



**WERNER HEISENBERG.  
VORTRÄGE ZUM 100. GEBURTSTAG**

ROHRBACHER KREIS

ROSA-LUXEMBURG-STIFTUNG SACHSEN 2002

**WERNER HEISENBERG.  
ZUM 100. GEBURTSTAG**

ROHRBACHER KREIS

ROSA-LUXEMBURG-STIFTUNG SACHSEN 2002

# ROHRBACHER KREIS SONDERHEFT

Im Auftrag der Rosa-Luxemburg-Stiftung Sachsen e. V.  
und des Rohrbacher Kreises  
herausgegeben von Gotthard Klose und Kurt Reiprich

ISBN

© ROSA-LUXEMBURG-STIFTUNG SACHSEN e. V. 2002  
Harkortstr. 10  
D-04107 Leipzig

Redaktion: Kurt Reiprich und Olaf Kirchner

Umschlag: Die Abbildungen stammen aus dem Privatbesitz von Werner Holzmüller. Die Zeichnung wurde von ihm in den fünfziger Jahren nach einem eigenen Foto angefertigt. Das Dia entstand auf der Lindauer Nobelpreisträger-Tagung 1956 und zeigt u. a. Werner Heisenberg (hintere Reihe ganz links, fast völlig verdeckt), neben ihm Max Born.

Satz: Olaf Kirchner

Herstellung: GNN Verlag Sachsen/Berlin GmbH  
Badeweg 1, D-04435 Schkeuditz

# Inhalt

1	Vorwort .....	5
2	Werner Holzmüller: Heisenberg in Leipzig .....	7
3	Armin Uhlmann: Heisenberg und die Begründung der Quantentheorie (Inhaltsangabe) .....	19
4	Herbert Hörz: Heisenberg – Determinismus und die Folgen ..	21
5	Kurt Reiprich: Heisenberg über Newtons und Goethes Farbenlehre .....	49
6	Gotthard Klose: Kurze Einführung zur Besichtigung des 750 MHz-NMR-Labors an der Fakultät für Physik und Geowissenschaften.....	59
7	Autoren dieses Heftes .....	65



## Vorwort

Der Rohrbacher Kreis der Rosa-Luxemburg-Stiftung Sachsen e. V. und die Leibniz-Sozietät e. V. führten am 5. November 2001 eine wissenschaftliche Veranstaltung anlässlich des Geburtstages von Werner Heisenberg durch, der sich am 5. Dezember 2001 zum hundertsten Male jährte.

In der vorliegenden Publikation veröffentlichen wir drei Vorträge, die Kurzfassung eines Vortrages und die Einführung zur Besichtigung des 750 MHz-NMR-Labors an der Fakultät für Physik und Geowissenschaften der Universität Leipzig.

Das einigende Band dieser Vorträge wird vielleicht am deutlichsten durch einen Satz Werner Heisenbergs: »Einen Anspruch allerdings darf die heutige Naturwissenschaft sicher mit Recht erheben: daß sie auf dem Wege ihres Fortschritts dem menschlichen Geist neue Formen des Denkens, neue Freiheiten schafft, die keine andere Wissenschaft schaffen könnte, und die als wichtige Hilfsmittel künftig in jedem Arbeitsfeld des Geistes zu brauchen sind; daß sie hierdurch ein auch für die anderen Wissenschaften wichtiges Beispiel dafür gibt, wie eine außerordentliche Erweiterung der letzten abstrakten Grundlagen unseres Denkens möglich ist, ohne daß man dafür die geringste Unklarheit oder Unschärfe in Kauf nehmen müßte.«<sup>1</sup>

So versuchen die Autoren der Idee Heisenbergs zu folgen, daß die Physik zum Fundament eines Gebäudes der Naturwissenschaft geworden ist, von einer geordneten Ganzheit der Welt ausgeht, durch deren Erklärung und Verständnis wir befähigt werden, sie uns geistig und materiell anzueignen. Nicht zuletzt die Besichtigung des NMR-Labors mit einer Erläuterung der quantenmechanischen Grundlage der magnetischen Kernresonanz, des Spektrometers und der Anwendungsfelder demonstrierte die praktische Bedeutung der Quantenmechanik.

Die Grundlage der Klarheit und Schärfe sowie der praktischen Leistungsfähigkeit aller Erfahrungswissenschaften, dies versuchen alle Vor-

---

1 Werner Heisenberg: Zur Geschichte der physikalischen Naturerklärung. In Werner Heisenberg: Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft. Stuttgart 1959. S. 24f.

träge zu zeigen, beruht letztlich auf der Einheit von mathematischer Sprache, der Belegung ihrer Zeichen durch empirische Daten und der Verifizierung der dadurch gewonnenen Aussagen durch das Experiment. Syntax und Semantik dieser Wissenschaftssprache führen zu einem einheitlichen Modell der Wirklichkeit, das sowohl logisch geschlossen, als auch für neue Erkenntnisse offen ist. So unterschiedlich die hier gedruckten Beiträge auch sind, sie alle diskutieren folgende Überlegung Werner Heisenbergs: »Nicht mehr die objektiven Ereignisse, sondern die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten gewisser Ereignisse können in mathematischen Formeln festgelegt werden. Nicht mehr das faktische Geschehen selbst, sondern die Möglichkeit zum Geschehen – die ›Potentia«, wenn wir diesen Begriff des Aristoteles verwenden wollen – ist strengen Naturgesetzen unterworfen.«<sup>2</sup>

Die Veröffentlichung der Vorträge dieser Veranstaltung sollen dazu beitragen, die Begründung der Einheit der Wissenschaft als einen Weg zu verstehen, der Rationalität der Erkenntnis mit humanistischer Verantwortung verbindet.

Wir danken der Leitung der Fakultät für Physik und Geowissenschaften der Universität Leipzig, daß wir die Veranstaltung mit ihrer Unterstützung in ihren Räumen durchführen konnten.

Gotthard Klose und Kurt Reiprich

---

2 Werner Heisenberg: Die Plancksche Entdeckung und die philosophischen Grundfragen der Atomlehre. In: Ebenda. S. 169.

WERNER HOLZMÜLLER

## Heisenberg in Leipzig

Im Jahre 1927 wurde Werner Heisenberg von Göttingen und Kopenhagen kommandiert als Nachfolger von Des Coudres auf den Lehrstuhl Theoretische Physik der Universität Leipzig berufen. Er hatte seine grundlegenden Arbeiten über Ungenauigkeitsrelation und Matrizenmechanik bereits in Helgoland und Göttingen vollendet und wendete sich in Leipzig verstärkt der Physik des Atomkernes und des Ferromagnetismus zu. Dabei wurde er wesentlich unterstützt von seinen hervorragenden Mitarbeitern: Carl Friedrich von Weizsäcker, Bernhard Kockel, Felix Bloch, Edward Teller, Otto Robert Frisch, Erich Bagge, Hans Bethe, Karl Wirtz u. a. Sehr fruchtbar erwies sich auch seine Zusammenarbeit mit Friedrich Hund, dem Inhaber des Lehrstuhles Mathematische Physik, während ein intensiver Gedankenaustausch mit Enrico Fermi bereits vorher in Göttingen erfolgte. Leipzig entwickelte sich zum Zentrum der Physik neben München und Göttingen. Ich bin glücklich, als junger Student und Anfänger ganz hervorragende Lehrer in Leipzig vorzufinden. Dazu gehörten mein Doktorvater Peter Debye (neben Werner Heisenberg), Bartel van der Waerden, Paul Koebe, Léon Lichtenstein, Friedrich Levi, Burckhardt Helfrich, um nur die wichtigsten zu nennen.

Wir erlebten Werner Heisenberg als einen uns sehr nahe stehenden 31jährigen. Zu den meisten Professoren der Physik und Mathematik existierte ein durch den Altersunterschied und die gesellschaftliche Stellung gebotener Abstand, verstärkt durch die Schüchternheit unsererseits. Aber zu den beiden Lehrstuhlinhabern der theoretischen Physik: Heisenberg und Hund bestand ein viel menschlicheres Verhältnis. Beide gehörten der Jugendbewegung an. Heisenberg kam in Turnschuhen und Tennisbekleidung in die Vorlesungen und spielte gern Tischtennis mit den Seminarbesuchern. Mit Herrn Hund hatte ich im 6. Semester meines Studiums Gelegenheit allein einen Spaziergang durch den Auenwald im Süden Leipzig mit interessanten Gesprächen über europäische Parkanlagen zu unternehmen. Beide Professoren der theoretischen Physik ließen sich nicht betören von dem Propagandageschrei der Nationalsozialisten.

Viele Studenten waren allerdings fanatische Anhänger dieser Ideologie. Lenard und Stark verstanden die Quantenphysik nicht und verunglimpften diese im Hinblick auf einige jüdische Assistenten von Werner Heisenberg als jüdische Physik. Das kam auch in Leipzig bei der Rückkehr von Heisenberg nach seinem Vortrag in Stockholm anlässlich des im Jahre 1932 ihm verliehenen Nobelpreis zum Ausdruck.

Heisenberg war immer tolerant, nie nachträglich, humanistisch und menschlich denkend. Er wußte, daß den jungen Menschen in Deutschland durch einen nationalistischen Geschichtsunterricht und eine Überbetonung des Deutschtums in der Schule und im Elternhaus ein völlig verzerrtes und falsches Weltbild vermittelt wurden war. Trotzdem verleugnete Heisenberg niemals seine Zugehörigkeit zu Deutschland und zu dem ihm anerzogenen Pflichtbewußtsein. Er befolgte die scheinbar legal begründeten Gesetze der Obrigkeit, benutzte seine Stellung als späterer Direktor des Kaiser-Wilhelm-Institutes um offenbare Unrechtshandlungen und die Verheizung tüchtiger Nachwuchskräfte in Hitlers Raubkrieg zu verhindern. In dieser Hinsicht tat er das gleiche wie der Mitbetreuer meiner Habilitationsarbeit Max von Laue.

1934 und 1935 hörte ich die Grundvorlesungen zur theoretischen Physik: Mechanik und Elektrodynamik bei Prof. Heisenberg, Wärmelehre und Optik bei Prof. Hund. Es galt wöchentlich vier Vorlesungsstunden vollinhaltlich zu erfassen und etwa in acht Stunden die zu diesen gehörenden Übungsaufgaben zu lösen. Diese wurden dann von den Assistenten, den Herren von Weizsäcker und Kockel durchgesehen. Noch heute stehe ich mit Herrn von Weizsäcker in gutem Briefwechsel. Er erinnert sich noch an meine etwas unleserliche Schrift und an einige von mir vorgeschlagene neuartige Lösungen. Das gilt z. B. für die erst Jahre später in der Literatur auftretende Zielkowskigleichung zur Berechnung von Satelliten zur Erdumkreisung. Herr Heisenberg meinte aber, daß 43 Kilogramm Treibstoff für ein Kilogramm Masse, das dann ungebremst die Erde umkreisen würde, bei den beschränkten Treibstoffvorräten auf der Erde zu viel seien, um eine solche Technik zu erproben. Da hat er sich gründlich getäuscht.

Die Vorlesungen von Herrn Heisenberg zeichneten sich durch Klarheit und didaktisches Können aus. Er bevorzugte die deduktive Lehrmethode. Er ging von axiomatischen als richtig erkannten Grundgleichungen aus und leitete daraus ein Fülle von experimentell zu bestätigende Folgerungen ab. So zeigte er, daß die aus den Newtonschen Gleichungen folgenden Beziehungen von Lagrange und Hamilton die ganze klassische

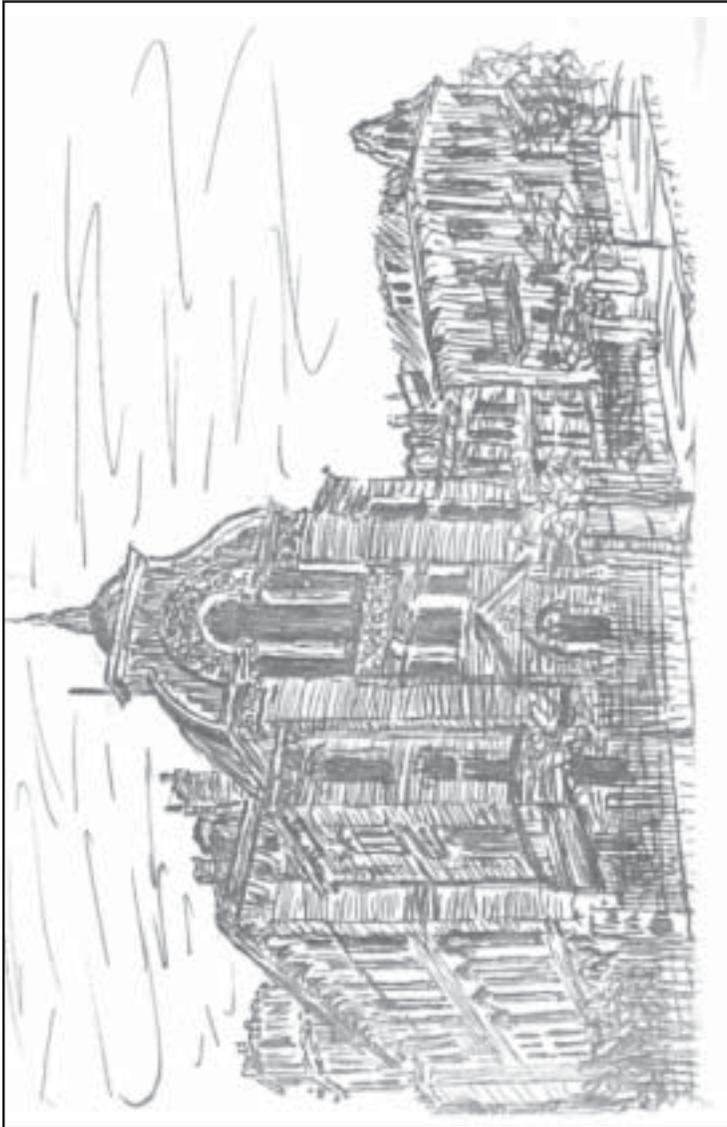


Bild 1: Physikalisches Institut der Universität Leipzig. Die Zeichnung stammt aus dem Privatbesitz von Prof. Werner Holzmüller und wurde von ihm in den fünfziger Jahren nach einem eigenen Foto angefertigt.

Mechanik beinhalteten. In der Vorlesung Elektrizitätslehre schrieb er in fast allen Stunden zunächst die Maxwell'schen Gleichungen in Vektorform an die Tafel und bewies damit die Existenz der Hertz'schen Wellen sowie Beugung und Interferenz aller elektromagnetischer Wellen. Seine großen didaktischen Leistungen veranlaßten viele Nichtphysiker seine Vorlesungen zu besuchen. In leichtverständlicher Form hielt er 1930 einen Vortrag über die Geschichte der Quantenphysik im mathematischen Verein (der späteren mathematischen Verbindung), von dem mir erst Jahre später begeistert berichtet wurde. Das war charakteristisch für Heisenbergs Zuneigung zur akademischen Jugend.

Ein Gespräch von mir mit Herrn Heisenberg im Jahre 1935 im Debye-Kolloquium soll nicht unerwähnt bleiben. Schon damals beschäftigte ich mich mit der Speicherung von Informationen in den menschlichen Keimzellen. Ich wurde dazu von Arbeiten des Biologen und Philosophen Hans Driesch angeregt. Driesch hatte bekanntlich Seeigeleier am Beginn ihrer Entwicklung unterteilt und dabei festgestellt, daß sich aus jedem Teilstück ein vollständiger Seeigel entwickelte. Er hatte damit zum ersten Mal Lebewesen geklont, was heute völlig in Vergessenheit geraten ist. Ich äußerte damals gegenüber Heisenberg die Ansicht, daß die Zahl der Moleküle in der menschlichen Keimzelle nicht ausreicht, um die unermeßliche Zahl der zu übertragenden Erbmerkmale zu speichern. Heisenbergs Antwort war: Es kommt nicht auf die Zahl der unterschiedlichen Eiweißmoleküle an, sondern auf deren wechselseitige räumliche Zuordnung. Wie man in der Sprache durch verschiedenartige Zusammenfügung von Buchstaben beliebig viele Informationen speichern kann, sind auch wechselseitige Zuordnungen von Molekülteilen oder Einzelmolekülen als Informationsspeicher möglich. Damit wies Heisenberg in diesem persönlichen Gespräch mit mir bereits 1935 auf die erst 1953 von Watson und Crick in der Desoxyribonukleinsäure verwirklichte, lebensgestaltende Informationsspeicherung hin. Diese über das Einzelteilchen hinausgehende Betrachtungsweise findet auch in der von Heisenberg wiederholt zum Ausdruck gebrachten Bewunderung von Kristallen und deren Symmetrie ihren Niederschlag.

Im Jahre 1936 folgte der Betreuer meiner Dissertation, Herr Prof. Debye, einem Ruf als Leiter des Kaiser-Wilhelm-Institutes für Physik nach Berlin. Da ich meine experimentellen Arbeiten abgeschlossen hatte, übernahm Herr Prof. Heisenberg die abschließende Beurteilung meiner Arbeit. Ich kann jetzt in dankbarer Erinnerung sagen, daß die drei

bedeutenden Hochschullehrer Debye, Heisenberg und Hund meine wissenschaftliche Entwicklung prägten und meine Forschungen auf dem Gebiet der Makromoleküle einleiteten. Von Berlin aus konnte ich ab 1937 den Fortgang der Physik in Leipzig nur als Außenseiter verfolgen.

Die Entdeckung der Spaltung des Uranisotops 235 unter Emission von zwei bis drei Neutronen, verbunden mit beträchtlicher Energieabgabe, durch Hahn und Straßmann Ende 1938, gestaltete von nun an das Forschungsgebiet von Werner Heisenberg und seine Hinwendung zur Physik der Atomkerne. Hierzu bestanden in Leipzig die besten Voraussetzungen. Hier hatten bereits Erich Marx bis 1933 (nicht entschuldbare Entlassung dieses hochbegabten jüdischen Wissenschaftlers durch die Nationalsozialisten), Fritz Kirchner und Wilhelm Hanle fundamentale Arbeiten geleistet und experimentelle Voraussetzungen geschaffen. Trotz der Pöbeleien fanatisierter Nationalsozialisten und der Nichtberufung als Nachfolger von Arnold Sommerfeld nach München verblieb Werner Heisenberg bis 1942 gern in Leipzig und leitete hier den 1939 entstehenden »Uranverein«.

Alle in Deutschland verbliebenen Wissenschaftler wurden ab 1939 in das Kriegsgeschehen eingebunden. Hitler hielt zwar nicht viel von der als jüdisch bezeichneten Atomphysik und nur durch Erich Bagge wurde Heisenberg als Theoretiker diesem, dem Heereswaffenamt (Kurt Diebner) unterstellten Forschungskreis zugeordnet. Er wurde aber bald der führende Kopf des Leipziger »Uranvereins«.

Bereits 1939 wurde erkannt, daß die bei der Uranspaltung freiwerdende Energie eine neuartige technisch verwertbare Energiequelle darstellte und bei einem schnellen Ablauf dieser Reaktion zu einer kriegsentscheidenden Waffe werden konnte.

Bei der Uranspaltung treten drei schwer lösbare Probleme auf:

*Erstens:* Die überwiegende Zahl der nahezu mit Lichtgeschwindigkeit austretenden Neutronen gelangen ungeschwächt in den Außenraum. Es existiert eine kritische Masse bzw. kritisches Volumen für das spaltfähige Uran, damit die Neutronen vorher spaltfähige Atomkerne treffen und sich dabei die Neutronenzahl vermehrt (Faktor  $k > 1$ ).

*Zweitens:* Es zeigt sich, daß das nur zu 0,7% im natürlichen Uran vorhandene Isotop 235 mit langsamen Neutronen (Geschwindigkeit 300 bis 500 m/s) unter Energieabgabe und Neutronenemission in Bruchstücke mit mittleren Atomgewicht zerfällt. Das zu 99,3% vorhandene Uran 238 absorbiert unter Bildung von Neptunium und weitere Umwandlung

in Plutonium die sich mit großer Geschwindigkeit bewegenden Neutronen und verhindern damit die Ausbildung einer für die Energiebildung notwendigen Kettenreaktion.

