sich als anregend herausstellen wird.

Menschliche Vernunft und gesunder Menschenverstand

Man sagt oft, der größte Unterschied zwischen Menschen und anderen Tieren sei unsere Fähigkeit, vernünftig zu sein. Viele Tiere scheinen sich der gegenständlichen Welt mehr oder weniger bewußt zu sein und auf sie zu reagieren, aber nur Menschen behaupten, ihre Wahrnehmung ginge darüber hinaus. Wir verfügen auch über eine Art von *Verständnis* für die Welt und unseren Platz in ihr. Wir können Ereignisse vorhersagen und Naturvorgänge für unsere eigenen Zwecke nutzen; obwohl wir Teil der Natur sind, unterscheiden wir doch irgendwie zwischen uns selbst und dem Rest der physikalischen Welt.

In primitiven Kulturen beschränkte sich die Kenntnis der Physik auf das Alltagsleben, etwa auf den Lauf der Jahreszeiten oder die Bewegung einer Schleuder oder eines Pfeils. Das Wissen war völlig pragmatisch und hatte keine theoretische Grundlage, die über magisches Denken hinausging. Heute, im Zeitalter der Wissenschaft, ist unser Verständnis viel umfassender; wir müssen unser Wissen deshalb in die verschiedenen Fachbereiche aufteilen – Astronomie, Physik, Chemie, Geologie, Psychologie und so weiter. Dieser aufsehenerregende Fortschritt ist fast vollständig ein Ergebnis der »wissenschaftlichen Methode«, also von Experiment, Beobachtung, Deduktion, Hypothesenbildung und Widerlegung. Mit Einzelheiten brauchen wir uns hier nicht zu beschäftigen. Wichtig ist, daß die Wissenschaft an

Verfahren und Diskurs strenge Maßstäbe anlegt und Vernunft höher schätzt als irrationalen Glauben.

Der Begriff »Vernunft« ist selbst etwas merkwürdig. Wir lassen uns von »vernünftigen« Behauptungen überzeugen und fühlen uns besonders wohl, wenn sie an den gesunden Menschenverstand appellieren. Aber die menschlichen Denkvorgänge sind nicht gottgegeben. Sie haben ihren Ursprung in der Struktur des menschlichen Gehirns und in den Aufgaben, zu deren Durchführung es sich in der Evolution herausgebildet hat. Das Wirken des Gehirns wiederum hängt von den physikalischen Gesetzen und der gegenständlichen Welt ab, in der wir leben. Was wir gesunden Menschenverstand nennen, ist das Ergebnis von Denkmustern, die tief in die menschliche Psyche eingebettet sind, und das mutmaßlich deshalb, weil sie bestimmte Vorteile für den Umgang mit alltäglichen Situationen vermittelten, etwa wie man fallenden Gegenständen ausweichen und sich vor Räubern schützen kann. Einige Aspekte menschlichen Denkens werden durch die Verdrahtung unserer Gehirne festgelegt, andere haben wir als »genetische Software« vor langer Zeit von unseren Vorfahren geerbt.

Der Philosoph Immanuel Kant behauptete, nicht alle unsere Denkkategorien ließen sich von einer Sinneserfahrung der Welt herleiten. Er hielt einige Begriffe für *a priori*, womit er meinte, diese Begriffe brauchten nicht im streng logischen Sinn *notwendige Wahrheiten* zu sein, das Denken sei jedoch ohne sie unmöglich: Sie seien »Grundlage unseres Denkens«. Kant veranschaulichte das an unserer Raumvorstellung, unserem Wissen vom dreidimensionalen nach den Regeln der euklidischen Theorie beschriebenen Raum. Er nahm an, wir würden mit diesem Wissen geboren. Aber wie Wissenschaftler inzwischen entdeckt haben, ist das Weltall kein euklidischer Raum. Heutzutage nehmen Naturwissenschaftler und Philosophen im allgemeinen an, daß sich selbst die grundlegendsten Aspekte menschlichen Denkens letztlich auf Beobachtungen der gegenständlichen Welt beziehen. Wahrscheinlich sind die Begriffe, die in unserer Seele den stärksten Eindruck hinterlassen, jene, von denen wir uns schwer vorstellen können, sie könnten anders sein – wie etwa der »gesunde Menschenverstand« und die Vernunft –, Begriffe,

die genetisch auf einer sehr tiefen Ebene in unseren Gehirnen verankert sind.

Es ist verlockend, darüber nachzudenken, ob Außerirdische, die sich unter ganz anderen Umständen entwickelten, unsere Auffassungen vom gesunden Menschenverstand oder auch nur die Art unseres Denkens teilen würden. Wenn es wirklich, wie einige Science-fiction-Schriftsteller erwogen haben, auf der Oberfläche eines Neutronensterns Leben gibt, könnten wir weder wissen, wie solche Wesen ihre Welt wahrnehmen, noch was sie über die Welt denken. Die Auffassung, die ein Außerirdischer von Vernunft hat, könnte sich sehr von unserer unterscheiden; vielleicht ließen sich diese Wesen gar nicht von dem überzeugen, was wir für eine vernünftige Überlegung halten.

