zeit* eingeführt, deren Nullpunkt den Beginn der Expansion angibt. Er liegt vor mehreren Milliarden Jahren. Was vor diesem Nullpunkt war, wird als nicht mehr sinnvolle physikalische Frage bezeichnet. Nach dem 2. Hauptsatz der Wärmetheorie findet das Geschehen im U. mit dem Wärmerode sein Ende.

L.: A. S. Eddington, *Das Weltbild der Physik*, Braunschweig 1931 — W. Heiler, *Der Mensch und die naturwissenschaftliche Erkenntnis*, Braunschweig 1964 — C. F. v. Weizsäcker, *Die Geschichte der Natur*, Kl. Vandenhoeckreihe 1/1a

Ursache (→ Kausalität) ist als Kategorie zuerst von Aristoteles untersucht worden. Er unterschied vier Arten von U.: 1. die Materie als das, woraus etwas gemacht wird, z. B. das Silber für die Silberschale, 2. die Form oder das Muster für das Herzustellende, z. B. die geometrische Form der Silberschale, 3. die Wirkung, z. B. der Vater als U. des Kindes, 4. die Zwecke, z. B. die Frucht als Zwecke, für das Blühen der Pflanze. Die mittelalterliche Philosophie hat teilweise bis zu 30 U. unterschieden.

In den Naturwissenschaften werden heute nur die beiden letztgenannten noch als U. bezeichnet. Die Wirkn. ist ein Phänomen oder ein Ereignis, durch das ein anderes Phänomen oder Ereignis (als Bewirktes oder als Wirkung) auftritt. Ohne Vorhandensein des ersteren würde die Wirkung nicht eintreten. Man sagt auch, das zweite Phänomen (die Wirkung) sei durch das erste (die Wirkn.) kausal determiniert. Man spricht hier von einer Determiniertheit aus Anfangsbedingungen. Für die gesamte Physik war die kausale Determiniertheit, d. h. eine durchgängige U.-Wirkungsverknüpfung aller Erscheinungen und Ereignisse lange Zeit ein Grundprinzip. Erst durch die → Quantentheorie hat dieses Prinzip eine Modifikation erfahren. Die physikalischen Gesetze — auch der Quantentheorie — drücken kausale Verknüpfungen zwischen physikalischen Größen aus. Die Zweckursächlichkeit oder die finale Determination finden wir im Bereich des organischen Geschehens. Nur ein einziges Gesetz der Physik scheint eine finale Determination aufzuweisen: das Prinzip der kleinsten Wirkung: Bewegung sich ein Körper unter dem Einfluß von Kräften auf einer gekrümmten Fläche, so wird der Weg so gewählt, daß $\int m v ds$ ein Minimum wird. Das Prinzip findet auch beim Übergang eines Lichtstrahls von einem Medium in ein anderes seine Bestätigung. Der Lichtstrahl bewegt sich von einem Punkt des einen Mediums zu einem Punkte des anderen stets so, daß der Weg in der kürzesten Zeit zurückgelegt wird. Planck hat darauf hingewiesen,

daß dieses Prinzip unter allen physikalischen Gesetzen die höchste Stelle einzunehmen scheint; denn aus ihm läßt sich sogar der Energiesatz herleiten.

Man hat die Frage nach der Natur dieses Gesetzes aufgeworfen. Unter anderen hat Mach das Prinzip dahingehend interpretiert, daß es sich bei ihm in Wirklichkeit auch nur um ein Kausalgesetz, nur in einer uns ungewöhlichen Form, handele; denn es gehe auf eine Differentialgleichung zurück: die Aussage, daß eine Funktion ein Minimum werden soll, ist gleichwertig mit der, daß eine bestimmte Differentialgleichung gilt, die man als Anfangsbedingung setzen kann.

Die U. ist hierbei also kein Ereignis und kein Ding mehr, sondern ein Gesetz (die Differentialgleichung). Bereits Helmholtz hat als Ursache das Gesetzliche bezeichnet, »das hinter dem Wechsel ursprünglich Bleibende und Bestehende«. (Die Tatsachen in der Wahrnehmung, 1878.) Nach dieser Auffassung wäre z. B. die U. für das Anziehen der Massen das Massenanziehungsgesetz.

L.: B. Bavink, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1954¹⁰, S. 70ff — A. Kneser, *Das Prinzip der kleinsten Wirkung von Leibniz bis zur Gegenwart*, Leipzig 1928 — M. Planck, *Das Prinzip der kleinsten Wirkung*, 1915

Vakuum (lat.), leerer Raum. Schon bei den Vorsokratikern tauchte die Frage auf, ob es einen leeren Raum geben könne. Anaxagoras bestritt die Möglichkeit, während Demokrit behauptete, daß es zwischen den Atomen den leeren Raum gäbe. Auch Aristoteles erklärte den leeren Raum für eine logische Unmöglichkeit, da er dann das Nichts sein müsse. In der mittelalterlichen Philosophie und Naturwissenschaft vertrat man hinsichtlich der Möglichkeit eines leeren Raumes verschiedene Ansichten. Zu Beginn der abendländischen Naturwissenschaft waren die beiden bedeutendsten Philosophen, Descartes und Leibniz, sich darüber einig, daß ein leerer Raum unmöglich sei, und versuchten, dies philosophisch zu begründen. Die Versuche des Magdeburger Bürgermeisters Otto von Guericke hatten den Sinn, die Möglichkeit des leeren Raumes nachzuweisen. Er schuf damit eine empirische Definition des luftleeren Raumes, wonach derjenige Raum leer ist, der mit der Luftpumpe leergepumpt ist.

In exakter Weise konzipierte Newton diesen Begriff. Er leitete die Gesetze der Mechanik für denjenigen Raum ab, in dem die Körper sich widerstandslos bewegen. Daraus ergibt sich implizit eine Definition des leeren Raumes als desjenigen Raumes, in dem die Bewegungsgesetze der Mechanik absolut exakt gelten. Doch ergaben sich bei der Optik bereits für diesen Begriff des V. Schwierigkeiten. Die → Lichttheorie fordert, daß der Raum mit dem reibungslosen → Äther erfüllt, also nicht leer ist. Aber selbst nachdem die Ätherhypothese aufgegeben wurde, blieben noch Schwierigkeiten, den Begriff des leeren Raumes klar zu fassen. Man könnte denjenigen Raum als leer bezeichnen, der materiefrei ist. Da sich jedoch Energie in Masse umwandeln läßt, entsteht die Frage, ob der materiefre, jedoch energieerfüllte Raum als leer bezeichnet werden kann. Die gleiche Frage taucht für den Raum mit elektromagnetischen Feldern auf. Der Dualismus von Korpuskel und Welle gibt keine Möglichkeit der Unterscheidung zwischen einem materiefreien, nur mit Wellen erfüllten Raum und einem Raum, der Materie in Gestalt von Korpuskeln enthält. Die Elementarteilchen bieten noch weitere Schwierigkeiten dadurch, daß sie ineinander übergehen. Lichtquanten können sich unter bestimmten Bedingungen zu einem Elektron umbilden; ein Positron und ein Elektron können bei Vereinigung in zwei Lichtquanten zerstrahlen. Das Elektron hat

nach der Wellenmechanik keine bestimmte Substanzialität, sondern ist über den Raum »verschmiert«. Andererseits beschränkt das Atom zum weitaus größten Teil aus »leerem« Raum. Man hat gesagt, daß der Gegensatz zwischen leeren und materiefülltem Raum in dem modernen Feldbegriff, der das physikalische Reale bezeichnet, aufgehoben ist. Die Probleme sind jedoch noch nicht befriedigend gelöst.

