

Inhalt

Vorwort: Vom Zauber des Wissens	7
1. Das Licht und seine Energie	11
2. Die Erde im Kosmos	26
3. Der Blick auf das Leben	41
4. <i>Homo sapiens</i> und sein Genom	58
5. Umwälzungen in der Geschichte	75
6. Menschen und Maschinen	92
7. Zeit für die Kunst oder Vom Wissen zur Wahrheit	109
Empfehlungen zum Weiterlesen	126
Personenregister	127

Ein Märchen aus unserer Zeit

In einem fernen Land lebte ein König, der eines Tages wissen wollte, was wirklich wichtig ist. Er rief seine Gelehrten zusammen und bat sie um Auskunft. Sie arbeiteten lange und emsig und legten bald eine Reihe aus Hundert Bänden vor. «Nein», sagte der König, «ich möchte das kürzer», und so rückten die Gelehrten erneut zusammen. Bald kehrten sie mit einem Buch zurück. «Nein», sagte der König, «ich möchte nur einen Satz.» – «Dann müssen wir den Weisen aus der Wüste fragen», verkündeten die Gelehrten. Sie gingen zu ihm, teilten ihm den Wunsch des Königs mit und vernahmen des Eremiten Antwort: «Alles wird vorübergehen.»

Vorwort: Vom Zauber des Wissens

«Wissen hat einen Zauber, den diejenigen nicht begreifen können, die von ihm nie ergriffen worden sind», schreibt Gottfried Wilhelm Leibniz in seinen «Essais de théodicée». Zum Glück haben jedoch viele Menschen Lust auf dieses magische Erleben, und so konnte das Wissen im Laufe der Geschichte «ein Verhalten, eine Leidenschaft» werden, wie Robert Musil seinen «Mann ohne Eigenschaften» bemerken lässt. Der wissensorientierte Mensch scheint dem österreichischen Schriftsteller geradezu unvermeidlich geworden, denn: «Man kann nicht nicht wissen wollen.» Dieser Gedanke ist so alt wie die Philosophie selbst; Aristoteles sieht das menschliche Streben nach Wissen gar in der Natur unserer Spezies angelegt und begründet es gleich im ersten Satz seiner «Metaphysik»: Menschen wollen etwas wissen, weil sie Vergnügen an der Welt dank ihrer Wahrnehmung empfinden. Sie heißt bei Aristoteles «aisthesis» und lässt etwas vom Zauber des Wissens anklingen. So wohnt dieser anthropologischen Grundkonstante also auch etwas Ästhetisches inne, und wer sich auf sie einlässt, erlangt – darf man dem mittelalterlichen Denker Albertus Magnus glauben – Glückseligkeit.

Wissen – und dies sei der Beitrag des Autors des vorliegenden kleinen Buches zum Thema – verschafft Freude und lässt einen Freunde finden. Wenn es mir gelingen sollte, dies als «Das wichtigste Wissen» zu vermitteln, dann hat mein Buch seinen Zweck vollauf erfüllt. Dabei spielt es eine ganz untergeordnete Rolle, Faktenwissen schwarz auf weiß nachzuschlagen oder anzuklicken, um es so «getrost nach Hause tragen» zu können, wie es vor 250 Jahren Goethe, die deutsche Allzweckwaffe für kluge Sprüche, mit feiner Ironie formuliert hat. Wichtig ist vielmehr, dass sich mit jedem *erzählbaren* Wissen ein Zauber entfaltet, der Lust auf mehr verbreitet, vielleicht sogar auf den einen oder

anderen Band in der Reihe des Wissens, in der dieser kleine Text erscheint.

Natürlich ist für jeden Einzelnen etwas anderes wichtig als für die Gemeinschaft der Menschen, die nicht zuletzt wissen will, welche Zukunft ihr bevorsteht, und dabei bemerkt, dass das künftige Leben von einem Wissen abhängt, das man erst noch suchen muss, bevor man es nutzen kann. Diese verantwortungsvolle Aufgabe wird nicht zuletzt den Naturwissenschaften zufallen, deren Werden und Wirken ein Gutteil dieses Bandes gewidmet ist. Doch wenn uns auch – wie der griechische Dichter Pindar schreibt – die Zukunft verhängt ist und die Menschen nicht wissen, wie sie leben *werden*, so wissen sie doch, dass sie in einer besseren Welt leben *wollen* – einer Welt, die sie selbst mit ihrem Wissen schaffen können, ohne dabei den Weg zu sich selbst aus den Augen verlieren zu dürfen.