*Drittens:* Die Konzentration des zur Kernspaltung fähigen Isotops  $^{235}\text{U}$  muß vergrößert werden, damit die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Neutronen und  $^{235}\text{U}$  entsprechend wächst. Da  $^{238}\text{U}$  und  $^{235}\text{U}$  chemisch völlig gleichartig reagieren und die Atomgewichte nahezu gleich sind ist diese Anreicherung äußerst schwierig.

Alle drei Probleme wurden in Leipzig unter der Anleitung von Werner Heisenberg in Angriff genommen. Zur Lösung von Problem zwei eignen sich elastische Stöße der schnellen Neutronen mit nicht Neutronen absorbierenden Substanzen. Dazu eignet sich schwerer Wasserstoff. Bei zentralen Stößen werden die Neutronen um die Hälfte langsamer. Graphit als Moderator hat einen geringeren Wirkungsgrad aber eine höhere Plutoniumausbeute. Da in der Sowjetunion Plutonium für Atombomben das Hauptprodukt war und Energie als Nebenprodukt anfiel, verwendete man dort den viel gefährlicheren Graphit als Moderator (Tschernobyl). In Leipzig waren schließlich 700 kg schwerer Wasserstoff vorhanden, ausreichend für genügende Abbremsung der Neutronen und Einleitung einer Kettenreaktion.

Auch die Anreicherung von Uran  $^{235}\text{U}$  (Problem drei) wurde in Leipzig versucht. Im Manhattanprojekt wurden zu diesem Zweck riesige Fabriken gebaut und viele Millionen Dollar ausgegeben, um Uran über das gasförmige Uranhexafluorid und Tausende von zwischengeschalteten Diaphragmen in die beiden Isotopen zu spalten. In Leipzig standen nur kleinste Geldmengen zur Verfügung. Andere Möglichkeiten, etwa Erzeugung unterschiedlicher Geschwindigkeiten von Uranhexafluoridmolekülen in elektrischen oder magnetischen Feldern wurden als undurchführbar verworfen.

Deshalb versuchte man in Leipzig die Inangangsetzung einer Kettenreaktion mit natürlichem Uran. Heisenberg errechnete dazu eine Uranmenge von 5.000 kg. Es standen aber nur etwa 500 kg zur Verfügung. Damit wurde bei günstiger geometrischer Anordnung von Uran und Moderator nahezu die Einleitung der Kettenreaktion erreicht.

Hitler selbst glaubte nicht an die Uranbombe als neue Waffe. Deshalb wurden in Leipzig weniger als eine Million RM für deren Entwicklung zur Verfügung gestellt, während in den USA das Tausendfache ausgegeben wurde. In der Auergesellschaft Berlin wurde vielmehr Uran als schwerstes Metall für Urangranaten verwendet, da diese als panzerbre-

chende Waffen die größte Durchschlagkraft besitzen. Die äußerst schwache Radioaktivität des Urans spielte dabei keinerlei Rolle. 1998 setzten die Amerikaner diese Granaten im Jugoslawienkrieg ein.

Es gab in Leipzig zwei Zielstellungen: Der Mitarbeiter des Heereswaffenamtes Kurt Diebner glaubte an die Atombombe, während Heisenberg nur an eine neue Energiequelle dachte und niemals eine massenvernichtende schreckliche Waffe entwickeln wollte. Fermi in den USA arbeitete aber von Anfang an für die Atombombe, was bei Kenntnisnahme der Untaten der Nazis gegen die jüdischen Menschen verständlich ist. In Leipzig bemühte man sich im Sinne der forschenden Wissenschaft die Kettenreaktion einzuleiten und erreichte erste Erfolge als in den Außenbereichen der kugelförmigen Uranmaschine die Neutronenkonzentration größer war als im zentralen Quellgebiet. Durch einen Brand des leicht mit Sauerstoff reagierenden Urans, besonders aber durch zwei vernichtende Tagesangriffe amerikanischer Bomber auf das Gebiet des Leipziger Institutes (siehe auch die Zeichnung auf der Folgeseite) wurden die Forschungsarbeiten hier beendet und in Heigerloch in Schwaben erfolglos fortgesetzt. Offenbar hatten die Amerikaner von den Arbeiten in Leipzig Kenntnis erhalten.

Heisenbergs staatsstreu, aber menschliche und kriegsablehnende Haltung deckt sich völlig mit der Weltanschauung unseres früheren Bundespräsidenten Richard von Weizsäcker. Wie dessen Bruder Carl Friedrich schrieb, rechnete Heisenberg bereits 1939 mit dem Verlust des Krieges, meinte aber 1943 eine Besiegung der Sowjetunion wäre gegenüber einem asiatisch kommunistischen Despotismus das kleinere Übel für Europa.

Darüber hinaus errechnete Heisenberg für nicht angereichertes, also natürliches Uran eine kritische Masse von etwa 5.000 kg, die in Leipzig nicht zur Verfügung stand. Es gab damals keinerlei Bombenflugzeug zum Transport einer so großen Masse. Die friedliche Gewinnung einer neuen Energiequelle war dagegen ein erstrebenswertes Ziel.

1945 wurden die wichtigsten deutschen Atomforscher also Werner Heisenberg, Walter Gerlach, Otto Hahn, Paul Harteck, Max von Laue, Karl Wirtz, Carl Friedrich von Weizsäcker, Horst Korsching und Kurt Diebner in Farmhall bei Cambridge interniert. Sie waren auf das äußerste überrascht, als sie dort von dem ersten amerikanischen Atombombenabwurf in Hiroshima hörten. Sie hatten das ganz für unmöglich gehalten.

In dem englischen Spielfilm »The good German«, wird die pazifistisch menschliche Grundhaltung von Werner Heisenberg völlig verkannt

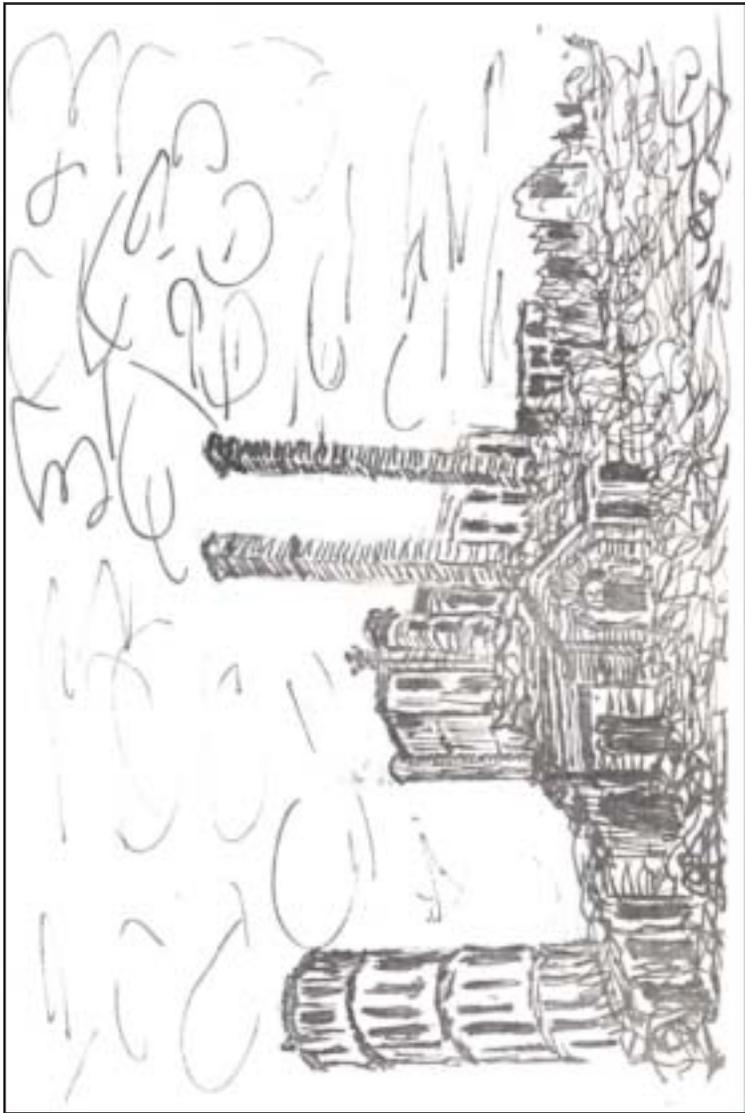


Bild 2: Physikalisches Institut der Universität Leipzig nach den Bombenangriffen. Die Zeichnung stammt aus dem Privatbesitz von Prof. Werner Holzmüller und wurde von ihm in den fünfziger Jahren nach einem eigenen Foto angefertigt.

und nur seine Falschberechnung der kritischen Uranmenge für den Mißerfolg in Leipzig zu Grunde gelegt. Auch der in Deutschland gedrehte Film »Das Ende der Unschuld« liefert ein falsches Bild von Werner Heisenberg.

Heisenbergs humanistisch-pazifistische Einstellung kam nach seiner Rückkehr nach Deutschland und der Übernahme des Max-Planck-Institutes für Physik in München in allen seinen Vorträgen und Arbeiten zum Ausdruck. Ich hatte Gelegenheit ihn 1955 und 1956 bei den Nobelpreisträgertagungen in Lindau zu sehen und zu sprechen. Zu dieser, von Graf von Bernadotte (Insel Mainau) geleiteten Tagung wurden auch einige ostdeutsche Wissenschaftler und deren Gattinnen eingeladen, eine Ehre, die mir 1955 und 1956 zuteil wurde. Namhafte Nobelpreisträger hielten dort Vorträge über ihre neuen Arbeiten, wobei hier ein kurzes Referat von mir zu dem Vortrag im Jahre 1955 von Werner Heisenberg folgt:

Herr Heisenberg entwickelte die Pläne für eine deutsche Reaktorstation. Er wies darauf hin, daß durch die Beschränkungen in Bezug auf Atomforschung in den letzten Jahren ein gewaltiger Vorsprung des Auslandes entstanden ist. Vom wirtschaftlichen Standpunkt wäre es deshalb zweckmäßiger, die benötigten angereicherten Isotope auf dem Weltmarkt zu kaufen und nicht selbst zu fertigen. Die Notwendigkeit jedoch forschungsmäßig den Anschluß an die übrigen Staaten zu gewinnen, zwingt uns dazu, Kernreaktoren zu bauen. Man wird dabei noch viel Lehrgeld zahlen müssen. Die Aufgaben sind dabei:

a) Gewinnung radioaktiver Isotope für Medizin und Technik, für die analytische Chemie und für wissenschaftliche Forschungen.

b) Studium kernphysikalischer Reaktionen, Werkstoffuntersuchungen und Grundlagenforschung am Reaktor. Die Energiegewinnung spielt dabei zunächst eine untergeordnete Rolle. Die Arbeiten sind bisher in Rückstand gekommen durch die nicht zu erzielende Einigung (1955!) über den Aufstellungsort. Großstadtnähe wurde abgelehnt, nicht wegen der etwaigen Explosionsgefahr des Meilers, die nicht besteht, sondern wegen der Gefahr der radioaktiven Verseuchung des Grundwassers und des Bodens. Die Schwierigkeiten scheinen aber nun überwunden zu sein. Man will in der Nähe von München und auch in Karlsruhe mit dem Bau von Versuchsanlagen beginnen.

Der, im Heisenbergvortrag bezüglich der Behinderung der Atomforschung in Deutschland durch die Alliierten genannte Vorwurf führte zur Verminderung der Ausbildung der Lehrer im Gebiet Kernphysik, was heute noch in der Vernachlässigung dieser Fachrichtung bei der Physik-

ausbildung der Jugend nachwirkt. Zusammen mit der Pressekampagne gegen die Atomenergie erzeugte das die wirtschaftsfeindliche Angstpsychose vor der Kernenergie. Eine absolut sichere Erzeugung der von schädlicher Umweltbelastung freier Kernenergie ließe sich durch unterirdische Reaktoren erzielen. Deren Herstellung ist teurer als die herkömmliche Technik, stellt aber eine auch vor Terrorangriffen sichere Lösung dar. Dabei würde man ebenerdig das eigentliche Kraftwerk mit Generatoren, Umformern und Strom-Verteilung bauen. Etwa 50 bis 100 Meter darunter würden Wärmeaustauscher, Siedewasserreaktor und Wasserbehälter für ein- bis zweijährige Lagerung abgebrannter Kernstäbe und eine automatisch arbeitende Trennanlage zur Abtrennung von Plutonium und langlebiger  $\beta$ -Strahler in die zu schaffenden Felsentunnel eingebaut. Damit würden die Castortransporte und die devisenaufwendige Entsorgung in Frankreich und England entfallen. Da die Reduzierung des Steinkohlenabbaus und der Braunkohlengewinnung für Deutschland, auch bei Berücksichtigung erneuerbarer Energien eine devisenaufwendige Abhängigkeit bedeutet, sollte dieser aus dem Heisenbergvortrag in Lindau folgende Vorschlag von mir in Zukunft Berücksichtigung finden.

Die wichtigste Aufgabe in Lindau 1955 jedoch war die Warnung vor der, mit dem beginnenden kalten Krieg wachsenden Gefährdung der Menschheit durch einen Atomkrieg. Noch vor der bekannten Erklärung führender Wissenschaftler in Göttingen wurde, einem Vorschlag Heisenbergs folgend, in Lindau 1955 die von nahezu allen Teilnehmern der Tagung unterschriebene Mainauer Kundgebung veröffentlicht. Diese lautet:

»Wir, die Unterzeichneten, sind Naturforscher aus verschiedenen Ländern, verschiedener Rasse, verschiedenen Glaubens, verschiedener politischer Überzeugung. Äußerlich verbindet uns nur der Nobelpreis, den wir haben entgegennehmen dürfen.

Mit Freuden haben wir unser Leben in den Dienst der Wissenschaft gestellt. Sie ist, so glauben wir, ein Weg zu einem glücklicheren Leben des Menschen. Wir sehen mit Entsetzen, daß eben diese Wissenschaft der Menschheit Mittel in die Hand gibt, sich selbst zu zerstören.

Voller kriegerischer Einsatz der heute möglichen Waffen kann die Erde so sehr radioaktiv verseuchen, daß ganze Völker vernichtet würden. Dieser Tod kann die Neutralen ebenso treffen wie die Kriegsführenden.

Wenn ein Krieg zwischen den Großmächten entstünde – wer könnte garantieren, daß er sich nicht zu einem tödlichen Kampf entwickelte? So

ruft eine Nation, die sich auf einen totalen Krieg einläßt, ihren eigenen Untergang herbei und gefährdet die ganze Welt.

Wir leugnen nicht, daß vielleicht heute der Friede gerade durch die Furcht vor diesen tödlichen Waffen aufrecht erhalten wird. Trotzdem halten wir es für eine Selbsttäuschung, wenn Regierungen glauben sollten, sie könnten auf lange Zeit gerade durch die Angst vor diesen Waffen den Krieg vermeiden.

Angst und Spannung haben so oft Krieg erzeugt. Ebenso scheint es uns eine Selbsttäuschung zu glauben, kleinere Konflikte könnten weiterhin stets durch die traditionellen Waffen entschieden werden. In äußerster Gefahr wird keine Nation sich den Gebrauch einer Waffe versagen, die wissenschaftliche Technik erzeugen kann.

Alle Nationen müssen zu der Entscheidung kommen, freiwillig auf die Gewalt als letztes Mittel der Politik zu verzichten.

Sind sie dazu nicht bereit, so werden sie aufhören zu existieren.

Mainau/Bodensee, 15. Juli 1955.«

Diese Mainauer Erklärung veranlaßte auch die Abfassung meines Buches »Das Ende – Warnung vor einem Atomkrieg« (Frankfurt am Main 1994).

Was lernen wir heute von Werner Heisenberg?

Ungenauigkeitsrelation und Matrizenmechanik wurden von ihm zur Quantenfeldtheorie ausgebaut und damit zur Grundlage der modernen Atomphysik. Die noch im Bohrschen Atommodell spürbare Anschaulichkeit wurde durch Verbindung der Schrödingergleichung mit der Matrizenmechanik zu einem die Messungen exakt wiedergebenden Rechenwerk (der Quantentheorie) umgestaltet.

Dieser Schritt wurde in der Kosmologie noch nicht getan. Nach wie vor erklärt man hier die beobachtete Frequenzerniedrigung (Rotverschiebung) mit einer anschaulich verständlichen Expansion der Welt, was in bezug auf ein inflationäres Urknallgeschehen zu physikalisch unmöglichen Konsequenzen führt (siehe meine 2000 in Leipzig, Verlag im Wissenschaftszentrum, erschienene Monographie »Hat Einstein recht?«). Hier wird das statische Weltmodell Einsteins mit neuen astronomischen Erkenntnissen verknüpft und insbesondere der von Wolfgang Buchheim, dem bedeutenden Schüler Heisenbergs in Leipzig, erweiterte Komplementärbegriff auf den im Kosmos stattfindenden Energietransfer ausgedehnt. Die Weiterführung der Bohrschen Komplementarität schließt die Heisenbergsche Ungenauigkeitsrelation ein und reduziert die in den letz-

ten Jahren beobachtete Überbetonung der Teilchenphysik durch vertiefte Betonung von Teilchen und Welle. Die de Brogliesche Wellendarstellung bewegter Teilchen schließt sich an die Heisenbergsche Ungenauigkeitsrelation unmittelbar an. Diese kurzen Bemerkungen zeigen, daß die fundamentalen Arbeiten von Werner Heisenberg auch heute nicht ihre Aktualität verloren haben.

ARMIN UHLMANN

## Heisenberg und die Begründung der Quantentheorie (Inhaltsangabe)

Werner Heisenberg<sup>1</sup> hat mit seiner »Matrizenmechanik« den ersten Hauptschlüssel zum Aufbau und zum Verständnis einer in sich geschlossenen Quantenphysik entdeckt. In ihrem Zentrum steht die von ihm gefundene generische *Nichtvertauschbarkeit* beobachtbarer Größen.

Bei der Darlegung, wie es zu dieser Entdeckung kam, stütze ich mich auf Heisenbergs Selbstzeugnis<sup>2</sup> und auf Kommentare von Max Born<sup>3</sup>.

Paul A. Dirac sagte zu Heisenbergs Werk: »Ich habe die besten Gründe, Heisenberg zu bewundern: Er und ich waren junge Forschungsstudenten zur selben Zeit, ungefähr im gleichen Alter und wir arbeiteten am gleichen Problem. Heisenberg war erfolgreich, ich nicht [...] Er eröffnete das Goldene Zeitalter der Theoretischen Physik. Und für einige Jahre nach seiner Entdeckung war es selbst für jeden zweitklassigen Studenten leicht, erstklassige Arbeiten zu vollbringen.«<sup>4</sup>

Hierzu trug auch die ein Jahr später von Erwin Schrödinger entdeckte äquivalente »Wellenmechanik« bei, die etwas leichter zu handhaben war. Die tatsächliche (und nicht nur formale) Äquivalenz erschließt sich jedoch nur dann, wenn man mit Max Born die fundamentale Rolle des Zufalls anerkennt. Danach reagiert ein Quantensystem auf einen äußeren Eingriff (Experiment, Beobachtung) *zufällig*. Was die Theorie leisten kann, ist die Angabe der Wahrscheinlichkeiten, die den Zufall regieren. Auf dieser und, wie ich glaube, nur auf dieser Grundlage läßt sich Quantenphysik logisch konsistent aufbauen.<sup>5</sup>

---

1 Siehe Werner Heisenberg in Zeitschrift für Physik. (1925)33. S. 879–894.

2 Siehe A. Salam (Hrsg.): From a life of physics. Evening lectures at the ICTP. Trieste 1968.

3 Siehe Max Born: Physik im Wandel meiner Zeit. Braunschweig 1957. Berlin 1957.

4 Sinngemäße Übersetzung nach A. Salam (Hrsg.): From a life of physics. Evening lectures at the ICTP. Trieste 1968.

5 Siehe auch Armin Uhlmann: Das Plancksche Wirkungsquantum – Hundert Jahre danach. Der Vortrag ist als word-file unter [www.leibniz-sozietaet.de](http://www.leibniz-sozietaet.de) erreichbar.