L.: W. Kuhn, *Atomphysik in der Schule*, Braunschweig 1968³ — M. v. Laue, *Materie und Raumfüllung*, in M. v. L. *Aufsätze und Vorträge*, Braunschweig 1962² — M. v. Laue, *Materie und Raum in der neueren Physik*, in M. v. L., *Aufsätze und Vorträge*, Braunschweig 1962²

Verifikation (lat.), Beweis der Richtigkeit einer Aussage oder einer → Hypothese. In der Physik kann eine Aussage durch mathematische Ableitung oder durch Experimente bewiesen werden. Der → Positivismus verlangt, daß jeder physikalische Begriff und jede physikalische Aussage experimentell verifiziert werden müssen und daß Begriffe und Aussagen, die keinem experimentell beobachtbaren Tatbestand entsprechen, in der Physik nicht verwendet werden sollen. Zu diesen Begriffen gehören auch Modellvorstellungen, die sich experimentell nicht verifizieren lassen.

Verstehen eines Sachverhalts (eines Phänomens, einer Aussage, eines Gesetzes, einer Theorie) heißt Einsicht haben in das Wesen, in die Gründe und in die Zusammenhänge, also in das Was-sein, das Warum-sein, das Wie-sein. Dabei müssen Sinn und Bedeutung des Sachverhalts erfaßt werden. Das Verstehen kann verschiedene Grade haben. Es reicht von der einfachsten bewußten Aufnahme der Vorgänge oder der Mitteilung bis zu einem umfassenden, übergreifenden V., wobei neue Zusammenhänge gesehen und der Sachverhalt unter umfassenden Gesichtspunkten verstanden wird.

Der Begriff »V.« der Natur ist in verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen weltanschaulichen Gesichtspunkten verschieden interpretiert worden. Der Gedanke, daß die Natur aus sich heraus verstehbar ist, stammt von den Griechen. Für sie bedeutete Verstehen das Erfassen des Urgrundes, aus dem alles entstanden ist, den Grund erkennen, warum es entstanden ist, und Einsicht in die Ordnung gewinnen, aus der alles entstanden ist und in der es weiter besteht. Die mittelalterliche Naturwissenschaft und Naturphilosophie versuchte Naturvorgänge dadurch zu verstehen, daß sie die Wesens-Frage und die Warum-Frage beantwortete. Sie suchte nach den Wirkkräften in einem Körper und wollte damit beantworten, warum er sich bewegt. Galilei klammerte diese beiden Fragen aus und wandte sich bei der Untersuchung der Fallvorgänge der Wie-Frage zu. V. der Fallbewegung bedeute ihm, Einsicht in die Gesetzmäßigkeit der Fallvorgänge haben. Newton war der Ansicht, V. der Bewegung der Körper sei das Ableiten dieser Bewegungen aus den Axiomen und einem obersten Weltgesetz, z. B. dem Gravitationsgesetz. Ein weiteres Verstehenkönnen, warum sich die Massen anziehen, lehnte er für seine Person ab (»Hypotheses non fingo«). Mit dem Aufblühen der theoretischen (mathematischen) Physik faßte man das V. in der Weise, daß ein Vorgang als verstanden galt, wenn man seine mathematische Herleitung aus obersten Prinzipien begriffen hatte und eine Einsicht in den Sinn dieser Prinzipien besaß. Der → Positivismus schränkte den Begriff des naturwissenschaftlichen Verstehens noch weiter ein. Für ihn waren die experimentellen Tatsachen Leizheiten, die man im Grunde nicht verstehen, sondern nur konstatieren und in denkökonomischer Weise (→ Denkökonomie) zu Allgemeinansagen zusammenfassen konnte. Zwar sei es — wie Mach ausführte — möglich, fremd anmutende Tatsachen auf einfachere, bekanntere und vertrautere zurückzuführen oder

mit ihnen zu vergleichen. Aber der »psychologische Ersatz fremdartiger Wahrnehmungs- und Vorstellungsbilder durch geläufige und vertraute« sei im wesentlichen nur »die Bestätigung einer psychologischen Beunruhigung« (E. Mach, Beschreibung und Erklärung, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 21. Jg., Nr. 38).

Es ist auch darauf hingewiesen worden, daß wir im Grund nur kausal-mechanische Vorgänge verstehen, weil wir mit diesem Denken lange genug vertraut sind. Es ist daher kein Zufall, wenn in der Physik lange Zeit der Versuch gemacht wurde, alle Vorgänge auf mechanische zurückzuführen. W. von Humboldt hat darauf hingewiesen, daß wir im Grunde nur rein Menschliches, also unsere eigenen Empfindungen und Gefühle verstehen. Das mag der Grund dafür sein, daß die Natur auf → anthropomorphe Begriffe zurückgeführt wurde, z. B. Kraft, Druck, Flehkräft, Brechung usw. Goethe glaube, z. B. die Natur des Magneten dadurch zu verstehen, daß er die Anziehung und Abstoßung auf Liebe und Haß zurückföhrt. Es zeigte sich jedoch mit fortschreitender Forschung, daß die Natur keineswegs anthropomorph ist, und dies ist der Grund dafür, daß wir sie nicht in dem Sinne verstehen, wie wir unsere Empfindungen und Gefühle verstehen. Die Natur wurde deshalb für uns immer unverständlicher, je mehr die anthropomorphen Begriffe in physikalische umgewandelt wurden.

Wahrheit, ein schwer zu fassender Begriff, weil W. selbst nicht ableitbar ist; denn sie ableiten wollen, hieße, sie aus einem noch höheren Begriff zu deduzieren. W. ist aber der höchste Begriff, unter den sich jegliche Erkenntnis stellen muß. Aristoteles hat die W. einer Aussage dahingehend zu bestimmen versucht, daß sie in der Übereinstimmung des Ausgesagten mit der Sache (dem Gegenstande) bestehen solle. Gegen diese Definition sind Einwände erhoben worden. Wenn man nämlich die W. der Aussage: »Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt 299793 km/s« feststellen wollte, so müßte man diese Aussage mit der experimentell ermittelten Lichtgeschwindigkeit vergleichen. Die Aussage, daß Übereinstimmung besteht, müßte aber selbst wieder auf ihre W. geprüft werden, indem man sie mit der »Übereinstimmungs« vergleicht. Man sieht aber, daß ein solches Vorgehen kein Ende findet und nicht zum Ziele föhrt. Verlangt man diesen Fortgang nicht, so ergäbe sich auch die Aussage: »Die Lichtgeschwindigkeit beträgt 100000 km/s« als W., wenn man sie mit der ständig falsch ermittelten Lichtgeschwindigkeit von 100000 km/s vergleicht.

Bereits Kant hat darauf hingewiesen, daß es kein W.kriterium für den Inhalt einer Aussage gibt. Die Logik vermag solche W.kriterien nur für die Form der Aussagen aufzustellen (Kr. d. r. V., Einl. III.).

Es gibt verschiedene W.theorien. Jaspers hat folgende Sinnbestimmungen der W. gegeben: 1. W. als Geltung von Aussagen, 2. W. als Offenbarwerden, 3. W. als Sein, 4. Weisen der W. als W. der Übereinstimmung (s. o.), 5. W. als Ursprung und Ziel. W. ist nach Jaspers immer umgreifender als das, was durch unser Denken erkannt werden kann. Das gilt auch für unser naturwissenschaftliches Erkennen. Es gibt kein Kriterium dafür, ob und wann eine naturwissenschaftliche Erkenntnis eine W. darstellt. Wir können nur annehmen, daß sich unser Denken ihr nähert (→ Richtigkeit).

L.: B. Bauch, *Wahrheit, Wer und Wirklichkeit*, Leipzig 1923 — K. Jaspers, *Von der Wahrheit*, München 1947 — A. Kasstl, *Wahrheit und Sein*, in Zs. f. philos. Forschung, Bd. 1, H. 4, 1947

Wahrnehmung, äußere und innere, ist das empirische Bewußtwerden irgendeines Gegenständlichen. Für die Naturwissenschaft kommt nur die äußere W. in Betracht.