Sollten wir deshalb dem menschlichen Denken mißtrauen? (Sind wir übermäßig chauvinistisch oder engstirnig, wenn wir annehmen, wir könnten das Gedankenmuster des *Homo sapiens* erfolgreich auf die großen Seinsfragen anwenden? Nicht unbedingt. Unsere Denkprozesse haben sich gerade so entwickelt, wie sie sind, weil sie etwas vom Wesen der Welt widerspiegeln, in der wir leben. Das menschliche Denken vermittelt erstaunlich erfolgreich ein Verständnis für jene Teile der Welt, die unserer Wahrnehmung nicht direkt zugänglich sind.) Es überrascht vielleicht nicht, wenn der menschliche Verstand die Gesetze herleiten kann, die für fallende Körper gelten, weil das Gehirn Strategien entwickelt hat, wie wir ihnen ausweichen können. Aber haben wir das Recht zu erwarten, daß sich diese Denkweisen auch bewähren, wenn es zum Beispiel um Kernphysik oder Astrophysik geht? Die Tatsache, daß sie sich sogar »irrsinnig«, also über alle Vernunft hinaus, gut bewähren, ist eines der großen Geheimnisse der Welt, die ich in diesem Buch erforschen möchte.

Jetzt stellt sich jedoch eine andere Frage. Nehmen wir an, menschliches Denken könnte etwas von der Struktur der Welt erfassen. Wäre es dann richtig zu sagen, daß die Welt eine Ausdrucksform der Vernunft ist? Wir verwenden das Wort »rational« im Sinne von »in Übereinstimmung mit der Vernunft«, deshalb fragen wir danach, ob oder in welchem Maße die Welt rational ist. Die Naturwissenschaft hofft zuversichtlich,

die Welt sei in allen ihren beobachtbaren Aspekten rational. (Möglicherweise gibt es Facetten der Wirklichkeit, die jenseits der Macht menschlichen Denkens liegen. Das bedeutet nicht, daß diese Facetten notwendig irrational sind.) Bewohner von Neutronensternen (oder Supercomputer) verstehen vielleicht Dinge, die uns aufgrund der Struktur unserer Gehirne unzugänglich sind. Wir müssen also vor der Möglichkeit auf der Hut sein, daß es Dinge gibt, deren Erklärungen wir niemals begreifen können, und vielleicht auch manche, die gar keine Erklärungen haben.

In diesem Buch vertrete ich die optimistische Sichtweise, daß menschliches Denken im allgemeinen vernünftig ist. Tatsächlich vertreten Menschen besonders in bezug auf Religion Ansichten, die man für irrational halten könnte. Deshalb müssen sie natürlich noch lange nicht falsch sein. Vielleicht gibt es einen Weg zum Wissen (wie etwa Mystik oder Offenbarung), der menschliches Denken umgeht oder überschreitet? Als Wissenschaftler möchte ich lieber der menschlichen Vernunft vertrauen, bis ich an ihre Grenzen komme. An den Grenzen von Vernunft und Denken stoßen wir sicherlich auf Geheimnisse und Ungewißheit; mit großer Wahrscheinlichkeit wird vernünftiges Denken von einem bestimmten Stadium an entweder durch irrationalen Glauben oder reinen Agnostizismus ersetzt werden.

Nehmen wir an, die Welt sei, jedenfalls zu einem großen Teil, rational. Was ist dann der Ursprung dieser Rationalität? Die Welt kann nicht allein in unseren Sinnen bestehen, denn unser Geist spiegelt lediglich das schon Vorhandene. Sollten wir die Erklärung in einem vernünftigen Schöpfer suchen? Oder kann die Rationalität sich durch die reine Kraft ihrer eigenen »Vernünftigkeit« selbst erschaffen? Könnte es andererseits sein, daß die Welt »im Großen« irrational ist, wir aber eine Oase scheinbarer Rationalität bewohnen, weil das der einzige »Platz« ist, an dem sich bewußte, vernünftige Wesen befinden können? Um solchen Fragen weiter nachzugehen, betrachten wir nun die unterschiedlichen Weisen vernünftigen Denkens genauer.

Gedanken über das Denken

Es gibt zwei sehr hilfreiche Arten logischer Überlegungen, und es ist wichtig, sie gut zu unterscheiden. Die erste ist die sogenannte »Deduktion«. Sie beruht auf strengen logischen Regeln. Nach der üblichen Logik sind Aussagen wie »Ein Hund ist ein Hund« und »Alles ist entweder ein Hund oder nicht« wahr, während andere, etwa »Ein Hund ist kein Hund« für falsch gehalten werden. (Eine Deduktion beginnt mit einer Reihe von Annahmen, sogenannten »Voraussetzungen«. Diese sind Aussagen oder Bedingungen, die für die Zwecke der Überlegung für wahr gehalten werden.) Offensichtlich sollten die Voraussetzungen untereinander widerspruchsfrei sein.