Die scharfsinnigsten Versuche, den Zufall auf das Wirken »verborgener Parameter« zurück zu führen, sind gescheitert: Die der Quantenphysik innewohnende selbstständige, von kausaler Begründung unabhängige Rolle des Zufalls darf als gesichert gelten. Als eine Art von Wunder löst sie immer wieder heftige Debatten aus.

HERBERT HÖRZ

## Heisenberg – Determinismus und die Folgen

### 1. PROBLEMSTELLUNG

Die Begründung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen 1927 verschärfte die philosophische Debatte um die Ergebnisse der Quantenmechanik und führte zu wichtigen Einsichten. Sie betrafen die Rolle des Experimentators bei der Veränderung objektiver Zustände, das Verständnis der Bewegung als Einheit von Kontinuität und Diskontinuität mit dem Wellen-Korpuskel-Dualismus, die Kritik des Laplaceschen Determinismus und die Rolle von Modellen bei der Erkenntnis der Wirklichkeit.<sup>1</sup> Das löste eine umfassendere Debatte um die Rolle von Unsicherheiten im Leben und in der Erkenntnis aus, die weiter anhält, sich jedoch auf andere Aspekte orientiert. Fallbeispiele dafür sind etwa neben der Meteorologie die Entscheidungstheorie sowie die Theorien der Selbstorganisation.

1929 bemerkte Werner Heisenberg zur Entwicklung der Quantenmechanik: »Die Erfolge waren so groß, dass man die Statistik gern in Kauf nahm. Die Theorie ist nun soweit konsequent durchgeführt und abgeschlossen, dass sie allgemein angewendet werden kann. Dies ist im Grunde für uns jetzt langweilig und somit erlischt für uns das weitere Interesse. Es steigen aber schon neue Probleme auf, die nicht mehr im Planckschen Strahlungsgesetz liegen, die Vereinigung der Relativitätstheorie mit der Quantentheorie, die Struktur des Elektrons und der Bau der Kerne, und locken zur Bearbeitung. Auf diesen Gebieten ist alles noch unfertig.«<sup>2</sup> Die von Heisenberg angesprochene Entwicklung der

- 
- 1 Siehe Herbert Hörz: *Atome, Kausalität, Quantensprünge*. Berlin. 1964. – Herbert Hörz: *Werner Heisenberg und die Philosophie*. Berlin. 1966. – Herbert Hörz: *Philosophische Aspekte der Quantenmechanik*. In: *75 Jahre Quantentheorie*. Abh. der Akademie der Wissenschaften der DDR. Berlin (1977)7. S. 169–179.
  - 2 Werner Heisenberg: *Die historische Entwicklung der Quantentheorie*. In: Werner Heisenberg: *Gesammelte Werke*. Hrsg. von Walter Blum, Hans-Peter Dürr, Helmut Rechenberg. Bd. V: *Wissenschaft und Politik*. München, Zürich 1989. S. 588.

Physik brachte große Fortschritte bei dem tieferen Eindringen in die Materiestruktur durch die Hochenergiephysik, jedoch nicht die Vereinigung von Quanten- und Relativitätstheorie. Der Streit um die philosophische Interpretation der Quantenmechanik und die Anerkennung der stochastischen Denkweise ging weiter. Es schloß sich eine bis heute andauernde Debatte um Determinismus, Zufall und Freiheit an.

Das Determinismusproblem löste sich für Heisenberg dadurch, wie er 1959 schrieb, »dass man feststellt: die Determiniertheit der Vorgänge besteht nur insoweit, als die Vorgänge mit den Begriffen der klassischen Physik beschrieben werden können. Die Anwendung dieser Begriffe andererseits wird eingeschränkt durch die sogenannten Unbestimmtheitsrelationen; diese enthalten quantitative Angaben über die Grenzen, die der Anwendung klassischer Begriffe gesetzt sind.«<sup>3</sup> Das kann im Sinne von Kant als Nachdenken über die Bedingungen unserer Erkenntnis verstanden werden, wirft doch das Problem des Dualismus von determinierten und nicht-determinierten Bereichen der Wirklichkeit auf, die in einer einheitlichen Welterklärung zu überwinden wären. Heisenberg selbst bemühte sich physikalisch mit seiner einheitlichen Feldtheorie und philosophisch mit seiner Sicht auf die mathematische Ordnung der Welt, diesem philosophischen Grundprinzip von der Einheit der Welt zu entsprechen.<sup>4</sup>

Über die kulturelle Dimension der durch die Quantenmechanik gestellten philosophischen Probleme war sich Heisenberg klar. So meinte er 1958, dass das Vordringen der modernen Physik in außereuropäische Bereiche zu kulturellen Erschütterungen führen könne, denn die Veränderung der Lebensbedingungen, die sich in Europa über zwei oder drei Jahrhunderte erstreckten, fänden dort nun innerhalb von Jahrzehnten statt. Er hoffte, das es gelingen werde, ältere Traditionen mit neuen Gedankenrichtungen zu versöhnen. Die Physik habe »vielleicht die Tür zu ei-

- 
- 3 Werner Heisenberg: Die Plancksche Entdeckung und die philosophischen Probleme der Atomphysik, In: Werner Heisenberg, Gesammelte Werke. Hrsg. von Walter Blum, Hans-Peter Dürr, Helmut Rechenberg. Bd. II: Physik und Erkenntnis 1956–1968. München, Zürich 1984. S. 241.
  - 4 Siehe Herbert Hörz: Mathematische Ordnung der Wirklichkeit – Philosophische Reflexionen zur Weltansicht von Helmholtz und Heisenberg. In: Klaus Mainzer/Achim Müller/Walter G. Saltzer (Eds.): From Simplicity to Complexity. Part II. Braunschweig, Wiesbaden 1998. S. 171–188.

nem weiteren Ausblick über die Beziehungen zwischen dem menschlichen Denken und der Wirklichkeit geöffnet«. <sup>5</sup>

Wir werden uns mit dem Determinismus und den Folgen beschäftigen. Diese sind keineswegs nur mit der weiteren Entwicklung von Wissenschaft und Philosophie verbunden, sondern auch mit einem Rückblick auf die Entstehung der statistischen (stochastischen) Denkweise, auf die philosophischen Wurzeln moderner Physikentwicklung. Ehe darauf eingegangen wird, soll auf einige aktuelle Debatten zum Determinismusproblem verwiesen werden.

## 2. AKTUELLE DEBATTEN

Im Zusammenhang mit der Diskussion um die Auffassungen des Geophysikers Hans Ertel zu Kausalität und Willensfreiheit<sup>6</sup> vor einem Jahr schrieb der Physiker Karl Rauer an den Meteorologen Heinz Fortak, der sich mit Überlegungen zu den deterministischen Evolutionsgleichungen an der Debatte beteiligte, dass er sich als ehemaliger Schüler von Arnold Sommerfeld immer für das Kausalitätsproblem interessiert habe. In Sommerfelds Seminar habe er über Einstein, Podolsky und Rosen berichtet und auch über die glänzende Entgegnung von Niels Bohr. Seine Schlußfolgerung ist: »Mir scheint immer noch, dass sich seitdem nichts Grundlegendes mehr ereignet hat.«<sup>7</sup> Bezugnehmend auf seinen abgedruckten Aufsatz von 1935<sup>8</sup> meint Rauer: »Sein berühmtes Diktum ›Gott würfeln nicht‹ zeigt, dass Einstein Heisenberg nicht verstanden hat (oder: nicht verstehen wollte). Die Unbestimmtheit ist eine logische Folge des quantenhaften Energie-Übergangs und gilt für alle Wesen, die sich ihre Information ausschließlich mit den Mitteln unserer materiellen Welt be-

---

5 Werner Heisenberg: Atomphysik und modernes Denken. In: Werner Heisenberg, Gesammelte Werke. Hrsg. von Walter Blum, Hans-Peter Dürr, Helmut Rechenberg. Bd. II: Physik und Erkenntnis 1956–1968. S. 229.

6 Siehe Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie. Hrsg. von Wilfried Schröder. Beiträge zur Geschichte der Geophysik und Kosmischen Physik. Bd. I. Science Edition, AKGGKP, Bremen-Rönnebeck 2000.

7 Historical Case Studies in Physics und Geophysics, collected and edited by Wilfried Schröder. Beiträge zur Geschichte der Geophysik und Kosmischen Physik, Bd. II. Heft 1. Science Edition, AKGGKP, Bremen-Rönnebeck 2001. S. 179.

8 Siehe ebenda. S. 181–188.

schaffen müssen. Sie bedeutet nicht ein ›Unvermögen des Menschengestes‹ [...], sondern eine sehr prinzipielle Begrenzung menschlicher Erkenntnismöglichkeit. Heisenberg beschreibt sehr nüchtern, wie sich die Sache für einen menschlichen Experimentator darstellt – nicht mehr nicht weniger.«<sup>9</sup> Am Schluß bemerkt er noch: »Und für die Meteorologie ist ja ohnehin das deterministische Chaos wichtiger als Heisenbergs Unbestimmtheit.«<sup>10</sup>

Der Vertreter der physikalischen Geodäsie Helmut Moritz behandelt die drei wichtigsten Ausdrücke der Unbestimmtheit, nämlich erstens die klassische Theorie der Messfehler von C. F. Gauss, zweitens die Unbestimmtheitsrelationen von Heisenberg und drittens das Unvollständigkeitstheorem von Gödel. »In the working practice of mathematicians, however, Gödel's incompleteness is largely ignored in the same ways as in the working practice of physicists (except quantum physicists), Heisenberg's uncertainty plays a negligible role. Nevertheless, both facts are with us and make us aware of a theoretical ›skeleton in the cupboard‹ which lurks at the back of all our scientific work, of a basic element of insecurity.«<sup>11</sup> Beide Arten der Unsicherheit, die gewöhnlich sehr subtil und klein sind,<sup>12</sup> betrachtet er als Effekte zweiter Ordnung, jedoch die Gauss'schen Fehler als Effekt erster Ordnung.

Er macht darauf aufmerksam, dass die für Heisenberg wichtigen Anfangszustände etwa beim Werfen eines Würfels irrelevant werden. Die Wahrscheinlichkeit dabei entsteht aus der deterministischen jedoch chaotischen Bewegung. Das Chaos drückt er mit der gängigen Formel aus: Kleine Ursachen – große Wirkungen. Als Beispiel gilt das Auslösen des Tornados in Texas durch den Flügelschlag eines Schmetterlings am Amazonas. Seine Konsequenz ist: »Chaotic effects in nature thus are frequently responsible for probabilistic laws, and also random errors are of this kind.«<sup>13</sup> Das moderne Chaos werfe so ein scharfes Licht auf die Beziehungen zwischen »determinism and randomness«, einschließlich

---

9 Ebenda. S. 179f.

10 Ebenda. S. 180.

11 Helmut Moritz: Gauss, Gödel, Heisenberg. In: Historical Case Studies in Physics and Geophysics. S. 40.

12 Siehe Helmut Moritz: Science, Mind and the Universe: an Introduction to Natural Philosophy. Heidelberg 1995.

13 Helmut Moritz: Gauss, Gödel, Heisenberg. In: Historical Case Studies in Physics and Geophysics. S. 42.

der Gauss'schen Fehler, in der Quantentheorie sei jedoch die Wahrscheinlichkeit fundamentaler.<sup>14</sup>

Für Paul Davies gilt: »Unbestimmtheit ist eine fundamentale Aussage der Quantentheorie.«<sup>15</sup> In Auseinandersetzung mit dem Laplaceschen Determinismus nennt er drei Argumente, die es problematisch machen, aus der bekannten Lage und der Bewegung eines Teilchen zu einem bestimmten Zeitpunkt den zukünftigen Zustand genau berechnen zu können. Erstens stellt er »die Frage, ob ein Gehirn dem Grundsatz nach seinen eigenen künftigen Zustand überhaupt berechnen kann.«<sup>16</sup> Das sei für das Individuum nicht möglich. Da zukünftige Zustände des eigenen Gehirns unvorhersehbar sind, bleibe immer ein Element des freien Willens bewahrt. Die zweite Argumentationslinie umfasst die verschiedenen Störfaktoren. »Obgleich in einem ›normalen‹ mechanischen System eine leichte Veränderung der Ausgangsbedingungen nur zu einem wenig geänderten Verhalten führt, entwickeln sich bestimmte überaus empfindliche Systeme aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen, auch wenn sie voneinander nur in geringem Maße abweichen, in jeweils völlig verschiedenartiger Weise.«<sup>17</sup> Hinzu kommen noch Störungen aus den Bereichen jenseits unseres Horizonts. Das dritte entscheidende Argument bezieht sich auf die Quanteneffekte. »In der Mikrowelt kommt es zu Ereignissen, die keine genau festgelegte Ursache haben.«<sup>18</sup>

Die Unterschiede im Denken über die Determiniertheit der Welt im 19. und 20. Jahrhundert werden klarer, wenn man die Haltung von Helmholtz heranzieht. Er meinte 1875 dazu: »Ueberhaupt ist zu bemerken, dass wir nur solche Vorgänge in der Natur vorausberechnen und in allen beobachtbaren Einzelheiten verstehen können, bei denen kleine Fehler im Ansatz der Rechnung auch nur kleine Fehler im Endergebniss hervorbringen. Sobald labiles Gleichgewicht sich einmischt, ist diese Bedingung nicht mehr erfüllt.«

»So besteht für unseren Gesichtskreis noch der Zufall; aber er ist in Wirklichkeit nur der Ausdruck für die Mangelhaftigkeit unseres Wissens und die Schwerfälligkeit unseres Combinationsvermögens. Ein Geist, der die genaue Kenntniss der Thatsachen hätte und dessen Denkopoperationen

---

14 Siehe ebenda.

15 Paul Davies: Gott und die moderne Physik. Augsburg 1998. S. 137.

16 Ebenda. S. 179.

17 Ebenda. S. 180.

18 Ebenda.

schnell und präzis genug vollzogen würden, um den Ereignissen vorauszuweichen, würde in der wildesten Launenhaftigkeit des Wetters nicht weniger, als im Gange der Gestirne, das harmonische Walten ewiger Gesetze anschauen, das wir nur voraussetzen und ahnen.«<sup>19</sup> Für Helmholtz war der Zufall nur Ausdruck unserer Unkenntnis. Sein Rekurs auf den Laplaceschen Dämon, der in der Lage wäre, mit den genauen Orts- und Geschwindigkeitsbestimmungen für bestimmte Körper exakt ihr zukünftiges Verhalten nach den Gesetzen der klassischen Mechanik zu bestimmen, brachte ihn zu Hoffnungen, die sich mit der Aufstellung der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen als falsch erwiesen. So brachte die Quantenmechanik eine theoretische Wende im deterministischen Verständnis, auf die noch einzugehen ist.

Paul Davies setzt in der Entwicklung der Physik auf die Superstrings, mit denen Unendlichkeiten, die eine vereinheitlichte Quantenbeschreibung der Naturkräfte erschweren, beseitigt werden können.<sup>20</sup> Er argumentiert auch gegen diejenigen, die meinen, der Zusammenbruch des Determinismus stehe im Widerstreit zur Relativitätstheorie, »denn beim Determinismus geht es um die Frage, ob jedes Ereignis durch eine zeitlich davorliegende Ursache vollständig vorherbestimmt wird. Es wird nichts darüber gesagt, ob dieses Ereignis da ist. Letztlich wird die Zukunft so und nicht anders sein, ob sie durch vorherige Ereignisse bestimmt wird oder nicht.«<sup>21</sup> Damit wird die Relativitätstheorie als Existenztheorie über universelle Strukturen der Quantentheorie als Bewegungstheorie entgegengestellt, die die Dynamik der Prozesse erfasst. Für die Probleme der Quantentheorie, wie sie etwa durch Erwin Schrödingers Katze charakterisiert sind, deren Tod oder Leben erst durch Beobachtung festgestellt werden kann, nutzt er die Vielweltentheorie von Hugh Everett aus dem Jahre 1957, die später durch Bryce de Witt erweitert wurde, nach der »alle möglichen Quantenwelten von gleicher Wirklichkeit sind und parallel zueinander existieren.«<sup>22</sup> Eines enthält die lebende und eines die tote Katze. Jeder Bewohner des einen Universums nimmt lediglich den eigenen Zustand wahr. So kann die »Theorie der Mehrfachuniversen als eine natürliche Erklärung für die kosmischen Zufälle« verstanden

---

19 Hermann von Helmholtz: Wirbelstürme und Gewitter. In: Hermann von Helmholtz: Vorträge und Reden. Zweiter Band. Braunschweig 1896. S. 163.

20 Siehe Paul Davies/John Gribbin: Auf dem Weg zur Weltformel. Berlin 1997. S. 234f.

21 Paul Davies: Gott und die moderne Physik. Augsburg 1998. S. 180f.

22 Ebenda. S. 155.

werden.<sup>23</sup> Damit ist das philosophische Problem einer einheitlichen Weltklärung jedoch wiederum nicht gelöst.

Die aktuellen Debatten zeigen, dass die Diskussion um das Verständnis der Bedingtheit und Bestimmtheit des wirklichen Geschehens,<sup>24</sup> also um seine Determiniertheit, weiter geführt wird. Dabei tauchen neue Aspekte auf, die mit dem Schlagwort »deterministisches Chaos« und mit dem Hinweis auf Fluktuationen als Zufallsprozesse erfasst werden können. Es geht philosophisch um die Formen des Zusammenhangs zwischen Objekten und Prozessen, nicht darum, die Entwicklung zukünftiger physikalischer Theorien zu bewerten. Dabei ist interessant, dass sich William Thomson (Lord Kelvin) schon im 19. Jahrhundert Gedanken über die Flexibilität der Atome machte, die er mit seinen Wirbelringtheorien erklären wollte. So könnte man ihn als einen Vorläufer der superstring-Theorie ansehen.<sup>25</sup> Die Mehrweltentheorie trifft sich mit den philosophischen Überlegungen zur Unerschöpflichkeit des Kosmos.<sup>26</sup> Relevant für die Debatte um den Determinismus ist jedoch vor allem die Entstehung und Begründung der stochastischen Denkweise.

### 3. ENTSTEHUNG UND BEGRÜNDUNG DER STOCHASTISCHEN DENKWEISE

Unter einem stochastischen Prozess versteht man die zeitliche Entwicklung einer Zufallsgröße. Die stochastische Denkweise anerkennt deshalb die Rolle objektiver Zufälle im Geschehen, versucht sie in eine einheitli-

---

23 Siehe Paul Davies/John Gribbin: Auf dem Weg zur Weltformel. Berlin 1997. S. 215.

24 Wirklichkeit soll hier als etwas verstanden werden, was Wirkung auf uns Menschen ausübt, wodurch wir erst in der Lage sind, etwas zu erkennen und Modelle der uns umgebenden Umwelt und des eigenen Verhaltens zu konzipieren. Erkenntnis verlangt Differenzierung. So ist für uns Wirklichkeit in ihrer gegenständlichen oder ideellen Wirkung, als Einheit von Materie und Bewußtsein, jedoch auch in ihrer stofflichen, energetischen und informationellen Struktur zu modellieren. Modelle sind als-ob-Theorien oder als-ob-Objekte, mit denen Aspekte der Wirklichkeit erfasst werden, die uns helfen, unsere Umwelt nach bestimmten Zielsetzungen zu gestalten (siehe Herbert Hörz: Modelle in der wissenschaftlichen Erkenntnis. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR. 11 G 1978. Berlin 1978).

25 Siehe Herbert Hörz: Naturphilosophie als Heuristik? Korrespondenz zwischen Hermann von Helmholtz und Lord Kelvin (William Thomson). Marburg 2000. S. 152ff. und 288f.

