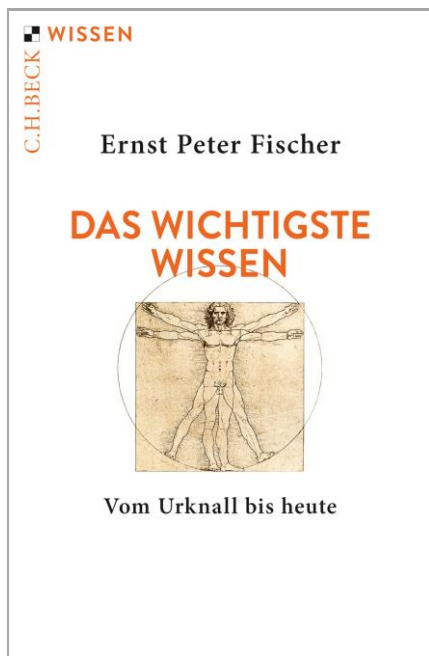


Unverkäufliche Leseprobe



Ernst Peter Fischer
Das wichtigste Wissen
Vom Urknall bis heute

2020. 128 S., mit 2 Abbildungen
ISBN 978-3-406-74729-8

Weitere Informationen finden Sie hier:
<https://www.chbeck.de/29883696>

Es mag vermessen scheinen, in einem schlanken Büchlein *das wichtigste Wissen* präsentieren zu wollen – aber es ist nicht vermessen, in diesem Format darüber nachzudenken, was zu diesem großen Thema gehören könnte. Anstatt seine Leserinnen und Leser mit einer Fülle von Daten, Fakten, Formeln und Kalender-Wissen einzuschüchtern, bietet Ernst Peter Fischer luzide Orientierungen über wahrhaft überwältigende Wissensrevolutionen in allen Lebensbereichen. Ausgehend von der Frage, was Energie ist und welche Bedeutung sie etwa in Form von Licht für die belebte und unbelebte Materie hat, führt er uns Schritt für Schritt durch eine wunderbare Welt des Wissens und erläutert erzählerisch und anschaulich die im Laufe der Geschichte immer wieder neu hinzugekommenen Erkenntnisse. Manchmal zeigt er dabei, wie vor uns ein weiser Mann gedacht und wie wir's dann zuletzt so herrlich weit gebracht – und er zeigt immer wieder, wo es in der Entwicklung der Menschheit vorbei war mit der Herrlichkeit und die Nachtseite der Wissenschaft die Oberhand gewann. Das Bewusstsein dafür ist gewachsen, und so geht die Suche nach Erkenntnis auch einher mit ethischen Überlegungen – etwa auf dem Feld der Genetik. Die meisten Menschen möchten weniger Grenzen und Ohnmacht des Wissens erfahren, als der Wahrheit gegenüberzutreten.

Ernst Peter Fischer wurde nach einem Studium der Mathematik, Physik und Biologie am California Institute of Technology promoviert. Er war Schüler des Nobelpreisträgers Max Delbrück. Nach seiner Habilitation im Fach Wissenschaftsgeschichte lehrte er in Konstanz und Heidelberg. Mit seinem Buch über «Die andere Bildung» wurde er einem Publikum weit über die Grenzen seines Faches hinaus bekannt. Er wurde wiederholt mit Preisen ausgezeichnet, unter anderem mit dem Eduard-Rhein-Kulturpreis und der Lorenz-Oken-Medaille der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte.

Ernst Peter Fischer

DAS WICHTIGSTE WISSEN

Vom Urknall bis heute

C.H.Beck

*Für Wolfram Huncke und Thorwald Ewe,
die wissen, wie wichtig Wissen war und wird*

Mit zwei Abbildungen
(© akg-images/WHA/World History Archive)

Originalausgabe
© Verlag C.H.Beck oHG, München 2020
www.chbeck.de
Satz: Fotosatz Amann, Memmingen
Druck und Bindung: Druckerei C.H.Beck, Nördlingen
Reihengestaltung Umschlag: Uwe Göbel (Original 1995, mit Logo),
Marion Blomeyer (Überarbeitung 2018)
Umschlagabbildung: «Vitruvianischer Mensch» (1485–1490)
von Leonardo da Vinci, © akg-images
Printed in Germany
ISBN 978 3 406 74729 8



klimateutral produziert
www.chbeck.de/nachhaltig

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.