Man nimmt im allgemeinen an, in einer logisch deduktiven Überlegung enthielte die Schlußfolgerung nicht mehr als die ursprünglichen Voraussetzungen, so daß sich mit Hilfe einer solchen Überlegung also niemals etwas völlig Neues beweisen läßt. Denken wir zum Beispiel an die als »Syllogismus« bekannte Herleitungsreihe

1. Alle Junggesellen sind Männer.
2. Alex ist ein Junggeselle.
3. Also ist Alex ein Mann.

Die dritte Aussage sagt uns nicht mehr als die beiden Aussagen 1 und 2. So gesehen werden bei einer logischen Herleitung eigentlich nur Daten oder komplexe Begriffssysteme so umgeformt, daß sie in einer interessanteren oder brauchbareren Form dargestellt werden.

Wenn die deduktive Logik auf eine komplexe Menge von Begriffen angewendet wird, können die Schlüsse oft überraschend oder unerwartet sein, selbst wenn sie nur ein Ergebnis der ursprünglichen Voraussetzungen sind. Ein gutes Beispiel dafür liefert die Geometrie; sie beruht auf Voraussetzungen, sogenannten »Axiomen«, den Bausteinen des großen Gebäudes der mathematischen Geometrie. Im dritten vorchristlichen Jahrhundert zählte der griechische Geometer Euklid fünf Axiome auf, auf denen die herkömmliche Schulgeometrie gründet; zu ihnen gehören solche Sätze wie: »Durch je zwei Punkte gibt es eine und nur eine Gerade.« Mit Hilfe der deduktiven Logik lassen sich aus

diesen Axiomen alle geometrischen Sätze herleiten, die wir in der Schule gelernt haben. Ein solcher Satz wird Pythagoras zugeschrieben. Selbst wenn er nicht mehr Information gibt als die euklidischen Axiome, aus denen er hergeleitet wurde, ist er doch sicherlich nicht offensichtlich.

Eine deduktive Überlegung ist nur so gut wie die Voraussetzungen, auf denen sie gründet. So beschlossen beispielsweise Mathematiker im neunzehnten Jahrhundert, die Folgen zu untersuchen, die ein Verzicht auf Euklids fünftes Axiom hätte. Dieses Axiom besagt, man könne durch jeden Punkt zu einer gegebenen Geraden eine Parallele zu dieser Geraden ziehen. Die sich daraus ergebende »nichteuklidische Geometrie« erwies sich für die Naturwissenschaften als außerordentlich nützlich. Einstein verwandte sie in seiner allgemeinen Relativitätstheorie (einer Theorie der Schwerkraft). Wie schon gesagt, wissen wir heute, daß die euklidische Geometrie in der wirklichen Welt im Großen nicht zutrifft: Grob gesagt wird der Raum durch die Schwerkraft gekrümmt. Die euklidische Geometrie wird immer noch in der Schule unterrichtet, weil sie in den meisten Fällen eine sehr gute Näherung darstellt. Wir lernen jedoch aus diesem Beispiel, daß es unklug wäre, ein Axiom für so selbstverständlich richtig zu halten, daß es nicht auch anders sein könnte.

Logische Deduktionen, darüber herrscht im allgemeinen Übereinstimmung, sind die sicherste Form der Beweisführung; es sollte jedoch erwähnt werden, daß selbst der Gebrauch der gewöhnlichen Logik in Frage gestellt worden ist. In der sogenannten Quantenlogik gilt die Regel nicht mehr, wonach etwas nicht sowohl sein als auch nicht sein kann. Der Begriff »Sein« ist dort subtiler als in der alltäglichen Erfahrung: Physikalische Systeme können Überlagerungen alternativer Zustände sein.

Eine andere Form des logischen Schließens, die wir alle verwenden, ist die »Induktion«. Wie die Deduktion geht die Induktion von Fakten oder Annahmen aus und leitet aus ihnen Schlüsse her, aber sie tut das durch Verallgemeinerung und nicht durch schrittweise Überlegung. Die Vorhersage, daß die Sonne morgen aufgehen wird, ist ein Beispiel für einen induktiven Schluß; er beruht auf der Tatsache, daß die Sonne erfahrungsgemäß jeden Tag getreulich aufgegangen ist. Wenn ich einen

schweren Körper loslasse, erwarte ich aufgrund meiner früheren Erfahrungen mit der Schwerkraft, daß er fällt. Wissenschaftler verwenden induktive Schlüsse, wenn sie Hypothesen aufstellen, die auf einer begrenzten Anzahl von Beobachtungen oder Versuchen beruhen. Physikalische Gesetze beispielsweise sind von dieser Art. Das Gesetz, wonach die elektrische Kraft proportional ist zum Reziproken des Abstands der beiden Körper, wurde auf viele Weisen überprüft und immer bestätigt. Wir nennen es ein Gesetz, weil wir auf der Grundlage der Induktion diese Abhängigkeit vom reziproken Quadrat des Abstands immer für gültig halten. Wenn auch noch niemand eine Verletzung dieses Gesetzes beobachtet hat, so ist damit jedoch nicht bewiesen, daß es auf dieselbe Weise wahr sein muß, wie der Satz des Pythagoras wahr sein muß, wenn die Axiome der euklidischen Geometrie gelten. Unabhängig davon, in wie vielen Einzelfällen das Gesetz überprüft wird, können wir niemals absolut sicher sein, daß es unfehlbar gilt. Mit Hilfe der Induktion können wir nur schließen, daß das Gesetz mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auch bei der nächsten Überprüfung bestätigt werden wird.