Über die Sinne werden uns die Gegenstände ins Bewußtsein gebracht. Man unterscheidet den W. vorgang und den W. inhalt. Nur der letztere (also z. B. die rote Farbe, die Helligkeit usw.) ist für die Physik von Bedeutung, während der W. vorgang eine Angelegenheit der Psychologie ist. Die Gegenstände sind uns zunächst als W. inhalte gegeben. Diese aber sind schon mehr als Sinnesempfindung. Rot ist eine Sinnesempfindung, eine rote Blume aber bereits eine W. Kant hat zwischen W. urteilen und Erfahrungsurteilen unterschieden und behauptet, daß W. urteile nicht mit Hilfe der Verstandesbegriffe (\rightarrow Kategorien) gebildet werden, sondern nur logische Verknüpfungen von Empfindungsinhalten im Subjekt darstellen. Erst unter den Kategorien des Verstandes werden aus bloßen W. urteilen Erfahrungsurteile von objektiver Gültigkeit, während die W. urteile nur subjektiv gültig sind. Nach Kant wäre ein W. urteil das folgende: »Der Stein vor mir, auf den jetzt die Sonne scheint, wird warm«. Ein Erfahrungsurteil dagegen wäre: »Die Sonne erwärmt den Stein«, weil nämlich hier die Kategorie der \rightarrow Kausalität hinzutritt, unter der die W. verknüpft werden: die Sonne tritt als Ursache für die Erwärmung des Steines auf (J. Kant, Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, § 18—20).

Nun hat man auf gewisse Schwierigkeiten dieser Kantischen Unterscheidung hingewiesen. Auch die W. ist nämlich immer schon begrifflich gefaßt, und auch das W. urteil ist unter Kategorien verknüpft; denn in dem oben genannten Urteil müssen ja die Begriffe Stein und Sonne irgendwie verstanden werden; auch sie sind kategorial eingeordnet und keine bloßen Empfindungen. Der Unterschied zwischen Erfahrung- und W. urteilen läßt sich also auf diese Weise nicht so scharf ziehen. Es ist vorgeschlagen worden (Th. Haering), den Unterschied dahingehend zu machen, daß man als W. nur individuelle und als Erfahrungen nur allgemeine Urteile bezeichnet. »Dieses Haus hier« wäre dann eine W., jedoch »das Haus« eine gedanklich-begriffliche Erfahrung. Nun kann die individuelle W. sicherlich vom Menschen nicht ohne vorherige kategoriale und begriffliche Prägung erlebt werden. Die W. Kategorien sind jedoch noch nicht die Kategorien der Physik.

Eine weitere Frage betrifft das Verhältnis von W. gegenstand und physikalischen Gegenstand. Der physikalische Gegenstand ist kein Abbild des W. gegenstands. Russell hat darauf hingewiesen, daß die Sonne des Physikers nicht die Sonne meiner W. ist; denn von jener weiß der Physiker, daß sie z. B. 150000000 km von uns entfernt ist, während die W. von dieser räumlichen Distanz nichts wissen kann. Wir können, wie Russell schließt, nicht von der W. physikalischer Objekte sprechen. Mit Hilfe der physikalischen Kategorien wird die Welt der W. in neuer Weise geordnet und auf einen anderen Nenner gebracht (\rightarrow Begriff). Durch die Physik kommt etwas von der W. Verschwindendes zur Darstellung, jedoch sind W. welt und physikalische Welt nicht ohne jeden Zusammenhang. Die Frage reicht hinein in das Problem der Beziehung von Sinnlichkeit und Verstand und ihrer gemeinsamen Wurzel.

L: E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3, Oxford 1954 — T. Haering, *Das Problem der naturwissenschaftlichen Begriffsbildung und die Erkennbarkeit der Gegenstände*. In Zt. f. philos. Forschung, Bd. 2, 1948, H. 4 — *Texte der Philosophie, Kommentarband*, hg. von Hamger, Schortky, Zahn, München 1965² — B. Russell, *Physik und Erfahrung*. In Zt. f. philos. Forschung, Bd. 1, 1947, H. 4

Wahrscheinlichkeit, im alltäglichen Sprachgebrauch die mehr oder minder große Sicherheit einer Aussage oder Voraussage über das Eintreten oder Nichttreten eines Ereignisses. Auch in der Naturwissenschaft kann man, wenn man die vollständigen Bedingungen, unter denen ein Ereignis zustande kommt, nicht kennt, Vermutungen darüber anstellen, ob und wie es wohl eintreffen werde. Man kann auch hier von größerer oder geringerer W. sprechen. Sie stützt sich auf andere wissenschaftliche Einsichten.

Von genauere Art ist die mathematische W. In propädeutischer Darstellung gilt folgendes: Wenn sich unter einer sehr großen Zahl (n) gleichmäßiger Fälle (z. B. farbiger Kugeln in einer Urne) p günstige Fälle für die Eigenschaft E (z. B. rot) und $n - p$ ungünstige (nichtrote Kugeln) befinden, so bezeichnet man als W. w , beim ersten Zug eine rote Kugel zu ziehen, den Bruch $W = p/n$. Vorausgesetzt wird dabei, daß z. B. von den Farben der Kugeln oder von sonstigen Einflüssen keine Wirkung auf die Auswahl (das Kugelziehen) ausgeht und daß alle Fälle gleichberechtigt sind. Die W.-rechnung ist zu einer mathematischen Disziplin mit zahlreichen Gesetzen entwickelt worden.

In der Physik findet die W. dann ihre Anwendung, wenn es sich um Aussagen über eine sehr große Anzahl von Individuen (z. B. Molekülen) oder Zuständen (z. B. der Verteilung) handelt, wobei wir über den Einzelfall nichts aussagen können, d. h. die Bedingungen über sein Eintreten nicht beherrschen. Das oben angeführte Beispiel ist ein sehr einfacher Fall, der zudem durch seine einschränkenden Bedingungen ein Idealfall ist. Die erste Schwierigkeit für die Anwendung der W.-rechnung in der Physik besteht darin, zu definieren, was »gleichmäßige« Fälle sind. Dies läßt sich a priori, also rein mathematisch, zumeist nicht festlegen. Daher kann man auf Grund der rein mathematischen W.-rechnung i. a. nicht zu physikalischen W. aussagen kommen. Man muß entweder einen Ausgangszustand in Ansatz bringen und sich dabei auf Naturgesetze und Beobachtungen stützen, die uns Auskünfte über die Ausgangsverteilung geben oder Schlüsse über diese ermöglichen. In der kinetischen Gastheorie ist die Ausgangshypothese die »Hypothese der elementaren Unordnung«, d. h. die Annahme, daß alle Geschwindigkeiten der Moleküle in allen Richtungen »gleich möglich«, d. h. auch gleich wirklich sind und nicht etwa bestimmte Richtungen und Geschwindigkeiten weit überwiegen. Außerdem wird vorausgesetzt, daß die Moleküle elastisch sind und mechanischen Gesetzen genügen. Die Ausgangsverteilung ist aber in der modernen Physik nicht derart einfach anzunehmen. Sie ist selbst nur ein W. zustand, für den zudem die \rightarrow Unsicherheitsrelation von Heisenberg gilt. R. von Mises hat eine Definition der W. gegeben, die der Anwendung auf die Physik besser entspricht. Die W. W wird nicht a priori (wie oben) definiert, sondern a posteriori, d. h. sie wird auf Grund vorliegender zahlreicher Versuchsergebnisse erklärt. Hat man bei n Proben aus einer Urne mit roten und nicht-roten Kugeln p -mal eine rote gezogen, so ist nach Mises die a posteriori-W. für das Ziehen einer roten Kugel $W = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{p}{n}$. Dieser Ansatz enthält einen Induktions-

schluß. Er setzt nämlich voraus, daß sich die W. bei wachsendem n nun wirklich dem Wert W nähert und sich nicht etwa wieder von ihm entfernt. »Mit W. aussagen — und zwar genau im Missesschen Sinne — hat es vor allem die Quantenmechanik zu tun. Sie beschreibt den jeweiligen Zustand eines gegebenen Systems (z. B. eines Atoms) im

allgemeinen nicht wie die klassische Physik durch bestimmte Werte von Energie, Drehimpuls usw., sondern durch eine Statistik, der zu entnehmen ist, mit welchen Wahrscheinlichkeiten die verschiedenen möglichen Werte der Zustandsgrößen zu erwarten sind« (March s. u.).