Die Idee, «Das wichtigste Wissen» als Schöpfung des Menschen in sieben Kapiteln zu beschreiben, so wie die Bibel die Erschaffung der Welt in sieben Tagen erzählt, ist im Gespräch mit meinem Lektor Stefan von der Lahr vom Verlag C.H.Beck entstanden. Diese seit alters faszinierende Sieben-Zahl für die Gliederung einer Woche verdankt sich einer Einteilung, die vor Jahrtausenden in Mesopotamien – dem Land zwischen den Strömen Euphrat und Tigris – eingeführt worden ist. Diese Zeiteinteilung ist so wohl gelungen, als wäre sie eine göttliche Eingebung, und hat sich bis heute in der Welt gehalten. Bei der Gestaltung, Feingliederung und Messung der Zeit selbst haben – je später, desto mehr – Empirie, Wissenschaft und Technik geholfen, um schließlich unserem Leben mit immer mehr Maschinen seine gegenwärtige Prägung zu geben –, geradeso wie der Welt im Ganzen.

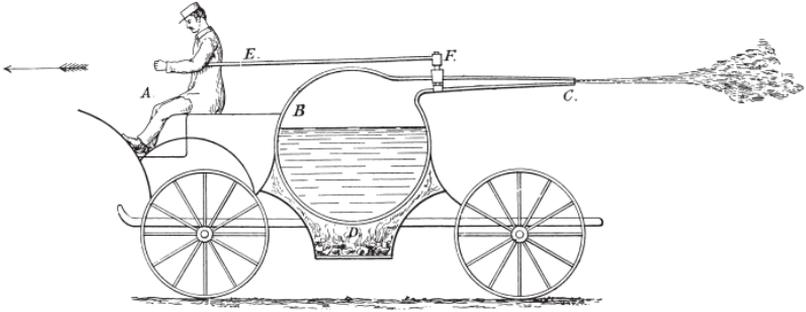
Inzwischen scheint die Welt gar selbst in einer Maschine angekommen zu sein, die die Menschen in ihrer Hand halten und aus der sie viel von dem Wissen beziehen, mit dem sie den Alltag bestreiten. Die Grundlage für dieses technische Wunderwerk und seine Zuhandenheit verdanken sie einer Wissenschaft, die dem Wissen im 20. Jahrhundert eine neue Qualität verleihen konnte. Gemeint ist die Physik, die im Bereich der Atome auf eine verschränkte Welt gestoßen ist. Ihre Teile existieren nicht

für sich, sondern als offene Gegebenheiten dank der Wechselwirkung mit der Umgebung – einer Umgebung, zu der auch die Menschen selbst gehören. Was sie mit ihrer Wissenschaft beschreiben, ist dann nicht mehr *die Welt*, sondern *das Wissen über sie*. Wissen ist Menschenwerk, und von seiner Erschaffung erzählt dieses Buch in sieben kurzen Kapiteln.

Was sich dabei vor allem zeigen wird, kann man durch den Satz ausdrücken: «Die Welt ist ein Ganzes, das gar keine Teile hat.» Diese treten nur deshalb hervor, weil sie Namen bekommen haben, damit man über sie reden kann. So ein Ganzes ist schon länger bekannt, denn – um noch einmal Goethe zu zitieren – «Bezüge sind alles», und er spitzt diese Erkenntnis in einem Brief an seinen Freund Carl Friedrich Zelter weiter zu: «Bezüge sind das Leben.» Diese Sichtweise bestätigt die moderne Biologie, wenn sie ihren Blick von den einzelnen Genen auf das gesamte Erbgut (Genom) mit seinen Wechselwirkungen lenkt. Dabei tritt der Mensch nicht mehr als Individuum, sondern als dynamische Einheit aus eigenen Zellen und fremden Lebensformen hervor.