Der Philosoph David Hume warnte vor induktiven Schlüssen. Wenn auch die Sonne immer pünktlich aufgegangen ist und das Kraftgesetz immer bestätigt wurde, so könnte das doch in Zukunft auch anders sein. Diese Überzeugung beruht auf der Annahme, daß »der Lauf der Natur immer und beständig gleich bleibt.« Was aber rechtfertigt diese Annahme? Sicher, ein Zustand *B* (z. B. Morgendämmerung) könnte immer nach einem Zustand *A* beobachtet werden (z. B. Abenddämmerung), aber man sollte nicht daraus ableiten, daß *B* auf *A* folgen muß. Wir können uns sicherlich eine Welt vorstellen, in der *A* eintritt, *B* aber nicht. Könnte es eine andere Notwendigkeit geben, eine gleichsam natürliche Notwendigkeit? Hume und seine Anhänger streiten das ab.

Für das deduktive Denken sind induktiv gezogene Schlüsse zweifellos niemals absolut sicher, obwohl der »gesunde Menschenverstand« auf Induktion beruht. Wenn induktive Schlüsse so oft erfolgreich sind, beruht das auf einer (bemerkenswerten) Eigenschaft der Welt, die sich »Treue der Natur« nennen ließe. Wir können alle durchs Leben gehen und Überzeugungen über

die Welt (etwa die Unvermeidlichkeit des Sonnenaufgangs) vertreten, zu denen wir induktiv gekommen sind und die für völlig vernünftig gehalten werden, die aber nicht auf deduktiver Logik beruhen, sondern darauf, wie die Welt zufällig ist. Und wie wir sehen werden, gibt es keinen logischen Grund, warum die Welt nicht auch anders hätte sein können. Sie hätte auf eine Weise chaotisch sein können, die induktive Verallgemeinerungen unmöglich macht.

(Die moderne Philosophie wurde stark von der Arbeit Karl Poppers beeinflußt; seiner Meinung nach verwenden Naturwissenschaftler in der Praxis selten induktive Schlüsse der beschriebenen Art. Wenn eine neue Entdeckung gemacht wird, neigen Naturwissenschaftler dazu, rückwärts zu denken, um Hypothesen zu konstruieren, die mit dieser Entdeckung verträglich sind, und dann weiter über andere Folgen aus diesen Hypothesen nachzudenken, die sich ihrerseits im Experiment überprüfen lassen. Wenn sich eine von diesen Vorhersagen als falsch herausstellt, muß die Theorie abgeändert oder aufgegeben werden. Die Betonung liegt also auf der Falsifizierung, nicht auf der Verifizierung. Eine gute Theorie ist eine, die der Falsifizierung zugänglich ist und die sich deshalb auf viele detaillierte und spezielle Weisen überprüfen läßt. Wenn die Theorie diese Prüfungen besteht, wird unser Vertrauen in die Theorie bestärkt. Eine zu vage oder allgemeine Theorie, die nur über solche Umstände Vorhersagen macht, die wir nicht überprüfen können, weil sie außerhalb unserer Reichweite liegen, hat wenig Wert.

In der Praxis also läuft menschliches Denken nicht immer über deduktive und induktive Schlußfolgerungen ab. Der Schlüssel für wissenschaftlichen Fortschritt steckt oft in solchen Sprüngen der Eingebung. Eine wichtige Tatsache oder Vermutung fällt uns in den Schoß; wir finden erst später eine Begründung und Rechtfertigung. Wie es zur Eingebung kommt, bleibt ein Geheimnis, das uns vor viele Fragen stellt. Haben Gedanken eine Art unabhängiger Existenz? Werden sie von einem empfänglichen Wesen von Zeit zu Zeit »entdeckt«? Oder ist die Eingebung eine Folge ganz normalen Denkens, das sich tief im Unbewußten abspielt und erst dann ins Bewußtsein gelangt, wenn der Denkvorgang abgeschlossen ist?) Und wann hat sich

diese Fähigkeit entwickelt, falls das der Fall ist? Welche biologischen Vorteile kann mathematische und künstlerische Eingebung den Menschen bringen?

Eine rationale Welt

Die Behauptung, die Welt sei rational, hängt damit zusammen, daß sie geordnet ist. Ereignisse geschehen im allgemeinen nicht willkürlich, sondern hängen irgendwie miteinander zusammen. Die Sonne geht pünktlich auf, weil sich die Erde regelmäßig dreht. Wenn ein Körper fällt, hat das damit zu tun, daß er zuvor in einer gewissen Höhe losgelassen wurde, und so weiter. Es ist diese Beziehung zwischen Ereignissen, aus der wir unsere Vorstellung von Verursachung herleiten. Das Fenster zerbricht, weil ein Stein dagegen geworfen wurde. Die Eiche wächst, weil eine Eichel eingepflanzt wurde. Das unvermeidliche Zusammentreffen kausal verknüpfter Ereignisse ist uns so vertraut geworden, daß wir dazu neigen, den Körpern selbst eine Macht der Verursachung zuzuschreiben: Der Stein besorgt die Zerstörung des Fensters. Aber damit wird materiellen Dingen eine wirkende Kraft zugeschrieben, die ihnen gar nicht zukommt. Wir können eigentlich nicht mehr sagen, als daß zum Beispiel zwischen Steinen, die auf Fenster zufliegen, und zerbrochenem Glas eine Beziehung besteht. Ereignisse, die solche Folgen bilden, sind also nicht voneinander unabhängig. Wenn wir alle Ereignisse in einem bestimmten Raumbereich über einen bestimmten Zeitraum hinweg aufzeichnen könnten, würden wir bemerken, daß diese Aufzeichnungen eine Struktur aufweisen, die eine »kausale Verbindung« darstellt. Wir schließen aus der Existenz dieser Strukturen auf die rationale Ordnung der Welt. Ohne sie gäbe es nur Chaos.