Man hat darauf hingewiesen, daß in der modernen Physik das Kausalgesetz durch *W.* aussagen abgelöst worden sei. Hier ist das Kausalgesetz in dem verengten Sinne des Wortes gemeint, daß aus einem genau zu bestimmenden Anfangszustand ein genau zu bestimmender anderer folgen müsse. In dieser Form ist freilich das Kausalgesetz in der modernen Physik nicht mehr anwendbar (→ Kausalität, → Determinismus).

L: M. Born, *Physik im Wandel meiner Zeit*. Braunschweig 1966⁴ — H. Dingler, *Die Methode der Physik*. München 1938, S. 335 — A. St. Eddington, *Philosophie der Naturwissenschaften*. Wien 1959 — D. ter Haar und A. C. Crombie, *Wendepunkte in der Physik*. Braunschweig 1963 — A. March, *Die physikalische Erkenntnis und ihre Grenzen*. Braunschweig 1964³ — R. Kurth, *Über den Begriff der Wahrscheinlichkeit*. In *Philosophia naturalis*, Bd. 5, 1958, S. 413 ff.

Wechselwirkung. Der Begriff tritt in dreierlei Bedeutung auf:

1. *W.* sind physikalische Kraftwirkungen in Feldern. Man teilt sie heute in folgender Weise ein: a) Gravitationskräfte, die Massen aufeinander ausüben; b) elektromagnetische Kräfte, z. B. Kräfte zwischen elektrischen Ladungen, aber auch beim Positron-Elektron-Zerfall und bei der Positron-Elektron-Paarzeugung; c) radioaktive Kräfte; d) Kernkräfte.

Die verschiedenen *W.* unterscheiden sich u. a. durch ihre Stärke. Die weitaus stärkste *W.* finden wir bei den Kernkräften. Schwache *W.* besteht bei den radioaktiven Zerfallserscheinungen. Die weitaus schwächste *W.* ist die Massenanziehung. Sie ist 10^{40} mal so klein wie die elektromagnetische *W.* zwischen Elektron und Proton im Wasserstoffkern.

Bereits Faraday hatte vergeblich versucht, einen Zusammenhang zwischen den Gravitations- und elektrischen Kräften zu finden. In neuester Zeit hat Heisenberg mit seiner Wellformel eine einheitliche Theorie der Materie aufzustellen versucht. Jedoch sind die vielen Schwierigkeiten noch unbewältigt.

2. Unter *W.* versteht man auch die gegenseitige Beeinflussung von Meßinstrument und beobachtetem Objekt, die bei Messungen im Bereiche der Mikrophysik grundsätzlich nicht ausschaltbar ist.

3. *W.* ist nach Kant eine → Kategorie des Verstandes, und zwar der Relation. Sie dient dem Verstand dazu, die Erscheinungen in *einer* Erfahrung zu verknüpfen. Täte er das nicht, so müßten die Wahrnehmungen in isolierte, miteinander unverknüpfbare Einzelvorstellungen zerfallen. Betrachtet man zum Beispiel eine Landschaft, so zerfällt diese bei der Betrachtung in eine Folge von Sinnesindrücken. Nun kann man die Landschaft von rechts nach links und von links nach rechts betrachten. Dann wird die Aufeinanderfolge der Sinnesindrücke zwar wechseln, jedoch beim zweiten Male nur umgekehrt wie beim ersten Male sein. Daraus folgert der Verstand, daß die einzelnen Teile der Landschaft im Raume zu gleicher Zeit existieren. Bei einer zeitlichen Aufeinanderfolge ist eine derartige Umkehrung nicht möglich. Mit Hilfe der Kategorie der *W.* ist es also möglich, Erscheinungen im Raume wechselseitig aufeinander zu beziehen und damit in ein Ordnungsschema zu bringen, das wir Erfahrung nennen. Erst auf Grund der Kategorie der *W.* ist es möglich, naturgesetzliche Beziehungen zwischen den

zugleich seienden Erscheinungen zu suchen und aufzustellen, z. B. zwischen den Spektralfarben und dem weißen Licht, das durch ein Prisma geschickt wird usw.

L: A. Hermann, *Heisenbergs „Einheitliche Theorie der Materie“*. In *Praxis der Naturwissenschaften*, Teil A, 11. Jg., H. 8 — W. Kuhn, *Atomphysik in der Schule*. Braunschweig 1968⁸

Welt, ein in vieldeutigem Sinne gebrauchter Begriff, der seine eigenen Interpretationen in der Philosophie, Geschichte, Religion, Biologie, Physik usw. hat. Auch bei den verschiedenen Zusammensetzungen (*W.geschichte*, *Umwelt* usw.) muß der Begriff erst ausgelegt werden. In der Physik versteht man unter *W.* das → Universum (→ Raum-Zeit-*W.*).

Kant hat den Begriff *W.* philosophisch in seiner Totalität, und zwar sowohl als Totalität der Erscheinungen als auch als Totalität der Zusammenhänge und Gliederung, gefaßt. Um *W.* in dieser Totalität erkennen zu können, müßte man ein absolutes Wissen besitzen. Kant hat gezeigt, daß *W.* in dieser Totalität vom Verstande nicht umspannt werden kann, sondern eine Idee ist, die zwar kein Erkenntnisgegenstand ist, aber doch als notwendig vorausgesetzt werden muß. (→ Kosmos, → Raum-Zeit-Welt, → Universum)

Welanschauung ist eine Auffassung von der Ordnung der Welt, vom Weltverlauf, vom Sinn, von den Aufgaben und Zielen des Menschen, die zumeist auf einer metaphysischen Sinnbedeutung beruht. Sie enthält implizit oder explizit auch Wertvorstellungen. In eine *W.* fließen manchmal auch wissenschaftliche Gedanken ein. In der *W.* bestimmt sich — im Gegensatz zum → Weltbild — ein existentielles Verhältnis des Menschen zur Welt. Die *W.* bestimmt das Denken, Werten und Handeln des Menschen und damit sein Menschenbild. Wenn auch die meisten Menschen keine geschlossene und bewußte Welanschauung besitzen, so haben sie doch welanschauliche Vorstellungen, die zumeist durch die Tradition, die Kultur, die Religion, die eigenen Erfahrungen bedingt sind.

W. sind nicht wissenschaftlich beweisbar. Es lassen sich zwar Begründungen für diese oder jene welanschauliche Einstellung geben, sei es durch Hinweis auf Erfahrungen, auf Dogmen oder traditionelle Wertvorstellungen. *W.* sind z. B.: der deutsche Idealismus, der Pessimismus (diese Welt ist die schlechteste aller Welten), wie ihn Schopenhauer vertrat, der → Positivismus, als dessen Begründer Comte gilt, und auch der → dialektische Materialismus, der eine wissenschaftlich begründete *W.* zu sein vorgibt, weil er sich auf die Ergebnisse der Naturwissenschaft stützt. Man spricht auch von naturwissenschaftlicher *W.* Diese ist jedoch keine *W.*, die durch die Naturwissenschaft begründet wird, sondern eine metaphysische Deutung der Naturwissenschaft, nämlich die Ansicht, daß sich der Weltverlauf und der Verlauf des Menschenlebens streng nach naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeit vollziehen. Damit setzt eine solche *W.* eine Wertordnung voraus, nämlich daß die Naturwissenschaft die ranghöchste Wissenschaft ist, deren Erkenntnissen absolute Wahrheit zukommt.