26 Siehe Herbert Hörz: Materiestruktur. Berlin 1971. S. 283ff.

che Welterklärung einzuordnen und führt sie nicht allein auf unsere Unkenntnis zurück, sondern betrachtet sie als konstitutiven Bestandteil des Geschehens. Mit ihr entspricht die Philosophie den Erkenntnissen, die das Wechselspiel von Gesetz und Zufall in den nicht-linearen wirklichen Prozessen beachtet. Ausgehend von der Bewegung als Daseinsweise der Materie gibt es keine absolute Ruhe. Das Verständnis der Kausalität in ihrer vereinfachten Form als notwendige Verwirklichung einer Möglichkeit unter wesentlich gleichen Bedingungen war die Grundlage einer linearen Denkweise, in der Ablauf des Geschehens, Notwendigkeit, Kausalität, Gesetz, Vorausbestimmtheit und Voraussagbarkeit zukünftiger Prozesse als identisch angesehen wurden. Diese Position widersprach zuerst den Erkenntnissen der Chemie und Biologie und dann denen der Quantenmechanik. Der Mechanizismus konnte die Entstehung von Neuem nicht erklären. Er leugnete die Existenz des Zufalls.

Die Erkenntnis der Beziehungen von Kausalität, Gesetz und Zufall vollzog sich bisher in verschiedenen Stufen, die sich prinzipiell voneinander unterscheiden. So verwies Aristoteles auf vier Ursachengruppen, die in der Laplaceschen Stufe auf den vorausbestimmten Ablauf des Geschehens eingeschränkt wurden, während die Kopenhagener Interpretation der Quantentheorie die Rolle des Zufalls hervorhob. Einige wesentliche Charakteristika der Aristotelischen und Laplaceschen Denkweise sollen behandelt und kritische Positionen dazu genannt werden, um die Einschränkung der Kausalauffassung zu zeigen. Die Bohrsche Erkenntnisstufe ist wiederum eine Erweiterung des Verständnisses von Kausalität und mit dem Übergang von der vorherrschenden linearen Denkweise des 18. und 19. Jahrhunderts zur nicht-linearen Denkweise, die den neuen Erkenntnissen besser entspricht.

Aristoteles befaßte sich mit dem Naturprozess und der dabei erfolgenden Veränderung der Objekte. Die entsprechenden Einsichten sind in seinen Überlegungen zur Prozessursache enthalten. Er verwies dabei auf zwei wichtige Aspekte der Ursache-Wirkungs-Beziehung. Erstens faßte er den Prozess als Verwirklichung von Möglichkeiten. »Der Prozeß muß ja die Verwirklichung (des Möglichkeitsmoments) beider Gegenstände (der Ursache wie des Objekts des Prozesses) sein.«<sup>27</sup> Daraus leitete er zweitens die Rückwirkung der Wirkung auf die Ursache ab. Er unterschied zwar zwischen der Aktivität der Prozessursache und der Passivität des Prozessobjekts, erkannte jedoch das Problem der Wechselwirkung. He-

---

27 Aristoteles: Werke. Bd. 11: Physikvorlesung. Berlin 1989. S. 63.

gel hatte diese Position später verschärft, indem er keinen Inhalt in der Wirkung anerkannte, der nicht in der Ursache war und dann feststellte: »Die Kausalität ist hiermit in das Verhältnis der Wechselwirkung übergegangen.«<sup>28</sup>

Aristoteles umging die einfache Auflösung der Kausalität in der Wechselwirkung dadurch, dass er die Verwirklichung des Möglichkeitsmoments der Ursache an der Wirkung sich vollziehen läßt. In seinem Beispiel des Lehrers und Schülers verwirklicht sich die Fähigkeit des Lehrers zur Lehre am Schüler. Ausbildung war für Aristoteles, mit den zwei Prozessmomenten, der Wirkung des Lehrers auf den Schüler und der des Schülers auf den Lehrer, ein einheitlicher Prozess des Wirkens und Erleidens. Trotzdem bestünde keine Identität zwischen beiden, da der Lehrer nicht alles lernen müsse, was der Schüler lerne. Aristoteles dazu: »So ist qualitative Veränderung nichts anderes als die Verwirklichung einer qualitativen Möglichkeit am Prozeßobjekt.«<sup>29</sup> Er faßte damit die Ursache-Wirkungs-Beziehung, die viel später als Kausalität<sup>30</sup> bezeichnet wurde, als gerichtet. Sie ist so eine inhaltlich, von der aktiven Ursache zur passiven Wirkung, und zeitlich, in der Zeit sich vollziehende, gerichtete Relation. Die Einordnung in die Zeit führte ihn zu der Position, »dass nämlich jeder im Prozess befindliche Gegenstand immer schon ein Stück Prozeß hinter sich hat«.<sup>31</sup> In seiner Definition der Ursache verwies Aristoteles auf vier Gruppen, erstens auf die Bestandteile einer Sache, aus dem sie entsteht, die *causa materialis*; zweitens auf die Gestalt oder das Urbild, nach dem sich die Stoffe formen, die *causa formalis*; drittens das Hervorbringende als Ursache des Hervorgebrachten, die *causa efficiens*; viertens das Endziel, das Weswegen, die *causa finalis*.<sup>32</sup> Überhaupt betonte Aristoteles, dass keine Veränderung allein auf eine Ursache zurückzuführen sei.

Wir können mit Aristoteles festhalten: Jedes Ereignis besteht aus einem Komplex von Kausalbeziehungen, eben der Wechselwirkung, in der

28 Georg Wilhelm Friedrich Hegel: *Encyclopädie der Philosophischen Wissenschaften*. Leipzig 1949. S. 150.

29 Aristoteles: *Werke*. Bd. 11: *Physikvorlesung*. Berlin 1989. S. 65.

30 Das Wort »causalitas« taucht zuerst im Mittelalter in lateinischen Übersetzungen arabischer Schriften auf. Es bedeutet »Ursächlichkeit« und bezieht sich auf die Ursache-Wirkungs-Relation (siehe Joachim Ritter/Karlfried Gründer: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Bd. 4: Stichwort »Kausalität«. Basel 1976. S. 798f.).

31 Aristoteles: *Werke*. Bd. 11: *Physikvorlesung*. Berlin 1989. S. 164.

32 Siehe Aristoteles: *Metaphysik*. Berlin 1990. S. 104.

Ursachen und Wirkungen ihren Platz wechseln. Um das Ereignis in seiner Bedeutung zu erkennen, zu erklären und die Erklärung zur weiteren Gestaltung nutzen zu können, lösen wir durch Modellierung aus dem Komplex bestimmte Beziehungen experimentell und theoretisch heraus, die wir als wesentliche Kausalbeziehungen oder als Regularitäten und Gesetzmäßigkeiten bezeichnen.

Die Ursachenvielfalt des Aristoteles und der Scholastik wurde in der Laplaceschen Erkenntnisstufe erheblich eingeschränkt. Laplace ging davon aus, dass der gegenwärtige Zustand des Weltalls als Wirkung des früheren und als Ursache des folgenden zu betrachten sei. Er folgerte daraus: »Eine Intelligenz, der in einem gegebenen Zeitpunkt alle in der Natur wirkenden Kräfte bekannt wären und ebenso die entsprechenden Lagen aller Dinge, aus denen die Welt besteht, könnte, wenn sie umfassend genug wäre, alle diese Daten der Analyse zu unterwerfen, in einer und derselben Formel die Bewegungen der größten Körper des Weltalls und die der leichtesten Atome zusammenfassen; nichts wäre für sie ungewiß, und die Zukunft wie die Gegenwart wäre ihren Augen gegenwärtig.«<sup>33</sup> Diese Intelligenz, der Laplacesche Dämon, könnte also die Welt in ihrer Kausalstruktur voll durchschauen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt wären: Jedes komplexe System besteht aus unteilbaren kleinsten Teilchen, die schwer sowie träge sind und konzentriert den Raum erfüllen. Die Bewegung der Elemente eines System bestimmt vollständig die Bewegung des Systems. Die Bewegungsgleichungen der klassischen Mechanik sind die Gesetze des Verhaltens dieser Systemelemente. Verfolgt man die weitere Mechanisierung des Weltbilds, dann gilt bis zum Ende des 19. Jahrhunderts im wesentlichen für die Wissenschaft diese Haltung. Sie war mit der Auffassung verbunden, dass die Naturgesetze durch Differentialgleichungen zu erfassen seien und damit das Wesen der Vorgänge erklärt sei.

Der Übergang zur Bohrschen Erkenntnisstufe der Kausalität vollzog sich mit den Debatten um die philosophische Interpretation der Quantenmechanik seit Beginn unseres Jahrhunderts. Sie löste die Laplacesche lineare Denkweise ab und anerkannte die Rolle des Zufalls in der Natur. Koppelt man sie mit den Problemen, die sich für die Wissenschaftsphilosophie aus den Forschungen zur Selbstorganisation ergeben, so bringt sie viele Fragen mit sich, die den kausalen, probabilistischen und gesetz-

---

33 Pierre Laplace: Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit. Leipzig 1932. S. 1f.

mäßigen Mechanismus des Verhaltens sowie der Steuerung der Elemente in Systemen betreffen. Zwar bleibt das Kausalprinzip in seiner allgemeinen Form, nämlich dass Veränderung des Geschehens verursacht sind, bestehen, aber die Art der Veränderung muß neu bestimmt werden. Bifurkationen sind nicht einfach in isolierte Kausalbeziehungen aufzulösen. In der Wirklichkeit gibt es keine Kausalbeziehung an sich, sondern immer Wechselwirkung. Es gibt aber auch keine Linearität an sich, sondern immer nur linearisierte Prozesse. Deshalb sprechen wir von der linearen und nicht-linearen Denkweise. Die Anerkennung objektiver Nicht-Linearität in einer nicht-linearen Denkweise schließt die Linearisierung der Prozesse durch die Erkenntnis nicht aus. Das ist mit der Herauslösung von Kausalbeziehungen aus der Wechselwirkung zu vergleichen. Lineare Gleichungen tragen Erkenntnischarakter, wenn wir uns philosophisch darüber im Klaren sind, dass sie Vereinfachungen der Wirklichkeit darstellen, die für die Erkenntnis wichtig sind, denn nur durch Hervorhebung des Wesentlichen in der Vielfalt ist Erkenntnis und Gestaltung möglich.

Die Konsequenzen aus der Bohrschen Erkenntnisstufe als einem ersten wichtigen Schritt zur Überwindung eines vereinfachten linearen Denkens sind theoretisch noch nicht voll gezogen. Die Alternative, für das Verhalten komplexer Systeme mit intern bedingter Strukturbildung entweder Kausalität oder Teleologie anerkennen zu müssen, ist theoretisch erst zu überwinden. Philosophisch ist über die Existenz von Potentialitäten (Möglichkeitsfeldern) zu einer theoretischen Lösung zu kommen, die in ihrer Bedeutung für die Naturwissenschaften zu testen ist. Kausalität wäre dann weiter zu fassen, von den Naturgesetzen zu unterscheiden und die Existenz von Potentialitäten anzuerkennen.

Ein weiterer wesentlicher Schritt von der linearen zur nicht-linearen Denkweise wird mit den Forschungen zur Selbstorganisation auf den verschiedensten Gebieten gegangen. Einerseits zeigt sich in dem konzeptionellen Herangehen an die Strukturbildung in komplexen Systemen durch Selbstorganisation ein möglicher Zugang zu einem generellen Mechanismus für die Entstehung von Neuem in qualitativ unterschiedenen Systemen. Andererseits ist die Spezifik jedes Struktur- und Entwicklungsniveaus zu beachten, weil Selbstorganisation in Physik, Chemie, Biologie sowohl grundlegend gleiche Mechanismen als auch spezifische Aspekte hat und die Transformationen von einem Niveau in das andere erst in Umrissen bekannt sind. Unter dem Aspekt der Selbstorganisation

kann nun vielleicht der mit der stochastischen Denkweise verbundene Schritt von der linearen zur nicht-linearen Denkweise besser verstanden werden.

#### 4. KAUSALITÄT, GESETZ UND ZUFALL

Der wesentliche Gehalt der stochastischen Denkweise besteht in einer Erweiterung des Kausalverständnisses, in der Aufdeckung der inneren Struktur von Gesetzmäßigkeiten als Einheit von notwendigen und bedingt zufälligen Verwirklichungen von Möglichkeiten und in der Anerkennung objektiver Zufälle als Grundlage für die Stabilität und Evolution von Systemen.

Allgemein ist Kausalität als Verbindung von Ursache und Wirkung zu fassen, wobei ein Ereignis andere Ereignisse hervorruft oder Einwirkungen auf ein System zu Veränderungen im System führen. Diese Bestimmung hebt schon die Einschränkung der aristotelischen Ursachen auf die notwendige Verwirklichung einer Möglichkeit im mechanistischen Determinismus auf. Es ist zwischen Kausalgesetz und Kausalbeziehungen zu unterscheiden. Das Kausalgesetz enthält keine konkreten Aussagen über die Art der Kausalbeziehungen, sondern stellt nur fest, dass Wirkungen verursacht sind. Eine bestimmte Kausalbeziehung ist so Einwirkung auf ein System als Ursache, die durch den vorhandenen Bedingungskomplex zu einem Möglichkeitsfeld führt, aus dem Möglichkeiten realisiert werden. Diese Einwirkung als Anfangsursache führt zu einem Ergebnis des Kausalprozesses als Endwirkung. In Grenzfällen kann die Anfangsursache notwendig die Endwirkung hervorrufen. Das ist der Fall, wenn eine direkte Beziehung zwischen Anfangsursache und Endwirkung existiert, etwa beim Brechen eines Schusses nach dem Ziehen des Abzugs. Das gilt jedoch nur, wenn das System einwandfrei funktioniert. So sind für den direkten Zusammenhang zwischen Anfangs- und Endwirkung wiederum eine Vielzahl von Kausalbeziehungen im Mechanismus der Schußwaffe erforderlich.

Das Problem liegt schon in der Definition der Notwendigkeit. Man kann sie als einen Prozess fassen, in dem eine Endwirkung durch die Gesamtheit der Bedingungen bestimmt ist, und sich nur als *post festum* feststellbar erweist. Wer bei dieser Art der Notwendigkeit stehen bleibt, landet im Fatalismus, der ein ewiges Schicksal anerkennt. Er ist Spielball des Geschehens und eigentlich nicht verantwortlich für seine Handlungen

zu machen. Die Umgebung läßt sich jedoch nicht abhalten, für falsches Handeln Vorwürfe zu erheben. Die angenommene freie Entscheidung in einem Bedingungskomplex basiert auf der Vielzahl von Kausalbeziehungen, die als notwendig oder zufällig erst durch ihren Platz im komplexen Geschehen bestimmt sind. Zufällig ist das, was möglich ist, sich jedoch nicht unbedingt durchsetzt, aber auch das, was als individueller Spielraum im notwendigen Geschehen einer Gesamtheit existiert. Deshalb ist immer die Frage bei nicht realisierten Möglichkeiten und bei der Durchsetzung der Notwendigkeit über zufällige Ereignisse zu stellen, in welcher Beziehung ein Ereignis notwendig oder zufällig sei, unabhängig davon, dass es auf der Grundlage von Kausalbeziehungen überhaupt erst möglich ist.

Notwendigkeit kann auch als direkte Bewirkung eines Ereignisses, wie Schuß und Treffer gesehen werden, wenn man die komplexen Mechanismen berücksichtigt, die selbst in den einfachsten Ereignissen existieren. Allgemeine Notwendigkeit ist dagegen Gesetzmäßigkeit: Unter gleichen wesentlichen Bedingungen tritt das gleiche Ereignis ein. Fallende Dachziegel töten beispielsweise den getroffenen Menschen. Aber Gesetze als allgemein-notwendige, d. h. als reproduzierbare Beziehungen, die wir für die Erkenntnis als Grundlage sachkundiger Entscheidungen brauchen, sind nicht etwa unausweichliche Vorgänge. Sie bieten Spielräume. Eben das wird in der statistischen Gesetzeskonzeption erfaßt. Ein statistisches Gesetz ist ein allgemein-notwendiger und wesentlicher Zusammenhang von Ereignissen, in dem eine Systemmöglichkeit unter den Systembedingungen zwar notwendig sich verwirklicht, jedoch die Elementmöglichkeiten ein Möglichkeitsfeld bilden, aus dem sich Möglichkeiten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit realisieren. Die Struktur der Kausalität ergibt sich dabei als inhaltlich und zeitlich gerichtete Vermittlung des Zusammenhangs, die Grundlage für Erkenntnis und Gestaltung ist. Ohne objektive Zusammenhänge der Objekte und Prozesse gäbe es keine Erkenntnis- und Gestaltungsmöglichkeit. Notwendigkeit und Zufall ergibt sich dann aus einem Komplex von Kausalbeziehungen, denn eine isolierte Beziehung gibt es nicht. Kausalität an sich existiert nicht. Es gibt immer einen Komplex von Zusammenhängen, was gleich ist mit der Komplexität der existierenden Kausalbeziehungen eines Systems.

Das führt zu weiteren Formen des Zusammenhangs. Kausalität drückt nur den objektiven Zusammenhang der Ereignisse aus. Man kann das Gedankenexperiment machen, sich einen Bereich vorzustellen, der

nicht mit anderen zusammenhängt: Leugnet man so Kausalität, dann gerät man in den Bereich der nicht fundierbaren Spekulation, denn was nicht wirkt, existiert nicht.<sup>34</sup> Wir laufen jedoch der Kausalität immer nach, ohne sie je zu erreichen. Wir suchen Kausalität und finden Gesetze sowie wesentliche Kausalbeziehungen. Jeder Komplex von Kausalbeziehungen gibt als System die Möglichkeit von verschiedenen Formen des Zusammenhangs: Dazu gehören die Verursachung von Wirkungen (wesentliche Kausalbeziehungen als *causa efficiens*), die Formierung des Inhalts (*causa formalis*), die Verwirklichung von Möglichkeiten (*causa finalis* mit relativen Zielen, Emergenz), Information als widerspiegelnde und steuernde Struktur (Einheit von *causa formalis* und *efficiens*) und Selbstorganisation auf der Grundlage bestimmter Stoffeigenschaften (Einheit von *causa materialis*, *formalis* und *finalis*). Diese Zuordnungen sind auch anders möglich, verdeutlichen aber, dass statt der immer wieder versuchten speziellen Differenzierung der Kausalität es theoretisch effektiver ist, die existierende Ursachenvielfalt nicht in den begrifflichen Rahmen der Kausalität allein zu zwingen, sondern die verschiedenen Formen des Zusammenhangs und die statistische Struktur der Gesetzmäßigkeiten zu untersuchen, um der wirklichen Nicht-Linearität realen Geschehens und der Wahrscheinlichkeitsstruktur bei der Verwirklichung von Möglichkeiten aus Möglichkeitsfeldern mit der stochastischen Denkweise besser als mit einer linearen Auffassung vom Geschehen gerecht zu werden.

## 5. ORDNUNG DURCH FLUKTUATIONEN

In der Geschichte des Denkens und der Erforschung der Natur tauchten immer wieder zwei Fragen auf: 1. Wie ist die (relative) Stabilität von Systemen zu erklären? 2. Wie entsteht Neues? Zur Beantwortung beider Fragen wurde stets das Verhältnis von System und Elementen, von Mikrokosmos und Makrokosmos herangezogen. Würden mikrokosmische Prozesse den Makrokosmos eindeutig determinieren, dann entstünde nichts Neues und die Stabilität der Systeme hinge direkt von der Stabilität der Elemente ab. Diese Haltung konnte keinen Forscher befriedigen, da Bewegung und Veränderung empirisch feststellbar waren. So gab es

---

34 Siehe Herbert Hörz: *Materiestruktur*. Berlin 1971.

immer wieder, wie bei etwa bei Lukrez, Aristoteles, Steno, Hegel und anderen Naturforschern und Philosophen, Überlegungen, den Zusammenhang von Erscheinungen und deren Elementen zu erfassen, um den Mechanismus zu begreifen, wie Neues entstehen kann. Dabei spielen Zufälle eine wichtige Rolle, denn sie erst erklären Änderungen des Geschehens, Ausnahmen von der Regel, Abweichungen von der Norm. Theorien zur Selbstorganisation von Systemen zeigen, dass Fluktuationen als Zufallsprozesse Grundlage der Stabilität und Evolution von Systemen sind.

