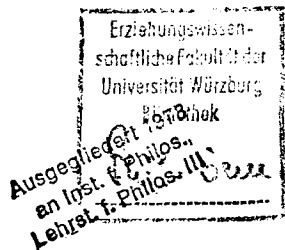


Thomas S. Kuhn
Die Struktur wissenschaftlicher
Revolutionen ✓

Thomas S. Kuhn, geboren 1922, ist Professor für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte in Princeton.

Kuhns Thema ist der Prozeß, in dem wissenschaftliche Erkenntnisse erzielt werden. Fortschritt in der Wissenschaft — das ist seine These — vollzieht sich nicht durch kontinuierliche Veränderung, sondern durch revolutionäre Prozesse. Dabei beschreibt der Begriff der wissenschaftlichen Revolution den Vorgang, bei dem bestehende Erklärungsmodelle, an denen und mit denen die wissenschaftliche Welt bis dahin gearbeitet hat, abgelöst und durch andere ersetzt werden: es findet ein Paradigmenwechsel statt.

Suhrkamp



suhrkamp taschenbuch wissenschaft 25

Erste Auflage 1973

© Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main 1967

Copyright 1962.

Copyright under the International

Copyright Union by The University of Chicago

Suhrkamp Taschenbuch Verlag

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das des öffentlichen Vortrags, der Übertragung durch Rundfunk oder Fernsehen und der Übersetzung, auch einzelner Teile.

Druck: Ebner, Ulm · Printed in Germany

Umschlag nach Entwürfen

von Willy Fleckhaus und Rolf Staudt

Vorwort	7
I. Einführung: Eine Rolle für die Geschichtsschreibung	17
II. Der Weg zur normalen Wissenschaft	28
III. Das Wesen der normalen Wissenschaft	44
IV. Normale Wissenschaft als das Lösen von Rätseln	58
V. Die Priorität der Paradigmata	68
VI. Anomalien und das Auftauchen wissenschaftlicher Entdeckungen	79
VII. Krisen und das Auftauchen wissenschaftlicher Theorien	96
VIII. Die Reaktion auf die Krise	110
IX. Das Wesen und die Notwendigkeit wissenschaftlicher Revolutionen	128
X. Revolutionen als Wandlungen des Weltbildes	151
XI. Die Unsichtbarkeit der Revolutionen	181
XII. Die Lösung der Revolutionen	191
XIII. Fortschritt durch Revolutionen	210

IX. Das Wesen und die Notwendigkeit wissenschaftlicher Revolutionen

Diese Bemerkungen erlauben es uns endlich, die Probleme zu betrachten, die diesem Essay seinen Titel geben. Was sind wissenschaftliche Revolutionen, und welches sind ihre Funktionen in der wissenschaftlichen Entwicklung? Ein großer Teil der Antwort ist in den vorangegangenen Abschnitten schon vorweggenommen worden. Insbesondere hat die bisherige Diskussion gezeigt, daß hier als Revolutionen jene nichtkumulativen Entwicklungsperioden angesehen werden, in denen ein älteres Paradigma ganz oder teilweise durch ein nicht mit ihm vereinbares neues ersetzt wird. Darüber muß noch mehr gesagt werden, und ein wesentlicher Teil davon kann durch eine weitere Frage eingeleitet werden: Warum sollte der Wechsel eines Paradigmas eine Revolution genannt werden? Angesichts der weitgehenden und wesentlichen Unterschiede zwischen politischer und wissenschaftlicher Entwicklung fragt es sich, welche Parallelität die Metapher zu rechtfertigen vermag, die in beiden Vorgängen Revolutionen sieht.

Ein Aspekt der Parallelität sollte bereits offensichtlich sein. Politische Revolutionen werden durch ein wachsendes, doch oft auf einen Teil der politischen Gemeinschaft beschränktes Gefühl eingeleitet, daß existierende Institutionen aufgehört haben, den Problemen, die eine teilweise von ihnen selbst geschaffene Umwelt stellt, in adäquater Weise zu begegnen. Ganz ähnlich werden die wissenschaftlichen Revolutionen durch ein wachsendes, doch ebenfalls oft auf eine kleine Untergruppe der wissenschaftlichen Gemeinschaft beschränktes Gefühl eingeleitet, daß ein existierendes Paradigma aufgehört hat, bei der Erforschung eines Aspekts der Natur, zu welchem das Paradigma selbst den Weg gewiesen hatte, in adäquater Weise zu funktionieren. Bei der politischen und wissenschaftlichen Entwicklung ist das Gefühl eines Nichtfunktionierens, das zu einer

Krise führen kann, eine Voraussetzung für die Revolution. Darüber hinaus gilt diese Parallelität, mag dies auch die Metapher überfordern, nicht nur für die großen Paradigmawechsel, welche Kopernikus oder Lavoisier zuzuschreiben sind, sondern auch für die viel kleineren, die mit der Assimilierung eines neuen Phänomens wie Sauerstoff oder Röntgenstrahlen verbunden sind. Wie wir am Schluß von Abschnitt V bemerken, müssen wissenschaftliche Revolutionen nur denen als revolutionär erscheinen, deren Paradigmata davon berührt werden. Den Außenstehenden mögen sie, wie die Balkanrevolutionen im frühen zwanzigsten Jahrhundert, als normaler Bestandteil eines Entwicklungsprozesses vorkommen. Die Astronomen konnten die Röntgenstrahlen beispielsweise als bloße Kenntniserweiterung hinnehmen, denn ihre Paradigmata wurden durch die Existenz der neuen Strahlung nicht berührt. Aber für Leute wie Kelvin, Crookes und Röntgen, deren Forschung sich mit der Strahlungstheorie oder mit Kathodenröhren befaßte, verletzte das Auftauchen der Röntgenstrahlen notwendigerweise ein Paradigma, während es ein anderes schuf. Deshalb konnten diese Strahlen erst entdeckt werden, nachdem bei der normalen Forschung etwas nicht geklappt hatte.

Dieser genetische Aspekt der Parallele zwischen politischer und wissenschaftlicher Entwicklung dürfte nicht länger zweifelhaft sein. Die Parallele hat aber einen zweiten und tieferreichenden Aspekt, von dem die Bedeutung des ersten abhängt. Politische Revolutionen gehen darauf aus, politische Institutionen auf Wegen zu ändern, die von jenen Institutionen verboten werden. Ihr Erfolg erfordert daher, daß eine Reihe von Institutionen zugunsten einer anderen teilweise aufgegeben wird, und in der Zwischenzeit wird die Gesellschaft von keiner Institution richtig regiert. Anfangs ist es nur die Krise, welche die Rolle politischer Institutionen schmälert, so wie wir sie die Rolle der Paradigmata haben schmälern sehen. Eine wachsende Zahl von Individuen wird in wachsendem Maß dem politischen Leben entfremdet und verhält sich mehr und mehr exzentrisch. Wenn

sich die Krise dann vertieft, verschreiben sich viele dieser Individuen irgend einem konkreten Programm für die Rekonstruktion der Gesellschaft in einem neuen institutionellen Rahmen. An diesem Punkt teilt sich die Gesellschaft in einander bekämpfende Lager oder Parteien, von denen die eine die alte institutionelle Konstellation zu verteidigen sucht, während die andere eine neue zu errichten trachtet. Und wenn diese Polarisierung einmal eingetreten ist, hört der politische Rekurs auf. Da ihre Meinung über die institutionelle Matrix, innerhalb deren ein politischer Wechsel erreicht und bewertet werden kann, auseinander geht, da sie keinen überinstitutionellen Rahmen für die Beilegung der revolutionären Differenzen anerkennen, müssen die Parteien eines revolutionären Konfliktes letzten Endes zu den Techniken der Massenüberredung Zuflucht nehmen, die oft genug Gewalt einschließen. Obwohl Revolutionen bei der Herausbildung politischer Institutionen eine wichtige Rolle gespielt haben, hängt diese Rolle doch davon ab, daß sie teilweise außerpolitische oder außerinstitutionelle Ereignisse sind.