Weltbild, eine Vorstellung darüber, wie die Welt als Ganzes beschaffen, welches ihre räumliche und zeitliche Grundstruktur ist und durch welche Kräfte und Gestaltungsprinzipien sie diese Struktur erlangt hat. Zum *W.* gehört u. U. auch eine Vorstellung über die Entstehung der Welt (→ Kosmos, → Kosmogonie). Ein *W.* ist kein bloßes Abbild der Welt oder ein Film ihres zeitlichen Verlaufs; denn diese würden zufällige Konstellationen der Welt wiedergeben. Es wird vielmehr unter bestimmten Auswahl-

prinzipien gestreut, durch die gewisse andere Darstellungsweisen außer acht bleiben. So wird ein astronomisches W. unter anderen Prinzipien erstellt als eines, das das organische Geschehen betrifft.

Das einfachste Bild vom Aufbau der Welt ist das wahrnehmungsmäßig-räumliche: die Erde als Mittelpunkt, über sie der Himmel gewölbt, mit Sonne, Mond und Sternen. In allen Kulturen sind W. entstanden. In den alten Hochkulturen des vorderen Orients finden wir magische W., denen zufolge die Welt von übernatürlichen Mächten durchwaltet ist. Der Mensch seinerseits versucht, mit magischen Mitteln (Zauber) auf diese Mächte Einfluß zu nehmen. Im frühen Griechentum finden wir mythische W. Die Weltentstehung wird als übernatürliches Geschehen durch einen Mythos erklärt, der Bau der Welt damit von ihrem Ursprung her zu deuten versucht. Im mythischen W. wird zugleich ein Ordnungsschema der Welt entworfen, das anthropomorph, d. h. am menschlichen Körper orientiert ist. Das Geschehen der Natur wird durch das Wirken übernatürlicher Wesen erklärt, deren Fähigkeiten jedoch nur Steigerungen menschlicher Fähigkeiten darstellen. Das mythische Denken wurde durch das logische Denken abgelöst. Doch wurden verschiedene Züge der vorlogischen Weltbilder übernommen und in die logische Ebene transponiert. So wird bei den griechischen Naturphilosophen der Versuch gemacht, die Welt vom Ursprung her, aus einem obersten Prinzip, zu erklären. Empedokles versuchte, die Kräfte aufzuweisen, die im Naturgeschehen walten. Nach Pythagoras ist die Welt nach Maß und Zahl, also nicht mehr in anthropomorpher, sondern in einer vom Menschen unabhängigen Weise, geordnet. Die Welt ist zugleich Ausdruck höchster Harmonie, die göttlichen Ursprungs ist. Im »Timaios« hat Platon ein von den Pythagoreern beeinflusstes W. gezeichnet, das bereits Züge eines naturwissenschaftlichen W. trägt, jedoch im Mythos wurzelt. Proklos hat ein wissenschaftlich-astronomisches W. entworfen, das von geometrischer Struktur ist.

In der Entwicklung der abendländischen Naturwissenschaft bildete sich nach und nach das heutige astronomische W. aus. Gleichzeitig wurden Theorien erdosen, die die Entwicklung der Welt von ihrem Anfang bis zur heutigen Gestalt darlegen, so u. a. von Descartes und von Kant. Die Welt erscheint zunächst als Ausdruck einer göttlichen Ordnung, vor allem bei Kepler, Pascal und Leibniz. Im 18. und 19. Jh. entstanden W., die die Welt als große, von selbst funktionierende Maschine darstellten, wobei die »Hypothese« Gott für überflüssig erachtet wurde. Solche Aussagen sollten den naturwissenschaftlichen Aspekt vom religiösen trennen.

Immer mehr kam der Gedanke zum Durchbruch, daß es nicht möglich sei, das Ganze der Welt unter einem einzigen Aspekt zu erkennen, sondern daß die Welt unter einer Vielfalt von Aspekten erforscht werden muß. Das physikalische W. stellt demnach nur den physikalischen Aspekt dar. Es versucht, die physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu erfassen, unter denen die Erscheinungen verlaufen. Dabei sind jedoch die Gesichtspunkte, unter denen die alten W. entworfen wurden, noch immer maßgebend: a) die Prinzipien, b) die Ordnung, c) die Kräfte und ihre Wechselwirkungen. Das physikalische W. hat Wandlungen durchgemacht, die mit dem Stand der Forschung zusammenhängen. (mechanistisches W., energetisches W., relativistisches W., die Welt als Raum-Zeitkontinuum). Die moderne Forschung beschäftigt sich vor allem mit der Feinstruktur der Welt und versucht, ein geschlossenes physikalisches W. von den Atomen bis zu den Spiralnebeln zu geben.

Neben den physikalischen Weltbildern gibt es biologische, z. B. von Bergson, Driesch, Meyer-Abich u. a., kulturelle, z. B. von Spengler, philosophische, z. B. in neuerer Zeit von N. Hartmann, der einen »Schichtenbau der Wirklichkeit« annimmt. W. unterliegen dem Wandel, den neue Einsichten oder neue philosophische Überlegungen herbeiführen. Ein W. ist nicht dasselbe wie eine → Weltanschauung, doch ist es oft durch eine Weltanschauung mitbestimmt.

L.: L. v. Bertalanffy, *Das biologische Weltbild* München 1949 — E. Cassirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, 3. Bde. Oxford 1954 — A. St. Eddington, *Das Weltbild der Physik* Braunschweig 1931 — N. Hartmann, *Der Aufbau der realen Welt*, Berlin 1940 — N. Hartmann, *Philosophie der Natur*, Berlin 1950 — W. Heisenberg, *Das Naturbild der Physik*, rowohlt's deutsche enzyklopädie, Bd. 8 — J. Kant, *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, 1755 — A. Meyer-Abich, *Naturphilosophie auf neuen Wegen*, Stuttgart 1948 — C. F. v. Weizsäcker, *Zum Weltbild der Physik*, Stuttgart 1963¹⁰ — C. F. v. Weizsäcker, *Geschichte der Natur*, Kleine Vandenhoeck-Reihe 1/1a

Weltlinie → Raum-Zeit-Welt.

Wirklichkeit, ursprünglich dasjenige Seiende, von dem eine Wirkung ausgeht oder ausgehen kann. W. steht einmal im Gegensatz zum Schein, andererseits auch zur → Realität. Denn real ist auch das, was möglich ist. Kant definiert W. unter den → Postulaten des empirischen Denkens. »Was mit den materialen Bedingungen der Erfahrung (der Empfindung) zusammenhängt, ist wirklich.« Die physikalische W. fällt nicht mit diesem Begriff der W. zusammen, denn die Physik schließt auch das Mögliche in ihre Untersuchungen ein, sofern es W. werden kann. Eine genaue Begriffsbestimmung der W. ist schwierig. Nach Bauch ist W. eine Kategorie.

