

WIE NEUE WELTBILDER ENTSTEHEN

Jürgen Renn

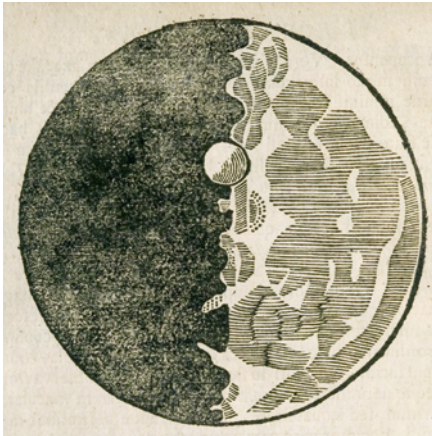
Wissenschaftliche Entdeckungen werden oft als Wunder bezeichnet. Doch mehr noch gelten Umwälzungen von Weltbildern als geheimnisvolle Taten, zumal sie den Eindruck eines unergründlichen Wirkens wissenschaftlicher Genialität erwecken. Es scheint ein Mysterium zu sein, wie Albert Einstein (1879–1955) in seinem „Wunderjahr 1905“ der Quantenphysik die Grundlagen bereiten und gleichzeitig die Spezielle Relativitätstheorie entwickeln konnte. Ähnlich unbegreiflich muten die mathematischen und physikalischen Veränderungen an, die Isaac Newton (1643–1727) mit seinem *annus mirabilis* 1666 auslöste.

Wissenschaftshistoriker sind bemüht, solche Wunder zu verstehen. Sie untersuchen, wie wissenschaftliche Entdeckungen möglich sind, warum es etwa Einstein oder Newton gelang, weiter zu sehen als ihre Vorgänger. Das Geheimnis genialer Weltentwürfe kann durch historische Rekonstruktionen ein Stück weit entzaubert werden, damit die Entwicklungslinien und -chancen von Wissenschaft klar hervortreten.

Doch Vorsicht: Radikale Umwälzungen im Denken lassen sich nicht ohne weiteres in ein wissenschaftstheoretisches Regelwerk pressen. Entdeckungen etwa, die eine totale Umwandlung von Weltbildern herbeiführen, sind Teil eines historischen Prozesses, der sich über sehr lange Zeiträume erstrecken kann. Die Bedingungen für revolutionäre Verände-

rungen sind meist Jahrhunderte zuvor entstanden. Als Beispiel für solch einen Prozess können die astronomischen Entdeckungen der Frühen Neuzeit gelten, denen die langwierige Entwicklung optischer Linsen vorausging. Es gab bereits in der Antike Bergkristalle, deren Vergrößerungseffekte bekannt waren. Weiterentwickelt und vermittelt wurde diese Entdeckung durch arabische Autoren, bis man dann im Mittelalter darauf kam, aus dem Halbedelstein Beryl einen Lesestein anzufertigen, der nicht nur zur Vergrößerung auf Buchstaben gelegt, sondern auch direkt ans Auge geführt wurde, um die Sehfähigkeit zu verbessern. In Gestalt von Linsen wurde aus dem Beryl die Brille. In Holland schließlich, der Seefahrernation, wurde daraus das Teleskop, das Galileo Galilei (1564–1642) nachbaute, um es auf den Himmel zu richten. Mit einem Mal ist man also bei jenen astronomischen

Mond, gesehen
durch das gerade
erfundene Teleskop.
Galileo Galilei,
Sydereus Nuncius,
1655



Entdeckungen, die das bisherige Weltbild einstürzen lassen: die Krater auf dem Mond, die Phasen der Venus, die Jupitermonde. Würde man versuchen, Regeln für die Entstehung des Neuen im Werk Galileis aufzustellen, bliebe der lange historische Prozess unberücksichtigt, der den großen astronomischen Entdeckungen vorausgegangen ist. Jede Entdeckung ist ein kleiner neuer Zweig am Stamm der Menschheitsentwicklung; man muss den ganzen Baum verstehen, um seine Äste zu begreifen.

Während des geschichtlichen Prozesses der Wissensentwicklung entsteht immer wieder etwas wesentlich Neues. Ich vergleiche das gern mit der biologischen Evolution: Unser Körperbau lässt sich über Jahrmillionen zurückverfolgen, und dennoch passiert in dem Augenblick etwas ganz Einschneidendes, wo eine neue Spezies wie der Mensch entsteht, die über Fertigkeiten verfügt, die es vorher noch nicht gab – die Sprache zum Beispiel.