Dieser Essay soll im Folgenden aufzeigen, daß das Studium des Paradigmawechsels sehr ähnliche Charakteristika in der Evolution der Wissenschaften enthüllt. Wie die Wahl zwischen konkurrierenden politischen Institutionen erweist sich die zwischen konkurrierenden Paradigmata als eine Wahl zwischen unvereinbaren Lebensweisen der Gemeinschaft. Da sie diesen Charakter hat, kann die Wahl nicht nur von den Bewertungsverfahren, die für die normale Wissenschaft charakteristisch sind, bestimmt werden – und wird es auch nicht –, denn jene Verfahren hängen zum Teil von einem besonderen Paradigma ab, und dieses Paradigma ist strittig. Wenn Paradigmata in eine Debatte über die Wahl eines Paradigmas eintreten – und sie müssen es ja –, dann ist ihre Rolle notwendigerweise zirkulär. Jede Gruppe verwendet ihr eigenes Paradigma zur Verteidigung eben dieses Paradigmas.

Der sich ergebende Zirkel macht die Argumente natürlich nicht falsch oder unwirksam. Derjenige, der ein Paradigma voraus-

schickt, wenn er es verteidigt, kann trotzdem eine klare Darstellung davon geben, wie die wissenschaftliche Praxis für jene aussehen wird, welche die neue Naturanschauung annehmen. Diese Darstellung kann sehr überzeugend sein, oft sogar zwingend. Und doch, wie stark sie auch sein mag, dieses im Kreis gehende Argument hat nur den Status eines Überredungsversuches. Es kann nicht logisch oder auch nur probabilistisch zwingend gemacht werden für jene, die sich weigern, in diesen Kreis einzutreten. Die den beiden Parteien in der Debatte über ihre Paradigmata gemeinsamen Prämissen und Werte sind dafür nicht extensiv genug. Wie bei politischen Revolutionen gibt es auch bei der Wahl eines Paradigmas keine höhere Norm als die Billigung durch die maßgebliche Gemeinschaft. Um zu entdecken, wie wissenschaftliche Revolutionen durchgeführt werden, müssen wir deshalb nicht nur die Wirkung der Natur und der Logik untersuchen, sondern auch die Technik der überzeugenden Argumentation, die innerhalb der sehr speziellen Gruppen, aus denen sich die Gemeinschaft der Wissenschaftler zusammensetzt, wirksam wird.

Um herauszufinden, warum dieser Punkt der Paradigmawahl niemals durch Logik und Experiment allein eindeutig entschieden werden kann, müssen wir kurz das Wesen der Gegensätze untersuchen, welche die Verfechter eines traditionellen Paradigmas von ihren revolutionären Nachfolgern trennen. Das ist das Hauptziel dieses und des folgenden Abschnitts. Wir haben jedoch schon zahlreiche Beispiele für solche Gegensätze erwähnt, und zweifellos bietet die Geschichte noch viele andere. Zweifelhafte als ihre Existenz – und deshalb auch vorrangig – ist die Frage, ob solche Beispiele wichtige Informationen über das Wesen der Wissenschaft liefern. Wenn wir die Paradigmaablehnung als eine historische Tatsache anerkennen – zeugt das von etwas anderem als von menschlicher Leichtgläubigkeit und Verwirrung? Gibt es zwingende Gründe dafür, daß die Rezipierung eines neuen Phänomens oder einer neuen wissenschaftlichen Theorie die Ablehnung eines älteren Paradigmas einschließen muß?

Halten wir zunächst fest, daß sich derartige Gründe, falls sie vorhanden sind, nicht von der logischen Struktur wissenschaftlicher Kenntnisse herleiten. Im Prinzip könnte ein neues Phänomen auftauchen, ohne daß es sich zerstörend auf irgendeinen Teil früherer wissenschaftlicher Praxis auswirkte. Während heute die Entdeckung von Leben auf dem Mond auf existierende Paradigmata zerstörend wirken würde (denn diese erzählen uns ja Dinge vom Mond, die mit Leben dort nicht vereinbar sind), hätte die Entdeckung von Leben in einem weniger bekannten Teil der Galaxis nicht diese Wirkung. Dergleichen muß eine neue Theorie nicht unbedingt mit einer ihrer Vorgängerinnen in Konflikt geraten. Sie kann sich ausschließlich mit Phänomenen befassen, die man vorher nicht kannte, wie sich zum Beispiel die Quantentheorie (signifikanterweise aber nicht ausschließlich) mit subatomaren Phänomenen befaßt, die vor dem zwanzigsten Jahrhundert unbekannt waren. Oder die neue Theorie könnte einfach auf einer höheren Ebene liegen als die bisher bekannten, sie könnte eine ganze Gruppe von Theorien einer niedrigeren Ebene zusammenfassen, ohne eine davon wesentlich zu verändern. Heute schon liefert die Theorie der Energieerhaltung gerade solche Verbindungen zwischen Dynamik, Chemie, Elektrizität, Optik, Wärmetheorie etc. Es lassen sich noch weitere solche Beziehungen zwischen alten und neuen Theorien finden. Jede einzelne könnte durch den historischen Prozeß, durch den sich die Wissenschaft entwickelt hat, belegt werden. In diesem Fall wäre die wissenschaftliche Entwicklung wirklich kumulativ. Neue Phänomene würden einfach eine Ordnung in einem Bereich der Natur aufdecken, wo vorher keine gesehen wurde. In der Evolution der Wissenschaft würde neue Kenntnis eher Unkenntnis ersetzen als Kenntnis einer anderen und unvereinbaren Art.

Natürlich hätte sich die Wissenschaft (oder ein anderes und vielleicht weniger wirksames Unternehmen) auf diese völlig kumulative Weise entwickeln können. Viele Menschen waren in dem Glauben, sie hätte es getan, und die meisten scheinen noch immer anzunehmen, Kumulation sei zumindest das Ideal,

das die historische Entwicklung zeigen würde, wäre sie nicht so oft durch menschliche Idiosynkrasie verzerrt worden. Für diesen Glauben gibt es gewichtige Gründe. In Abschnitt X werden wir entdecken, wie eng die Anschauung von der »Wissenschaft als Kumulation« mit einer dominierenden Epistemologie verknüpft ist, welche Wissen als eine Konstruktion ansieht, die vom Geist unmittelbar auf nackten Sinnesdaten errichtet wird. Und in Abschnitt XI werden wir die starke Unterstützung untersuchen, die dem gleichen historiographischen Schema durch die Techniken einer wirksamen Wissenschaftspädagogik gewährt wird. Und doch, trotz der immensen Glaubwürdigkeit dieses Idealbildes, gibt es immer mehr Gründe für die Frage, ob das wirklich ein Bild der *Wissenschaft* sein kann. Seit der dem Paradigma vorausgehenden Periode hat die Assimilierung aller neuen Theorien und fast aller neuen Phänomene tatsächlich die Zerstörung eines früheren Paradigmas und einen folgenden Konflikt zwischen konkurrierenden Schulen wissenschaftlicher Auffassungen bedeutet. Eine kumulative Erwerbung unvorhergesehener Neuheiten erweist sich als eine fast nicht existente Ausnahme von der Regel wissenschaftlicher Entwicklung. Wer historische Tatsachen ernst nimmt, muß den Verdacht haben, daß die Wissenschaft nicht dem Ideal zustrebt, welches uns unsere Vorstellung von ihrem kumulativen Wesen nahegelegt hat. Vielleicht ist sie ein Unternehmen anderer Art.