L.: B. Bauch, *Wahrheit, Wert und Wirklichkeit*, Leipzig 1923, S. 414 ff. — H. Sachsse, *Naturkenntnis und Wirklichkeit*, Braunschweig 1967

Wissenschaft ist ein Erkenntniszusammenhang, der unter bestimmten Kategorien steht und nach bestimmten → Methoden entwickelt wird. Der Erkenntniszusammenhang weist eine bestimmte Ordnung auf und bildet zumeist ein → System. Die W. wurde von den Griechen entdeckt. Sie setzt logisches Denken voraus, verfährt jedoch nicht nur nach den Regeln des logischen Denkens, sondern folgt einem durch die Kategorien geleiteten Denken. Bereits Aristoteles hat den Begriff der W. herauszuarbeiten versucht. Nicht jedes Wilbbare oder Gewulbte, so sagt er, gehört bereits einer W. an. Jede W. hat → Prinzipien, oberste Gründe und Elemente. In diese muß man Einsicht haben, wenn man eine W. betreiben und einen wissenschaftlichen Zusammenhang verstehen will. Das Ziel der W. ist es, zu allgemeingültigen Erkenntnissen zu kommen. Dabei ergründet sie die Ursache eines Sachverhaltes, sein Wesen (das Was-sein) und die Form (die geistige Gestalt eines Dinges). W. ist also Beweiskenntnis, Wesenskenntnis, Allgemeinkenntnis und Formkenntnis. Jede W. entwickelt Erkenntnismethoden, die für sie charakteristisch sind. Aristoteles gibt auch eine Einteilung der W. an. Jede einzelne W. bearbeitet einen bestimmten Teil des Seienden und versucht, dieses Seiende in seiner besonderen Semsweise zu erkennen. Jedoch war die griech. W. noch weitgehend einheitlich und geschlossen. Erst im Abendlande beginnt die W. sich immer weitgehender zu spezialisieren.

Der W. begriff des Aristoteles gilt im wesentlichen auch für uns noch. Zwar ist gelegentlich die Rolle der W. anders gesehen worden, vor allem im → Positivismus. Wir

können an der Naturw. zeigen, daß für sie noch alle Forderungen, die Aristoteles an die W. gestellt hat, gültig sind. Die Naturw. hat → Prinzipien, z. B. das Energieprinzip, das Huygenssche Prinzip u. a. Ihre obersten Gründe und Elemente sind die Fundamentalaussagen, die → Axiome, in die die Grundbegriffe eingehen. Das Ziel der Naturw. ist das → Naturgesetz und die zusammenfassende → Theorie. Es wird nach den → Ursachen der → Phänomene gefragt, die in der Natur oder in → Experimenten auftreten (z. B. nach der Ursache des Dopplereffektes, der Brechung usw.); man fragt nach dem Was-sein einer Erscheinung, z. B. was für Elementarteilchen ein Radiumpräparat ausstrahlt. Man versucht die → Form, die → Struktur eines Gegenstandes zu bestimmen, z. B. eines Atoms oder eines Feldes. Die Naturw. besitzt ihre ganz bestimmten → Methoden, um zu neuen Erkenntnissen zu gelangen oder um gefundene Erkenntnisse aus sachlich früheren oder allgemeineren Erkenntnissen abzuleiten.

Man pflegt die W. gegenüber anderen Bereichen abzugrenzen, z. B. gegenüber der Praxis und den rein praktischen Einsichten, ferner gegenüber der Kunst und dem Glauben. Jedoch läßt sich auch die Praxis wissenschaftlich bearbeiten (Ingenieurw. u. a.). Ebenso können Kunst und Religion unter wissenschaftlichen Kategorien und mit wissenschaftlichen Verfahren bearbeitet werden. Der W. kommt kein »höherer« Rang zu als den anderen Gebieten, die sich der Mensch zu erschließen versucht und in denen er wirkt. Eine absolute Höher einschätzung der W. gegenüber allen anderen Bereichen kann zur → Wissenschaftsgläubigkeit führen.

Die W. hebt sich gegenüber einem rein praktischen Tun dadurch ab, daß durch sie die Objekte der Umwelt in eine Distanz gesetzt werden, um sie unter neuen → Prinzipien und mit neuen → Methoden zu erforschen und zu begreifen. Darauf hat Casirer hingewiesen. Der Mensch tritt aus seiner Umwelt, aus der Dingwelt, die auf ihn wirkt und in die er hineinwirkt, heraus und in die Welt des Geistes ein, mit dessen Hilfe er sich eine »Bildwelt« erstelle (→ Bild). Er vermag mit Hilfe dieser Bildwelt die Wirklichkeit unter umgreifenderen Gesichtspunkten zu erfassen; so etwa der Ingenieur, der die physikalischen und chemischen Zusammenhänge kennt im Gegensatz zu demjenigen, der z. B. nur die Instrumente wie Werkzeuge handhabt. Jedoch liegen auch diesem handwerklichen Tun oft wissenschaftliche Einsichten zugrunde.

Bereits Aristoteles hat die Frage nach dem Wert der W. aufgeworfen. Er verweist dabei sowohl auf ihren Nutzen, vor allem aber auf ihre Bedeutung für die Bildung. Die Griechen waren tief von der Idee durchdrungen, daß den zweckfreien Denken ein besonderer Wert für den Menschen zukomme. Aristoteles preist das »theoretische Leben« als die höchste Lebensform. Mit Beginn der abendländischen Naturw. wird auch immer wieder ihr Nutzen besonders herausgestellt. Man erkannte, daß die W. zugleich Macht an die Hand gibt. Dadurch ist sie vielfach zu einem Politikum geworden. Ihre Bedeutung wurde vielfach nur an ihrem Fortschritt gemessen. Daß es jedoch nicht die hauptsächlichste oder gar alleinige Aufgabe der W. sein kann, nach vorwärts zu neuen Entdeckungen zu schreiten, hat sich in der neuesten Physik (→ Quantentheorie, → Relativitätstheorie, → Atomtheorie) herausgestellt. Diese Theorien und die Experimente, die die Theorien bestätigt oder sie veranlaßt haben, haben zu einer Erschütterung der Grundlagen der Physik geführt, die bis dahin als gesichert galten (→ Kausalität). Die Sicherung der Grundlagen gehört zu den wichtigsten Aufgaben einer W. Die Bestimmung auf die Grundlagen führt auf wissenschaftstheoretische und philosophische Fragen. Die philosophische Bestimmung

nung ist keine überflüssige Zutat zur W., sondern sie ist oft der Leitfaden für die Weiterentwicklung einer W.

L: A. Anweiler, *Der Begriff der Wissenschaft bei Aristoteles*. Bonn 1936 — Poincaré, *Wissenschaft und Hypothese*. Leipzig 1928 — M. Scheler, *Bildung und Wissen*. Frankfurt 1947

Wissenschaftsgläubigkeit, eine Haltung, die in der Wissenschaft den höchsten Wertmaßstab erblickt und andere Maßstäbe als »unwissenschaftlich« und daher minderwertig abtut, mithin die Ansicht, daß alles und nur das, was wissenschaftlich erforscht ist, zugleich wahr in jeder Beziehung ist, also nicht nur richtig in bezug auf einen bestimmten Bereich. Der Wissenschaftsgläubige übersieht dabei, daß jede → Wissenschaft mit bestimmten Voraussetzungen arbeitet, daß diese Voraussetzungen den Erkenntnisbereich einschränken und oftmals → Theorien sind, die zwar den derzeitigen Stand der Forschung darstellen, aber modifizierbar und wandelbar sind. Der Wissenschaftsgläubige hält sich an das »Ergebnis« wissenschaftlicher Forschung, das er als unbezweifelbar gesichert hinnimmt. Als Muster der Wissenschaft gilt dabei zumeist die exakte Naturwissenschaft, deren Methoden auch auf andere Wissenschaften übertragen werden, ohne daß man sich dabei um die Grenzen dieser Methoden kümmert. So hat man im 18. und 19. Jh. versucht, die Psychologie nach dem Muster der exakten Naturwissenschaft aufzubauen, in dem Glauben, sie auf diese Weise zur wissenschaftlichen Psychologie zu machen. Auch heute herrscht gegenüber den psychologischen Testverfahren oder den Entscheidungen, die durch Elektronengehirne herbeigeführt werden, eine W. Alle diese Verfahren haben ihren Sinn für diejenigen, der in reicher Weise und in Erkenntnis der Grenzen solcher Verfahren Gebrauch von ihnen macht. Der Wissenschaftsgläubige sieht jedoch in solchen Verfahren die letzte und höchste Instanz. Er glaubt, daß die immer größere Perfektion solcher Verfahren zugleich menschlichen Fortschritt bedeutet. Er ist weiter der Meinung, daß auch eine Weltanschauung wissenschaftlich begründet sein müsse und daß das, was nicht wissenschaftlich begründbar ist, zweifelhaftes und daher minderrangiges Wissen sei.