Unter Mikrokosmos sollen die elementaren Prozesse zusammengefaßt werden, die die uns umgebenden natürlichen Systeme, die Körper, die Lebewesen und die kosmischen Systeme konstituieren, die den Makrokosmos bilden. Dazwischen spielen Makromoleküle als Systeme elementarer Prozesse und als Elemente des Makrokosmos eine entscheidende Rolle für die qualitativen Veränderungen, für die Transformationsprozesse von einem Struktur- oder Entwicklungsniveau zum anderen und für die Bildung neuer makrokosmischer Systeme, das wir sie aus dem Geschehen herausheben und als Mesokosmos bezeichnen.<sup>35</sup>

*Fluktuationen* sind Schwankungen zwischen mindestens zwei möglichen Zuständen eines Systems, von denen sich einer realisiert, ohne das die Bedingungen für die Verwirklichung gerade dieser Möglichkeit genau bestimmbar sind. Sie sind eine Art von Zufallsprozessen, denn Zufälle sind mögliche Ereignisse, die sich nicht unbedingt realisieren, für deren Realisierung jedoch eine bestimmte Wahrscheinlichkeit existiert.<sup>36</sup> Dialektische Traditionen von Aristoteles mit seiner Auffassung vom prozessualen Charakter der Wirklichkeit, von Hegel, der die Wechselwirkung als Grundlage des Geschehens betonte und von Engels, für den die Wechselwirkung die wahre *causa finalis* darstellte, sind mit der Idee des Zufalls als konstituierendem Element des Geschehens verbunden. In der dialektischen oder nicht-linearen Denkweise haben ständige Fluktuationen ihren Platz zur Erklärung von Stabilität und der Genese von Neuem. Zwar ist, offensichtlich der Konstruktion unserer Intelligenz als des spezifisch menschlichen Problemlösungsverhaltens entsprechend, ständige

---

35 Den Ausdruck habe ich vom Bielefelder Chemiker Achim Müller übernommen, mit dem ich viel über die philosophischen Probleme der modernen Wissenschaftsentwicklung diskutiere.

36 Siehe Herbert Hörz: *Zufall. Eine philosophische Untersuchung*. Berlin 1980.

Linearisierung des Nicht-Linearen zur Erkenntnis erforderlich.<sup>37</sup> Dabei kann sich eine erweiterte Linearisierung höherer Ordnung als bessere Annäherung an die Nicht-Linearität erweisen. Alle wirklichen Prozesse sind nicht-linear, d. h. es gibt nur in Grenzfällen eine Wirkung, die der Ursache entspricht. Das Prinzip *causa aequat effectum* ist ein Erkenntnisprinzip, das die Suche nach Ursachen für Wirkungen stimuliert, aber auch in seinen Abweichungen von der Regel gesehen werden muß. Sonst ist die Existenz von Fluktuationen nicht zu erklären.

Zufälle oder Fluktuationen werden in der Erkenntnis auf dreifache Weise eliminiert. Erstens halten Fluktuationen zwar die Ordnung eines Systems aufrecht, werden aber in der Erkenntnis gegenüber den Regularitäten des Systems, gegenüber den Systemgesetzen, als vernachlässigbar betrachtet. Zweitens sind in der Wechselwirkung von Systemen Ursachen und Wirkungen so zu differenzieren, dass die Begleitumstände als Schmutzeffekte des reinen Geschehens ausgesondert werden. Fluktuationen erscheinen hier als Schwankungen um den theoretisch interessierenden reinen Prozess. Drittens sind innovative Fluktuationen Grundlage für die Entstehung von Neuem. Sie werden jedoch in der Erkenntnis dann vernachlässigt, wenn es gelingt, die Ordnung der Evolution oder die Entwicklungsgesetze des Geschehens zu erkennen. Fluktuationen erscheinen dann wieder als vernachlässigbare Schwankungen um die Regularitäten der Evolution. Im Zusammenhang mit diesen drei Tendenzen der Erkenntnis stehen die in der Geschichte der Wissenschaft zu beobachtenden Bemühungen, die Gesetze hinter dem Zufall, die Symmetrien im asymmetrischen Verhalten zu entdecken, die Linearisierung nicht-linearer Prozesse voranzutreiben und die Evolutionsgesetze zu erkennen. Zufälle, Asymmetrien und Nicht-Linearitäten spielen jedoch in der Erkenntnis des wirklichen Geschehens eine immer größere Rolle. Sie sind die Grundlage der stochastischen Denkweise, mit der die drei Tendenzen der Erkenntnis nicht negiert werden, jedoch ihre Grenzen erkannt und Zusammenhänge gesehen werden, indem der statistische Charakter der Gesetze beachtet, Nicht-Gleichgewichtstheorien begründet und Strukturbildung untersucht werden.

---

37 Zum Verhältnis von Linearität und Nichtlinearität des Geschehens siehe Achim Müller/Herbert Hörz: Philosophische Aspekte der Chemie, Ihr Wesen: Universalität und Beständigkeit des Wandels. In: Achim Müller/Andreas Dress/Fritz Vögtle (Eds.): From Simplicity to Complexity in Chemistry – and Beyond. Part I. Braunschweig, Wiesbaden 1996. S. 212ff.

Strukturbildungen sind Bestandteil von umfassenderen Entwicklungsprozessen. Entwicklung kann als Entstehen, Ausgestaltung und Vergehen von Systemen begriffen werden, wobei durch Wechselwirkung der Elemente eines Systems andere und neue Qualitäten entstehen. Entwicklung umfaßt den Übergang von einer Ausgangsqualität zu anderen, neuen und höheren Qualitäten über Stagnationen, Regressionen und die Ausbildung aller Elemente einer Entwicklungsphase. Diese Problematik kann hier nicht generell behandelt werden.<sup>38</sup> Sie führt jedoch ebenfalls zur Rolle von Fluktuationen in Entwicklungsprozessen, denn Fluktuationen lassen in der Evolution, worunter jede qualitative Veränderung des Geschehens zu verstehen ist, Bifurkationen entstehen. Sie sind Verzweigungen im Evolutionsgeschehen, die durch gleichzeitige oder nacheinander erfolgende Realisierung von Möglichkeiten aus den existierenden Möglichkeitsfeldern entstehen. Sie beweisen, dass natürliche und künstliche Evolution nicht linear und kumulativ erfolgt. Es gibt nicht erwartete Resultate, Seitenzweige des Geschehens und das Verschwinden von Entwicklungsprodukten, wie uns das Aussterben bestimmter Arten lehrt.

Schrödinger hatte schon darauf verwiesen, dass die Hauptzüge der antiken Atomtheorie bis in die Gegenwart fortleben, was sehr erstaunlich sei, da das umfangreiche experimentelle Material zum atomistischen Charakter physikalischer Prozesse erst mit der Begründung der Quantentheorie erarbeitet wurde. Zur Erklärung dieses Phänomens bot Schrödinger zwei Möglichkeiten an: »Entweder haben die frühen Denker durch reinen Glücksfall erraten, was sich später als richtig erwies, oder die fragliche Hypothese gründet sich nicht so ausschließlich, wie die modernen Denker annehmen, auf das jüngst entdeckte Beweismaterial, sondern auf das Zusammenwirken von viel einfacheren, schon früher bekannten Tatsachen und der a-priori-Struktur oder wenigstens der natürlichen Veranlagung des menschlichen Intellekts. Ließe sich das letztere dartun, so wäre es von größter Bedeutung. Zwar müßten wir deshalb nicht notwendig das in Rede stehende Denkbild – in unserem Fall die Atomistik – als eine bloße Fiktion aufgeben. Doch würden wir damit in seinen Ursprung und sein Wesen tieferen Einblick gewinnen.«<sup>39</sup> Lassen wir, wie Schrödinger, die Möglichkeit beiseite, dass ein bloßer Glücksfall die griechischen Philosophen zu ihren tiefen Einsichten in das Verhältnis

---

38 Siehe Herbert Hörz/Karl-Friedrich Wessel: Philosophische Entwicklungstheorie. Berlin 1983.

39 Erwin Schrödinger: Die Natur und die Griechen. Hamburg 1956. S. 107.

von Mikrobewegung und Makrostruktur geführt habe, so bleibt die Annahme, dass einfachere Tatsachen, bei tieferem Nachdenken, mehr über die Mechanismen natürlicher Systeme, über ihre Stabilität und Evolution, offenbaren können, als es im offiziellen Zeitgeist dann ausgedrückt ist. Dabei spielen sowohl die Struktur unseres Intellekts als auch die durch Erfahrung bestätigten Einsichten in die wirkliche Struktur eine Rolle. Die Struktur des Intellekts kann dann fehlleiten, wenn eine, in Europa herausgebildete, sequentielle Denk- und Sprechweise mit Subjekt und Prädikat, mit wahr und falsch, mit gut und böse, Zusammengehörendes gedanklich und sprachlich trennt und die Mittel der Dialektik<sup>40</sup> nicht nutzt, um das getrennte Ganze wieder gedanklich zusammenzufügen.<sup>41</sup> Naturwissenschaftliche Strukturkenntnis liefert dabei nicht nur neues Material für Teillösungen philosophischer Welträtsel, sondern bringt auch einen Zwang zum dialektischen Denken hervor, der es ermöglicht, Ideen von Denkern der Vergangenheit, mit neuem Material fundiert, zu nutzen, um aktuelle Erklärungsdefizite zu überwinden.

Philosophie hat heuristische Bedeutung für Naturwissenschaftler, weil sie überholte Denkweisen kritisch analysiert, Begriffe in ihrer Geschichte untersucht und das historische Material heranzieht, das bisher bei der Lösung von Welträtseln gewonnen wurde, um Fragen an die aktuelle Forschung zu stellen. So sollen auch einige für unser Thema wichtige Positionen aus der Vergangenheit und Gegenwart betrachtet werden, um zu zeigen, dass sich der Gedanke von der Ordnung durch Fluktuationen immer wieder gegen andere herrschende Auffassungen durchsetzte.

Entgegen der herrschenden Auffassung griechischer und römischer Atomisten vom Determinismus der Atombewegungen, die nach ehernen Gesetzen die Körper hervorbringen sollten, betrachtete Lukrez die Wechselwirkung der Körper als Ursache für die Entstehung von Neuem. Die Atome sollten zu ungewisser Zeit und an ungewissem Ort etwas von der vorgesehenen Bahn abweichen und einen Wechsel der Bahn herbeiführen. »Wären sie nicht gewohnt abzuweichen, würden alle wie die Re-

---

40 Dialektik soll hier als Theorie der Struktur, Veränderung und Entwicklung des natürlichen und sozialen Geschehens sowie der Erkenntnismittel und Erkenntnisresultate in ihrem inneren Zusammenhang verstanden werden.

41 Siehe Herbert Hörz: Logik und Dialektik. Anmerkungen zu Positionen von Carl Friedrich von Weizsäcker. In: Peter Ackermann et al (Hrsg.): Erfahrung des Denkens – Wahrnehmung des Ganzen. Carl Friedrich von Weizsäcker als Physiker und Philosoph. Berlin 1989. S. 58–70.

gentropfen abwärts fallen durch das tiefe Leere, und es könnte kein Zusammenstoß entstehen und kein Stoß für die Urkörper; so hätte die Natur nie etwas geschaffen.«<sup>42</sup> Lukrez führte damit den Zufall in die Erklärung der Genese von Neuem ein. Man könnte ihn den innovativen oder gestaltenden Zufall nennen, der, im Unterschied zum erhaltenden Zufall, Neues hervorbringt. Es ist interessant, dass dieser Gedanke von Lukrez oft als Abweichung von der konsequenten Determinismusauffassung der Atomisten dargestellt wurde, während er eigentlich konstitutiv für einen dialektischen Determinismus, der die Entstehung von Neuem und die Offenheit der Zukunft wegen der Existenz von Zufällen anerkennt, sein müßte.<sup>43</sup>

Mit dem Atomismus existierte eine Welterklärung, die den Zusammenhang zwischen kleinsten unteilbaren Teilchen und beobachteten Körpern herstellte. Um der in der griechischen Philosophie damit verbundenen Einteilung in den Mikrokosmos der Atome und den Makrokosmos der beobachtbaren Welt zu entgehen, sollen, wie schon betont, die für unsere Welt entscheidenden Makromoleküle als Mesokosmos bezeichnet werden. Sie bilden die wichtige Mitte zwischen den stochastisch sich verhaltenden mikroskopischen Elementen der mesokosmischen Systeme und den aus ihnen aufgebauten makroskopischen Lebewesen bis zu den kosmischen Systemen. Mit der Denkweise des Laplace wurden die philosophischen Konsequenzen aus dem Atomismus im Sinne einer Abwendung von der Ursachenvielfalt des Aristoteles gezogen. Eherne Gesetze, ohne die Zufälle des Lukrez, sollten danach die Welt der kleinsten und der größten Körper beherrschen.

Den Zusammenhang von festem Körper und Bewegung der Teilchen hatte im 17. Jahrhundert schon Nikolaus Steno konstatiert. Er befaßte sich mit Mineralen, die eine geometrische Gestalt aufweisen, mit den gewinkelten Körpern, den »*corpora angulata*«, oder wie er Mineralkristalle nannte, den »*angulata corpora*«. Als Kristall galt ihm nur der Bergkristall. Anfang des 18. Jahrhunderts wurde der Kristallbegriff dann auf Minerale übertragen.<sup>44</sup> In seiner Arbeit über feste Körper von 1669 stellte Steno fest, dass ein natürlicher Körper ein Haufe von unfühlbaren

---

42 Lukrez: Über die Natur der Dinge. Lateinisch und Deutsch von J. Martin. Berlin 1972. S. 109.

43 Siehe Herbert Hörz: Zufall. Eine philosophische Untersuchung. Berlin 1980. S. 146.

44 Siehe Eginhard Fabian: Die Entdeckung der Kristalle. Der historische Weg der Kristallforschung zur Wissenschaft. Leipzig 1986.

Teilchen sei. In einem flüssigen Körper sind die Teilchen in ständiger Bewegung und entfernen sich voneinander, in einem festen bewegen sie sich manchmal, entfernen sich jedoch nicht, solange der Körper fest und ganz bestehen bleibt. »Während sich ein fester Körper bildet, bewegen sich seine Teilchen von einer Stelle an eine andere.«<sup>45</sup> Ein fester Körper, der nach den Naturgesetzen entstand, ist nach Steno aus einer Flüssigkeit hervorgegangen. »Ein Körper wächst, während zu einem Teilchen neue Teilchen hinzugefügt werden, die von einer äußeren Flüssigkeit abgesondert sind; diese Hinzufügung geschieht entweder unmittelbar durch die äußere Flüssigkeit oder durch Vermittlung einer oder auch mehrerer innerer Flüssigkeiten.«<sup>46</sup> Steno meinte: »Bis jetzt ist uns an der Natur der Materie nichts bekannt, mit dessen Hilfe man den Anfang der Bewegung und die Wahrnehmung einer Bewegung erklären könnte [...]«.<sup>47</sup> Die Determinanten zur Erzeugung eines Körpers fasste er mit Ort, Materie und bewegende Kraft zusammen, denn: »Was irgend etwas beiträgt zur Erzeugung eines Körpers, das tritt als Ort, oder als Materie, oder als bewegende Kraft in Tätigkeit.«<sup>48</sup> Steno meinte, dass feste Körper nur aus Flüssigkeiten entstehen können, da in ihnen die freie Bewegung der Teilchen möglich ist. Er sah also den Zusammenhang zwischen frei beweglichen Teilchen, deren stochastisches Verhalten nun genauer erforscht ist, und den strukturierten Kristallen, deren Bildungsgesetze er untersuchte.

Nimmt man die Ideen von Lukrez und Steno zusammen, dann könnte man zur jetzigen Erkenntnis kommen, dass die mesokosmische Ordnung aus den stochastischen Mikroprozessen entsteht. Es ist jedoch dabei zu beachten, dass der kristalline Zustand mit seiner Ordnung einen bestimmten Determinationszusammenhang hat und der amorphe Teil einen anderen. Die Beziehungen zwischen Mikrokosmos und Makrokosmos sind also weiter zu untersuchen. In diese Richtung gehen aktuelle Überlegungen zur Selbstorganisation. Obwohl es verschiedene Ansätze gibt, die Selbstorganisation von Systemen zu erklären, kann man Selbstorganisation allgemein als universelles Strukturbildungsprinzip fassen,

---

45 Nikolaus Steno: Vorläufer einer Dissertation über feste Körper, die innerhalb anderer fester Körper von Natur aus eingeschlossen sind (Florenz 1669). Übersetzung von K. Mieleitner. Leipzig 1923. S. 11.

46 Ebenda. S. 18.

47 Ebenda. S. 11.

48 Ebenda. S. 13.

das durch die relative Selbständigkeit der Systeme mit ständigem Energie-, Stoff- und Informationsaustausch mit der Umgebung, durch kooperatives Verhalten der Systemelemente, durch den überkritischen Zustand des Systems mit einem Möglichkeitsfeld für sein Verhalten und durch die Nichtlinearität von Ursachen und Wirkungen charakterisiert ist, was zu vielschichtigen Reaktionen des Systems infolge von Einwirkungen führen kann.<sup>49</sup> Erhaltende Zufälle oder Fluktuationen sind Verwirklichungen von Möglichkeiten aus dem Möglichkeitsfeld, die das System stabilisieren, oder die mindestens im Rahmen des Systems verarbeitbar sind. Innovative oder gestaltende Zufälle (Fluktuationen) führen zu neuen Qualitäten des Systems, wobei die alten Qualitäten oder das System zerstört werden können. Die destruktiven Kräfte, die Systeme zerstören, sind zugleich konstruktiv, weil sie das entstandene Chaos mit neuen Möglichkeitsfeldern ausstatten, deren Verwirklichung zu höheren Qualitäten führen kann.

Von höheren Qualitäten kann man nur sprechen, wenn mit Kriterien belegbar ist, dass in einem Entwicklungsprozess die Funktionen der Ausgangsqualität durch die neue Qualität qualitativ besser und quantitativ umfangreicher erfüllt werden. In der Zucht von Pflanzen und Tieren mit neuen Eigenschaften ist das mit Nutzenskriterien zu ermitteln. Insofern ist der Terminus »höhere Qualität« immer relativ. Er bezieht sich stets auf eine bestimmte Entwicklungslinie mit ausgewiesenen Kriterien.

Mit seinem konzeptionellen Herangehen an die Selbststrukturierung der Materie hatte Haken die Entstehung von Neuem durch synergetische Prozesse erklärt.<sup>50</sup> Prigogine/Stengers<sup>51</sup> machten darauf aufmerksam, dass die Erklärung der von uns in der Wirklichkeit vorgefundenen Ordnung problematisch ist, wenn man sie auf zufällige Kollisionen oder auf die Existenz zeitloser Gesetze der Dynamik zurückführen wollte. Im ersten Fall könnte die Stabilität der Systeme nicht erklärt werden und im zweiten Fall käme es zu einer ständigen Wiederholung des Gleichen. Sie betonen die Ordnung durch Schwankungen. In ihrem Konzept der Selbstorganisation sind dissipative Strukturen gewaltige Schwankungen, die durch Energie- und Materialfluß aufrechterhalten werden. Sie sind die Grundlage für die Entstehung, Stabilität, Evolution und das Vergehen

---

49 Siehe Herbert Hörz: Selbstorganisation sozialer Systeme. Münster 1994. S. 44.

50 Siehe Hermann Haken/A. Wunderlich: Die Selbststrukturierung der Materie: Synergetik in der unbelebten Welt. Braunschweig 1991.