Wenn uns jedoch widerstrebende Tatsachen zu dieser Einsicht bringen, dann mag ein zweiter Blick auf das bisher Behandelte erkennen lassen, daß eine kumulative Erwerbung von Neuheiten nicht nur in Wirklichkeit selten, sondern auch im Prinzip unwahrscheinlich ist. Normale Forschung, die tatsächlich kumulativ ist, verdankt ihren Erfolg der Fähigkeit von Wissenschaftlern, regelmäßig Probleme auszuwählen, die mit begrifflichen und instrumentalischen Techniken in enger Anlehnung an die bereits existierenden gelöst werden können. (Das ist auch der Grund, warum ein übermäßiges Interesse an nützlichen Problemen ohne Rücksicht auf ihre Beziehung zu vorhandener

Kenntnis und Technik so leicht eine wissenschaftliche Entwicklung verhindern kann.) Wer sich aber bemüht, ein von vorhandener Kenntnis und Technik definiertes Problem zu lösen, blickt nicht nur suchend in die Runde. Er weiß, was er erreichen will. Dementsprechend entwirft er seine Instrumente und orientiert seine Überlegungen. Eine unerwartete Neuheit, die neue Entdeckung, kann ihm nur so weit entgegentreten, wie sich das, was er von der Natur und seinen Instrumenten erwartet, als falsch erweist. Oft ist die Bedeutung der sich ergebenden Entdeckung proportional dem Ausmaß und der Hartnäckigkeit der Anomalie, welche sie ankündigte. Offensichtlich muß es also zwischen dem einen Paradigma, das eine Anomalie enthüllt, und dem anderen, das später die Anomalie zum Gesetz macht, einen Konflikt geben. Die Beispiele für Entdeckung durch Paradigmazerstörung, die wir in Abschnitt VI untersuchten, haben uns nicht mit bloßen historischen Zufällen konfrontiert. Es gibt keinen anderen Weg, auf dem Entdeckungen gemacht werden könnten.

Das gleiche Argument trifft sogar noch deutlicher für die Erfindung neuer Theorien zu. Im Prinzip gibt es nur drei Arten von Phänomenen, für die eine neue Theorie entwickelt werden könnte. Die erste umfaßt Phänomene, die von bereits existierenden Paradigmata gut erklärt werden, und diese bieten selten ein Motiv oder einen Ausgangspunkt für die Konstruktion einer Theorie. Wenn sie es aber tun, wie es bei den drei berühmten, am Schluß von Abschnitt VII diskutierten Vorwagnahmen der Fall ist, werden die sich ergebenden Theorien selten anerkannt, da die Natur keine Grundlage für Unterscheidungen liefert. Eine zweite Klasse umfaßt jene Phänomene, deren Wesen durch existierende Paradigmata bezeichnet wird, deren Einzelheiten aber nur durch eine weitere Verdeutlichung der Theorie verstanden werden können. Auf diese Phänomene richten die Wissenschaftler häufig ihre Forschung, doch diese Forschung zielt mehr auf die Präzisierung schon vorhandener als auf die Erfindung neuer Paradigmata. Nur wenn die Versuche einer Präzisierung keinen Erfolg haben, begegnen die

Wissenschaftler dem dritten Typ von Phänomenen, den erkannten Anomalien, deren charakteristisches Merkmal ihre hartnäckige Weigerung ist, sich den existierenden Paradigmata anpassen zu lassen. Nur dieser Typ läßt neue Theorien entstehen. Paradigmata liefern alle Phänomene (mit Ausnahme von Anomalien), die im Gesichtsfeld des Wissenschaftlers einen durch Theorie bestimmten Platz einnehmen.

Wenn aber neue Theorien aufgeboten werden, um Anomalien in der Beziehung einer existierenden Theorie zur Natur aufzulösen, dann muß die erfolgreiche neue Theorie Voraussagen gestatten, die sich von den von ihrer Vorgängerin abgeleiteten unterscheiden. Dieser Unterschied wäre nicht möglich, wenn die beiden Theorien logisch vereinbar wären. In dem Prozeß, in dem die zweite rezipiert wird, muß sie die erste verdrängen. Sogar eine Theorie wie die der Energieerhaltung, die heute als eine logische Superstruktur erscheint, welche nur durch unabhängig aufgestellte Theorien in Beziehung zur Natur steht, hat sich historisch nicht ohne Paradigmazerstörung entwickelt. Vielmehr tauchte sie aus einer Krise auf, zu deren wesentlichen Bestandteilen die Unvereinbarkeit zwischen der Newtonschen Dynamik und einigen kürzlich formulierten Konsequenzen der kalorischen Theorie der Wärme gehört. Erst nachdem die kalorische Theorie abgelehnt worden war, konnte die Energieerhaltung ein Teil der Wissenschaft werden.¹ Und erst nachdem sie eine Zeitlang ein Teil der Wissenschaft gewesen war, konnte sie als Theorie einer logisch höheren Ordnung erscheinen, als eine Theorie, die nicht mit ihren Vorgängerinnen in Konflikt stand. Es ist schwer zu erkennen, wie neue Theorien überhaupt ohne solche zerstörenden Veränderungen in der Auffassung der Natur auftauchen könnten. Obwohl die logische Inklusivität eine zulässige Anschauung von der Beziehung zwischen aufeinander folgenden wissenschaftlichen Theorien bleibt, ist sie doch eine historische Unwahrscheinlichkeit.

Vor einem Jahrhundert wäre es nach meiner Meinung möglich

¹ Silvanus P. Thompson, *Life of William Thomson Baron Kelvin of Largs* (London 1910), I, 266-81.

gewesen, den Fall der Notwendigkeit von Revolutionen an diesem Punkt auf sich beruhen zu lassen. Heute aber ist das ausgeschlossen, da die eben entwickelte Anschauung nicht aufrechterhalten werden kann, wenn man die am weitesten verbreitete derzeitige Interpretation des Wesens und der Funktion wissenschaftlicher Theorie akzeptiert. Diese Interpretation, die eng mit dem frühen logischen Positivismus assoziiert ist und von seinen Nachfolgern nicht kategorisch abgelehnt wird, möchte den Umfang und die Bedeutung einer anerkannten Theorie einschränken, so daß sie unmöglich mit irgendeiner späteren Theorie in Konflikt geraten könnte, die Voraussagen über einige der gleichen Naturphänomene macht. Das bekannteste und grellste Beispiel für diese eingeschränkte Konzeption einer wissenschaftlichen Theorie taucht in Diskussionen über die Beziehungen zwischen der heutigen Einsteinschen Dynamik und den älteren dynamischen Gleichungen auf, die sich von Newtons *Principia* herleiten. Vom Standpunkt dieses Essays aus sind diese beiden Theorien im selben Sinn grundlegend unvereinbar wie die Kopernikanische und die Ptolemäische Astronomie: Einsteins Theorie kann nur in der Erkenntnis akzeptiert werden, daß die von Newton falsch war. Heute bleibt das die Ansicht einer Minderheit.² Wir müssen deshalb die am weitesten verbreiteten Einwände untersuchen.