Beziehungen aber prägen auch die Geschichte, wie der Literaturwissenschaftler Ernst Robert Curtius im vergangenen Jahrhundert erkannt hat, als er «Elemente der Bildung» betrachtete und mit ihrer Hilfe durchschaute, dass nicht einmal eine Untergrundbahn fahren würde, wenn Menschen nicht zuvor den Himmel betrachtet hätten. Welch eine Transformation von Wissen! Doch: «Jedes Wissen muss zugleich ein Verändern sein» –, und so zeigt sich Curtius davon wenig überrascht, wenn er das Wesen von Bildung durchdenkt, die stets einen Prozess mit dem Bilden von immer neuen Formen meint. Das Wissen verändert die Menschen – jeden Einzelnen und alle zusammen –, und die Menschen verändern mit ihrem Wissen die Welt. Sie können nicht anders – denn sie können, wie bereits zitiert, «nicht nicht wissen wollen». Es ist ein gleichermaßen schmerzlicher wie lustvoller Erkenntnisprozess, dabei zu lernen, dass die Geheimnisse der Welt mit zunehmendem Wissen nicht abnehmen, sondern an Tiefe gewinnen. Wer dies begreift und verinnerlicht, wird mehr Ehrfurcht vor der Schöpfung und ihren Elementen bekommen

und mehr Rücksicht auf die Welt und seine Mitmenschen nehmen. Vielleicht offenbart sich auf diese Weise dann tatsächlich das wichtigste Wissen.



D-Auto oder E-Auto, das ist hier die Frage! Wie anregend Wissen auf die menschliche Phantasie wirken kann, belegt eine Planskizze aus dem 19. Jahrhundert für einen dampfgetriebenen Wagen, der auf einer Idee von Sir Isaac Newton (1643–1727) beruht.

1. Das Licht und seine Energie

Am Anfang lag Finsternis über der Urflut, und der Geist Gottes schwebte über dem Wasser. So steht es im Ersten Buch Mose, und so kann man es glauben und erzählen. Wissen sollte man aber, was die Physik seit dem 19. Jahrhundert in ihrem Ersten Hauptsatz erkannt hat, dass nämlich die Welt von ihrem Beginn an mit Energie gesegnet und gefüllt gewesen sein muss. Energie macht ihr Sein aus. Sie ist unzerstörbar, wie sich die Einsicht auch ausdrücken lässt, der zufolge die Energie der Welt konstant bleibt, während sie ihre Erscheinungsformen wechselt und etwa Wärme in Bewegung verwandelt wird oder umgekehrt. Und während die Energie erhalten bleibt, verändert sie mit ihrer variablen Form die Welt, ohne dabei von der geheimnisvollen Zeit zu lassen, in der sich ihr Wirken entfaltet.

Mit den Worten «Es werde Licht!», wurde der Energie befohlen, sichtbar zu werden. Die biblischen Erzähler konnten nicht wissen, dass die für Augen wahrnehmbaren Strahlen mit dem Spektrum ihrer Farben nur einen winzigen Ausschnitt des gesamten Lichts bilden, von dem Physiker heute Kenntnis haben. Im Laufe der Geschichte ist es gelungen, immer mehr unsichtbare Lichtenergie aufzuspüren, die für das menschliche Auge nicht wahrnehmbar ist. Diese Beobachtungen ziehen kulturelle Folgen nach sich, denn die Welt ist dadurch nicht mehr so, wie sie sich im äußeren Licht der Sonne zeigt. Sie ist vielmehr so, wie sie im inneren Licht der Phantasie erscheinen kann. Die Welt wird zur Erfindung von Menschen, was sich in der Wissenschaft in abstrakten Theorien – etwa denen von Albert Einstein – und in der Kunst in abstrakten Bildern – etwa denen von Pablo Picasso – zeigt.