Mit dem Begriff der Kausalität ist der Begriff des Determinismus eng verknüpft. In seiner modernen Form ist dies die Annahme, Ereignisse seien durch andere, frühere Ereignisse bestimmt. Dem Determinismus entspricht die Vorstellung, daß der Zustand der Welt in einem vorgegebenen Augenblick ausreicht, ihren Zustand in einem späteren Augenblick festzulegen. Und

weil dieser spätere Zustand die jeweils auf ihn folgenden Zustände festlegt, schließt man, alles, das je in der Zukunft passieren wird, sei durch den jetzigen Zustand vollkommen bestimmt. Als Isaac Newton im siebzehnten Jahrhundert seine Gesetze der Mechanik aufstellte, war der Determinismus von selbst in ihnen enthalten. Es genügt zum Beispiel bei seiner Beschreibung des Sonnensystems als einem isolierten System, die Positionen und Geschwindigkeiten der Planeten in einem bestimmten Augenblick zu kennen, um (aufgrund der Newtonschen Gesetze) ihre Positionen und Geschwindigkeiten zu allen späteren Zeiten berechnen zu können. Außerdem zeichnen Newtons Gesetze keine Zeitrichtung aus, deshalb läßt sich die Aussage auch umkehren: Die Kenntnis des jetzigen Zustands genügt zur Festlegung aller früheren Zustände. Auf diese Weise können wir zum Beispiel zukünftige Sonnenfinsternisse vorhersagen und vergangene berechnen.

Wäre die Welt streng deterministisch, ließen sich alle Ereignisse in ein Netz von Ursache und Wirkung einordnen. Vergangenheit und Zukunft wären dann in dem Sinn in der Gegenwart enthalten, daß die Information, die zur Konstruktion der vergangenen und zukünftigen Zustände der Welt nötig ist, genauso starr in ihrem jetzigen Zustand steckt wie die Information über den Satz des Pythagoras in den Axiomen der euklidischen Geometrie. Der ganze Kosmos ist dann eine gigantische Maschine oder ein Uhrwerk, das sklavisch einem Weg folgt, der schon am Beginn der Zeit festgelegt wurde. Ilya Prigogine hat das poetischer ausgedrückt, als er sagte, Gott sei auf einen bloßen Archivar reduziert, der die Seiten eines schon geschriebenen kosmischen Geschichtsbuchs umblättere.¹

Den Gegensatz zum Determinismus stellt der Indeterminismus oder Zufall dar. Wir sagen, ein Ereignis sei »rein zufällig« passiert, wenn es nicht offensichtlich durch etwas anderes bestimmt wurde. Vertraute Beispiele dafür sind das Würfeln oder das Werfen einer Münze. Aber sind diese Beispiele für echte Unbestimmtheit, oder bleiben uns lediglich die das Ergebnis bestimmenden Faktoren und Kräfte verborgen, und scheinen sie uns nur deshalb zufällig zu sein?

Bis zu diesem Jahrhundert hätten die meisten Naturwissen-

schaftler diese Frage mit Ja beantwortet. Sie nahmen an, die Welt sei im Grunde streng deterministisch und das Auftreten von Zufall einzig das Ergebnis unserer Unkenntnis der Einzelheiten des betrachteten Systems. Wenn die Bewegung eines jeden Atoms bekannt wäre, so überlegten sie, würde selbst das Werfen einer Münze vorhersagbar. Wenn das Ergebnis in der Praxis nicht vorhersagbar ist, so deshalb, weil uns nur begrenzte Informationen über die Welt zur Verfügung stehen. Zufälliges Verhalten wird auf Systeme zurückgeführt, die höchst instabil sind und deshalb von winzigen Schwankungen der Kräfte abhängen, die sie von ihrer Umgebung erfahren.