Der Kernpunkt dieser Einwände läßt sich folgenderart darstellen. Die relativistische Dynamik kann nicht gezeigt haben, daß die Newtonsche Dynamik falsch ist, denn die Newtonsche Dynamik wird noch immer mit großem Erfolg von den meisten Ingenieuren und, in ausgesuchten Anwendungen, von vielen Physikern gebraucht. Außerdem kann die Berechtigung des Gebrauchs der älteren Theorie gerade aus der Theorie, die jene bei anderen Anwendungen ersetzt hat, bewiesen werden. Mit Einsteins Theorie kann gezeigt werden, daß Voraussagen aufgrund Newtonscher Gleichungen bei allen Anwendungen, die einer kleinen Zahl einschränkender Bedingungen genügen,

² Siehe z. B. die Bemerkungen von P. P. Wiener in *Philosophy of Science*, XXV (1958), 298.

so gut wie unsere Meßinstrumente sind. Wenn die Newtonsche Theorie beispielsweise eine gute Näherungslösung ergeben soll, so müssen die relativen Geschwindigkeiten der betrachteten Körper im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit klein sein. Unter dieser und einigen anderen Bedingungen scheint die Newtonsche Theorie von der Einsteinschen ableitbar zu sein, von der sie demnach ein Spezialfall wäre.

Aber eine Theorie, so fährt der Einwand fort, kann unmöglich mit einem ihrer speziellen Fälle in Konflikt geraten. Wenn also die Einsteinsche Wissenschaft die Newtonsche Dynamik als falsch erscheinen läßt, dann nur, weil einige Anhänger Newtons so unvorsichtig waren zu behaupten, die Newtonsche Theorie bringe völlig präzise Ergebnisse hervor oder sie sei bei sehr hohen relativen Geschwindigkeiten gültig. Da sie dafür keine Beweise haben konnten, übten sie Verrat an Wissenschaftsnormen, als sie solche Behauptungen aufstellten. Soweit die Newtonsche Theorie jemals eine wahrhaft wissenschaftliche, von gültigen Beweisen gestützte Theorie war, ist sie es noch immer. Nur übertriebene Behauptungen im Namen der Theorie – Behauptungen, die niemals so recht ein Teil der Wissenschaft waren – konnten durch Einstein als falsch ausgewiesen werden. Von diesen rein menschlichen Übertreibungen befreit, ist die Newtonsche Theorie niemals angefochten worden und kann auch nicht angefochten werden.

Eine beliebige Variante dieses Arguments dürfte wohl genügen, jede jemals von einer Gruppe kompetenter Wissenschaftler gebrauchte Theorie gegen Angriffe zu feien. Die vielgeschmähte Phlogistontheorie zum Beispiel gab einer großen Zahl von physikalischen und chemischen Phänomenen eine Ordnung. Sie erklärte, warum Körper brannten – sie waren mit Phlogiston angereichert – und warum Metalle so viel mehr gemeinsame Eigenschaften hatten als ihre Erze. Die Metalle waren alle aus verschiedenen elementaren Erden in Verbindung mit Phlogiston zusammengesetzt, und dieses Phlogiston, das allen Metallen gemeinsam war, erzeugte gemeinsame Eigenschaften. Darüber hinaus erklärte die Phlogistontheorie eine Anzahl von

Reaktionen, bei denen sich durch die Verbrennung von Substanzen wie Kohlenstoff und Schwefel Säuren bildeten. Sie erklärte auch die Abnahme des Volumens, wenn die Verbrennung in einem abgeschlossenen Luftvolumen geschah – das in der Verbrennung frei werdende Phlogiston »zerstörte« die Elastizität der Luft, die es absorbierte, genau so wie Feuer die Elastizität einer Stahlfeder »zerstört«.3 Wären dies die einzigen Phänomene, welche die Phlogistontheoretiker für ihre Theorie beanspruchten, so hätte diese Theorie niemals angefochten werden können. Ein ähnliches Argument könnte für jede Theorie taugen, die jemals erfolgreich auf irgendeine Gruppe von Phänomenen angewandt worden ist.

Um aber Theorien auf diese Weise zu retten, muß ihr Anwendungsbereich auf jene Phänomene und jene Exaktheit der Beobachtung beschränkt werden, mit denen die bereits vorhandenen experimentellen Beweise aufwarten.4 Geht man nur einen Schritt weiter (und dieser Schritt kann kaum vermieden werden, wenn der erste einmal getan ist), so verbietet eine solche Einschränkung dem Wissenschaftler den Anspruch darauf, »wissenschaftlich« über ein noch nicht beobachtetes Phänomen zu sprechen. Sogar in ihrer gegenwärtigen Form untersagt sie es dem Wissenschaftler, sich bei seiner eigenen Forschung auf eine Theorie zu verlassen, wann immer diese Forschungsarbeit ein Gebiet betritt oder einen Grad der Genauigkeit sucht, wofür es in der bisherigen Praxis mit dieser Theorie keinen Präzedenzfall gibt. Diese Verbote sind logisch einwandfrei. Ihre Anwendung würde aber das Ende der Forschung bedeuten, durch die sich die Wissenschaft weiter entwickelt.

Nun ist auch dieser Punkt praktisch eine Tautologie. Ohne Bindung an ein Paradigma könnte es keine normale Wissen-

3 James B. Conant, *Overthrow of the Phlogiston Theory* (Cambridge 1950), S. 13–16; sowie J. R. Partington, *A Short History of Chemistry* (2. Aufl., London 1951), S. 85–88. Der vollständigste und verständnisvollste Bericht über die Leistungen der Phlogistontheorie steht bei H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* (Paris 1930), Teil II.

4 Vgl. die Schlussfolgerungen, die durch eine ganz andere Art der Analyse erreicht wurden, bei R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge 1953), S. 50–87, bes. S. 76.

schaft geben. Außerdem muß sich diese Bindung auf Gebiete und Genauigkeitsgrade erstrecken, für die es keinen vollständigen Präzedenzfall gibt. Täte sie es nicht, so könnte das Paradigma keine Rätsel stellen, die nicht schon gelöst worden sind. Dazu kommt, daß nicht nur die normale Wissenschaft von der Bindung an ein Paradigma abhängt. Wenn eine existierende Theorie den Wissenschaftler nur in bezug auf existierende Anwendungen bindet, dann kann es keine Überraschungen, Anomalien oder Krisen geben. Aber gerade dies sind die Wegweiser, die den Pfad zur außerordentlichen Wissenschaft zeigen. Wenn positivistische Einschränkungen des Bereichs der legitimen Anwendbarkeit einer Theorie wörtlich genommen werden, dann muß der Mechanismus, der einer wissenschaftlichen Gemeinschaft sagt, welche Probleme zu fundamentalen Veränderungen führen können, aufhören zu funktionieren. Und wenn das eintritt, wird die Gemeinschaft zwangsläufig in ein Stadium zurückkehren, das der Zeit vor dem Paradigma sehr ähnlich und ein Zustand ist, in dem alle Mitglieder Wissenschaft praktizieren, aber die Masse dessen, was sie hervorbringen, kaum etwas mit Wissenschaft zu tun hat. Ist es wirklich ein Wunder, daß der Preis für bedeutsamen wissenschaftlichen Fortschritt eine Bindung ist, die das Risiko eingeht, falsch zu sein?