Die Entdeckung von unsichtbarem Licht beginnt im 19. Jahrhundert mit der Wärmestrahlung und im Bereich des Ultravioletten; sie setzt sich mit dem Röntgenlicht über die Radiowellen

fort und reicht bis zu den energiereichen Strahlen, die radioaktive Atome aussenden, wenn sie sich spontan wandeln, wobei aus dem Element Uran zum Beispiel Radium werden kann. Mit dieser Beobachtung des Zerfalls verloren die Atome erstmals ihren Nimbus der Unteilbarkeit, über den sie seit der Antike verfügten. Diese Vorstellung musste endgültig aufgegeben werden, als kurz vor Beginn des 20. Jahrhunderts der Nachweis gelang, dass Atome kleinere Einheiten namens «Elektronen» beherbergen, die sich aus ihnen lösen lassen: Atome sind teilbar, ohne dass man aufgehört hätte, sie weiter «unteilbar» – *átomos* – zu nennen. Eine lässliche Sünde sprachlicher Ungenauigkeit: Schwärmen doch Menschen auch nach wie vor von Sonnenuntergängen, obwohl sie seit Jahrhunderten wissen (können), dass es die Drehung der Erde ist, die sie abends besonders deutlich wahrnehmen, wenn sich der Horizont vor die Sonne schiebt; und sie machen sich ebenfalls kaum klar, dass sie die Hälfte ihres Lebens mit dem Kopf nach unten im Weltall hängen und deshalb gar nicht wissen, wo oben und wo unten ist.

Im 20. Jahrhundert wurden die Atome zweigeteilt, nämlich in einen Kern, in dem der Großteil ihrer Masse steckt, und die ihn umtanzenden Elektronen, die ihre Bewegungsenergie in Licht verwandeln können. Dieser Vorgang lässt sich zwar berechnen, aber damit versteht man noch nicht, wie er tatsächlich abläuft. Es weiß auch niemand so genau, wie die ebenfalls kalkulierbare Energie im Inneren der Sonne entsteht, die nach ihrer Lichtwerdung die Erde erreicht und das Leben auf dem Planeten versorgt. Man weiß allerdings, dass dabei Wasserstoffatome zu Helium fusionieren und so die Wärme produzieren, die allmählich nach außen wandert und als Strahlung in das All entlassen wird. Die Energiebilanz dieses Geschehens lässt sich berechnen, seit Albert Einstein 1905 den unheimlich wirkenden Zusammenhang bemerkt hat, der sich mit der Gleichung $E = mc^2$ ausdrücken lässt. Die Energie E in einer Masse m ergibt sich, wenn man sie mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit c multipliziert, was eine immens große Zahl ergibt, da Licht mit knapp 300 000 km/sec unterwegs ist und nur etwas mehr als eine Sekunde bis zum Mond braucht.

Die Formel $E = mc^2$ bringt erstaunliche Konsequenzen mit sich, zum Beispiel dann, wenn mit immer größerem Energieaufwand immer kleinere Teilchen zertrümmert werden sollen. Bei diesen Vorgängen kann sich die eingesetzte Energie zuletzt materialisieren, so dass die Stücke im Verlauf des Teilens paradoxerweise nicht kleiner, sondern größer werden. Und als Chemiker im Jahre 1938 die Versuche fortsetzten, die zuvor von der durch die Nationalsozialisten vertriebenen Physikerin Lise Meitner begonnen worden waren und in denen sie Neutronenstrahlen auf Uransalze gelenkt hatte, bemerkte Otto Hahn, dass dabei das Element Uran in Barium verwandelt wurde. Er informierte Lise Meitner, die im Exil ausrechnen konnte, dass bei dieser Kernspaltung etwas Besonderes passiert sein musste. Bariumatome verfügen über weniger Masse als das Uran, was bedeutete, dass bei seiner Umwandlung Energie frei geworden war. Lise Meitner konnte mit Einsteins Gleichung $E = mc^2$ als Erste zu Weihnachten 1938 ausrechnen, dass sich mit diesem Prozess ein gefährlich helles Licht entzünden lässt. Es strahlte bald *Heller als tausend Sonnen* aus den Atombomben, die bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs erst gebaut und dann auch eingesetzt wurden.