Dieser Gesichtspunkt mußte Ende der zwanziger Jahre aufgegeben werden, weil die Entwicklung der Quantenmechanik, die mit Phänomenen atomarer Größenordnung zu tun hat, zeigte, wie fest die Unbestimmtheit in ihr Fuß gefaßt hat. Eine Ausdrucksform dieser Unbestimmtheit ist als Heisenbergs Unschärfeprinzip bekannt. Grob gesprochen besagt es, daß alle meßbaren Größen unvorhersagbaren Schwankungen unterliegen und ihre Werte deshalb unbestimmt sind. Um diese Unbestimmtheit quantitativ zu erfassen, werden beobachtbare Größen miteinander gepaart: Ort und Impuls bilden ein Paar, Energie und Zeit ein anderes. Eine genaue Messung des Ortes eines Teilchens, etwa eines Elektrons, hat die Wirkung, daß sein Impuls höchst unscharf wird und umgekehrt. Weil man aber sowohl den Ort als auch den Impuls aller Teilchen eines Systems genau kennen muß, wenn man seine zukünftigen Zustände vorhersagen will, setzt das Heisenbergsche Unschärfeprinzip der Vorstellung ein Ende, die Gegenwart bestimme die Zukunft genau vorher. Natürlich setzt dies voraus, daß die Quantenunschärfe in der Natur steckt und nicht nur das Ergebnis eines versteckten, tieferliegenden Determinismus ist. In den letzten Jahren sind eine Reihe von wichtigen Versuchen durchgeführt worden, die dies überprüft haben, und sie haben bestätigt, daß die Unschärfe in der Tat untrennbar zu Quantensystemen gehört. Das Weltall ist in seinen Grundlagen indeterministisch.)

Ist das Weltall schließlich doch irrational? Nein. Es gibt einen Unterschied zwischen den Zufälligkeiten in der Quantenmechanik und dem unbeschränkten Chaos eines irrationalen Univer-

sum. Obwohl es im allgemeinen in bezug auf die zukünftigen Zustände eines Quantensystems keine Gewißheit geben kann, sind doch die relativen Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Zustände vorgegeben. Man kann also die Wahrscheinlichkeit dafür angeben, daß zum Beispiel ein Atom in einem angeregten oder nicht angeregten Zustand ist, auch wenn das Ergebnis in einem bestimmten Fall unbekannt ist. Aufgrund dieser statistischen Gesetzmäßigkeit gehorcht die Natur in makroskopischen Größenordnungen, in denen Quanteneffekte gewöhnlich nicht bemerkbar sind, offensichtlich deterministischen Gesetzen.

Die Aufgabe des Physikers ist es, die in der Natur vorhandenen Strukturen aufzudecken und zu versuchen, sie mit einfachen mathematischen Schemen in Einklang zu bringen. Die Fragen, warum es Strukturen gibt und warum solche mathematischen Schemen möglich sind, liegen außerhalb des Bereichs der Physik und gehören zu einem Thema, das als Metaphysik bekannt ist.

Metaphysik: Wer braucht sie?

In der griechischen Philosophie bedeutete »Metaphysik« ursprünglich das, was nach der Physik kommt. Was später die *Metaphysik* des Aristoteles genannt wurde, folgte nämlich ohne eigene Überschrift seinem Buch über *Physik*. Aber schon bald bezeichnete man jene Themenbereiche als Metaphysik, die jenseits der Physik liegen (wir würden heute sagen, jenseits der Naturwissenschaften) und doch eine Bedeutung für wissenschaftliche Forschung haben könnten. Mit Metaphysik meinen wir also die Untersuchung von Fragen *zur* Physik (oder zur Naturwissenschaft im allgemeinen) im Gegensatz zum Gegenstand der wissenschaftlichen Forschung selbst. Herkömmlicherweise rechnet man zur Metaphysik all das, was nach Ursprung, Wesen und Ziel des Universums fragt, nach der Beziehung zwischen der Welt der Erscheinungen, wie sie sich unseren Sinnen darstellt, und der ihnen zugrundeliegenden »Wirklichkeit« und Ordnung, nach der Beziehung zwischen Geist und Materie und nach der Existenz des freien Willens. Offensichtlich

betreffen solche Fragen in besonderem Maße die Naturwissenschaften, aber die empirischen Wissenschaften allein könnten sie oder andere Fragen nach dem »Sinn des Lebens« wohl nicht beantworten.

Im achtzehnten Jahrhundert geriet das gesamte Denksystem der Metaphysik ins Wanken, als David Hume und Immanuel Kant es kritisch betrachteten. Diese Philosophen stellten nicht ein bestimmtes System in Frage, sondern sie zweifelten am Sinn der Metaphysik an sich. Hume behauptete, man könne nur jenen Gedanken einen Sinn geben, die direkt auf den Beobachtungen der Welt beruhen oder aus deduktiven Systemen wie der Mathematik folgen. Begriffe wie »Wirklichkeit«, »Geist« und »Stoff«, die angeblich irgendwie hinter den Größen liegen, die mit unseren Sinnen erfahrbar sind, tat Hume ab, weil sie nicht beobachtbar sind. Er wies auch Fragen nach Zweck oder Sinn des Weltalls oder dem Ort des Menschen in ihm zurück, weil er glaubte, keiner dieser Begriffe ließe sich vernünftig mit Dingen in Verbindung bringen, die wir wirklich beobachten. Diese philosophische Richtung wird »Empirismus« genannt, weil sie die Erfahrung als Grundlage all unseres Wissens sieht.