Und was noch wichtiger ist, in dem Argument des Positivisten gibt es eine aufschlußreiche logische Lücke, die uns unmittelbar zum Wesen der revolutionären Veränderung zurückführt. Kann die Newtonsche Dynamik wirklich von der relativistischen Dynamik *abgeleitet* werden? Wie würde eine solche Ableitung aussehen? Denken wir uns eine Reihe von Aussagen, E_1, E_2, \dots, E_n , die zusammen die Gesetze der Relativitätstheorie verkörpern. Diese Aussagen enthalten Variable und Parameter, welche räumliche Lage, Zeit, Ruhemasse etc. darstellen. Aus diesen kann mit Hilfe des Systems der Logik und der Mathematik eine ganze Reihe weiterer Aussagen deduziert werden, einschließlich einiger, die durch Beobachtung überprüfbar sind. Um die Zulänglichkeit der Newtonschen Dyna-

mik als Spezialfall zu beweisen, müssen wir zu der E_1 -Reihe weitere Aussagen hinzufügen, zum Beispiel $(v/c)^2 \ll \ll 1$, wodurch der Bereich der Parameter und Variablen eingeschränkt wird. Diese erweiterte Reihe von Aussagen wird nun manipuliert, um eine neue Reihe, N_1, N_2, \dots, N_n , zu erhalten, die dann in ihrer Form mit Newtons Bewegungsgesetz, Gravitationsgesetz etc. identisch ist. Scheinbar ist die Newtonsche Dynamik von der Einsteinschen abgeleitet worden, gemäß einigen einschränkenden Bedingungen.

Und doch ist die Ableitung falsch, wenigstens bis zu diesem Punkt. Die N_1 -Reihe ist zwar ein Spezialfall der Gesetze der relativistischen Mechanik, aber sie ist nicht das Newtonsche Gesetz. Oder sie ist es zumindest nicht, solange Newtons Gesetze nicht in einer Weise neu interpretiert werden, die vor Einsteins Arbeit unmöglich gewesen wäre. Die Variablen und Parameter, die in der Einsteinschen E_1 -Reihe räumliche Lage, Zeit, Masse etc. darstellten, kommen in der N_1 -Reihe immer noch vor, und dort stellen sie noch immer Einsteins Raum, Zeit und Masse dar. Aber die physikalischen Beziehungen dieser Einsteinschen Begriffe sind auf keinen Fall mit denen der Newtonschen Begriffe gleichen Namens identisch. (Die Newtonsche Masse bleibt erhalten; die Einsteinsche ist austauschbar mit Energie. Nur bei niedrigen relativen Geschwindigkeiten können diese beiden in der gleichen Weise gemessen werden, und sogar dann dürfen sie nicht als gleich angesehen werden.) Solange wir die Definitionen der Variablen in der N_1 -Reihe nicht ändern, sind die abgeleiteten Aussagen nicht newtonisch. Ändern wir sie aber, so kann man rechtens nicht sagen, wir hätten Newtons Gesetze *abgeleitet*, zumindest nicht in dem Sinn von »ableiten«, wie er heute gebraucht wird. Unser Argument hat natürlich erklärt, warum Newtons Gesetze stets zu funktionieren schienen. Damit berechtigt es vielleicht einen Kraftfahrer, sich so zu verhalten, als lebte er in einem Newtonschen Universum. Ein Argument gleicher Art wird gebraucht, um den erdbezogenen Astronomie-Unterricht für Geometer zu rechtfertigen. Das Argument hat aber noch immer nicht das getan, was

es angeblich tun wollte. Das heißt, es hat noch nicht gezeigt, daß die Newtonschen Gesetze ein Grenzfall der Einsteinschen Gesetze sind. Denn auf dem Weg zu dieser Grenze haben sich nicht nur die Gesetze geändert. Gleichzeitig haben wir die fundamentalen Strukturelemente abwandeln müssen, aus denen sich das Universum, auf welches sie angewandt werden, zusammensetzt.

Dieser Zwang, die Bedeutung von feststehenden und vertrauten Begriffen zu ändern, ist der Brennpunkt der revolutionären Wirkung der Einsteinschen Theorie. Wenn die sich ergebende Begriffsumwandlung auch feiner ist als der Wechsel von der geozentrischen zur heliozentrischen Auffassung, vom Phlogiston zum Sauerstoff oder von der Korpuskular- zur Wellentheorie, so ist sie doch nicht weniger entscheidend für die Zerstörung eines vorher feststehenden Paradigmas. Wir werden sie vielleicht noch als den Prototyp revolutionärer Neuorientierungen in den Wissenschaften sehen lernen. Gerade weil er nicht die Einführung zusätzlicher Objekte oder Begriffe mit sich bringt, zeigt der Übergang von der Newtonschen zur Einsteinschen Mechanik mit besonderer Deutlichkeit, daß die wissenschaftliche Revolution eine Verschiebung des begrifflichen Netzwerks ist, durch welches die Wissenschaftler die Welt betrachten.

Diese Bemerkungen sollten genügen zu zeigen, was in einer anderen philosophischen Atmosphäre vielleicht als selbstverständlich hingenommen worden wäre. Wenigstens für Wissenschaftler sind die meisten augenscheinlichen Unterschiede zwischen einer aufgegebenen wissenschaftlichen Theorie und ihrer Nachfolgerin real. Zwar läßt sich eine veraltete Theorie immer als ein Spezialfall ihrer modernen Nachfolgerin ansehen, doch muß sie für diesen Zweck umgewandelt werden. Und diese Umwandlung kann nur dank den Vorteilen einer späteren Einsicht, der deutlichen Führung durch die neuere Theorie unternommen werden. Außerdem wäre, selbst wenn jene Umwandlung ein einwandfreies Mittel für die Auslegung der älteren Theorie darstellte, das Ergebnis ihrer Anwendung eine derart

begrenzte Theorie, daß sie nur das bereits Bekannte neu formulieren könnte. Ihrer Ökonomie wegen wäre diese Neuformulierung nützlich, sie würde jedoch als Richtschnur für die Forschung nicht ausreichen.