Als Einstein die Äquivalenz von Masse und Energie erkannte, wussten die Physiker viel zu wenig von Atomen, um an Bomben zu denken. Zur historischen Wahrheit gehört weiter, dass Einstein gar nicht wissen wollte, wie viel Energie in Masse steckt. Ihn interessierte umgekehrt, wie sich die Trägheit eines Körpers ändert, wenn sein Energiegehalt steigt. Seine Gleichung sollte daher besser in der Form $m = E/c^2$ geschrieben werden, was natürlich weniger spektakulär ist.

1905 wird gerne als Einsteins Wunderjahr bezeichnet, weil er damals fünf große Arbeiten vorlegte, die alle den Nobelpreis verdient hätten. Bekommen hat er ihn für einen Vorschlag, den er selbst als revolutionär bezeichnet hat und der vom Licht handelt, genauer von dessen Verwandlung in Strom, was man als photoelektrischen Effekt untersucht und nicht verstanden hatte. Bei der Bestrahlung von Metallen geraten offenbar deren Elektronen in Bewegung, und das liegt weniger an der Intensität des

einfallenden Lichts und mehr an dessen Frequenz. So harmlos dieser Befund klingt, so revolutionierte Einstein mit seiner Hilfe doch die Physik, wobei er nach seiner Deutung des Geschehens meinte, jeden Boden unter den Füßen verloren zu haben.

Als der noch unbekannte Einstein sich den photoelektrischen Effekt vornahm und damit das Wechselspiel von Licht und Materie ins Auge fasste, gab es eine Gewissheit in seiner Wissenschaft, die er bald opfern musste – worauf gleich einzugehen sein wird –, und eine Neuerung, die vor ihm noch niemand ernst genommen hatte. Die Neuerung ging auf Max Planck zurück, der im Jahre 1900 einen folgenreichen Vorschlag unterbreitet hatte, um die Farben zu verstehen, in denen ein schwarzer Körper leuchtet, wenn er erhitzt wird. Nach jahrelangem erfolglosem Nachdenken über ein Strahlungsgesetz führte Planck in einem Akt der Verzweiflung in seine Wissenschaft das ein, was heute im Alltag sprachlich eher spielerisch als «Quantensprünge» gebraucht wird und in der Wissenschaft die Quantenmechanik entstehen ließ, die ein völlig neues Weltbild mit sich brachte und in ihrer Bedeutung für die Menschheit gar nicht hoch genug eingestuft werden kann.

Die Quantenmechanik handelt zunächst von Atomen und ihrem Licht. Sie hat aber zugleich nicht nur dem philosophischen Denken ein neues Terrain erschlossen, sondern auch technische Entwicklungen wie den Transistor ermöglicht, die inzwischen den Alltag durchdringen und massiv zur globalen Wirtschaft beitragen. Die Quantenmechanik steht somit am Anfang einer phänomenalen Entwicklung der Naturwissenschaften. Sie stellt aber zugleich Höhepunkt und Abschluss für ein Denken dar, das eine neue Art von Wissen hervorgebracht hatte. Gemeint ist ein Wissen in Wahrscheinlichkeiten, das keine deterministischen, dafür aber statistische Gesetze der Natur kennt und Häufigkeiten und Verteilungen angibt. Natürlich gehört dieses Wissen heute zum Alltag – etwa wenn Wahlprognosen unternommen oder die Chancen auf Regen gemeldet werden –, aber vielen Menschen macht der Gedanke Mühe, dass nirgendwo verborgene Parameter zu finden sind, mit denen man doch noch genau vorhersagen könnte, wie etwa das Wetter wird. Die

Quantenmechanik kann nur die Wahrscheinlichkeit dafür angeben, wann etwa ein radioaktives Atom strahlt, wo ein Elektron zu finden ist und ob ein bestimmtes Lichtteilchen absorbiert oder reflektiert wird. Dieses bleibende statistische Element hat Einstein gefuchst und ihm den Satz entlockt, dass Gott nicht würfelt (als ob jemand dem Herrn im Himmel vorschreiben könnte, wie er was zu tun habe).