Die beiden Aspekte, das erfolgreiche Auftreten des Neuen und seine lange Entstehungsgeschichte, schließen sich also nicht aus. Sucht man bei der Ergründung des Phänomens nur nach werkimmanenten Details der einzelnen Entdeckung, ist das entscheidende Moment für die Entstehung des Neuen gar nicht zu finden. Man muss den gesamten Prozess erfassen. Dieser hat die Eigenschaft, etwas Neues, und zwar grundlegend Neues hervorzubringen, genau wie bei der biologischen Evolution. Auch die Prinzipien Mutation und Selektion scheinen zunächst nur kleine, stets gleich wirkende Effekte zu sein. Dennoch bringen sie vollkommen unterschiedliche Lebewesen hervor.

..... 36 Wie kann es sein, dass aus einer Häufung von kleinen Änderungen plötzlich etwas ganz Großes entsteht? Ich glaube, dass man über solche Prozesse ein paar allgemeine Aussagen machen kann, die ich jedoch nicht mit Regeln verwechseln möchte. Ausgangspunkte radikaler Veränderungen sind in dem zu finden, was wir als Wissenssystem bezeichnen. Dieses existiert nicht nur im Kopf des Einzelnen, viele Menschen haben daran teil, es wird gesellschaftlich tradiert. Mit einem Wissenssystem interpretiert man die Natur, die Gesellschaft, die Umgebung, es strukturiert auch neue Erfahrungen. Wissenssysteme sind im Kern ganz einfach gebaut. Sie bestehen aus einigen grundlegenden Modellen oder Begriffen, mit denen man neues Wissen ordnet. Aber je mehr Wissen in ein solches System eingebaut wird, desto mehr kommt es auch zu Spannungen, zu Reibungen. Plötzlich passen Sachen nicht mehr richtig zusammen. Das lässt sich vergleichen mit einem Haus, das man immer weiter ausbaut, bis es seine ursprüngliche Gestalt verloren hat. Diese Veränderungen sind jedoch nicht mit der Entstehung des Neuen identisch. Das Neue vollzieht sich erst dann, wenn der fortwährende Ausbau des Bestehenden zum Umbau zwingt, wenn man das Haus so sehr verändert hat, dass es einsturzgefährdet, instabil geworden ist. Innere Widersprüche und Spannungen zwingen zur Errichtung neuer Konstruktionen.

Während Einsteins Wunderjahr 1905 und Newtons *annus mirabilis* 1666 entstanden solche gänzlich neuen Gebilde. Gleichwohl sind die neuen Wissenssysteme trotz aller Genialität ihrer Baumeister aus den Materialien der Vorgängerbauten errichtet worden. Dies übersieht man leicht, wenn man Einsteins oder Newtons Arbeiten einfach nur als

neue, als sehr nützliche und gut bewohnbare, ja auffallend schöne Gebäude bezeichnet. Dann berücksichtigt man nicht, woher die Baumaterialien oder selbst die Bauprinzipien stammen. Die Architektur war neu, der Architekturplan war neu, aber die Materialien, die Statik, die ganzen Erfahrungen, die man beim Bauen benötigt, blieben gleich.

Man kann Newton, den Verfasser der *Principia*, als Begründer der modernen Physik bezeichnen. Newton stand jedoch nicht nur am Anfang einer neuen Wissenschaft, er stand auch am Ende einer Epoche, in der es Größen gab wie Galilei und Johannes Kepler (1551–1630). Kepler hat sich mit den Bewegungsgesetzen der Planeten beschäftigt, Galilei mit den Fallgesetzen auf unserer Erde. Newton erkannte, wie beides zusammenhängt. Er formulierte ein Trägheitsgesetz, das für himmlische und irdische Körper gleichermaßen gelten konnte. Doch ohne die An- und Ausbauten von Kepler und Galilei hätte Newton sein neues Haus nicht errichten können. Er benutzte deren Material. Bei Galilei gab es das Fallgesetz, aber keine lineare Trägheitsbewegung, nur eine kreisförmige. Und bei Kepler war es noch eine Art Magnetkraft, mit der die Planeten auf ihren als exzentrisch akzeptierten Bahnen gehalten wurden. Diese Kraft aber konnte nicht die gleiche sein, die auch den Apfel vom Baum fallen ließ. Newton vollzog eine Synthese, eine Integration, er führte Wissen zusammen. Wenn man aber Wissen zusammenführt, das aus unterschiedlichen Bereichen stammt, dann ist fraglich, ob es überhaupt zusammenpasst.