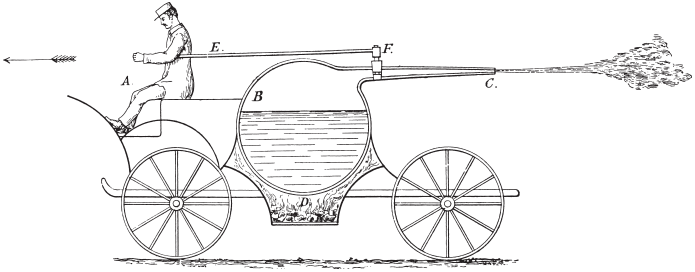
Inzwischen scheint die Welt gar selbst in einer Maschine angekommen zu sein, die die Menschen in ihrer Hand halten und aus der sie viel von dem Wissen beziehen, mit dem sie den Alltag bestreiten. Die Grundlage für dieses technische Wunderwerk und seine Zuhandenheit verdanken sie einer Wissenschaft, die 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 Kulturpoche 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-

stellen – Gegenstände werden leichter, wenn sie verbrennen –, um anschließend ein Experiment zu unternehmen, mit dem sie falsifiziert oder verifiziert werden kann. Kurioserweise hilft vor allem eine Falsifizierung weiter, denn nun weiß man, was *nicht* der Fall ist, und man kann sich daranmachen, eine neue Hypothese zu probieren, um zu erkunden, warum das Gewicht von verbrannten Gegenständen zunehmen kann.

Der Satz von der Erhaltung der Energie fällt nicht unter diese Logik. Zu seinem Nachweis muss man nicht unentwegt Messungen vornehmen, Energiebilanzen überprüfen und im Detail nachsehen, wie mechanische Bewegungen über die Reibung in Wärme verwandelt werden und elektrische Spannungen Ströme generieren, mit denen dann unter anderem Küchenmaschinen betrieben werden und Licht in die Häuser kommt. Man muss auch keine Angst haben, dass sich irgendwann falsifizierende Beobachtungen von Abläufen finden, in denen es zu einer Verletzung dieses sogenannten *Ersten Hauptsatzes der Thermodynamik* kommt. Die Kenntnis von der Erhaltung der Energie stellt nämlich kein hypothetisches Wissen dar, das empirisch widerlegt werden kann. Sie stammt vielmehr aus den theoretischen Tiefen, die dem menschlichen Geist dank mathematisch formulierter Grundgesetze der Natur zugänglich werden. Und dies ist seit dem Jahre 1918 bekannt, wenn es auch nicht zum Allgemeinwissen gehört. Damals konnte die Mathematikerin Emmy Noether zeigen, dass es eine enge Verknüpfung zwischen der Erhaltung einer physikalischen Größe wie der Energie und der Symmetrie von physikalischen Abläufen und ihren Gesetzen in der Welt gibt. Die Fachwelt feiert diese erstaunliche Einsicht als Noether-Theorem, was zu wissen sich ungemein lohnt.

Theoretische Physiker sprechen von einer Symmetrie, wenn sie an den Objekten in ihren Gleichungen Operationen vornehmen können, nach deren Durchführung alles so bleibt, wie es vorher war. Wenn man etwa eine Gestalt spiegeln kann, ohne dass sich ihr Aussehen verändert, spricht man von einer Spiegelsymmetrie, wie man sie etwa bei Buchstaben wie A und O, nicht aber bei R und P findet. Und wenn man die Uhrzeit verstellen kann, ohne dass sich physikalisch etwas ändert – was etwa beim