Wir wollen deshalb als erwiesen annehmen, daß die Gegensätze zwischen aufeinanderfolgenden Paradigmata ebenso notwendig wie unveröhnbar sind. Können wir dann mit mehr Bestimmtheit sagen, was für Gegensätze das sind? Der auffälligste Typ ist schon wiederholt beschrieben worden. Aufeinanderfolgende Paradigmata teilen uns verschiedene Dinge über den Bestand des Universums und über das Verhalten dieses Bestandes mit. Sie weichen allerdings bei Fragen wie der Existenz subatomarer Teilchen, der physischen Beschaffenheit des Lichts und der Erhaltung von Wärme oder Energie voneinander ab. Das sind die wesentlichen Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Paradigmata, und sie erfordern keine weiteren Erklärungen. Paradigmata unterscheiden sich aber in mehr als der Substanz, denn sie zielen nicht nur auf die Natur, sondern auch wieder zurück auf die Wissenschaft, die sie hervorbrachte. Sie sind die Quelle für Methoden, Problemgebiete und Lösungsnormen, die von einer reifen wissenschaftlichen Gemeinschaft zu irgendeinem Zeitpunkt anerkannt werden. Daraus ergibt sich, daß die Annahme eines neuen Paradigmas oft eine neue Definition der entsprechenden Wissenschaft erfordert. Manche alte Probleme können auf eine andere Wissenschaft übertragen oder als völlig »unwissenschaftlich« erklärt werden. Andere wieder, die vorher nicht existierten oder völlig unbedeutend waren, können mit einem neuen Paradigma geradezu ein Haupttypus wichtiger wissenschaftlicher Leistung werden. Und wie sich die Probleme ändern, so ändert sich oft auch die Norm, die eine wirklich wissenschaftliche Lösung von einer bloßen metaphysischen Spekulation, einem Wortspiel oder einer mathematischen Spielerei unterscheidet. Die normalwissenschaftliche Tradition, die aus einer wissenschaftlichen Revolution hervorgeht, ist mit dem Vorangegangenen nicht nur unvereinbar, sondern oft auch tatsächlich nicht vergleichbar.

Die Wirkung der Newtonschen Arbeit auf die normale Tradition wissenschaftlicher Praxis im siebzehnten Jahrhundert liefert ein treffendes Beispiel für diese feineren Folgen einer Paradigmaverschiebung. Vor Newtons Geburt war es der »neuen Wissenschaft« des Jahrhunderts endlich gelungen, die Aristotelischen und scholastischen Erklärungen zu verwerfen, die in Begriffen von Substanzen materieller Körper ausgedrückt waren. Die Aussage, daß ein Stein falle, weil ihn sein »Wesen« zum Mittelpunkt des Universums treibe, war nun zu einem rein tautologischen Wortspiel geworden, was sie vorher nicht gewesen war. Fortan mußte der ganze Schwall von Sinneserscheinungen, einschließlich Farbe, Geschmack und sogar Gewicht, in Begriffen von Größe, Form, Lage und Bewegung der Elementarteilchen der Grundmaterie erklärt werden. Den elementaren Atomen andere Eigenschaften zuzuschreiben, war ein Zufluchtnehmen beim Okkulten und kam deshalb für die Wissenschaft nicht in Frage. Molière erfaßte den neuen Geist genau, als er den Arzt verspottete, der die Wirksamkeit des Opiums als Schlafmittel seiner einschläfernden Wirkung zuschrieb. In der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts zogen es viele Wissenschaftler vor, der runden Form der Opiumpartikel die beruhigende Wirkung auf die Nerven, um die sie sich bewegten, zuzuschreiben.⁵

In einer früheren Periode waren die Erklärungen im Sinne okkulten Eigenschaften ein wesentlicher Teil produktiver wissenschaftlicher Arbeit gewesen. Trotzdem erwies sich die neue Neigung des siebzehnten Jahrhunderts zu mechano-korpuskularer Erklärung für eine Anzahl von Wissenschaften als immens fruchtbar, indem sie diese von Problemen befreite, die einer allgemein anerkannten Lösung getrotzt hatten, und ihnen dafür andere anbot. So sind zum Beispiel in der Dynamik die drei Newtonschen Gesetze der Bewegung weniger das Ergebnis neuartiger Experimente als des Versuchs, wohlbekannte Beob-

⁵ Für die allgemeine Korpuskulartheorie siehe Marie Boas, »The Establishment of the Mechanical Philosophy«, *Osiris*, X (1952), 412-541. Für die Wirkung der Partikelform auf den Geschmack siehe *ibid.*, S. 483.

achtungen mit Begriffen der Bewegung und Wechselwirkung ursprünglich neutraler Korpuskeln neu zu interpretieren. Betrachten wir nur einen konkreten Fall. Da neutrale Korpuskeln nur bei Kontakt aufeinander einwirken konnten, richtete die mechano-korpuskulare Naturanschauung die wissenschaftliche Aufmerksamkeit auf ein völlig neues Studienobjekt – die Veränderung der Teilchenbewegung durch Kollision. Descartes machte das Problem bekannt und lieferte seine erste vermeintliche Lösung. Huygens, Wren und Wallis entwickelten es weiter, teils dadurch, daß sie mit kollidierenden Pendelgewichten experimentierten, vor allem aber dadurch, daß sie altbekannte Bewegungsmerkmale auf das neue Problem übertrugen. Und Newton fügte ihre Ergebnisse in seine Bewegungsgesetze ein. Die gleichwertige »Wirkung« und »Gegenwirkung« des dritten Gesetzes sind die Veränderungen im Bewegungsgrad der beiden an der Kollision beteiligten Teile. Die gleiche Bewegungsänderung liefert die Definition der dynamischen Kraft, die im zweiten Gesetz enthalten ist. In diesem wie auch in vielen anderen Fällen des siebzehnten Jahrhunderts erzeugte das Korpuskularparadigma ein neues Problem und gleichzeitig auch einen großen Teil der Lösung dieses Problems.⁶

Und doch, obwohl ein großer Teil der Newtonschen Arbeit sich auf die Probleme und Normen richtete, die vom mechano-korpuskularen Weltbild hergeleitet waren, war die Wirkung des aus seiner Arbeit entstehenden Paradigmas eine weitere, teilweise destruktive Veränderung der für die Wissenschaft gültigen Probleme und Normen. Die Schwerkraft, die als eine natürliche Anziehung zwischen jedem Teilchenpaar der Materie interpretiert wurde, war eine okkulte Eigenschaft im gleichen Sinne, wie es die »Falltendenz« der Scholastiker gewesen war. Deshalb war die Suche nach einer mechanischen Erklärung der Schwerkraft eines der lockendsten Probleme für die, welche die *Principia* als Paradigma annahmen, mochten auch die Normen der Korpuskulartheorie weiterhin wirksam blei-

6 R. Dugas, *La mécanique aux XVII^e siècle* (Neuchâtel 1954), S. 177–85, 284–98, 345–56.

ben. Newton wandte dieser Suche viel Aufmerksamkeit zu, und viele seiner Nachfolger im achtzehnten Jahrhundert taten das gleiche. Die einzige Möglichkeit war die Ablehnung der Newtonschen Theorie, weil sie die Schwerkraft nicht erklären konnte, und auch diese Alternative wurde weitgehend angenommen. Dabei triumphierte letztlich keine dieser Anschauungen. Da sie einerseits die Wissenschaft ohne die *Principia* nicht praktizieren, andererseits aber dieses Werk den Korpuskularnormen des siebzehnten Jahrhunderts nicht anpassen konnten, übernahmen die Wissenschaftler allmählich die Anschauung, daß die Schwerkraft in der Tat etwas Natürliches sei. In der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts war diese Interpretation fast allgemein anerkannt, und das Ergebnis war eine echte Rückkehr (was nicht das gleiche ist wie ein Rückschritt) zu einer scholastischen Norm. Natürliche Kräfte der Anziehung und Abstoßung vereinigten Größe, Form, Lage und Bewegung als physikalisch nicht reduzierbare Primäreigenschaften der Materie.⁷