Auch Planck gefiel die Theorie nicht, die er 1900 in die Welt gebracht hatte, aber er versuchte, mit den irrationalen Quantensprüngen zu leben. Die wesentliche Neuerung bestand in der Idee, die Energie von emittiertem (ausgesandtem) Licht nicht mehr als ein kontinuierliches Strömen zu behandeln, sondern die Strahlen in individuelle Energiepakete zu zerlegen, die dem Licht einen partikulären Charakter gaben. Als Planck die Energie eines Lichtquantums proportional zu seiner Frequenz setzte, konnte er das Spektrum der Farben eines schwarzen Körpers perfekt vorhersagen. Aber statt zu triumphieren, wollte Planck den Geist des Diskreten, den er gerufen hatte, möglichst rasch wieder loswerden: Licht war doch eine kontinuierliche Welle, wie eine Gewissheit der Physik lautete, an der niemand zweifelte, am wenigsten Planck selbst. Sein Vertrauen und das der anderen Physiker – auch von Einstein bis zum Jahre 1905 – in das klassische Denken rührte von dem überragenden Erfolg des schottischen Physikers James Clerk Maxwell her, dem es nach 1870 gelungen war, bis dahin getrennt betrachtete elektrische und magnetische Felder in eine dynamische elektromagnetische Welle zu verwandeln. Maxwell stellte seinen Geniestreich in Form von vier Gleichungen vor, die heute auf T-Shirts zu finden sind, wobei ihnen noch die Worte vorangestellt werden: «Es werde Licht!» Tatsächlich, Maxwell hatte zeigen können, wie elektromagnetische Energie zu einer Wellenbewegung werden kann, die als Licht erscheint. Er konnte sogar die dazugehörige Geschwindigkeit ausrechnen, und das Ergebnis stimmte genau mit den Messwerten überein, die Heinrich Hertz am Ende des 19. Jahrhunderts vorlegen konnte. Die Welt der Physik schien in bester Ordnung – bis der lichtelektrische Effekt vermessen wurde und sich querstellte. Einstein löste den gordischen Kno-

ten, indem er sich nicht durch die Idee der Welle ablenken ließ und auf Plancks Vorschlag von diskreten Lichtquanten baute. Das heißt, Einstein unterbreitete den ungeheuerlichen Vorschlag, dem Licht eine doppelte Natur zuzuweisen und ihm zu erlauben, sich sowohl als Welle auszubreiten als auch in Form von Quantenteilchen zu zeigen. Man nennt sie inzwischen «Photonen» was so klingt wie Elektronen und beim ersten Hören den Eindruck macht, hier handele es sich um winzige Kügelchen. Doch Quantenteilchen darf man sich auf keinen Fall als gewöhnliche Partikel vorstellen. Einstein selbst hat von 1905 bis zu seinem Tod fünfzig Jahre später über die Frage gegrübelt, wie man sich die Natur dieser Lichtquanten vorstellen könne, ohne dass er einer Antwort auch nur ein Stückchen näher gekommen wäre. Er beklagte sich am Ende seines Lebens, dass inzwischen «jeder Lump» meine, er wisse, was Licht ist. Er irre sich aber gewaltig, wie der große Mann geschrieben hat, der längst seinen philosophischen Frieden mit der mysteriösen Doppelnatur gemacht und die Überzeugung gewonnen hatte: «Das Schönste, was [Menschen] erleben können, ist das Geheimnisvolle. Es ist das Grundgefühl, das an der Wiege von wahrer Wissenschaft und Kunst steht.» Und Einstein fügte dem Bekenntnis etwas hinzu: «Wer es nicht kennt und sich nicht mehr wundern, nicht mehr staunen kann, der ist sozusagen tot und sein Auge erloschen.» Das innere Licht der Erkenntnis zeigt, dass das äußere Licht der Welt ein Geheimnis ist und bleibt, und genau dies macht seinen Reiz und seine Schönheit aus. Die Wissenschaft verzaubert die Welt, wenn sich die Menschen offen zeigen und sich ihr nicht verschließen.