Wechsel von der Sommer- zur Winterzeit der Fall ist –, spricht man von einer «Zeitsymmetrie», genauer von der «Zeitverschiebungssymmetrie» (oder noch korrekter von der «Zeittranslationsinvarianz»). Nun ist es keine Frage, dass physikalische Systeme solch eine Symmetrie bezüglich der Zeit aufweisen, denn das Ergebnis einer Messung sollte unverändert (invariant) bleiben und nicht von der Uhrzeit abhängen, zu der man sie durchführt. Und aus dieser kaum aufregend wirkenden Tatsache und der dazugehörigen Symmetrie folgt dank des Noether-Theorems, dass es in der Natur eine Größe geben muss, die erhalten bleibt und somit unzerstörbar ist. *Gemeint ist die Energie, die es in ihrer wandelbaren Fülle folglich immer – also vom Anfang der Welt und der Zeit an – gegeben haben muss.*

Damit zeigt sich unübersehbar die untrennbare Verwobenheit von Energie und Zeit, die weiter oben angesprochen wurde und tatsächlich ungemein weit reicht. Die Zeit hält nämlich zum einen die Energie insgesamt fest (konstant), während umgekehrt die Energie lokal durch hohe Werte dafür sorgen kann, dass sich die Zeit ändert, wie Einstein in seinen Relativitätstheorien zeigen konnte und was im nächsten Kapitel angesprochen wird. Wie untrennbar Energie und Zeit sind, zeigt sich erst recht, wenn man die «Wirkung» betrachtet. So nennen Physiker das Produkt aus Energie und Zeit, mit dessen Hilfe sie bereits im 17. Jahrhundert sagen konnten, dass die Natur nach dem Prinzip der kleinsten Wirkung agiert. Die Bewegungen, bei denen Regentropfen fallen oder Speere fliegen, laufen so ab, dass der Aufwand dafür minimal bleibt, auch wenn niemand sagen kann, wie die Gegenstände dabei gelenkt werden und ihren natürlichen Weg finden können. Und im Bereich der Atome regiert das Quantum der Wirkung, was bedeutet, dass sich nicht die Energie allein un stetig ändert und die Welt quantisiert, sondern das Produkt aus Energie und Zeit. Die beiden Größen halten sich auf diese Weise gegenseitig fest, wobei jüngste Experimente zeigen, dass Quantensprünge ihre Zeit brauchen, wenn sich mit ihnen die Energie eines Atoms ändert und zum Licht wird.

Wenn Goethes Doktor Faust einen heutigen Physiker fragen würde, was die Welt im Innersten zusammenhält, könnte der

ihm sagen, dass jede Änderung einen Quantensprung erfordert, der eigens angestoßen werden muss. Das Quantum der Wirkung sorgt auf diese Weise für die Stabilität der Atome und damit der Welt, an der Menschen teilhaben. Als Goethe an seinem «Faust» schrieb, gab es keine Möglichkeit zu dieser geheimnisvollen Antwort, weshalb sich der Gelehrte ja auch der Magie ergeben hat. Wer sich nach aktuellen quantenphysikalischen Details zu diesem Thema erkundigt, bekommt den Eindruck, dass hier immer noch gezaubert wird, wobei aber nicht übersehen werden sollte, «wie herrlich weit» es die Wissenschaft inzwischen gebracht hat.

Zur Erinnerung: In der Goethe-Zeit kannten die Physiker nur die Schwerkraft, die für das Fallen von Gegenständen sorgt, und erst als der zweite Teil des «Faust» fertig war, erfassten sie die Wirkungen, die durch elektrische und magnetische Felder zustande kommen und sich als elektromagnetische Kräfte zu erkennen geben. Heute kennt die Wissenschaft zwei weitere Wechselwirkungen, die als «stark» und «schwach» bezeichnet werden und sich so lange versteckt halten konnten, weil sie sehr begrenzte Reichweiten aufweisen. Während die Gravitation und der Elektromagnetismus in der ganzen Welt zu finden sind und dabei Planeten kreisen lassen oder Magnetnadeln ausrichten, kommen die starke und schwache Wechselwirkung über den Bereich der Atome nicht hinaus. Dabei sorgt die starke Variante dafür, die Welt im Innersten – in den Atomkernen – zusammenzuhalten, und sie wirkt dank wunderlicher Gebilde, die den seltsamen Namen «Quarks» bekommen haben, ohne Weißkäse zu meinen. In der populären Literatur wird jetzt ein einfaches Bild gemalt, das Atomkerne zeigt, in denen sich Teilchen tummeln, die «Protonen» und «Neutronen» heißen und wiederum aus anderen Teilchen bestehen, die «Quarks» getauft wurden. Die starke Kraft «verleimt» in diesem Bild die Quarks zu den Kernteilchen, was Physiker dadurch ausdrücken, dass sie die Quarks von einem Feld aus Gluonen umfängen lassen, in deren Namen das englische «glue» (Klebstoff) steckt. Mit diesen Vorgaben kommt im Innersten der Welt etwas zustande, das Physiker als «Quark-Gluonen-Plasma» bezeichnen und bei dem man an einen zähen Brei denken möchte. Was oberflächlich simpel klingt, meint in