51 Siehe Ilya Prigogine/Isabell Stengers: Dialog mit der Natur. München. 1981. S. 176.

von Systemen. Neues kann entstehen. Sie bemerken: »Die Tatsache, dass Schwankungen bei der Herausbildung einer makroskopischen Ordnung eine ausschlaggebende Rolle spielen können, impliziert einen tiefgreifenden Wandel in der Beziehung zwischen dem mikroskopischen und dem makroskopischen Niveau.«<sup>52</sup>

Dieser ist mit der stochastischen Denkweise adäquat zu erfassen.

## 6. IST DER ZUFALL BEHERRSCHBAR?

Der Naturforscher ist keineswegs nur Nachahmer der Natur, sondern auch ihr Konstrukteur. Er kann schlafende Propensitäten wecken und emergente Erscheinungen erzeugen. Von Naturprozessen mit ihrer Ordnung durch Fluktuationen können und müssen wir daher lernen (wollen). Die Gestaltung neuer Strukturen und die Entwicklung neuer Materialien sind menschliche Konstruktionen im Rahmen der Naturgesetze. Da letztere statistischen Charakter haben, sind Möglichkeitsfelder vorhanden, in denen Potenzen stecken, die unter natürlichen Bedingungen nur eine geringe Wahrscheinlichkeit zu ihrer Realisierung haben. Durch die Gestaltung entsprechender Bedingungen kann der Mensch als Konstrukteur der Natur die Möglichkeiten realisieren, die seinen Forderungen am besten entsprechen. Im Unterschied zum Tier, das sich im wesentlichen den vorhandenen Existenzbedingungen anpassen muß oder zugrunde geht, können Menschen bewußt auf ihre Existenzbedingungen eingehen und sie gestalten, leider auch in destruktiver Richtung, denn sie können ihre natürlichen Grundlagen und sich selbst zerstören. Betrachten wir jedoch die konstruktive Seite der Naturgestaltung, indem wir auf eine menschenfreundliche Natur orientieren und die Zerstörung von ökologischen Kreisläufen in ökologischen Zyklen auffangen, dann geht es um die Beherrschung des Zufalls bei der Gestaltung der Natur. Als konstitutives Element der Stabilität und Evolution des Geschehens sind Zufälle oder Fluktuationen nicht zu beseitigen, wohl aber in ihrer Wirkung in eine bestimmte Richtung zu kanalisieren. Es geht um den organisierten Zufall.<sup>53</sup>

Weil objektive Möglichkeiten des Geschehens existieren hat es relative Ziele. Sie zeigen sich in den aufgespannten Möglichkeitsfeldern, in

---

52 Ebenda. S. 177.

53 Siehe Herbert Hörz: Zufall. Eine philosophische Untersuchung. Berlin 1980. S. 12.

den steuernden informationellen Strukturen, in den genetischen Programmen und in den möglichen Endqualitäten von Entwicklungszyklen. Mit der Anerkennung relativer Ziele des Geschehens geht es um eine prinzipielle Frage der philosophischen Entwicklungstheorie. Lineares Denken in Gleichgewichtszuständen und geschlossenen Kreisläufen vernachlässigt die Offenheit der Zukunft. Im mechanistischen Determinismus mit seiner Ablaufkausalität waren notwendiger Ablauf, Kausalität, Gesetzmäßigkeit, Vorausbestimmtheit und Voraussagbarkeit des Geschehens identisch. Anerkennen wir die Existenz von objektiven Zufällen (Fluktuationen als Grundlage der Ordnung) und von Möglichkeitsfeldern, dann fällt die Annahme der Vorausbestimmtheit des Geschehens und seiner exakten Voraussagbarkeit. Der Kausalitätsbegriff ist deshalb, wie angedeutet, zu erweitern. Kausalität als Verursachung von Wirkungen und Gesetze als allgemein-notwendige und wesentliche Beziehungen des Geschehens sind zu unterscheiden. Mit den statistischen Gesetzen können zwar Trends der Zukunft angegeben, aber keine exakten Prognosen aufgestellt werden. Der Gegensatz zu einer mechanistischen Auffassung ist jedoch keineswegs mit einer Haltung verbunden, nach der die Zukunft überhaupt nicht mehr gestaltbar sei. Die Welt verändert sich im Rahmen von Gesetzmäßigkeiten und nicht einfach regellos. Wäre die Regellosigkeit das normale Geschehen, dann wäre Wissenschaft undenkbar. Die statistische Gesetzeskonzeption in der stochastischen Denkweise wendet sich sowohl gegen jede Teleologie als auch gegen einen vorausbestimmten Ablauf des Geschehens mit der Einsicht in die Offenheit der Zukunft, nimmt aber mit den relativen Zielen des Geschehens Trends, genetische Programme und Entwicklungszyklen an, die zu erkennen sind. Einsichten in sie gestatten begründete Zielsetzungen der Menschen, wobei mit »trial and error«-Lernprozesse verbunden sind, die die Erkennenden und Handelnden Menschen zu Korrekturen ihrer Zielsetzungen und Handlungen zwingen.

Relative Ziele ergeben sich aus der Komplexität des Geschehens. Wir können zwar als analysierende Beobachter die Welt in vergangene, gegenwärtige und zukünftige Prozesse einteilen, müssen aber dabei beachten, dass die zeitliche Trennung von Vergangenheit und Zukunft durch die Gegenwart nicht auf einen Zeitpunkt zu reduzieren ist. Gegenwart ist für uns das gesamte von uns direkt oder indirekt praktisch beeinflussbare Geschehen. Dabei determinieren wir zukünftige Folgen, über die wir theoretisch reflektieren können. Weil eine Beziehung zwischen Vergangenheit und Zukunft durch die zeitlich ausgedehnte Gegenwart besteht,

erhalten wir aus der Vergangenheit durch gegenwärtige Strukturen als potentielle Informationen Wissen über die Entwicklung der Strukturen, aber auch über ihre Potenzen und schlafenden Propensitäten. Gegenwärtige Realisierung von Möglichkeiten aus dem durch das spezifische Bedingungsgefüge in bestimmten Bereichen der Wirklichkeit vorhandene Möglichkeitsfeld, die eine bestimmte Wahrscheinlichkeit der Realisierung gehabt haben, bauen ein neues Möglichkeitsfeld auf oder erweitern vorhandene, ändern oder belassen Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Realisierung. Diese Vielfalt möglicher zukünftiger Wirklichkeit als Realisierung gegenwärtiger Potentialität nennen wir relative Ziele des Geschehens. Es geht also bei den relativen Zielen, die sich aus den objektiven Möglichkeitsfeldern ergeben, weniger um Gleichgewichtszustände als um die bei der Strukturierung der Systeme vor und nach dem Gleichgewicht, auch in seiner Nähe, ablaufenden Prozesse.

Keineswegs soll mit der Annahme relativer Ziele eine Teleologisierung bewußtloser Prozesse vorgenommen werden. Es ist jedoch die theoretische Schwierigkeit zu beachten, die in der Beziehung zwischen den be- und entstehenden Möglichkeitsfeldern und der wahrscheinlichen Realisierung bestimmter Möglichkeiten in den sich selbst organisierenden Prozessen als Grundlage unserer Zielsetzungen einerseits und der Differenz zwischen objektiven Resultaten und subjektiven Zielen, die zur Unterscheidung von den objektiven relativen Zielen Zielsetzungen der Menschen genannt werden, andererseits, liegen. Sie mit den bisherigen theoretischen Ansätzen zu erklären, führt zur Alternative, eine Zweckmäßigkeit des Geschehens anzunehmen, was abzulehnen ist, oder gerichtete Tendenzen des Geschehens mit der Beschreibung des regellosen Ablaufs zu leugnen. Zur Charakteristik des Problems ist festzuhalten: Bei der Aneignung der Wirklichkeit durch die Menschen brauchen diese bestimmte Kenntnisse über mögliche Zustände, um ihre Existenzbedingungen zielgerichtet gestalten zu können. Nun enthält jedes objektive System von Gesetzen, jedes genetische Programm und jeder Entwicklungszyklus Möglichkeitsfelder der weiteren Veränderung und Entwicklung, die im gegenwärtigen Zustand bedingt sind. Es gibt jedoch keinen Automatismus bei der Realisierung der Möglichkeiten. Menschen erfahren also durch ihre Handlungen und Untersuchungen etwas über mögliche gestaltbare Tendenzen des objektiven Geschehens, eben die relativen Ziele, die aber strikt von den Zielsetzungen der Menschen zu unterscheiden sind. Teleologie wäre die Annahme einer durch ein irgendwie geartetes Prinzip gesteuerten festen und absoluten Zielsetzung im Geschehen. Mit

der Ablehnung der Teleologie ist jedoch keine Erklärung dafür gegeben, dass objektives Geschehen überhaupt Erkenntnisse aus der Gegenwart über die Zukunft zuläßt. Diese sind möglich, weil objektive Möglichkeiten existieren, die die in der gegenwärtigen Struktur komprimierte vergangene Entwicklung mit den zukünftigen Strukturen verbinden.

Diese relativen Ziele des Geschehens, oder länger ausgedrückt, vorhandene Tendenzen der Realisierung von jetzt entstehenden oder schon existierenden Möglichkeiten, determiniert durch sich ändernde Bedingungen und menschliches Handeln, sind relativ. Die Relativität bezieht sich darauf, dass verschiedene Möglichkeiten, darunter Alternativen, existieren und Bedingungen zur Realisierung erforderlich sind. Es setzt sich deshalb keineswegs eine bestimmte Möglichkeit durch. Welche aus dem Möglichkeitsfeld sich realisiert kann post festum aus dem Bedingungsgefüge zwar als notwendig, d. h. durch die Gesamtheit der Bedingungen bestimmt, abgeleitet werden, ist jedoch nicht vorherbestimmt, da auch das Bedingungsgefüge sich ändern kann. Das ist auch dort der Fall, wo Menschen konstruktiv in die Wirklichkeit eingreifen.

Das theoretische Problem der relativen Ziele bei der Konstruktion der Wirklichkeit nach unseren Zwecken konnte teilweise vernachlässigt werden, solange nicht die Einsichten in die sich selbst organisierenden Prozesse, in die Ordner, die master-slave-Relationen oder die Autopoiesis bei konservativen und dissipativen Prozessen nach einer Erklärung der sich im Prozess erst neu herausbildenden Strukturen mit ihren Möglichkeiten verlangten. Obwohl auch früher schon die Diskussion um den Darwinismus mit den gezielten Veränderungen bei der Entstehung und Vernichtung der Arten das Problem immer aktuell machte. Die alte extreme Alternative von Teleologie und Ablaufkausalität, auch mit der wichtigen Ergänzung des Zufalls, reichte nun für das Verständnis erstens der Zweckmäßigkeit objektiven Geschehens und zweitens der Differenz zwischen Zielsetzung und Resultat nicht mehr aus. Eine Erklärung ist mit der Annahme relativer Ziele und der Differenzierung von relativen Zielen des objektiven Geschehens und der antizipativen Zielsetzung für das Handeln der Menschen möglich.

Weil objektive relative Ziele existieren, deshalb kann der Mensch als konstruktiver Gestalter der Wirklichkeit, im Rahmen der Gesetze, wahrscheinlich sich realisierende Möglichkeiten als Zielsetzungen nehmen. Stimmen Zielsetzungen und relative Ziele überein, ist der Erfolg möglich, aber nicht sicher, da die Relativität des Ziels auf die anderen Möglichkeiten verweist, die ebenfalls existieren. Nicht alles, was möglich ist, ist

auch realisierbar. Oft wird durch die Realisierung einer Möglichkeit der Weg für die Realisierung anderer verbaut. Wir leben mit der Relativität der Ziele als möglicher Tendenz des zukünftigen Qualitätswandels und der weiteren Entwicklung ebenso wie mit der zeitweiligen Reduktion oder Erweiterung des Möglichkeitsfeldes. Als Konstrukteur der Natur macht der Mensch unwahrscheinliche Möglichkeiten zur Wirklichkeit. Er darf sich also nie durch gegenwärtiges Wissen und die Warnung von gegenwärtigen Spezialisten abhalten lassen, neue Wege zu suchen. Ostwald hatte darauf verwiesen, wie die Koryphäen eines Fachs neue Ideen bekämpfen. Zuerst wird die Neuheit negiert oder die Idee ignoriert. Wird sie trotzdem weiter vertreten, dann konzentriert man alle Kritik darauf. Setzt sie sich aber wider Erwarten dann doch durch, ist es immer noch möglich, zu sagen, sie sei nichts Neues.<sup>54</sup> Jedoch gerade die Suche nach Neuem macht die Kreativität des Menschen aus. Er ist neugierig, wundert sich über Widersprüche in der Theorie oder zwischen Theorie und Praxis, und erkennt daraus Probleme. Probleme richtig formulieren, das ist der halbe Weg der Erkenntnis, denn die andere Hälfte ist Fleiß und Routine, Einsatz der vorhandenen Methoden und Lösungsalgorithmen. Wer nicht neugierig ist, auf Widersprüche nicht achtet, darf sich nicht wundern, wenn ihm nichts Neues einfällt. Auch Widersprüche zwischen philosophischen Weltbildern und naturwissenschaftlichen Erkenntnissen können so neue Ideen generieren und die heuristische Rolle der Philosophie für die Naturforschung fruchtbar machen.

## 7. FAZIT

Die stochastische Denkweise hat sich mit der Untersuchung von Fluktuation bei der Bildung von Strukturen in der Selbstorganisation erweitert und neue Aspekte in die Diskussion um den Determinismus gebracht. Fluktuationen als Zufallsprozesse erweisen sich als Grundlage von Regularitäten. Sie haben erhaltenden und gestaltenden Charakter, sind Bestandteil konstruktiver und destruktiver Prozesse. Mit der stochastischen Denkweise vollzieht sich der Übergang von einer Erkenntnisweise, die, im Sinne eines starken Determinismus, den Zufall aus der Erklärung der

---

54 Siehe *Forschen und Nutzen. Wilhelm Ostwald zur wissenschaftlichen Arbeit. Beiträge zur Forschungstechnologie. Sonderband 1.* Hrsg. von Günther Lotz, Lothar Dunsch und Uta Kring. Berlin 1982. S. 42.

Welt durch Symmetrisierung der Asymmetrien, durch Linearisierung des Nicht-Linearen, durch Einordnung der Schwankungen in die Naturgesetze heraus nivellieren will. Mit diesem starken Determinismus brachen schon die Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelationen. Zu ihren Folgen gehört der weitere Ausbau der stochastischen Denkweise. Die konstitutive Rolle des Zufalls für das Geschehen wird direkt anerkannt. Die Zukunft ist offen. Wissenschaftliche Voraussagen können nur mögliche Trends erfassen. Treten prognostizierte Ereignisse nicht ein, sind die Voraussagen zu korrigieren. Wir lernen durch trial and error. Da wir unsere Existenzbedingungen bewußt gestalten müssen, denn auf natürliche Weise reproduzieren sie sich nicht, sind wir auf Prognosen angewiesen. Das Problem besteht nicht darin, Aussagen über die Zukunft zu machen, sondern sie als absolut richtig dem Handeln zu unterstellen. Beherrschung des Zufalls heißt, seine Existenz anerkennen, relative Ziele des Geschehens zu erkennen, Erfolgsrisiken mit Prognosen einzugehen, Gefahrenrisiken so weit wie möglich zu vermeiden, aus Fehlern zu lernen und Strategien für gerechtfertigte Risiken rechtzeitig zu entwickeln, um sie bei Fehlschlägen umsetzen zu können.

Die Folgen der durch Heisenberg u. a. ausgelösten Determinismuskonversation kulminieren in der stochastischen Denkweise. Sie wird zu einem Erklärungsprinzip, das den Zusammenhang zwischen mikroskopischen stochastischen Mikroprozessen und geordneten mesoskopischen Molekülen, sowie mesoskopischer Stochastik und gesetzmäßigen makroskopischen Prozessen begründet. Sie ist aber auch heuristisches Prinzip, das uns in der Regelmäßigkeit die Ausnahmen, in der Linearität die zugrundeliegende Nichtlinearität suchen läßt. Grundlage der stochastischen Denkweise ist Anerkennung der Möglichkeitsfelder im wirklichen Geschehen, deren Konstituierung, Veränderung und Auflösung ebenso zu untersuchen ist, wie die Änderung der stochastischen Verteilung bei der Verwirklichung von Möglichkeiten durch neue Bedingungen, ob natürlich entstanden oder künstlich geschaffen, und die Existenz von Übergangswahrscheinlichkeiten bei Transformationen von einem qualitativen Zustand in einen anderen.

Im Sinne von Schrödinger muß die Philosophie einfache Tatsachen berücksichtigen, die mit unserer Erkenntnis- und Sprechweise zusammenhängen, aber auch das Material verschiedener Wissenschaften sichten, um Allgemeines und Wesentliches zur Präzisierung ihrer Auffassungen zu finden. Die stochastische Denkweise, über viele Stationen philosophischen Erkennens herausgebildet, durch neues naturwissenschaftliches

Material präzisiert, erweist sich als eine dem heutigen Naturerkennen adäquate philosophische Position, die selbst weiter auszubauen, zu präzisieren und zu korrigieren ist, wo sie neuen Erkenntnissen nicht entspricht. Sie ist jedoch ein Fortschritt gegenüber der Leugnung des Zufalls und der Position, dass wir die Zukunft exakt voraussagen könnten. Als Rückgriff auf die dialektischen Positionen früherer Denker ist sie zugleich ein durch neues Material bekräftigtes Erklärungsprinzip mit heuristischer Bedeutung für neue Erkenntnisse.

KURT REIPRICH

## Heisenberg über Newtons und Goethes Farbenlehre

Der Widerstreit zwischen der Auffassung Newtons und Goethes zur Farbenlehre hat im 20. Jahrhundert viele Naturwissenschaftler, besonders aber die beiden Leipziger Nobelpreisträger Werner Heisenberg und Wilhelm Ostwald beschäftigt.<sup>1</sup> Dabei geht es im allgemeinen nicht schlechthin »nur« um die Farbenlehre, sondern um das Verhältnis von Subjekt und Objekt im Prozeß der Naturerkenntnis, um gravierende Veränderungen des naturwissenschaftlichen Weltbildes und letztlich um unsere Auffassung über das Verhältnis von Mensch und Natur. Die Gedanken Werner Heisenbergs zu den damit verbundenen Fragen sind m. E. wissenschaftsgeschichtlich deshalb gravierend, weil sie die Universalität seines Denkens beleuchten und für unsere Zeit aktuell und tragfähig sind.

Ich werde versuchen, dies zu zeigen, wobei ich mich besonders auf vier seiner Vorträge stütze:

- Die Goethische und die Newtonsche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik (1941);
- Die Einheit des naturwissenschaftlichen Weltbildes (1941);
- Das Naturbild Goethes und die technisch-naturwissenschaftliche Welt (1967);
- Änderungen der Denkstruktur im Fortschritt der Wissenschaft (1969).

Zunächst versuche ich die Problemstellung Heisenbergs zu skizzieren und die Basisaussagen Goethes und Newtons darzustellen. Danach wird nach der Tragfähigkeit und Aktualität der Heisenbergschen Konzeption gefragt:

- Dem Verhältnis von Anschaulichkeit und naturwissenschaftlicher Sprache;
- Der Beziehung von Subjekt und Objekt im Erkenntnisprozeß;
- Der Einheit des naturwissenschaftlichen Weltbildes und dem Naturbegriff.

---

<sup>1</sup> Siehe Wolfgang Buchheim: Der Farbenlehrestreit Goethes mit Newton in wissenschaftsgeschichtlicher Sicht. Berlin 1991.