Die Dualität des Lichts wird philosophisch unter dem Begriff «Komplementarität» diskutiert, wie ihn Niels Bohr in die Physik eingeführt hat. Bohr neigte der Ansicht zu, dass es zu jeder Beschreibung der Natur eine zweite gibt, die der ersten zwar widerspricht, die aber gleichberechtigt mit ihr ist. Er sprach von komplementären Beschreibungen des Wissens, die beide richtig und nötig sind und durch ihre Spannung dafür sorgen, dass die Wahrheit ihr Geheimnis behält. In diesem Sinne hat Einstein gefunden, dass Licht eine komplementäre Beschreibung seiner

Natur erfordert, wobei anzumerken ist, dass diese Dualität mehr dem Geist der Romantik und weniger dem Denken der Aufklärung entspricht, auch wenn viele diesen Zusammenhang gerne übersehen.

Das Auftreten der «Romantik» mag überraschen, wenn es um Physik geht. Es ist aber relevant, und ein Grund findet sich in Einsteins Lichtdeutung, die ihn deshalb erschütterte, weil sich dabei völlig unerwartete Grenzen der Aufklärung in seiner Wissenschaft zeigten. Die Vertreter dieser Denkrichtung hatten sich im 18. Jahrhundert davon überzeugt gezeigt, dass diejenigen, die erst vernünftige Fragen über die Welt stellen – Was ist Licht? – und darauf vernünftige Antworten finden – Licht ist eine elektromagnetische Welle –, mit diesen Angaben über das Wissen verfügen, auf das es Menschen ankommt. In der Aufklärung war nicht vorgesehen, dass dabei Widersprüche auftreten, was Einstein aber 1905 erlebte. Diese Möglichkeit vorgesehen hatten die Vertreter der Romantik, die nach der Aufklärung kamen und in der Natur ein «Gesetz der Polarität» wirken sahen. Zum Tag gehört die Nacht, zum Mann die Frau, zum Teil das Ganze, zum Einatmen das Ausatmen, zum Bewussten das Unbewusste, dem Innen steht ein Außen gegenüber, Denken wird ergänzt durch Träumen, und vielen Menschen werden weitere Polaritäten einfallen, zu denen heute analog-digital und kontinuierlich-diskret gehören.

Einstein konnte die romantische Polarität konkret als Dualität des Lichts erfahren, wobei ihn fassungslos machte, dass es eine wissenschaftliche Frage war – die nach der Natur des Lichts –, die ohne eindeutige Antwort blieb. Sollte sie sich nicht in einem Experiment klären lassen? Wie sich herausstellte, ging genau dies nicht, denn wer Licht vermessen wollte, musste zuvor ein Opfer bringen und eine Wahl im Hinblick auf das treffen, was es zu erkunden galt – die Wellenlänge des Lichts oder den Weg, den es etwa durch einen Kristall genommen hat. Beides zusammen konnte nicht in einem Versuchsaufbau allein bestimmt werden, und getrennt vorgenommene Messungen ließen die Komplementarität (Polarität, Dualität) des Lichts und seiner Energie nur noch deutlicher hervortreten.

Erzählungen vom wissenschaftlichen Wissen sollten der Romantik auch deshalb Platz zugestehen, weil zum einen das Aufspüren von unsichtbarem Licht in der so bezeichneten Kulturo-epoche gelungen ist, weil damals zum Zweiten der Gedanke akzeptiert wurde, dass sichtbare Abläufe – wie das Fallen von Gegenständen – durch unsichtbare Kräfte – denen des Gravitationsfeldes der Erde – zu erklären sind, und weil schließlich in den romantisch orientierten Jahrzehnten die neben den Kräften lange unbemerkt gebliebene Energie endlich zu den Ehren kam, die sie verdient und inzwischen genießt. Physiker wie Isaac Newton haben um 1700 noch lieber von Kräften und Aktionen gesprochen, die man mehr oder weniger direkt beobachten kann, und erst um 1800 herum tauchte die Energie in der Physik auf, die dann im Verlauf des 19. Jahrhunderts zu einem wichtigen Faktor der sozialen Geschichte und sogar zum Leitmotiv der ganzen Epoche wurde. Er löste dabei «Die Verwandlung der Welt» aus, wie Historiker ausgearbeitet haben. Ohne Energie kann niemand mehr verstehen, wie die Gegenwart geworden ist und *alles seine Zeit* bekommen hat, wie es im Buch Kohelet in der Bibel heißt.