Von der Sache her hat man folgende Phänomene: Der Apfel fällt vom Baum, der Mond kreist um die Erde. Für beide Beobachtungen – durch das Teleskop erst als zu vergleichende Bewegungen schwerer Körper suggeriert – muss es eine gemeinsame Erklärung geben. Hat man aber zwei sich ausschließende Erklärungen, ist ungewiss, ja unwahrscheinlich, dass sich beide zusammenführen lassen. Wer dennoch eine in sich stimmige Weltsicht retten will, muss die Widersprüche, die sich zwischen beiden Erklärungen auf-tun, erst einmal auflösen. Deswegen haben solche Umwälzungen, solche Wunder, etwas vom Neuanfang. Es ist ein konfliktreicher, aber gut vorbereiteter, in der Schlussphase auch rasanter Prozess, bei dem aus dem alten ein neues Wissenssystem entsteht. Kurz bevor das Haus einstürzt, wird es den alten Plänen nach fach- und sachgerecht abgetragen, um dann dank eines neuen Planes mit großem Gewinn besser und schöner wieder errichtet zu werden.

Einstein hat seine großen Theorien – Relativitätstheorie, Quantentheorie, Atomismus – als sehr junger Mann formuliert. Aber diesem Wunder war bereits ein ganzes Jahrhundert Forschung vorausgegangen, in dem Menschen sich mit Elektrodynamik und Mechanik, Bewegung und Licht beschäftigt haben. Das Gedankenexperiment des jungen Einstein – Wie sieht ein Lichtstrahl aus, wenn man versucht, ihn zu überholen? – war sicherlich verblüffend. Dahinter steckt jedoch auch ein langer historischer Prozess: Man hatte immer wieder über Licht und Bewegung geforscht, aber es blieb letztlich unklar, wie beides eigentlich zusammenpasst.

Ist durch wiederholt erprobte Baupläne die Voraussetzung für einen fundamentalen Umbau gegeben, fehlt nur noch der geniale Plan für den komfortablen Neubau. Doch

Ausgangspunkt für einen solchen Plan ist eine subjektive Verwunderung, und diese ist typisch für den Neuling in einem Wissenssystem. Er kommt von außen und nimmt daher bereits eine ungewohnte Perspektive auf das Ganze ein. Er ist so oder so dabei, einen neuen Horizont zu ermessen. Das Gedankenexperiment mit dem Lichtstrahl, das Einstein als 16-Jähriger durchführte, belegt dies. Forscher hingegen, die mit einem bestimmten Wissenssystem groß geworden sind, haben sich meist so sehr daran gewöhnt, dass sie sich gar nicht mehr richtig wundern können, ihnen sind Begriffe und Modelle ihres Wissenssystems vollkommen selbstverständlich geworden.

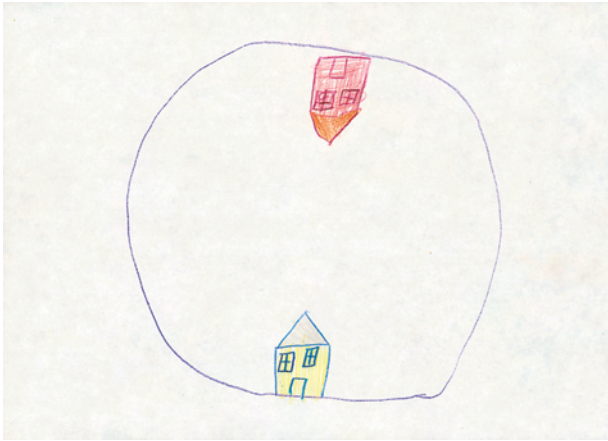
Für den sich abzeichnenden Konflikt zwischen gewohnter Sichtweise und neuer Perspektive ist die Äthertheorie ein gutes Beispiel: Die Vorstellung, dass Licht in einem Äther schwingt, war im 19. Jahrhundert Allgemeingut und bildete die Grundlage für Optik und Elektromagnetismus. Licht, so die Grundidee, ist eine Wellenbewegung in einem Äther, ähnlich wie Schall eine Wellenbewegung in der Luft ist. Von dieser Vorstellung ausgehend formulierte man recht komplizierte Äthertheorien. Jemand, der diese Theorien von außen betrachtet, wird womöglich einwenden: „Moment mal, diesen Äther, den kann man ja gar nicht sehen, den kann man nicht messen, und wie sollen sich durch diesen Äther die Planeten ohne Widerstand hindurchbewegen? Das ist doch eigentlich verrückt.“