Kant akzeptierte die Annahme der Empiristen, wonach alles Wissen mit unseren Erfahrungen von der Welt beginnt, aber wie schon erwähnt, meinte er auch, Menschen sei ein Wissen angeboren, das Denken überhaupt erst ermögliche. Im Denkprozeß kämen danach zwei Komponenten zusammen: Sinnesdaten und Wissen *a priori*. Kant erkundete mit Hilfe seiner Theorie die Grenzen dessen, was Menschen aufgrund ihrer Möglichkeiten zur Beobachtung und zum kritischem Denken je zu wissen vermögen. Er kritisierte die Metaphysik, weil unsere Vernunft nur für den Bereich der Erfahrung gilt, also nur für die tatsächlich beobachteten Erscheinungen. Wir haben keinen Grund zur Annahme, daß sie sich auf einen hypothetischen Bereich anwenden läßt, der jenseits der Welt der wirklichen Erscheinungen liegt. Wir können, anders gesagt, über die Dinge nachdenken, die wir sehen, aber damit erfahren wir nichts über die Dinge an sich. Jeder Versuch, Theorien über eine »Wirklichkeit« aufzustellen, die hinter den Dingen der Erfahrung liegt, ist zum Scheitern verurteilt.)

sum. Obwohl es im allgemeinen in bezug auf die zukünftigen Zustände eines Quantensystems keine Gewißheit geben kann, sind doch die relativen Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen möglichen Zustände vorgegeben. Man kann also die Wahrscheinlichkeit dafür angeben, daß zum Beispiel ein Atom in einem angeregten oder nicht angeregten Zustand ist, auch wenn das Ergebnis in einem bestimmten Fall unbekannt ist. Aufgrund dieser statistischen Gesetzmäßigkeit gehorcht die Natur in makroskopischen Größenordnungen, in denen Quanteneffekte gewöhnlich nicht bemerkbar sind, offensichtlich deterministischen Gesetzen.

Die Aufgabe des Physikers ist es, die in der Natur vorhandenen Strukturen aufzudecken und zu versuchen, sie mit einfachen mathematischen Schemen in Einklang zu bringen. Die Fragen, warum es Strukturen gibt und warum solche mathematischen Schemen möglich sind, liegen außerhalb des Bereichs der Physik und gehören zu einem Thema, das als Metaphysik bekannt ist.

Metaphysik: Wer braucht sie?

In der griechischen Philosophie bedeutete »Metaphysik« ursprünglich das, was nach der Physik kommt. Was später die *Metaphysik* des Aristoteles genannt wurde, folgte nämlich ohne eigene Überschrift seinem Buch über *Physik*. Aber schon bald bezeichnete man jene Themenbereiche als Metaphysik, die jenseits der Physik liegen (wir würden heute sagen, jenseits der Naturwissenschaften) und doch eine Bedeutung für wissenschaftliche Forschung haben könnten. Mit Metaphysik meinen wir also die Untersuchung von Fragen *zur* Physik (oder zur Naturwissenschaft im allgemeinen) im Gegensatz zum Gegenstand der wissenschaftlichen Forschung selbst. Herkömmlicherweise rechnet man zur Metaphysik all das, was nach Ursprung, Wesen und Ziel des Universums fragt, nach der Beziehung zwischen der Welt der Erscheinungen, wie sie sich unseren Sinnen darstellt, und der ihnen zugrundeliegenden »Wirklichkeit« und Ordnung, nach der Beziehung zwischen Geist und Materie und nach der Existenz des freien Willens. Offensichtlich

betreffen solche Fragen in besonderem Maße die Naturwissenschaften, aber die empirischen Wissenschaften allein könnten sie oder andere Fragen nach dem »Sinn des Lebens« wohl nicht beantworten.

Im achtzehnten Jahrhundert geriet das gesamte Denksystem der Metaphysik ins Wanken, als David Hume und Immanuel Kant es kritisch betrachteten. Diese Philosophen stellten nicht ein bestimmtes System in Frage, sondern sie zweifelten am Sinn der Metaphysik an sich. Hume behauptete, man könne nur jenen Gedanken einen Sinn geben, die direkt auf den Beobachtungen der Welt beruhen oder aus deduktiven Systemen wie der Mathematik folgen. Begriffe wie »Wirklichkeit«, »Geist« und »Stoff«, die angeblich irgendwie hinter den Größen liegen, die mit unseren Sinnen erfahrbar sind, tat Hume ab, weil sie nicht beobachtbar sind. Er wies auch Fragen nach Zweck oder Sinn des Weltalls oder dem Ort des Menschen in ihm zurück, weil er glaubte, keiner dieser Begriffe ließe sich vernünftig mit Dingen in Verbindung bringen, die wir wirklich beobachten. Diese philosophische Richtung wird »Empirismus« genannt, weil sie die Erfahrung als Grundlage all unseres Wissens sieht.