der Tiefe etwas anderes. Quarks und Gluonen sollte man sich weniger als materielle Teilchen und mehr als Lösung der Gleichungen vorstellen, die ein Quark-Gluonen-Plasma beschreiben. Es handelt sich um «verkörperte Ideen», «embodied ideas», materialisierten Geist. Im Innersten der Welt treffen Menschen somit auf ihre eigenen Werke, also auf die (mathematischen) Formen, mit denen sie die Energien erfassen, die dort wirken. Das Quark-Gluonen-Plasma ist nicht etwas, von dem man ein Stückchen abtrennen kann, um es herumzureichen. Es ist mehr ein Urphänomen, auf das Menschen sich durch phantasievolle Spekulationen einlassen können, und vielleicht hätte Goethe sich auf solch eine Antwort einen hübschen Reim gemacht.

Eher noch aufregender als die starke erweist sich die schwache Kernkraft. Sie lässt ausgewählte Atome zerfallen und sorgt dafür, dass die Reaktionen ablaufen können, mit denen die Sonne Energie liefern kann. Der schwachen Kraft gelingt es zudem, die dazu notwendigen Umwandlungen von Protonen zu Neutronen so langsam verlaufen zu lassen, dass die Sonne das Leben auf der Erde noch Milliarden von Jahren mit Energie versorgen kann. Allerdings: Bei aller Freude über populäre Erklärungen der Wissenschaft gilt es, vorsichtig mit den Worten umzugehen und sich an ihre Bedeutung heranzutasten. Während man früher selbstverständlich sagte, dass die Materie aus Atomen aufgebaut ist und die Atomkerne aus Elementarteilchen bestehen, weiß man heute, dass Atome oder Elementarteilchen auf keinen Fall so etwas wie Steinchen sind, mit denen man etwas aufbauen kann. Wer die Dinge der Welt untersucht und in sie eindringt, stößt zwar irgendwann auf Kräfte und Reaktionen, die man Atomen zuschreiben kann. Aber die Atome sind selbst keine Dinge mehr, die irgendein Aussehen hätten, und das gilt erst recht für alles, was kleiner ist. Als die Physiker zu diesen Einsichten kamen, merkten sie, was eingangs schon gesagt wurde. Ihre Wissenschaft beschreibt nicht die Natur, dafür aber das Wissen, das Menschen von ihr haben, und das ist wichtig genug.

Und noch etwas: So einfach sich das Wort «Teilchen» anhört – Physiker meinen damit eher Wirbel in einem Gewebe aus