L: C. F. v. Weizsäcker, *Die Tragweite der Wissenschaft*. Stuttgart 1964²

Wissenschaftstheorie, auch Wissenschaftslehre, behandelt den → Begriff, die → Kategorien, Grundlagen, → Methoden und idealen Aufbauformen (logisch-axiomatischer Aufbau, → System) der Einzelwissenschaften vom Blickpunkt der Philosophie aus. Sie ist also Reflexion über die Wissenschaften und ihre Zusammenhänge. Die W. ist kein Zweig einer Einzelwissenschaft, sondern eine Anwendung philosophischer Verfahren, um die Struktur und die Methoden einer Wissenschaft zu untersuchen. Die W. beschäftigt sich nicht mit den spezifischen Inhalten der Wissenschaft; sie untersucht keine innerwissenschaftlichen Sätze auf ihre wissenschaftliche Richtigkeit. So prüft sie z. B. nicht, ob das Brechungsgesetz, die Einsteinsche Relativitätstheorie oder die Quantentheorie gelten. Wohl aber kann sie an solchen Gesetzen die Natur eines physikalischen Gesetzes aufweisen, die Begriffsbildung prüfen und Probleme in erkenntnistheoretischem Sinne zu deuten versuchen. Die → Naturphilosophie ist umfassender als die W. der Naturwissenschaft. Jene behandelt auch ontologische und metaphysische Probleme.

Zeit ist ein sehr komplexer Begriff, der die Philosophie und Wissenschaft seit den Eleaten immer wieder beschäftigt hat. Man muß heute unterscheiden zwischen Erlebnis-, Z.anschauung, physikalischer Z., biologischer Z., geschichtlicher Z. usw. Wir beschrän-

ken uns hier auf den physikalischen Z.begriff. Newton sagt von der Z.: »Die absolute, wahre und mathematische Z. verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand. Sie wird auch mit dem Namen Dauer belegt.« Die Z. wird also als Linie gedacht, deren Richtung nicht umkehrbar ist und auf der die Ereignisse durch bestimmte Z.koordinaten fixiert werden können. Für Newton existiert also eine absolute Weltz., in die man alle Ereignisse in der Welt einordnen kann. Definiert man für diese Z. eine Maßeinheit, so kann man von allen Ereignissen in der Welt sagen, ob sie gleichzeitig oder um wieviel solcher Einheiten das eine früher oder später stattgefunden hat als das andere.

Kant wandte sich gegen die Newtonsche Auffassung, daß die Z. »für sich selbst bestände, oder den Dingen als objektive Bestimmung anhängt, mithin etwas, was übrig bliebe, wenn man von allen subjektiven Bedingungen der Anschauung derselben abstrahiert«. Die Z. ist nach Kant wie der Raum, »reine Anschauung«, als solche kein empirischer Begriff, sondern eine Vorstellung a priori, »die allen Anschauungen zum Grunde liegt«. »Die Z. ist die formale Bedingung a priori aller Erscheinungen überhaupt.« Obwohl die Z. die Form unserer Anschauung ist, besitzt sie insofern empirische Realität — wenn auch keine absolute —, als sie notwendige Bedingungen für die Erfahrung ist. Nur vermöge der Z.anschauung vermögen wir die Erscheinungen in die Ordnung eines Nachhander zu bringen. Die Möglichkeit der Erfahrung setzt aber mehr voraus als nur die reinen Anschauungsformen Raum und Zeit, nämlich die → Kategorien des Verstandes, durch die der in der Anschauung gegebene Gegenstand überhaupt erst begrifflich gefaßt werden kann. Daß diese Verknüpfung von Sinnlichkeit und Verstand möglich ist, ist durchaus nicht selbstverständlich. Sie ist nicht beweisbar. Die Verknüpfung der Anschauungsform Z. mit den Kategorien der → Substanz, → Kausalität und → Wechselwirkung bilden die transzendentalen Schemata, die eine objektive Z.bestimmung ermöglichen. Erst vermöge der Substanz als etwas Beharrlichen lassen sich überhaupt zeitliche Veränderungen der Akzidentien der Substanz feststellen, vermöge der Kausalität läßt sich die Z.folge der Erscheinungen richtungsmäßig festlegen, und vermöge der Wechselwirkung lassen sich Erscheinungen als zugleich existierend bestimmen. Beharrlichkeit, Z.folge und Zugleichsein bezeichnet Kant als die Modi der Z. Mit Hilfe dieser Modi vermögen wir die Erscheinungen zeitlich zu ordnen.

Diese transzendentalphilosophischen Schemata enthalten zweierlei noch nicht: eine Z.metrik und eine Anweisung für die Z.messung.

Auf Grund der Newtonschen Physik glaube man, daß im ganzen Weltraum eine einheitliche Maßbestimmung der Z. möglich sei, die sich gewissermaßen an eine absolute Z.achse anheften läßt. Man war der Ansicht, daß eine solche Maßbestimmung unabhängig von Inertialsystemen (Bezugssystemen, die sich gegeneinander mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen) absolut festgelegt werden könne. Die → Relativitätstheorie dagegen, die mit einer Analyse des physikalischen Z.begriffs und vor allem des Begriffs der → Gleichzeitigkeit anhebt und die Newtonsche Auffassung einer absoluten Z. kritisiert, ist eine Theorie der Z.messung und enthält Anweisungen, wie solche Messungen durchzuführen sind. Nun ändern sich aber die Raum- und Z.maßstäbe beim Übergang von einem Inertialsystem zum andern. Dadurch verliert der Begriff der Gleichzeitigkeit, wie sie in der Newtonschen absoluten Zeit für zwei Ereignisse noch bestimmbar zu sein schien, den herkömmlichen Sinn.

Man hat aus dieser Tatsache vielfach den Schluß gezogen, daß durch die Relativitätstheorie die Kantische Z.theorie unglücklich geworden ist. Die Kantische Theorie ist aber keine Theorie der Z.messung und enthält keine empirischen Größen, wie z. B. die Lichtgeschwindigkeit, die für die Relativitätstheorie von wesentlicher Bedeutung ist. Der umfassende Begriff der Z. erschöpft sich nicht in seiner Meßbarkeit.

L: B. Bavink, *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1954/9, S. 134ff. — E. Casirer, *Philosophie der symbolischen Formen*, Bd. 3, Oxford 1954, S. 189—221 — H. Dingler, *Die Methode der Physik*, München 1938, S. 113—123 — M. Dessauer, *Naturwissenschaftliches Erkennen*, Frankfurt 1960², S. 353—366 — A. Str. Eddington, *Das Weltbild der Physik*, Braunschweig 1931, S. 42—66 — A. Einstein, *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie*, Braunschweig 1965⁹⁰ — F. Künimel, *Über den Begriff der Zeit*, Tübingen 1962 (mit zahlreichen Literaturangaben) — H. Lange, *Geschichte der Grundfragen der Physik*, Bd. I, Freiburg 1954, S. 254—313 — H. Weyl, *Raum-Zeit-Materie*, Berlin 1923

Zerfall radioaktiver Stoffe ist kein chemischer Vorgang, sondern ein Zerfall des Atomkerns, wobei α -Teilchen, β -Teilchen und γ -Strahlen ausgesandt werden und der Kern sich in den Atomkern eines neuen Elements, eines sog. Tochterelements, verwandelt. Der Z. geht in der Regel weiter. Für den Z. hat man ein Z.gesetz aufgestellt. Dieses Z.-gesetz gilt jedoch nur für eine sehr große Anzahl von Atomen, d. h. man kann angeben, wieviel Atome einer genügend großen Zahl in einer bestimmten Zeit zerfallen sein werden. Man ist jedoch außerstande, für ein einzelnes Atom die Angabe zu machen, ob es beispielsweise im Verlaufe der nächsten Stunde zerfällt oder nicht. Man kann keine Ursache für den Z. angeben, die im Innern des Atoms, in seinen Eigenschaften oder in seinem Alter liegt. Der Z. kann auch künstlich durch Kernbeschuß herbeigeführt werden (→ Atom, → Mikrophysik, → Zufall).