Die sich ergebende Veränderung der Normen und des Problembereichs der physikalischen Wissenschaft war wiederum folgerichtig. In den Jahren nach 1740 konnten die Elektriker beispielsweise von der anziehenden »Tugend« der elektrischen Flüssigkeit sprechen, ohne damit den Spott herauszufordern, dem Molières Doktor ein Jahrhundert vorher begegnet war. Indem sie das taten, enthüllten ihnen die elektrischen Phänomene immer mehr eine Ordnung, die sich von jener unterschied, welche sie gezeigt hatten, als sie noch für die Wirkungen einer nur durch Kontakt hervorrufbaren mechanischen Ausdünstung angesehen wurden. Insbesondere konnte, nachdem die elektrische »Fernwirkung« mit Recht zu einem eigenen Studienobjekt geworden war, das Phänomen, das wir heute Aufladung durch Induktion nennen, als eine ihrer Wirkungen erkannt werden. Früher war sie, wenn überhaupt wahrgenom-

7 I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Philadelphia 1956) Kap. VI–VII.

men, der unmittelbaren Wirkung von elektrischen »Atmosphären« oder von Kriechströmen, die in jedem elektrischen Labor unvermeidlich sind, zugeschrieben worden. Die neue Auffassung der induktiven Wirkungen war wiederum der Schlüssel zu Franklins Analyse der Leydenschen Flasche und damit auch für das Auftauchen eines neuen und Newtonschen Paradigmas für die Elektrizität. Dynamik und Elektrizität waren auch nicht die einzigen wissenschaftlichen Gebiete, die von der Legitimierung der Suche nach natürlichen Kräften in der Materie berührt wurden. Die umfangreiche Literatur im achtzehnten Jahrhundert über die chemischen Affinitäten und homologen Ersatzreihen leitet sich ebenfalls von diesem übermechanischen Aspekt des Newtonismus her. Die Chemiker, die an diese charakteristischen Anziehungskräfte zwischen den verschiedenen chemischen Spezies glaubten, stellten früher undenkbare Experimente an und suchten nach neuen Reaktionsarten. Ohne die in diesem Prozeß entwickelten Daten und chemischen Vorstellungen wären die späteren Arbeiten Lavoisiers und ganz besonders Daltons unverstündlich.⁸ Änderungen der Normen für zulässige Probleme, Auffassungen und Erklärungen können eine Wissenschaft umwandeln. In einem gewissen Sinn, auf den ich im nächsten Abschnitt hinweisen werde, können sie sogar die Welt umwandeln.

Weitere Beispiele für diese nicht-substantiellen Gegensätze zwischen aufeinanderfolgenden Paradigmata können in der Geschichte jeder Wissenschaft in fast allen ihren Entwicklungsperioden gefunden werden. Für den Augenblick wollen wir uns mit nur zwei weiteren und weitaus kürzeren Beispielen begnügen. Vor der chemischen Revolution war es eine der anerkannten Aufgaben der Chemie, die Eigenschaften chemischer Stoffe und die Veränderung dieser Eigenschaften im Verlaufe chemischer Reaktionen zu erklären. Mit Hilfe einer kleinen Zahl elementarer »Prinzipien« – eines davon war das Phlogiston – sollte der Chemiker begründen, warum manche Stoffe

⁸ Für Elektrizität siehe *ibid.*, Kap. VIII-IX. Für Chemie siehe Metzger, *op. cit.*, Teil I.

säurehaltig, andere metallisch, brennbar etc. sind. Einiger Erfolg war in dieser Richtung erzielt worden. Wir haben schon gesehen, wie das Phlogiston erklärte, warum die Metalle so viel gemeinsam hatten, und wir hätten auch für die Säure eine entsprechende Beweisführung finden können. Lavoisiers Reform jedoch schaffte schließlich die »Prinzipien« ab und endete damit, die Chemie um einige tatsächliche und viele potentielle Möglichkeiten der Erklärung zu berauben. Um diesen Verlust wettzumachen, war eine Veränderung der Normen erforderlich. Während eines großen Teils des neunzehnten Jahrhunderts sprach das Unvermögen, die Eigenschaften von Verbindungen zu erklären, nicht gegen die chemische Theorie.⁹

Clerk Maxwell teilte mit anderen Befürwortern der Wellentheorie des Lichts im neunzehnten Jahrhundert die Überzeugung, daß sich die Lichtwellen durch einen materiellen Äther fortpflanzen müssen. Das Ersinnen eines mechanischen Mediums, das solche Wellen trüge, war für viele seiner fähigsten Zeitgenossen ein Standardproblem. Seine eigene Theorie jedoch, die elektromagnetische Theorie des Lichts, hatte überhaupt keine Erklärung für ein Medium, das in der Lage wäre, Lichtwellen zu tragen, und sie machte ganz offensichtlich das Auffinden einer Erklärung noch schwieriger, als es vorher bereits erschien. Anfänglich war Maxwells Theorie aus eben diesen Gründen abgelehnt worden. Aber wie bei Newtons Theorie erwies es sich auch bei derjenigen Maxwells als schwer, auf sie zu verzichten, und als sie den Status eines Paradigmas erlangte, änderte sich auch die Haltung der Gemeinschaft ihr gegenüber. In der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts wirkte Maxwells Beharren auf der Existenz eines mechanischen Äthers bald nur noch wie Lippendienst, was es ganz entschieden nicht gewesen war, und die Versuche, ein solches ätherisches Medium zu ersinnen, wurden aufgegeben. Die Wissenschaftler hielten es nicht mehr für unwissenschaftlich, von einer elektrischen »Verschiebung« zu sprechen, ohne zu spezifizieren, was verschoben wurde. Das Ergebnis war wiederum eine neue Reihe von Pro-

⁹ E. Meyerson, *Identity and Reality* (New York 1930), Kap. X.

blemen und Normen und hatte schließlich mit dem Auftauchen der Relativitätstheorie viel zu tun.¹⁰

Diese charakteristischen Verlagerungen in der Auffassung der wissenschaftlichen Gemeinschaft von ihren gültigen Problemen und Normen wären für die Thesen dieses Essays weniger bedeutungsvoll, wenn man annehmen könnte, daß sie sich immer von einem methodologisch niedrigeren zu einem höheren Typ vollzögen. In diesem Falle würden ihre Wirkungen auch kumulierend erscheinen. Es ist kein Wunder, daß einige Historiker behauptet haben, die Geschichte der Wissenschaft zeige eine fortlaufende Steigerung der Reife und Verfeinerung der menschlichen Auffassung vom Wesen der Wissenschaft.¹¹ Doch ist es weit schwieriger, Argumente für eine kumulierende Entwicklung der wissenschaftlichen Probleme und Normen vorzubringen, als für eine Kumulierung von Theorien. Der Versuch, die Schwerkraft zu erklären, wurde zwar von den meisten Wissenschaftlern des achtzehnten Jahrhunderts mit Gewinn aufgegeben, war aber nicht auf ein an sich illegitimes Problem gerichtet; die Einwände gegen natürliche Kräfte waren weder unwissenschaftlich noch in irgendeinem herabsetzenden Sinne metaphysisch. Es gibt keine äußeren Normen, die eine Beurteilung dieser Art gestatten. Was geschah, war weder ein Absinken noch ein Aufsteigen der Normen, sondern einfach ein Wechsel, den die Annahme eines neuen Paradigmas forderte. Außerdem ist dieser Wechsel seitdem umgeschlagen und könnte es wieder tun. Im zwanzigsten Jahrhundert gelang es Einstein, die Anziehungskräfte durch Schwerkraft zu erklären, und diese Erklärung hat die Wissenschaft zu einer Reihe von Kanons und Problemen zurückgebracht, die in diesem besonderen Falle eher denen von Newtons Vorgängern als denen seiner Nachfolger ähneln. Oder anders ausgedrückt, die Entwicklung der Quan-

¹⁰ E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, II (London 1953), 28–30.