Raum und Zeit. Wirbel können sich in zwei Richtungen drehen, was eine Zweideutigkeit mit sich bringt, die Physiker durch einen Parameter zu fassen versuchen, den sie «Spin» nennen und der dem klassischen Denken fremd bleibt. Ein Spin wird durch die Einheit angegeben, die Planck als Quantum der Wirkung eingeführt hat, und da taucht schon wieder eine Zweiteilung auf, was den Physiker Wolfgang Pauli zu der freundlich gemeinten Frage verleitet hat, ob sich in diesem durchgehenden Zweifel nicht doch der Teufel versteckt, der sein Völkchen beim Kragen packt. Er bläst ihnen dann ein, dass Elektronen einen Spin der Größe $1/2$ und Photonen der Größe 1 aufweisen, was zwar einfach klingt, sich aber tief greifend auswirkt. Zu den unheimlichen Einsichten der Physik gehört nämlich der merkwürdige Zusammenhang, der zwischen diesem Spin und dem statistischen Verhalten von mikroskopischen Teilchen besteht. Während die Photonen mit ganzzahligem Spin in Massen auftreten und deshalb zum Beispiel in Lichtstrahlen eine weithin sichtbare Wellenbewegung ausführen können, bleiben Teilchen mit halbzahligem Spin wie Elektronen lieber für sich und umrunden Atomkerne auf eigenen Wegen, um so chemische Bindungen zu ermöglichen. Elektronen bewegen sich auch allein durch ein Kristallgitter, wenn sie als Strom fließen sollen, was zu vielen Zusammenstößen und damit zu dem Widerstand führt, den Physiker messen können und zu dessen Überwindung Energie in Form von Spannung nötig ist. Wenn man ein Metall kalt genug macht, kann das Gitter zwei Elektronen dazu bringen, sich trotz gleicher Ladung zu verbinden. Dabei entstehen Elektronenpaare mit einem ganzzahligen Spin, was ihnen erlaubt, sich in Massen zu bewegen und damit einen Strom ohne Widerstand zu liefern. Die Fachwelt spricht von Supraleitung, und man darf ruhig darüber staunen.

Um es zu wiederholen: Atome mit ihren Elektronen und Licht mit seinen Photonen stellen Geheimnisse dar, und es wirkt wie Magie, wenn sich die Energie von Teilchen in Strahlung verwandelt und auf Reisen begibt. Man kann zudem nur bestaunen, dass dabei nichts verloren geht, und sich wundern, wie das Licht auf der Erde seine Energie auf Pflanzen überträgt, die mit seiner

Hilfe lebenswichtige Moleküle anfertigen können – Zucker zum Beispiel. An der Umwandlung der Lichtenergie sind molekulare Strukturen beteiligt, von denen eine «Chlorophyll» heißt, die auch als «Blattgrün» bezeichnet wird, weil sie für die vielen grünen Farbtöne in der Natur sorgt. Mit dem Einfangen des Lichts durch das Chlorophyll wird elektromagnetische in chemische Energie verwandelt, was größere molekulare Einheiten bewerkstelligen, die als «Lichtsammelkomplexe» und als «Reaktionszentren» bezeichnet werden. Sie operieren mit Hilfe eines Phänomens, das «Verschränkung» heißt und ursprünglich in der eher theoretischen Quantenwelt der Atome bemerkt wurde. Gemeint ist die experimentell beobachtbare gegenseitige Beeinflussung von atomaren Objekten, die ohne Zeitverzug – also instantan – gleichartige Zustände annehmen können. Wird von zwei einmal verbundenen und dann getrennten Quantenobjekten eines verändert, dann passiert mit dem zweiten dasselbe, ohne dass dazu etwas unternommen (und zum Beispiel Energie übertragen) werden muss. Quantenobjekte sind verschränkt, wie diese eigentlich unglaubliche Tatsache bezeichnet wird, und diese Verschränkung lässt sich vielleicht am besten durch die Vorstellung fassen, dass sich die Wirklichkeit in der atomaren Welt als etwas Ganzes zeigt. Zwar finden Menschen dabei die Teile wie ein Elektron oder ein Atom, aber sie existieren nur innerhalb der Sprache getrennt, die ihnen separate Namen gibt, um über sie reden zu können. Tatsächlich gehören Elektronen und Photonen zum Beispiel als verschränkte Entitäten (Einheiten) zusammen – und auf wunderbare Weise zeigen die jüngsten Einsichten in die Photosynthese, dass der Lichtsammelkomplex mit seinem Chlorophyll seine Wirksamkeit dadurch erreicht, dass er die dazugehörigen Photonen verschränkt und den Lichtfang zu einem zeitlosen Ganzen macht. Das Licht und das Leben – sie hängen auf unglaublich umfassende Weise zusammen, damit die Energie, die von der Sonne auf die Erde fällt, ihre volle Wirksamkeit entfalten kann.