Kant akzeptierte die Annahme der Empiristen, wonach alles Wissen mit unseren Erfahrungen von der Welt beginnt, aber wie schon erwähnt, meinte er auch, Menschen sei ein Wissen angeboren, das Denken überhaupt erst ermögliche. Im Denkprozeß kämen danach zwei Komponenten zusammen: Sinnesdaten und Wissen *a priori*. Kant erkundete mit Hilfe seiner Theorie die Grenzen dessen, was Menschen aufgrund ihrer Möglichkeiten zur Beobachtung und zum kritischem Denken je zu wissen vermögen. Er kritisierte die Metaphysik, weil unsere Vernunft nur für den Bereich der Erfahrung gilt, also nur für die tatsächlich beobachteten Erscheinungen. Wir haben keinen Grund zur Annahme, daß sie sich auf einen hypothetischen Bereich anwenden läßt, der jenseits der Welt der wirklichen Erscheinungen liegt. Wir können, anders gesagt, über die Dinge nachdenken, die wir sehen, aber damit erfahren wir nichts über die Dinge an sich. Jeder Versuch, Theorien über eine »Wirklichkeit« aufzustellen, die hinter den Dingen der Erfahrung liegt, ist zum Scheitern verurteilt.)

Obwohl die Metaphysik nach diesem Angriff unmodern wurde, weigerten sich einige Philosophen und Naturwissenschaftler, auf Vermutungen darüber zu verzichten, was hinter der Oberfläche der Welt der Erscheinungen liegen könnte. In den letzten Jahren jedoch belebten Fortschritte in der Grundlagenphysik, der Kosmologie und den Computerwissenschaften das Interesse an einigen der traditionellen metaphysischen Themen. Die Beschäftigung mit der »künstlichen Intelligenz« führte erneut zu einer Debatte über den freien Willen und das Leib-Seele-Problem. Die Urknalltheorie löste Spekulation über die Notwendigkeit eines Mechanismus aus, der das Weltall überhaupt erst entstehen ließ. Die Quantenmechanik zeigte auf, welche verborgene Zusammenhänge zwischen Beobachter und Beobachtungsgegenstand bestehen. Die Chaostheorie ließ erkennen, daß die Beziehung zwischen Beständigem und Veränderung keineswegs einfach ist.

Zusätzlich zu all diesen Entwicklungen begannen die Physiker, von Theorien für Alles zu reden – wonach sich alle physikalischen Gesetze zu einem einzigen mathematischen System zusammenfassen lassen. Die Aufmerksamkeit richtete sich damit auf das Wesen physikalischer Gesetze. Warum hatte die Natur sich für ein System entschieden und nicht für ein anderes? Warum überhaupt für ein mathematisches? Was war besonders an dem von uns beobachteten System? Könnte es in einem Universum, das durch ein anderes System beschrieben würde, überhaupt intelligente Beobachter geben?

Der Ausdruck »Metaphysik« erhielt damit die Bedeutung »Theorien über physikalische Theorien«. Plötzlich konnte man über »Klassen von Gesetzen« reden, nicht nur über tatsächlich für unser Universum geltende Gesetze. Die Aufmerksamkeit wandte sich hypothetischen Universen zu, deren Eigenschaften ganz anders waren als die unseres eigenen, weil man herausfinden wollte, ob an unserem Universum etwas Besonderes sei. Einige Theoretiker dachten darüber nach, ob es »Gesetze über Gesetze« gibt, mit deren Hilfe die Gesetze unseres Universums aus einer größeren Menge »ausgelesen« werden könnten. Einige waren bereit, die Existenz anderer Universen mit anderen Gesetzen in Erwägung zu ziehen.

In diesem Sinn betreiben Physiker sowieso schon lange Metaphysik. Es gehört zur Arbeit des mathematischen Physikers, gewisse idealisierte mathematische Modelle zu untersuchen, die spezielle enge Aspekte der Wirklichkeit, oft nur symbolisch, einfangen sollen. Diese Modelle spielen die Rolle von »Spielzeugwelten«, die sich als solche untersuchen lassen, manchmal einfach zum Spaß, gewöhnlich aber, um Licht auf die wirkliche Welt zu werfen, indem sie auf Eigenschaften hinweisen, die mehreren Modellen gemeinsam sind. Diese Spielzeugwelten tragen oft denselben Namen wie ihr Schöpfer. So gibt es die Thirringwelt, das Sugawara-Weltmodell, das Taub-NUT-Universum, das maximal ausgedehnte Kruskal-Universum und so weiter. Theoretiker arbeiten gern mit diesen Weltmodellen, weil sie sich im Gegensatz zu den meisten wirklichkeitsnäheren Modellen mathematisch exakt untersuchen lassen. Meine eigene Arbeit war vor etwa zehn Jahren größtenteils der Untersuchung von Quanteneffekten in Modelluniversen mit nur einer und nicht drei räumlichen Dimensionen gewidmet. Das vereinfachte die Probleme. Man hoffte dabei, einige der wesentlichen Kennzeichen des eindimensionalen Modells würden bei einer realistischen dreidimensionalen Behandlung erhalten bleiben. Meine Kollegen und ich erkundeten also hypothetische Universen, um Information über die Eigenschaften solcher physikalischen Gesetze zu erhalten, die Aufschluß über die Gesetze unseres Weltalls geben könnten.

Zeit und Ewigkeit: Das fundamentale Paradoxon der Existenz

Zeit ist wie Ewigkeit und Ewigkeit wie Zeit,
So du nur selber nicht machst einen Unterscheid.

Angelus Silesius

»Ich denke, also bin ich.« In diese wohlbekanntes Worte faßte der berühmte Philosoph René Descartes im siebzehnten Jahrhundert die seiner Meinung nach einfachste Aussage über die