## 1. DIE PROBLEMSTELLUNG WERNER HEISENBERGS

In dem Aufsatz über die Goethesche und Newtonsche Farbenlehre vermerkt Heisenberg über den Unterschied zwischen beiden: »Am richtigsten kann man vielleicht den Unterschied der Goetheschen und Newtonschen Farbenlehre bezeichnen, wenn man sagt, daß sie von ganz verschiedenen Schichten der Wirklichkeit handelten.«<sup>2</sup> Gemeint ist damit die objektive Wirklichkeit als Gegenstand der Naturwissenschaft einerseits, die subjektive Wirklichkeit der Kunst andererseits.<sup>3</sup> Sofort fügt Heisenberg aber hinzu, daß diese beiden Wirklichkeiten keine absoluten Gegensätze sind, die Entwicklung der Naturwissenschaft gezeigt hat, »daß jene Einteilung der Welt in zwei Bereiche doch unser Bild von der Wirklichkeit stark vergrößert.«<sup>4</sup>

Was ist die Wirklichkeit in der Farbenlehre Goethes und der Newtons? Knapp und präzise hat diese Differenz Wolfgang Buchheim in einem Vortrag vor der Sächsischen Akademie der Wissenschaften 1986 beschrieben: »Goethe schaute mit ›unbewaffnetem‹ Auge die Landschaft im Scheine der untergehenden Sonne. Newton analysierte künstlich präparierte Lichtstrahlen, in heutiger Sicht ausgedrückt, auf ihre Lichtquantenverteilung hin. Bei der Goetheschen Schau erscheinen die Farben des Himmels als Folge einer Trübung der Atmosphäre im Lichte der untergehenden Sonne, bei der Newtonschen Analyse als Folge einer künstlichen Zerlegung von ausgeblendeten Lichtstrahlen aufgrund unterschiedlicher Refraktion zu einem ›Spektrum‹ aufgefächert.«<sup>5</sup>

»Für Goethe«, schreibt Werner Heisenberg, »begannen alle Naturbeobachtung und alles Naturverständnis mit dem unmittelbaren sinnlichen Eindruck; also nicht mit einer durch Apparaturen ausgefilterten, der Natur gewissermaßen abgezwungenen Einzelercheinung, sondern mit dem unmittelbar unseren Sinnen offenen, freien Naturgeschehen.«<sup>6</sup>

---

2 Werner Heisenberg: Die Goethesche und Newtonsche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik. Vortrag, gehalten am 5. Mai 1941 in der Gesellschaft für kulturelle Zusammenarbeit in Budapest. In: Werner Heisenberg: Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft. Stuttgart 1959. S. 94.

3 Siehe ebenda. S. 95f.

4 Ebenda. S. 96.

5 Wolfgang Buchheim: Der Farbenlehrestreit Goethes mit Newton in wissenschaftsgeschichtlicher Sicht. Berlin 1991. S. 5.

6 Werner Heisenberg: Das Naturbild Goethes und die technisch-naturwissenschaftliche Welt. In: Werner Heisenberg: Schritte über Grenzen. München 1989. S. 208.

Das bedeutet nun nicht, daß Goethe der Meinung wäre, Naturforschung sei auf sinnlichen Eindruck zu reduzieren. So schreibt er 1798 in einem Aufsatz, der an Friedrich Schiller gerichtet war über seine Methode der Naturforschung:

»Was wir also von unserer Arbeit vorzuweisen hätten, wäre:

1. *Das empirische Phänomen*,

das jeder Mensch in der Natur gewahr wird und das nachher

2. *Zum wissenschaftlichen Phänomen*

durch Versuche erhoben wird, indem man es unter andern Umständen und Bedingungen, als es zuerst bekannt gewesen, und in einer mehr oder weniger glücklichen Folge darstellt.

3. *Das reine Phänomen*

steht nun zuletzt als Resultat aller Erfahrungen und Versuche da. Es kann niemals isoliert sein, sondern es zeigt sich in der stetigen Folge der Erscheinungen. Um es darzustellen, bestimmt der menschliche Geist das empirisch Wankende, schließt das Zufällige aus, sondert das Unreine, entwickelt das Verworrene, ja entdeckt das Unbekannte.«<sup>7</sup>

So ist auch die Farbauffassung Goethes nicht Resultat der Spekulation, sondern sogar der Anwendung des Prismas, wobei er, wie Heisenberg schildert, entdeckt, »daß große weiße Flächen nicht [...] farbige erscheinen [...] nur an den Rändern zwischen hellen und dunklen Flächen farbige Säume entstehen«.<sup>8</sup>

Daraus folgt Goethe, Farbe entstehe aus der Vereinigung von Hell und Dunkel. Seine damit verbundene Opposition gegen Newton formuliert er deshalb wie folgt: Farbe entsteht nicht durch Brechung des Lichtstrahls. »Die Lehre, die wir mit Überzeugung aufstellen, beginnt zwar auch mit dem farblosen Lichte, sie bedient sich auch äußerer Bedingungen, um farbige Erscheinungen hervorzubringen; sie gesteht aber diesen Bedingungen Wert und Würde zu. Sie maßt sich nicht an, Farben aus dem Licht zu entwickeln, sie sucht vielmehr durch unzählige Fälle darzutun, daß die Farbe zugleich von dem Lichte und von dem, was sich

---

7 Johann Wolfgang Goethe: (Erfahrung und Wissenschaft). Werke in 12 Bänden. Bd. 12. Berlin, Weimar 1974. S. 27.

8 Werner Heisenberg: Die Goethesche und die Newtonsche Farbenlehre im Lichte der modernen Physik. In Werner Heisenberg: Wandlungen in den Grundlagen der Naturwissenschaft. Stuttgart 1959 (im weiteren Werner Heisenberg: Die Goethesche und die Newtonsche Farbenlehre ...). S. 87.

ihm entgegenstellt (dem Bild mit seinen Grenzen – K. R.), hervorgebracht wird.«<sup>9</sup>

In einem Gedicht »An Julien« vom Mai 1817 mit dem Titel »Entoptische Farben« ist die Polemik gegen die Newtonsche Optik enthalten:

»Laß Dir von den Spiegeleien  
Unsrer Physiker erzählen,  
Die am Phänomen sich freuen,  
Mehr sich mit Gedanken quälen.

Spiegel hüben, Spiegel drüben,  
Doppelstellung auserlesen;  
Und dazwischen ruht im Trüben  
Als Kristall das Erdewesen.

Dieses zeigt, wenn jene blicken,  
Allerschönste Farbenspiele;  
Dämmerlicht, das beide schicken,  
Offenbart sich dem Gefühle.«<sup>10</sup>

Warum diese Polemik gegen die Optik Newtons?

Alle Arbeiten Goethes z. B. zur Geologie, Mineralogie, Biologie und auch zur Farbenlehre belegen die Ernsthaftigkeit Goethescher Naturforschung, seiner empirischen Gewissenhaftigkeit, seiner genauen Beobachtung, seiner experimentellen Arbeit. Er hat immerhin die Brechung des Lichts am Prisma selbst wiederholt. Aber warum hat er diese gegen Newton gedeutet? Hat er tatsächlich den erfolgreichen Gang der Physik seit Newton nicht verstanden? Es scheint eher so zu sein, daß er die Grenzen der Newtonschen Physik intuitiv skeptisch betrachtete. Für diese Sicht sprechen drei Einwände Goethes gegen die Newtonsche physikalische Denkweise.

(1) Das Problem der Messung. Goethe schreibt: »Das Messen eines Dings ist eine grobe Handlung, die auf lebendige Körper nicht anders als höchst unvollkommen angewendet werden kann. Ein lebendig existierendes Ding kann durch nichts gemessen werden, was außer ihm ist, sondern wenn es je geschehen sollte, müßte es den Maßstab selbst dazu

---

9 Johann Wolfgang Goethe: Farbenlehre. In: Werke. Bd. 11. S. 328f.

10 Johann Wolfgang Goethe: Entoptische Farben. In: Ebenda. S. 152f.

hergeben; dieser aber ist höchst geistig und kann durch die Sinne nicht gefunden werden [...]«<sup>11</sup>

(2) Das Problem der Mathematik. In seiner Polemik gegen die Newtonsche Schule bemerkt Goethe über das Verhältnis von Physik und Mathematik: »Denn daß eine Physik unabhängig von der Mathematik existiere, davon schien man keinen Begriff mehr zu haben.«<sup>12</sup>

(3) Das Problem des Verhältnisses von Teil und Ganzem. In seiner Studie nach Spinoza betont Goethe die Unzertrennlichkeit von Teil und Ganzem als Teil des Unendlichen. Dies bedeutet für die Erkenntnis: »Das Unendliche aber oder die vollständige Existenz kann von uns nicht gedacht werden.«<sup>13</sup>

Diese drei Widersprüche zwischen den Auffassungen Newtons und Goethes bilden den Kern der Diskussion Heisenbergs über das Verhältnis von Goethes und Newtons Farbenlehre. Genau sie sind nach wie vor gültig für unsere heutige Diskussion über die Stellung der erfahrungswissenschaftlichen Erkenntnis in Gesamtsystem des Erkenntnisprozesses.

## 2. DIE AKTUALITÄT DER ÜBERLEGUNGEN HEISENBERGS ÜBER NEWTON UND GOETHE

In seinem Vortrag zur Farbenlehre sagt Werner Heisenberg: »Am richtigen kann man vielleicht den Unterschied der Goetheschen und der Newtonschen Farbenlehre bezeichnen, wenn man sagt, daß sie von zwei ganz verschiedenen Schichten der Wirklichkeit handelten. Wir müssen hier daran denken, daß jedes Wort unserer Sprache sich auf verschiedene Bereiche der Wirklichkeit beziehen kann [...]«<sup>14</sup> Tatsächlich unterscheidet sich diese Wirklichkeit Newtons von der Goethes fundamental. Für Newton ist sie eine durch einen scharfen, vom Beobachter getrennten Determinismus unabhängig vom Subjekt gegebene Welt. Für Goethe ist die Wirklichkeit sinnliche Anschauung des Menschen. Für Newton ist Farbe eine meßbare physikalische Größe, für Goethe ist Farbe eine sinnliche Anschauung. Doch genau diese meßbare physikalische Größe ist in gewisser Weise von uns gemacht, wenn man so will die Wirklichkeit des

11 Johann Wolfgang Goethe: Studie nach Spinoza. In: Werke. Bd. 12. S. 12.

12 Johann Wolfgang Goethe: Farbenlehre. In: Werke. Bd. 11. S. 391f.

13 Johann Wolfgang Goethe: Studie nach Spinoza. In: Werke. Bd. 12. S. 12.

14 Werner Heisenberg: Die Goethesche und die Newtonsche Farbenlehre ... S. 94f.

Physikers oder allgemeiner von science, die des Erfahrungswissenschaftlers. Sehr scharf formuliert Heisenberg: »Die Naturwissenschaft handelt nicht mehr von der Welt, die sich uns unmittelbar darbietet [...] Diese objektive Welt wird also doch gewissermaßen erst durch unseren tätigen Eingriff, durch die verfeinerte Technik des Beobachtens hervorgebracht, und insofern stoßen wir auch hier an die unüberschreitbaren Grenzen der menschlichen Erkenntnis.«<sup>15</sup> Stößt science tatsächlich an Grenzen der menschlichen Erkenntnis? Neuere Darstellungen der Geschichte der Naturwissenschaften und namentlich der Physik erwecken zumindest diesen Eindruck nicht. Ein Netz naturwissenschaftlicher Erkenntnis von der Physik bis zur Psychologie und Medizin scheint diese These Heisenbergs völlig zu widerlegen. Vor kurzem schrieben Max Tegmark und John Archibald Wheeler rückblickend auf 100 Jahre Quantentheorie:

»All diese Theorien enthalten zwei Komponenten: mathematische Gleichungen sowie Worte, die erklären, wie die Gleichungen mit experimentellen Beobachtungen zusammenhängen.«<sup>16</sup>

Genau auf dieser Verknüpfung von Mathematik und Experiment beruht m. E. das Wirklichkeitsverständnis der modernen Naturwissenschaft. Rudolf Carnap hatte Wissenschaft als syntaktisch einwandfreie Verknüpfung von Protokollsätzen der Art »x hat zum Zeitpunkt T das Phänomen P auf der Stelle L beobachtet« bezeichnet. Eine solche nur syntaktische Auffassung von Wissenschaften führt zu einer Schwierigkeit. Wissenschaftliche Theorien wären dann gleichwertig, wenn sie nur nach den syntaktischen Regeln einwandfrei konstruiert sind. Solche Theorien hätten dann zwar einen Sinn – syntaktisch einwandfreie Konstruktion –, sie wären aber unentscheidbar hinsichtlich ihrer Bedeutung. Hinsichtlich letzterer hätte ich kein Auswahlkriterium. Methodisch wüßte ich nicht, welche Theorie ich wählen soll. Um dieser Schwierigkeit auszuweichen, verschärfen wir in Anlehnung an Frege, Strawson und Runggaldier die Anforderung: Wissenschaftliche Theorien müssen nicht nur einen Sinn sondern auch eine Bedeutung haben, d. h. zumindest eine Menge singularer Aussagen enthalten, die etwas bezeichnen. Wir nennen dies Referenz eines Ausdruckes. Referenz bedeutet dabei nicht, daß Aussagen ein materielles Objekt widerspiegeln, sondern lediglich die Konstruktion von Aussagefunktionen, die die Werte wahr oder nicht-wahr

---

15 Ebenda. S. 98.

16 Spektrum der Wissenschaften. April 2001. S. 76.

haben können. Solche Aussagefunktionen sind z. B. logische Begriffe, die man dadurch bildet, daß einem Eigennamen ein Prädikat zugeordnet wird. Der Eigenname wäre dann ein Terminus, der einen einzelnen Gegenstand bezeichnet, während die Prädikatoren Termini sind, die den durch den Eigennamen bezeichneten Gegenstand zu- bzw. abgesprochen werden. Logische Begriffe wäre dann Eigennamen, die für alle bedeutungsgleichen Prädikatoren gelten. Es ist möglich, Aussagensysteme dadurch zu konstruieren, daß ich Regeln für die Verwendungsweise von Prädikatoren festlege, wodurch ich Begriffssysteme klassifiziere (Beispiel: klassifizierende Prädikatoren, komparative Prädikatoren, metrische Prädikatoren). Folgerung: Eine Methode ist dann erfolgreich, wenn ich Termini einführe und mit Prädikationen so belege, daß ich Aussagen und Aussageverbindungen konstruiere, für welche ich eindeutig den Wert wahr oder nicht-wahr angeben kann. Es scheint also doch eine universelle Methode in folgendem Sinn zu geben: Die Menge von syntaktischen und semantischen Regeln, welche eine Sprache für die Beschreibung und Erklärung einer Menge von Sachverhalten konstituiert. Allerdings wäre »universell« einzuengen durch die Bedingung Wahl des Sprachsystems, welches genau dann paßt, wenn die Menge der zu beschreibenden Sachverhalte damit logisch einwandfrei zu erklären ist. Bei konkurrierenden Sprachsystemen ist jenes vorzuziehen, das eine höhere Erklärungsleistung bietet. Für alle Erfahrungswissenschaften kommt damit der mathematischen Sprache eine besondere Bedeutung zu. Es gibt kaum ein schöneres Beispiel dafür als das, was Benoit B. Mandelbrot in der Einleitung zu seinem Buch »The Fractal Geometry of Nature« vorstellt: »Why is geometry often described as ›cold‹ and ›dry‹? One reason lies in its inability so describe the shape of a cloud [...] More generally, I claim that many patterns of Nature are so irregular and fragmented, that [...] Nature exhibits not simply a higher degree but altogether different level of complexity [...] The existence of these patterns challenges us to study those forms that Euclid leaves aside as being ›formless‹, to investigate the morphology of the ›amorphous‹ [...] Responding to this challenge, I conceived and developed a new geometry of nature [...] It describes many of the irregular and fragmented patterns around us, and leads to full-fledged theories, by identifying a family of shapes I call *fractals*.«<sup>17</sup>

---

17 Benoit B. Mandelbrot: The Fractal Geometry of Nature. San Francisco 1983. S. 1.

Es scheint also so zu sein, daß es möglich ist, mit Hilfe der Konstruktion zweckmäßiger Sprachen, differenzierte – durch jeweilige sprachliche Ausgangs- und Randbedingungen – universelle Methoden zu bilden, welche der Beschreibung realer und möglicher Welten dienen. Es ist deshalb nicht verwunderlich – und das hat Wolfgang Buchheim u. a. gezeigt<sup>18</sup> –, daß die Farben Goethes ein spezifischer Ausschnitt des physikalisch beschriebenen Farbspektrums sind. Dies scheint ein Beleg dafür zu sein, daß ich alle Bereiche der Natur mit der deskriptiven Sprache von science beschreiben und erklären kann. Dazu steht jedoch der Satz Heisenbergs im Widerspruch, daß es unüberschreitbare Grenzen der menschlichen Erkenntnis gibt. Und welchen Sinn sollte, falls ich alles in der Sprache von science erklären kann, die Überlegung Buchheims haben, daß sich die Farbenlehre Newtons und Goethes komplementär zu einander verhalten?<sup>19</sup> Eine Erklärung dafür kann man vielleicht dadurch erreichen, daß man genauer danach fragt, was für Goethe die Wirklichkeit der Farbe ist. Diese Wirklichkeit ist eben für Goethe nicht schlechthin physikalische sondern sinnliche Anschauung des Subjekts. Die Farben sind nicht »etwas dem Augen Fremdes« und das Subjekt »bringt selbst Farben hervor« gemäß »der eigenen Natur«.<sup>20</sup> Es verbindet damit zugleich bestimmte Werte, z. B. »regsam, lebhaft, strebend«.<sup>21</sup>

Analysiert man die Sprache, welche Goethe hier benutzt, dann stellt man fest, daß die hier gebrauchten Sätze eben nicht deskriptive Aussagen sind, sondern Wertungen über den Gemütszustand des Subjekts. Es sind letztlich Decissionen, Entscheidungs- bzw. Sollsätze. Über diese schreibt Hans Richter, daß ihr Syntax zwar logisch konsistent ist, und der Sprache von science entspricht, nicht jedoch ihr Sinn: »Letters have no conceptuel content.«<sup>22</sup>

So gesehen wären Heisenbergs und auch Buchheims Überlegungen vielleicht verständlich. Das was science unter Wirklichkeit versteht, ist die Wirklichkeit der deskriptiven Sprache der Erfahrungswissenschaft. Mit den Worten von Tegmark und Wheeler wären dies Aussagen und Vorschriften, mit denen ich Beobachtungen mathematischen Sätzen zuord-

---

18 Siehe Wolfgang Buchheim. *Der Farbenlehrestreit Goethes mit Newton in wissenschaftsgeschichtlicher Sicht*. Berlin 1991. Anhang. S. 7–14.

19 Siehe ebenda. S. 6f.

20 Johann Wolfgang Goethe: *Farbenlehre*. In: *Werke*. Bd. 11. S. 338. §706.

21 Ebenda. S. 341. §764.

22 Hans Richter: *Dada. Art and Anti-Art*. London 1965. S. 148.

ne. Etwas lax gesprochen, das Kunststück besteht darin, für experimentell gewonnene Beobachtungen paßfähige mathematische Sätze und Algorithmen zu finden, und zwar so, daß für einen bestimmten Naturbereich eine einheitliche, geschlossene mathematisch-physikalische Beschreibung entsteht, mit deren Hilfe wir denselben erklären und verstehen können. Genau darin bestand die große physikalische Leistung Isaac Newtons und selbstverständlich vorher schon Johannes Keplers, daß sie die physikalische Beobachtung mit der Geometrie Euklids zu einer einheitlichen Naturerklärung verbanden.

Aber was passiert, wenn Protokollsätze in diese mathematisch-physikalische Naturerklärung nicht mehr passen? Wenn wir, um Mandelbrot zu zitieren, Protokollsätze haben, die »amorphe« Zustände betreffen, wie wir sie beispielsweise bei der Schwingung am Doppelpendel oder bei Turbulenzen allgemein vorfinden? Man wird um die »Morphologie« des »Amorphen« zu beschreiben, eine neue verfeinerte mathematische Sprache brauchen, so wie sie heute mit der fraktalen Geometrie vorliegt. Es entsteht damit eine neue umfassendere, diffizilere Naturerklärung, die ein umfassenderes Naturverständnis erlaubt, welches möglicherweise ausreicht, biologische Strukturen und Prozesse mit einem deskriptiven Aussagesystem zu erklären und zu verstehen. Eines bleibt jedoch unverändert: Die prinzipielle Anwendung deskriptiver Sprachen mit ihrer Aussagenbewertung »wahr«, »nicht-wahr«, »nicht entscheidbar«, die Möglichkeit für Protokollsätze Verifikations- zumindest aber Falsifikationsmethoden anzugeben und die Protokollsätze mathematisch-physikalischen Theorien zuzuordnen.