Hier wird klar, wie ein Konflikt zwischen verschiedenen Perspektiven aussieht. Für die Gelehrten ist der Äther eine Selbstverständlichkeit, sie haben sich alles gut überlegt, haben raffinierte Theorien darüber ausgearbeitet, und plötzlich – ähnlich wie im Märchen von des Kaisers neuen Kleidern – kommt jemand daher und sagt: „Moment mal, den gibt es doch gar nicht, diesen Äther!“

Die Entstehung einer neuen Perspektive könnte sich als Generationenkonflikt auffassen lassen, denn der Wissenschaftler mit dem neuem Blick ist nicht mit dem alten Wissenssystem aufgewachsen. Doch ebenso gut – und das ist gerade heute besonders interessant – kann sich dieser frische Blick just in dem Moment einstellen, wo ein Forscher seine Spezialdisziplin verlässt und sich einem „fremden“ Bereich zuwendet. Ich persönlich glaube nicht, dass ein Staunen über Entdeckungen allein der Jugend vorbehalten ist. Die Möglichkeit von Entdeckungen ist keine Frage des Alters. Gleichwohl mögen viele Forscher, die ihr ganzes Leben in einer Spezialdisziplin verbracht haben, zwar den Wald vor lauter Bäumen noch sehen, der neue Baum aber, der irgendwo im Wald auftaucht und ihr Bild vom Wald verändert, entgeht ihnen. Diesen Schritt vollziehen eher diejenigen, die neu in den Wald kommen.

Was muss nun geschehen, damit die neue Perspektive eines Einzelnen von der wissenschaftlichen Welt übernommen wird? Erfahrungsgemäß überträgt sich der frische Blick desjenigen, der sich einer Disziplin von außen nähert, nämlich nicht ohne weiteres auf deren Vertreter.

Ein Kollege, ein Physiker, erzählte mir vor kurzem von einem Vortrag, den er in einer Schule vor Fünftklässlern gehalten hat. Ein Schüler fragte, ob unser Universum das ein-



Verkehrte Welt.
Havle Nur, 7 Jahre

zige Universum sei oder ob es noch weitere gebe. Man kommt also als junger Mensch plötzlich auf die Idee, dass es so etwas wie ein Multiversum geben könnte. Meistens werden Fragen dieser Art rasch abgebügelt, man erfährt, dass andere ähnliche Gedanken schon vor einem hatten: „Komm Junge, das gibt es schon, das ist nicht neu.“

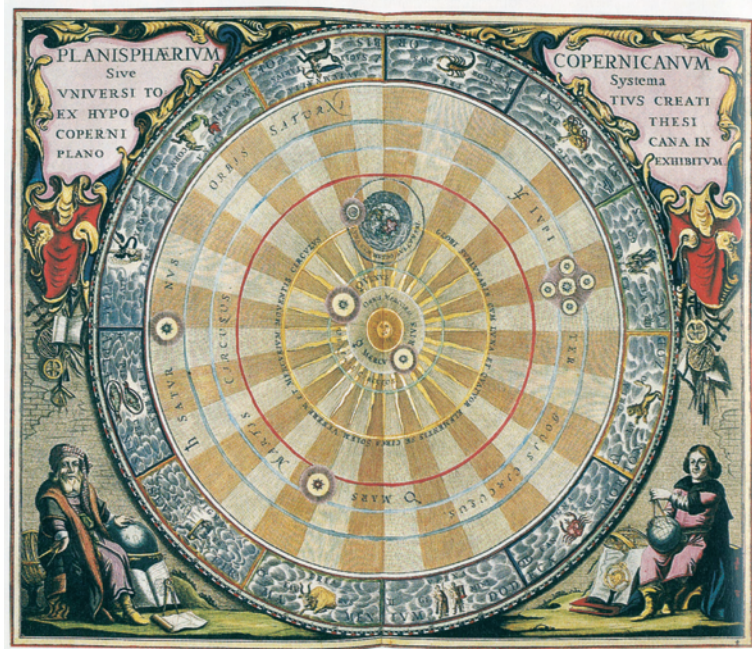
In den meisten Fällen führt die neue Perspektive keinen Wandel herbei, sie ist einfach Teil eines Lernprozesses, bei dem man stets Perspektivenwechsel vollziehen muss. Man stellt fest, dass die eigene Perspektive nicht der entspricht, die