Zufall, Kennzeichnung für das Eintreten oder Nichteintreten eines Ereignisses, dessen Ursache man nicht kennt oder für das es keine Ursache gibt. Der Z. ist der Gegensatz zur strengen kausalen Gesetzmäßigkeit. Z. ist ein relativer Begriff und nur in bezug auf »Gesetzmäßigkeit« sinnvoll. Er »erhält erst dadurch einen Sinn, daß wir eine Reihe von Geschehnissen nicht mehr in eine erkannte Gesetzmäßigkeit einordnen können« (G. Eder). Z. lassen sich höchstensfalls durch die → Wahrscheinlichkeitsrechnung erfassen, falls das betrachtete Ereignis sich als Einzelfall aus einer großen Zahl prinzipiell gleichartiger oder ähnlicher Ereignisse auffassen läßt. In der Physik spielt der Begriff des Z. nur in der → Mikrophysik eine Rolle. So sagt man z. B., es sei ein Zufall, wenn ein bestimmtes Radionuclon in der nächsten Sekunde zerfällt. Das kann bedeuten, daß man die Ursache des → Zerfalls nicht kennt oder grundsätzlich nicht erkennen kann. Es kann aber auch bedeuten, daß es für diesen Zerfall keine Ursache gibt. Eine klare Entscheidung über den genauen Sinn des Zufallsbegriffs, der → Statistik und der → Wahrscheinlichkeitsausagen in der → Mikrophysik steht noch aus.

L: G. Eder, *Quanten, Moleküle, Leben*, Freiburg/München 1963

Zweckursache → Ursache.

Zeittafel

(Es sind nur die im Text erwähnten Namen verzeichnet.)

Thales von Milet um 640—545 v. Chr.	Karl Friedrich Gauß	1777—1855
Pythagoras um 580—500	Augustin Jean Fresnel	1788—1827
Parmendes um 540	Michael Faraday	1791—1867
Leukippos 5. Jahrh.	Franz Adolf Taurinus	1794—1874
Anaxagoras 499—428	Sören Kierkegaard	1813—1855
Zenon um 500	Julius Robert von Mayer	1814—1878
Empedokles 483—424	Hermann Lotze	1817—1881
Sokrates 469—399	Karl Heinrich Marx	1818—1883
Demokrit 460—370	Karl Friedrich Engels	1820—1895
Platon 427—347	Hermann v. Helmholtz	1821—1894
Aristoteles 384—322	Rudolf Clausius	1822—1888
Enklid um 300	William Thomson	1824—1906
Archimedes 287—212	Gustav Robert Kirchhoff	1824—1887
Heron um 100	James Clerk Maxwell	1831—1879
Prolemaios um 150 n. Chr.	Ernst Mach	1838—1916
Johannes Philoponos 6. Jahrh.	Ludwig Boltzmann	1844—1906
Roger Bacon 1214—1294	Emile Boutroux	1845—1921
Nicolaus Kopernikus 1473—1543	Albert Michelson	1852—1931
Simon Stevin 1548—1620	Jules Henri Poincaré	1854—1912
William Gilbert 1540—1603	Heinrich Hertz	1857—1894
Galileo Galilei 1564—1642	David Hilbert	1862—1943
Johannes Kepler 1571—1630	Hermann Minkowski	1864—1909
René Descartes 1596—1650	Wladimir Iljitsch Lenin	1887—1924
Otto von Guericke 1602—1686	Ernest Rutherford	1871—1937
Evangelista Torricelli 1608—1647	Bertrand Russell	geb. 1872
Christian Huygens 1629—1695	Ernst Cassirer	1874—1945
John Locke 1632—1704	Bernhard Bavink	1879—1947
Isaac Newton 1643—1727	Albert Einstein	1879—1955
Gottfried Wilhelm Leibniz 1646—1716	Max v. Laue	1879—1960
George Berkeley 1648—1753	Max Wundt	geb. 1879
David Hume 1711—1776	Arthur Eddington	1882—1950
Michael W. Lomonossow 1711—1765	Nicolai Hartmann	1882—1950
Immanuel Kant 1724—1804	Max Born	geb. 1882
Antoine Laurent Lavoisier 1743—1794	Karl Jaspers	1883—1969
Johann Wolfgang v. Goethe 1749—1832	Niels Bohr	1885—1962
Pierre S. Marquis de Laplace 1749—1827	Erwin Schrödinger	1887—1961
John Dalton 1766—1844	Werner Heisenberg	geb. 1901
Georg Friedrich Willh. Hegel 1770—1831	Pascual Jordan	geb. 1902
Friedr. Wilh. Schelling 1775—1854	Carl F. v. Weizsäcker	geb. 1912

VORWORT

Das vorliegende Buch will der philosophischen Vertiefung des Physikunterrichts dienen. Es ist also kein Wörterbuch physikalischer Begriffe und enthält solche nur, wenn sie eine philosophische Problematik enthalten.

Das Buch ist für die Hand des Schülers gedacht, jedoch nicht in dem Sinne, daß er sich schnell über einen im Physikunterricht auftretenden Begriff orientieren und sich damit zufriedengeben soll. Es ging nicht darum, ein Nachschlagewerk zu schaffen, aus dem man fertige Ergebnisse bezieht, sondern ein Arbeitsbuch, das zum Bedenken der Probleme auffordert. Die Begriffe bedürfen der eingehenden Erarbeitung im Unterricht, für die die vorliegende Darstellung lediglich als Leitfaden gedacht ist.

Ein Wörterbuch verlangt Beschränkung in mehrfacher Hinsicht. Es wurden deshalb nur diejenigen Begriffe von wesentlicher Bedeutung aufgenommen, die in der Schule behandelt werden können. Die Erläuterungen konnten nicht erschöpfend sein. Sie sind nur als Hinweise und Anregungen für Weiterarbeit gedacht. Für diese wurden Literaturhinweise gegeben, die natürlich nicht vollständig sein konnten. Eine Beschränkung galt es sich schließlich bei der Darstellung der verschiedenen Ansichten aufzuerlegen, die in bezug auf manchen dieser Begriffe bestehen. Für die einzelnen Begriffe wurden, wenn es notwendig erschien, auch historische Rückblicke gegeben. Gelegentliche Wiederholungen waren bei den einzelnen Themen nicht zu vermeiden.

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus der Standortbedingtheit der Naturphilosophie. Trotz der Bemühung, verschiedene Ansichten darzustellen, fließt immer auch die eigene Auffassung ein. Der Leser wird nicht immer ohne weiteres mit ihr einverstanden sein; manches Thema möchte er anders dargestellt wissen. Aber der Sinn des Wörterbuches besteht ja nicht darin, daß der Leser das hier Dargelegte als die einzig mögliche Erkenntnis über den Gegenstand hinnimmt, sondern daß er zum Nachdenken, vielleicht auch zum Widerspruch und zu einer besseren Begriffsbestimmung angeregt wird. Für solche Verbesserungshinweise wäre der Verfasser sehr dankbar.

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts und Verbesserungsvorschläge bin ich Herrn Oberstudiendirektor Dr. Hartkopf, Berlin, zu großem Dank verpflichtet. Herrn Dr. P. Berger, Bonn, und Herrn Dr. Seeger, Feldkirch (Österreich), danke ich für wertvolle Hinweise für die 2. Auflage.

Würzburg, im Januar 1969

Dr. Edgar Hunger