¹¹ Für einen brillanten und völlig modernen Versuch, die wissenschaftliche Entwicklung in dieses Prokrustesbett zu bringen, siehe C. C. Gillispie, *The Edge of Objectivity: An Essay in the History of Scientific Ideas* (Princeton 1960).

tenmechanik hat das methodologische Verbot, das in der chemischen Revolution entstand, umgekehrt. Die Chemiker versuchen jetzt, und zwar mit großem Erfolg, die Farbe, den Aggregatzustand und andere Eigenschaften der in ihren Laborkontrollen erzeugten Substanzen zu erklären. Ein ähnlicher Umschwung mag vielleicht in der elektromagnetischen Theorie im Gange sein. Der Raum ist in der heutigen Physik nicht die träge und homogene Grundlage, als die er in Newtons und Maxwells Theorie auftrat; einige seiner neuen Eigenschaften sind jenen einst dem Äther zugeschriebenen nicht unähnlich; eines Tages werden wir vielleicht wissen, was eine elektrische Verschiebung ist.

Wenn wir die Betonung von den kognitiven auf die normativen Funktionen des Paradigmas verlagern, dann erweitern die vorangegangenen Beispiele unser Verständnis der Art und Weise, in der Paradigmata dem wissenschaftlichen Leben Form verleihen. Vorher haben wir in der Hauptsache die Rolle des Paradigmas als Träger einer wissenschaftlichen Theorie untersucht. In dieser Rolle funktioniert es, indem es dem Wissenschaftler von den Entitäten Kenntnis gibt, welche die Natur enthält oder nicht enthält, und von der Art und Weise, in der sich diese Entitäten verhalten. Durch diese Informationen entsteht ein Plan, dessen Einzelheiten durch reife wissenschaftliche Forschung erklärt werden. Und da die Natur viel zu komplex und vielfältig ist, um auf gut Glück erforscht zu werden, ist dieser Plan genauso wichtig für die kontinuierliche Weiterentwicklung der Wissenschaft wie Beobachtung und Experiment. Durch die von ihnen verkörperten Theorien erweisen sich die Paradigmata als grundlegend für die Forschungstätigkeit. Sie sind jedoch für die Wissenschaft in noch anderer Hinsicht konstitutiv, und darauf kommt es uns nun an. Besonders unsere letzten Beispiele zeigen, daß die Paradigmata die Wissenschaftler nicht nur mit einem Plan versorgen, sondern auch mit einigen wesentlichen Richtlinien für die Erstellung eines Planes. Wenn der Wissenschaftler ein Paradigma erlernt, erwirbt er sich Theorie, Methoden und Normen, gewöhnlich in einer un-

entwirrbaren Mischung. Wenn Paradigmata wechseln, gibt es deshalb normalerweise bezeichnende Verschiebungen der Kriterien, welche die Gültigkeit von Problemen und den sich anbietenden Lösungen bestimmen.

Diese Beobachtung bringt uns zum Ausgangspunkt dieses Abschnittes zurück, denn sie liefert uns den ersten deutlichen Hinweis darauf, warum die Wahl zwischen konkurrierenden Paradigmata regelmäßig Fragen aufwirft, die mit den Kriterien der normalen Wissenschaft nicht gelöst werden können. In dem Maße – einem ebenso bezeichnenden wie lückenhaften Maß –, in dem die Auffassungen zweier wissenschaftlicher Schulen darüber, was ein Problem und was eine Lösung ist, auseinandergehen, werden sie zwangsläufig aneinander vorbeireden, wenn sie über die relativen Vorzüge ihrer jeweiligen Paradigmata debattieren. In den sich regelmäßig ergebenden, teilweise im Kreis laufenden Argumenten wird für jedes Paradigma gezeigt, daß es mehr oder weniger den Kriterien, die es sich selbst vorschreibt, gerecht wird und einigen jener Kriterien, die ihm von seinen Gegnern zudiktiert werden, nicht völlig genügt. Es gibt auch noch andere Gründe für die Lückenhaftigkeit logischer Kontakte, die durchweg die Paradigmadebatten charakterisiert. Da beispielsweise kein Paradigma jemals alle von ihm definierten Probleme löst und da keine zwei Paradigmata genau dieselben Probleme ungelöst lassen, bringen Paradigmadebatten immer die Frage mit sich: die Lösung welcher Probleme ist bedeutsamer? Wie der Streit konkurrierender Normen kann diese Frage nach den Werten nur im Rahmen von Kriterien entschieden werden, die außerhalb der normalen Wissenschaft liegen, und gerade diese Zuflucht zu äußeren Kriterien macht ganz offensichtlich die Paradigmadebatten revolutionär. Es geht aber noch um etwas Grundlegenderes als Normen und Werte. Bisher habe ich nur behauptet, Paradigmata seien konstitutiv für die Wissenschaft. Jetzt möchte ich darlegen, inwiefern sie auch für die Natur konstitutiv sind.

X. Revolutionen als Wandlungen des Weltbildes

Wenn der Wissenschaftshistoriker die Aufzeichnungen der früheren Forschung vom Standpunkt der zeitgenössischen Geschichtsschreibung aus untersucht, mag er versucht sein zu behaupten, daß bei einem Paradigmawechsel die Welt sich ebenfalls verändert. Unter der Führung eines neuen Paradigmas machen sich die Wissenschaftler neue Apparate zu eigen und blicken in neue Räume. Und was noch wichtiger scheint, während der Revolutionen sehen die Wissenschaftler neue und andere Dinge, auch wenn sie mit bekannten Apparaten sich in Räumen umsehen, die sie vorher schon einmal untersucht hatten. Es ist fast, als wäre die gelehrte Gemeinschaft plötzlich auf einen anderen Planeten versetzt worden, wo vertraute Gegenstände in einem neuen Licht erscheinen und auch unbekanntes sich hinzugesellen. Natürlich geschieht in Wirklichkeit nichts dergleichen: es gibt keine geographische Verpflanzung; außerhalb des Labors gehen die alltäglichen Geschehnisse wie bisher weiter. Und doch, Paradigmawechsel veranlassen die Wissenschaftler tatsächlich, die Welt ihres Forschungsbereichs anders zu betrachten. Soweit ihre einzige Beziehung zu dieser Welt in dem besteht, was sie sehen und tun, können wir wohl sagen, daß die Wissenschaftler nach einer Revolution für eine andere Welt empfänglich sind.

Als elementare Prototypen für solche Veränderungen der Welt des Wissenschaftlers erweisen sich die vertrauten Darstellungen eines visuellen Gestaltwandels geradezu als suggestiv. Was in der Welt des Wissenschaftlers vor der Revolution Enten waren, sind nachher Kaninchen. Ein Mensch, der zuerst von oben die Außenseite eines Kastens sieht, erblickt später von unten die Innenseite. Veränderungen dieser Art sind übliche Begleiterscheinungen der wissenschaftlichen Ausbildung, wenn sie auch gewöhnlich langsamer vor sich gehen und fast immer