in einer Gesellschaft gereift und mit viel Erfahrung versehen ist. Die Gefahr bei diesem Prozess ist jedoch, dass das Lernen – wenn es zu verschult und zu abgeklärt vonstatten geht – kaum Raum lässt für die wirklich originellen Ideen. Bildung oder Erziehung ist eine Mischung aus der Chance, sich gesellschaftliches Wissen anzueignen, und der Möglichkeit, eigene Sichtweisen allgemeinverständlich zu formulieren.

Um aber zu verstehen, wie eine neue Perspektive zum Allgemeingut wird, ist ein ganz spezieller Punkt auf der bereits genannten Seite erprobter Baupläne zu berücksichtigen, denn der frische Blick eines Außenseiters oder eines Kindes – beide haben sehr viele Gemeinsamkeiten – ist nicht allein für die grundlegende Umwälzung eines Wissenssystems verantwortlich. Der Blick muss das zukünftige Ganze von einem Standpunkt erfassen, der bereits im System erarbeitet worden ist. Sonst gibt es keinen Neuanfang. Einstein hätte keine neue Perspektive ausbilden, kein grundlegend neues physikalisches Verständnis von Raum und Zeit formulieren können, wenn seine Vorgänger nicht schon Resultate erzielt hätten, in denen die Möglichkeit seiner Ideen angelegt gewesen wäre. Einstein hat entdeckt, dass man die Zeit in bewegten Bezugssystemen anders misst, dass die Uhren anders gehen, wenn man sich in einem fahrenden Zug bewegt. Das ist eine revolutionär neue Idee. Aber die Überlegung, dass die Zeitvariable rein mathematisch anders zu behandeln ist, wenn man sich in einem bewegten Bezugssystem befindet, hatte bereits Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) gemacht, der eine wichtige Bezugsperson für Einstein war. Der neue Standpunkt entstand nicht erst mit Einstein. Die Möglichkeit revolutionärer Konsequenzen war schon vorher durch Lorentz angelegt worden, aber Einstein hat sie mit seinen Ideen realisiert. Er hat den neuen Standpunkt für einen Blick aufs Ganze genutzt und bemerkt, dass dort seine ihm eigene Weltsicht der Allgemeinheit zugänglich ist. Das alte Weltbild konnte durch ein neues mit Erklärungsgewinn ersetzt werden.

Hier drängt sich wiederum ein Vergleich aus der Biologie auf: Es gibt innerhalb einer Spezies einen Genpool und in diesem Genpool liegen bereits die Möglichkeiten für neue Entwicklungen. Eine neue Spezies entsteht aber nur dann, wenn bestimmte Ereignisse eine Abspaltung oder „Divergenz“ zwischen den Nachkommen verschiedener Individuen ermöglichen. Würden sich diese alle weiter paaren, könnte es nie zur Bildung einer neuen Spezies kommen, weil jede auftretende Änderung sofort in das große Ganze zurückgemischt würde. Damit eine neue Art entsteht, ist eine räumliche Trennung notwendig, die mit der Isolation einer Teilpopulation einhergeht, etwa dann, wenn der sinkende Wasserstand einen See in mehrere kleinere Seen zerfallen lässt und damit den Genfluss zwischen den Teilpopulationen einer Fischart unterbindet.

Beim Wissen ist das ganz ähnlich. Die neue Perspektive überzeugt erst dann, wenn sie eine echte Chance hat, mit der alten zu konkurrieren und wenn sie einen bestimmten Reifegrad erreicht hat. Ähnlich wie im biologischen Prozess benötigt die neue Perspektive zunächst eine Möglichkeit, sich eigenständig zu entwickeln und zu stabilisieren. Nikolaus Kopernikus (1473–1543) gilt als Architekt eines neuen astronomischen Weltsystems, denn er entdeckte, dass die Sonne und nicht die Erde im Mittelpunkt des damals bekannten Universums stand. Das war vor dem Hintergrund des etablierten geozentrischen Weltbildes revolutionär, das heliozentrische Modell selbst war jedoch nicht neu. Bereits in der Antike gab es einen Aristarch von Samos (um 310–230 v. Chr.), der die gleiche Idee wie Kopernikus hatte. Warum wurde Aristarch vor Kopernikus nie ernst genommen? Der Grund dafür ist ganz einfach: Aristarch konnte seine heliozentrische Idee niemals so stabil ausbauen, wie es mit dem geozentrischen System möglich war. Erst Kopernikus hatte die Chance, sein neues System technisch so auszuarbeiten, dass es die gleichen Vorhersagen über die Planetenstellungen machen konnte wie das geozentrische.