Zur Erinnerung: Das Wort «Energie» geht auf Aristoteles zurück, der die Wirklichkeit als etwas ansah, das immer wieder (kriert) werden muss. Zunächst existiert alles in Form einer Möglichkeit oder «dem Vermögen nach», wie es bei dem Philosophen heißt. Aristoteles gab der Wirkkraft, mit deren Hilfe eine «res potentia» (eine Sache in der Mitte zwischen Möglichkeit und Sein) umgewandelt und zur erlebten Realität werden konnte, den Namen «energeia», der heute als «Energie» fortlebt und Menschen nach erneuerbaren Quellen für das notwendige Lebenselixier suchen lässt. Man kann die Energie auch als den *unbewegten Beweger* identifizieren, den Aristoteles an den Beginn allen Geschehens stellt, und mit dem die Unzerstörbarkeit der Wirkgröße erfasst werden soll. Mit der heute bekannten Wandlungsfähigkeit der Energie würde man eher von einem «bewegten Beweger» sprechen, wie er noch einmal auftreten wird.

Mit diesen Vorgaben lässt sich erkennen, worin das Besondere der sich im Laufe der 1920er Jahre herausbildenden Quan-

tenmechanik mit den komplementären Eigenschaften seiner Objekte besteht. Sie können *beide* als «der Möglichkeit nach seiend» angesehen werden, während *eine* Erscheinungsform stets «der Aktualität nach nicht seiend» ist. Die Quantenmechanik versucht zum ersten Mal, eine Theorie des Werdens zu sein (zu werden), in der es nur Bewegung und Wandel gibt, zu denen der Mensch beiträgt. Dies passt philosophisch zum Gedanken der Romantik, in der es nur schöpferisches Tun und also Bewegung gibt, und dies zeigt sich mathematisch dadurch, dass in den Gleichungen der Quantenmechanik keine Zahlen (Messwerte) mehr auftreten, dafür aber Operatoren, die den Eingriffen von Beobachtern Rechnung tragen. Ihre Messanordnungen bestimmen, wie sich die Quantenwelt zeigt, die (wortwörtlich) unbestimmt bleibt, solange niemand nach ihr schaut. Die Natur des Lichts bleibt unbestimmt, bis jemand seine Wellenlänge oder die Orte seiner Photonen wissen will, und sie erst dadurch bestimmt. Darin zeigt sich die berühmte Eigenschaft der Unbestimmtheit von Objekten auf der Bühne der Atome, die Werner Heisenberg 1927 erfasst hat und die jenem seiner Gedanken eine schärfere Form gibt, der besagt, dass die Bahn eines Elektrons in einem Atom erst dadurch zustande kommt, dass Menschen sie beschreiben.

Auf diese Weise kommt im Innersten der Welt der Mensch bei sich selbst an, wie die Romantiker vermutet haben und wie Heisenberg erfahren durfte. Er konnte 1925 eine erste Quantentheorie vorlegen, nachdem er die Hoffnung aufgegeben hatte, Atome durch Modelle beschreiben zu können. Er bemühte sich stattdessen, eine Theorie zu entwerfen, die sich an dem Licht orientierte, das Atome aussenden. Heisenberg versuchte, dem Wandel Rechnung zu tragen, dem sie dabei unterliegen, während die Energie konstant blieb. Es war sein Festhalten am Energiesatz, das den Zugang zu den Atomen ermöglichte, was einen näheren Blick auf das dazugehörige Gesetz rechtfertigt.

Zu den Standardansichten der Wissenschaftsphilosophie gehört der Vorschlag des Philosophen Karl Popper, dass alles empirische Erkunden nur hypothetisches Wissen liefert, denn die Logik der Forschung besteht darin, erst eine Hypothese aufzu-