Wie könnte unter solchen Voraussetzungen Heisenbergs Gedanke von den unüberschreitbaren Grenzen menschlicher Erkenntnis interpretiert werden?

Vielleicht bieten dafür die philosophischen Überlegungen Immanuel Kants einen Ansatz. Für ihn ist Natur als Gegenstand der Naturwissenschaft unter zwei Prämissen möglich:

– »Natur als das Dasein der Dinge, sofern es nach allgemeinen Gesetzen bestimmt ist. Sollte Natur das Dasein der Dinge an sich selbst bedeuten, so würden wir sie niemals, weder *a priori* noch *a posteriori*, erkennen können.«<sup>23</sup>

---

23 Immanuel Kant: Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik. Leipzig. Reclam's Universal-Bibliothek Nr. 2468-70. S. 64.

– Natur als Gegenstand der Naturwissenschaft ist nur möglich »vermittels der Beschaffenheit unseres Verstandes«. <sup>24</sup>

Sicherlich ist der Begründungsweg Kants durch die Verstandeskategorien a priori heutzutage antiquiert. Trotzdem ist der Lösungsansatz modern, denn die Wirklichkeit der Natur als Gegenstand der Naturwissenschaft ist das durch deskriptive Sprachen und Experiment konstruierte Modell, in welchem das erkennende Subjekt und das durch das Modell gegebene Objekt untrennbar verbunden sind. Für die Erkenntnis durch die Erfahrungswissenschaft gibt es in dem Sinne keine Grenze, daß die Sprache der Erfahrungswissenschaft prinzipiell auf jeden Erkenntnisgegenstand anwendbar ist. Die Grenze ihrer Erkenntnis wäre dann die Grenze ihrer Sprache, die innerhalb derselben unbegrenzt ist.

Aber – um mit Goethe zu fragen – ist diese Wirklichkeit das Ganze. Komplementär zu ihr steht die Wirklichkeit, welche – um mit Heisenberg zu sprechen – den Sinn unseres Tuns betrifft, auch den der Naturforschung. Wenn ich über die Sinnfrage reflektiere, so geschieht dies natürlich auch in einer Sprache und ich benutze auch Aussagesätze und Satzverknüpfungen wie in der Semantik und Syntax deskriptiver Sprachen. Doch ich verwende nicht nur Aussagesätze und ihre syntaktischen Verknüpfungen. Frage ich nämlich nach den letzten Prämissen des Sinns meines Tuns, so frage ich unweigerlich auch nach »gut« und »böse«. Solche Sätze sind dann aber personale Entscheidungssätze, die zumindest nicht ausschließlich durch eine erfahrungswissenschaftliche Sprache ausdrückbar sind. Es scheint zwei Bereiche der Wirklichkeit zu geben und wir scheinen in zwei Sprachebenen zu existieren: den der Erfahrungswissenschaft und den der personalen Entscheidung. In beiden Bereichen dieser Wirklichkeit existieren wir. Nach beiden Bereichen ist zu fragen – gerade heute.

---

24 Ebenda. S. 96.

GOTTHARD KLOSE

## **Kurze Einführung zur Besichtigung des 750 MHz-NMR-Labors an der Fakultät für Physik und Geowissenschaften**

Das vor kurzem an der Physik in Leipzig in Betrieb genommene Kernresonanzgerät mit einer Resonanzfrequenz von 750 MHz für Wasserstoffkerne ist eines der modernsten weltweit (zur Zeit drei) betriebenen Spektrometern.

Von der magnetischen Kernresonanz (englisch: Nuclear Magnetic Resonanz, abgekürzt NMR) zu Heisenberg gibt es mehrere Beziehungen. Die NMR beruht auf den besonderen Eigenschaften von Mikroteilchen, deren Verhalten durch die von Heisenberg entdeckte Quantenmechanik beschrieben wird. F. Bloch (Nobelpreisträger für Physik 1952), einer der begabtesten Schüler von Heisenberg, gelang 1946 gleichzeitig mit E. M. Purcell der erste experimentelle Nachweis. Heisenberg hat sich u. a. auch mit der magnetischen Eigenschaft von Metallen (Ferromagnetismus) befasst und wesentlich zur mikroskopischen Erklärung dieser Eigenschaft beigetragen. Der Ferromagnetismus beruht auf den magnetischen Momenten der Elektronen in den Metallen und ihren Wechselwirkungen, während der Kernmagnetismus, der eine Voraussetzung der NMR ist, auf den magnetischen Momenten von Atomkernen und ihren Wechselwirkungen beruht.

Jeder kennt die Funktion des Magnetnadelkompasses, dessen Magnetnadel sich infolge ihres magnetischen Momentes parallel zur Richtung des magnetischen Feldes der Erde ausrichtet. Ganz anders verhalten sich die magnetischen Momente von Atomkernen, deren Verhalten durch die Quantenmechanik beschrieben wird.

Betrachten wir das magnetische Moment des Wasserstoffkerns. Wasserstoffatome, in Molekülen gebunden, sind in den meisten Stoffen der belebten und unbelebten Natur vorhanden. In einem Magnetfeld  $B$  orientiert sich das magnetische Moment  $\mu$ , z. B. des Kerns der Wasserstoffatome eines Wassermoleküls nicht parallel in Richtung des Magnetfeldes wie bei einer makroskopischen Magnetnadel sondern unter bestimmten Winkeln zum Magnetfeld. In der zweidimensionalen Darstel-

lung gibt es nur vier mögliche Orientierungen (in Abb. 1, b mit den gestrichelten Pfeilen 1, 2, 3 und 4 gekennzeichnet) des magnetischen Kernmomentes  $\mu$  im Magnetfeld  $B$  (siehe Abb. 1, a und b für  $t < 0$ ). Diese Orientierungen entsprechen den beiden, nach der Quantenmechanik («räumliche» Quantelung) erlaubten Projektionen von  $\mu$ , in Richtung des Feldes und entgegengesetzt zum Feld (in Abb. 1, b mit den kleinen Pfeilen gekennzeichnet). Welche Orientierung das magnetische Kernmoment einnimmt, ist dabei völlig unbestimmt. Die Konsequenz ist, dass es prinzipiell kein zum Magnetfeld senkrechte magnetische Komponente von  $\mu$  gibt; also ein magnetisches Moment senkrecht zu  $B$  auch nicht messbar ist.

Im Unterschied dazu gibt es jedoch ein resultierendes, allerdings ein unvorstellbar kleines magnetisches Moment in Richtung des Magnetfeldes  $B$ , da die Wahrscheinlichkeit für die Orientierungen 1 und 2 nur geringfügig grösser als die für die Orientierungen 3 und 4 ist; m. a. W. die Projektion des magnetischen Momentes in Richtung des Magnetfeldes ist geringfügig grösser als entgegengesetzt zur Feldrichtung. In einer makroskopischen Probe jedoch, z. B. in  $1 \text{ cm}^3$  Wasser, die eine unvorstellbare grosse Zahl (eine Sechs mit 22 Nullen) von an Sauerstoff gebundenen Wasserstoffatomen enthält, addieren sich diese resultierenden Momente zu einem Gesamtmagnetmoment  $M$  (Kernmagnetismus) der Probe (Abb. 1, b), das mit entsprechenden empfindlichen Methoden messbar ist.

Die Energie der Wechselwirkung des magnetischen Kernmomentes  $\mu$  mit dem Magnetfeld  $B$  in den Orientierungen 1 und 2 ist etwas kleiner als in den Orientierungen 3 und 4. Das ist die Ursache, dass das magnetische Kernmoment mit einer relativ etwas grössere Wahrscheinlichkeit die Orientierungen 1 oder 2 annimmt.

Mit plötzlicher Änderung der Richtung des Magnetfeldes um  $90^\circ$  (in unserer zweidimensionalen Betrachtung von der Horizontalen in die Vertikale) zur Zeit  $t = 0$  (Abb. 1, a für  $t = 0$ ) wird ein Nichtgleichgewichtszustand des magnetischen Kernmomentes im Magnetfeld erzeugt, der dadurch charakterisiert ist, dass  $M$  nun senkrecht zu  $B$  gerichtet ist (siehe Abb. 1, a und b für  $t = 0$ ). Die Gesamtmagnetisierung  $M$  der Probe ändert im Nichtgleichgewichtszustand ihre Grösse und Richtung wie ein schwingendes Pendel, wobei die Resonanzfrequenz der Schwingung streng proportional zum Magnetfeld  $B$  ist, und die Schwingungsamplitude mit der Zeit abnimmt. Nach der Quantenmechanik entspricht die Resonanzfrequenz dem Unterschied der beiden möglichen Energien

der Wechselwirkung des magnetischen Kernmomentes  $\mu$  mit dem Magnetfeld  $B$ . Die Änderung von  $M$  führt in einer horizontalen Empfangsspule um die Probe, z. B. um ein Glasröhrchen mit Wasser zur Induktion einer entsprechenden Wechselfspannung (Abb. 1, c für  $t > 0$ ), die nach entsprechender Verstärkung sichtbar gemacht oder aufgezeichnet werden kann. Dieses induzierte Signal wird mit FID nach »Free Induction Decay« in der englischen Sprache abgekürzt. Gleichzeitig mit dem Zerfall des horizontalen magnetischen Gesamtmomentes entsteht in Richtung des nun vertikalen Magnetfeldes mit der Zeit wieder ein magnetisches Gesamtmoment; das System geht, mit anderen Worten, vom Nichtgleichgewichtszustand in einen neuen Gleichgewichtszustand für  $t \gg 0$  über. Die zeitliche Dauer dieses Prozesses von Bruchteilen einer Sekunde bis zu Stunden wird u. a. von den Wechselwirkungen zwischen den magnetischen Kernmomenten in der Probe bestimmt.

Die für die erläuterte Methode notwendige schnelle Richtungsänderung eines Magnetfeldes ist nur für kleine Feldstärken realisierbar. Man kann jedoch den Nichtgleichgewichtszustand, Magnetisches Gesamtmoment senkrecht zum Magnetfeld, auch durch Einwirkung eines Hochfrequenzfeldes entsprechender Frequenz, Amplitude und Dauer auf die magnetischen Kernmomente erzeugen (Impulsmethode). Diese Methode zur Erzeugung des Gleichgewichtszustandes erscheint plausibel, wenn man sie als Umkehrung der oben erläuterten Induktion einer elektrischen Spannung beim Übergang in den Nichtgleichgewichtszustand betrachtet. Die Impulsmethode wird heute fast ausschliesslich in der NMR verwendet.

Die Entwicklung der NMR geht zu immer stärkeren Magnetfeldern, da die Leistungsfähigkeit (Empfindlichkeit, Auflösung, Trennung von Wechselwirkungen, Effektivität, usw.) mit der Feldstärke wächst. Bei dem 750 MHz-Spektrometer wird ein Magnetfeld von ca. 18 Tesla (zum Vergleich beträgt das Magnetfeld der Erde ca. 0,00005 Tesla) verwendet, das von einem mächtigen Supraleitmagneten erzeugt wird.

Die grosse Anwendungsbreite der NMR in Physik, Chemie, Biophysik, Biochemie sowie Pharmazie und Medizin beruht hauptsächlich auf der Modifikation des äusseren starken Magnetfeldes am Ort der magnetischen Kernmomente durch die magnetischen Momente der Atome und Elektronen in der Umgebung. Die im Vergleich zum Magnetfeld  $B$  sehr kleinen zusätzlichen Magnetfelder am Ort der Kernmomente werden zum Beispiel durch Chemische Bindung, Struktur, dynamische Prozesse, Wechselwirkung mit Grenzflächen usw. beeinflusst.

Als Beispiel soll die NMR der Wasserstoffkerne im wasserfreien Ethylalkohol betrachtet werden (Abb. 2). Das Strukturmodell des Alkohols ist links in der Abbildung zu sehen. Es gibt im Molekül drei verschiedene Sorten von Wasserstoffatomen, nämlich die drei Wasserstoffatome in der Methylgruppe, die zwei Wasserstoffatome in der Methylengruppe sowie das eine an Sauerstoff gebundene Wasserstoffatom. Durch die unterschiedlichen Elektronenstrukturen wird das äussere Magnetfeld in den drei genannten Gruppen verschieden stark abgeschirmt. Entsprechend der Proportionalität von Resonanzfrequenz und Magnetfeld wird erwartet, dass in der Empfangspule eine Spannung induziert wird, die eine Überlagerung von drei Hochfrequenzsignalen des in Abb. 1, c dargestellten Typs aber mit etwas unterschiedlichen Frequenzen ist (Abb. 2, oben). Schon an diesem einfachen Molekül wird deutlich, dass eine direkte Interpretation des induzierten Signals schon bei drei unterschiedlichen Sorten von Wasserstoffatomen schwierig bzw. unmöglich ist. Deshalb wird das Signal im allgemeinen durch eine Fourier-Transformation<sup>1</sup> in ein Frequenzspektrum (Linienspektrum) umgerechnet (Abb. 2, rechts unten), die der im Spektrometer integrierte Computer schnell ausführt. Wie aus dem Spektrum zu erkennen ist, besteht es nicht aus drei Linien, wie nach unserer einfachen Betrachtung erwartet, sondern aus drei Liniengruppen. Diese Feinstruktur enthält wichtige Informationen, deren Erklärung jedoch über den Rahmen einer kurzen Einführung zur Besichtigung des Spektrometers hinausgeht.

---

<sup>1</sup> Jede periodische Zeitfunktion lässt sich mathematisch mittels Fourier-Analyse in eine Reihe von Frequenzen (Fourier-Koeffizienten) zerlegen.

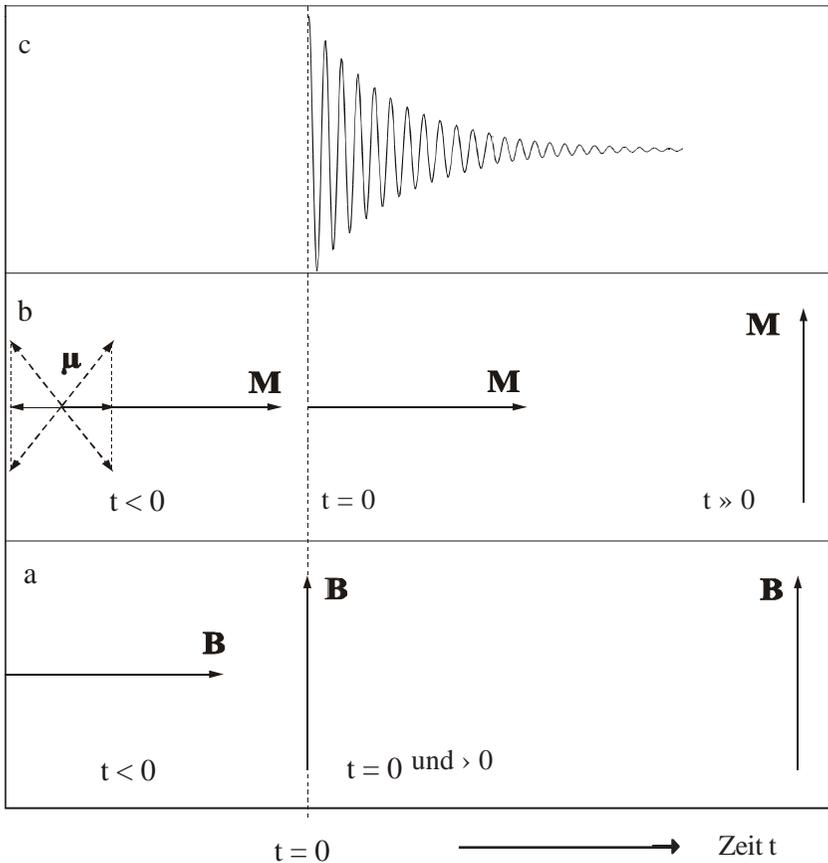


Abb. 1: Kernmagnetismus und magnetische Induktion in zweidimensionaler Darstellung: a) Magnetfeld  $B$ , b) magnetisches Kernmoment  $\mu$  (1, 2, 2 und 4 – mögliche Orientierungen, ausgezogene kleine Pfeile – Projektionen auf die Feldrichtung) und magnetisches Gesamtmoment  $M$  einer makroskopischen Probe und c) elektrisches Signal an einer horizontalen Spule (FID).

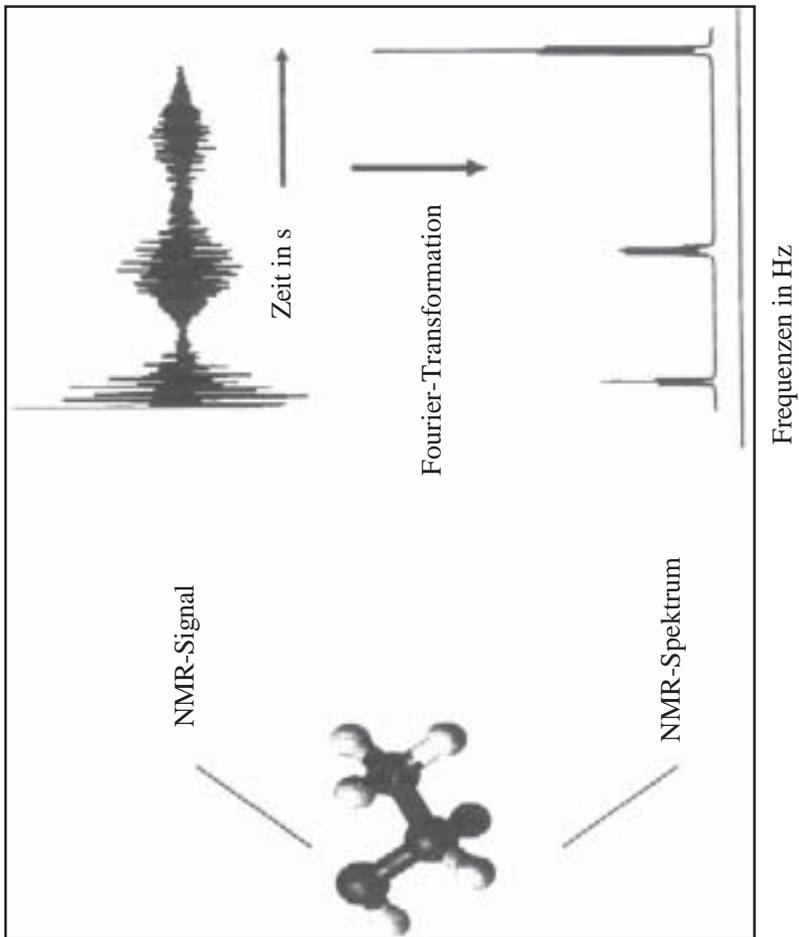


Abb. 2: Magnetische Kernresonanz-Spektroskopie von Ethylalkohol; links die chemische Struktur von Ethylalkohol, oben rechts das in der Empfangsspule induzierte elektrische Signal (FID) und unten rechts das durch Fourier-Transformation aus dem FID berechnete Frequenz- bzw. Linienspektrum. Der Autor dankt Herrn Dr. A. Pampel für die Überlassung von Abbildung 2.

## **Autoren dieses Heftes**

*Prof. Dr. em. Werner Holzmüller; Zum Forstgut 8, 04178 Leipzig.*

*Prof. Dr. Armin Uhlmann; Straße des 18. Oktober 28, 04103 Leipzig.*

*Prof. Dr. Herbert Hörz; Hirtschulzstr. 13, 12621 Berlin.*

*Prof. Dr. Kurt Reiprich; Eberpfad 2, 04249 Leipzig.*

*Prof. Dr. Gotthard Klose; Institut für Experimentelle Physik I, Linnéstr. 5, 04103 Leipzig.*