2. Die Erde im Kosmos

Wer auf der Erde steht und zum Himmel schaut, kann leicht verstehen, warum Menschen im Laufe der Geschichte zwei Bereiche in ihrer Welt unterschieden haben, nämlich den eigenen irdischen hier unten und den erhabenen göttlichen dort oben. «Diesseits» und «jenseits» sagt man auch dafür. Aristoteles hat den Schnitt zwischen den zwei Seiten präzise gezogen, indem er die obere Welt jenseits des Mondes von einer diesseitigen sublunaren Sphäre trennte und in beiden unterschiedliche Gesetze am Werk sah. Wenn sich Menschen oder Körper allgemein auf der Erde bewegten, mussten dafür physikalische Kräfte wirken, ohne dass Aristoteles genauer sagen oder quantitativ fassen konnte, wie sie zustande kamen. Bewegungsgesetze kannte er so wenig wie ein Fernrohr, aber er war sicher, dass die Planeten, deren Bahnen er am Himmel mit seinen Augen beobachtete, höheren Gesetzen folgten und deshalb auf kugelförmigen Gebilden (Sphären) umherliefen, die ihnen Götter bereitet hatten. Im Mittelalter wurde diese Konzeption von Himmelssphären zum Beispiel von Dante übernommen, der sie in seiner «Göttlichen Komödie» christlich aufgeladen und über den Kugelschalen der Planeten noch einen Kristallhimmel angebracht hat. In ihm dachte man sich einen Ersten Bewegter der Welt, der «Primum Mobile» genannt wurde und alles in Schwung hielt (und den man heute mit der Energie identifizieren kann). In diesem geozentrischen Weltbild findet man die Erde in der Mitte, und sie wird dabei von einer Sonnensphäre umkreist, was mit dem Augenschein übereinstimmt, der morgens auf das Licht wartet und es abends verabschiedet. Dabei wäre die Annahme einfacher, dass die Sonne nicht auf- und untergeht, sondern ruht, während die Erde um sie kreist, wie Kopernikus im 15. Jahrhundert in den Büchern vorgeschlagen hat, in denen er «De revolutionibus orbium coelestium» – «Die Umwälzungen der himmlischen

Kreise» – beschrieben hat. Bei ihm bewegen sich die Planeten noch nicht selbst, dafür aber die Sphären, in denen die Himmelswanderer zu stecken haben.

Allerdings – Beweise für seine heliozentrische Sicht konnte Kopernikus nicht anbieten, der die Sonne vor allem deshalb ins Zentrum stellte, weil er das antike Wissen ernst nahm, dass sie sehr viel größer und damit schwerer zu bewegen sei als die Erde. Erst mit dem Auftreten optischer Präzisionsinstrumente gab es seit der Mitte des 19. Jahrhunderts astronomische Beobachtungen, die das neue Bild dem geozentrischen gegenüber als überlegen erkennen ließen, und deshalb darf man sich nicht vorstellen, dass Kopernikus mit seiner Verschiebung der Erde seine Zeitgenossen aufzuregen vermochte. Im Gegenteil: Vielen hat gefallen, dass er sie erhöht und die Menschen mutig näher zu den Göttern gebracht hat.

Wenn in der heutigen Zeit von einer *Kopernikanischen Wende* oder *Revolution* die Rede ist, greift man auf eine Wendung von Immanuel Kant zurück, der dabei an die zweite Drehung der Erde dachte, die Kopernikus eingeführt hat. Während die erste um die Sonne verläuft und ein Jahr dauert, meint die zweite eine Drehung der Erde um ihre eigene Achse. Sie sorgt für den Wechsel von Tag und Nacht und brachte Kant auf die Idee, die Sterne ruhen zu lassen und ihre Bewegung am Himmel durch die der Menschen auf der Erde zu erklären. Kant vollzog mit diesem Gedanken die Kopernikanische Revolution der Metaphysik, die der menschlichen Vernunft einräumt, der Natur ihre Gesetze vorschreiben zu können, um sie so einer Analyse zugänglich zu machen.

Mehr Informationen zu diesem und vielen weiteren Büchern aus dem Verlag C.H.Beck finden Sie unter: www.chbeck.de