Heliozentrisches Weltbild des Kopernikus nach Andreas Cellarius, *Harmonia macrocosmica*, 1660

Doch selbst Kopernikus wurde anfangs nur astronomisch akzeptiert, die physikalischen und theologischen Implikationen seines Modells wurden zunächst ignoriert. Das neue System muss einen bestimmten Grad der Reife erreicht haben, um anerkannt zu werden. Neue Theorien sollten Resultate und Konsequenzen vorweisen können, sonst werden sie nicht angenommen, sonst kann sich ihre Architektur, ihr Komfort, ihr Regelwerk nicht allgemein durchsetzen.

Obwohl es die Abläufe in der Natur unabhängig vom Menschen gibt, ist die Formulierung von Naturgesetzen etwas zutiefst vom Menschen Abhängiges. Das steckt schon im Begriff Gesetz: Wir geben uns Gesetze. Diese können übertreten oder verändert werden. Der Begriff des Naturgesetzes, der erst in der Neuzeit entstand, verweist darauf, dass die Naturerkenntnis ein Wechselspiel zwischen Mensch und Natur ist. Dies stellt die Objektivität von Naturgesetzen nicht infrage, nimmt ihnen aber ein wenig ihre Absolutheit. Denn was in einem Wissenssystem ein Naturgesetz ist, muss in einem anderen keines sein. So heißt es in der aristotelischen Physik, dass alle schweren Körper nach unten fallen. In einem Newtonschen Kosmos würde ein solches Gesetz hingegen keinen Sinn machen, weil es den Begriff „unten“ nicht mehr gibt.

Wunder geben Anlass dazu, von einem Wissenssystem zum anderen überzugehen. Kepler beispielsweise bemühte sich darum, die ungeheuren Beobachtungsdaten zu verarbeiten, die vor ihm Tycho Brahe (1546–1601) aufgetürmt hatte. Kepler wollte erklären, wie sich die Marsbahn verhält. Hierzu stützte er sich auf das System, das ihm zur Verfügung stand, nämlich auf Kreisbahnen und deren Überlagerung. Kepler war aber ein sehr genauer Mensch, hatte nicht einfach vorgefasste Meinungen und war noch in der Lage, sich zu wundern. Deshalb nahm er Brahés Daten über kleine und kleinste Abweichungen so ernst, dass er den Schritt wagte, die Vorstellung von den Kreisbahnen aufzugeben und stattdessen auf ellipsenförmige Planetenbahnen stieß. Dies war ein vollständiger Bruch mit der Tradition, vielleicht noch konsequenter als der von Kopernikus, der ja an den Kreisbahnen festgehalten hatte. Keplers Umdenken – von ihm akribisch dokumentiert – hatte also etwas damit zu tun, dass er sich über ganz geringe Unstimmigkeiten wundern konnte.

Das ist vermutlich die wahre Kraft von Wundern, dass sie die Weltgesetze aus den Angeln heben. Das tun sie nämlich tatsächlich, aber nicht in dem Sinne, dass dabei Dämonen, Geister oder Götter am Werk sind, die mal eben eingreifen. Die Gesetze bestehen. Die Welt läuft ab wie ein Uhrwerk, um es mit einem Bild des mechanistischen Zeitalters auszudrücken. Und wenn ein Wunder geschieht, muss das Uhrwerk gestört sein. Aber das Uhrwerk ist ja schließlich nur das von Menschen gemachte Modell des Universums. Wenn also die Uhr einmal nicht richtig tickt, dann ist kein Gott, kein Geist, kein Dämon am Werk, sondern dann offenbart sich die Natur, besser gesagt die Differenz zwischen unserem Modell und der Natur. Wir sind aufgefordert und fordern uns auf, ein neues Modell zu bauen, in dem sich das Wunder wieder auflöst, aber nur, um Platz für neue Wunder zu schaffen.