

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 2

Anregungen für Unterricht und Lehre

ISBN 3 - 7896 - 0100 - 4

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1991

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.
Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.
Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage
www.solstice.de
werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Komplementarität (Welle-Teilchen-Dualismus) in der Quantentheorie und im New Age

1. Einführung

Die dominierenden, mehr rationalen naturphilosophischen und weltanschaulichen Implikationen, die die neuzeitlichen Naturwissenschaften - insbesondere die Physik - begleitet haben, sind trotz der unvergleichlichen Erfolge dieser Wissenschaften niemals unwidersprochen gewesen. Mehr oder weniger ausgeprägt haben sich immer wieder mystische oder romantische Gegenströmungen konkurrierend zu der naturwissenschaftlichen Naturerkenntnis zu Wort gemeldet - so etwa im 18. und 19. Jahrhundert in der Philosophie der Romantik und des deutschen Idealismus. Aus unterschiedlichen Motiven findet seit den 50er Jahren dieses Jahrhunderts (u. a. seit der Hippie-Bewegung) eine neue Variante romantischer und naturmystischer Natursicht bei vielen breitere Resonanz, die heutiges "Unbehagen in der Kultur" zu überwinden suchen. Neu an dieser Variante ist, daß man sich einerseits konkurrierend zur »alten« Newtonschen Physik, aber übereinstimmend mit der »modernen« Physik empfiehlt und hier fast Gegensatzpaare von »guter moderner« und »schlechter«, ja fast »böser« Cartesianisch/Newtonscher Naturwissenschaft hochzustilisieren sucht. Eine allgemeine und vollständige Überwindung der »alten« Wissenschaft wird im »New Age« prognostiziert¹, das mit dem Beginn des neuen Platonischen Jahres (nach Meinung von Astrologen um das Jahr 1950) heraufzieht (Wassermann-Zeitalter). Protagonisten der neuen Natursicht sind u. a. **K. Wilber, F. Capra, G. Zukav, D. Bohm, F. Talbot, F. Moser**, um nur einige Autoren zu nennen, die speziell die Physik in einer Weise zu "reformieren" trachten, die auch uns als Pädagogen und Physiklehrer angehen dürfte.

Die in der Physik der 20er Jahre vorgetragenen Anschauungen von *Dualismus* und *Komplementarität* gehören zu den ständig wiederholten "Paradigmen" des New Age und zwar auf zwei Ebenen: der *phänomenologischen* und der *epistemologischen*, wobei in der Argumentation die Ebenen oft verschwimmen. Bei **F. Capra** finden wir zunächst den auch sonst oft zu findenden *Dualismus von rationaler und mystischer Erkenntnis*²:

Meines Erachtens sind die beiden Anschauungsweisen komplementär wegen der grundlegenden Komplementarität des rationalen und des intuitiven Verstandes oder der rationalen und der intuitiven Bewußtseinsform. Ich halte das für eine grundlegende Komplementarität in der menschlichen Natur. Sie wird übrigens aus der Sicht der Systemtheorie klar. *Die Methoden des Physikers und des Mystikers sind also komplementär, ihre Studienbereiche sind es nicht. Sie schließen sich weder gegenseitig aus, noch schließt das eine das andere ein; beide überlappen sich.*

Im "Tao der Physik" führt er resümierend aus³:

Ich sehe Wissenschaft und Mystik als zwei sich ergänzende Manifestationen des menschlichen Geistes, seiner rationalen und seiner intuitiven Fähigkeiten. Die

moderne Physik erfährt die Welt durch eine extreme Spezialisierung des rationalen Verstandes, die Mystik durch extreme Schärfung des intuitiven Sinnes. Die beiden Ansätze sind ganz verschieden und umfassen weit mehr als eine bestimmte Anschauung von der physikalischen Welt. *Sie sind jedoch "komplementär", wie wir in der Physik sagen.* Keine von ihnen ist in der anderen enthalten, noch kann eine auf die andere zurückgeführt werden, aber beide sind notwendig und ergänzen sich für ein vollständiges Begreifen der Welt. Um ein altes chinesisches Sprichwort abzuwandeln: Mystiker verstehen die Wurzeln des Tao, aber nicht seine Zweige; Wissenschaftler verstehen seine Zweige, aber nicht seine Wurzeln. Die Wissenschaft braucht die Mystik nicht und die Mystik nicht die Wissenschaft, aber der Mensch braucht beides. *Mystische Erfahrung ist nötig, um das Wesen der Dinge zu begreifen, und Wissenschaft ist für das moderne Leben unerlässlich.* Wir brauchen daher keine Synthese, sondern ein dynamisches Zusammenspiel der mystischen Intuition und der wissenschaftlichen Analyse.

Capra sieht also eine *Komplementarität*

- a) auf *epistemologischer* Ebene: *wissenschaftliche Erkenntnis* - *mystische Erkenntnis*
- b) auf *phänomenologischer* Ebene: *Wesen der Dinge* - *Alltags-/Gebrauchssinn der Dinge*

Die "Studienbereiche" von mystischer Erkenntnis und Moderner Physik selbst - also sozusagen die *ontischen* Ebenen - sind nach **Capras** Ansicht dagegen "nicht komplementär" (s. o. Zitat Nr. 2) und diese nur selten von **Capra** explizit ausgesprochene Vorstellung dürfte letzten Endes die Wurzel für seine Behauptung sein, daß heute die Anschauungen der Physiker und Mystiker einander ähnlich seien⁴:

Die moderne Physik führt uns zu einer Anschauung der Welt, die den Ansichten der Mystiker aller Zeitalter und Traditionen sehr ähnlich ist.

oder⁵:

Wir werden sehen, wie die beiden Fundamente der Physik des zwanzigsten Jahrhunderts - Quantentheorie und Relativitätstheorie - uns zwingen, die Welt auf sehr ähnliche Weise zu sehen, wie ein Hindu, Buddhist oder Taoist sie sieht, und wie sich diese Ähnlichkeit noch verstärkt, wenn wir die jüngsten Versuche betrachten, diese beiden Theorien zwecks Beschreibung der Phänomene des Submikrokosmos zu kombinieren: die Eigenschaften und Wechselwirkungen subatomarer Teilchen, aus denen sich jede Materie zusammensetzt. *Hier sind die Parallelen zwischen moderner Physik und östlicher Mystik am auffallendsten, und wir werden oft Aussagen begegnen, bei denen es fast unmöglich ist zu sagen, ob sie von Physikern oder östlichen Mystikern gemacht wurden.*

Seine Folgerungen nennt **Capra** denn auch: "Die Konvergenz von westlicher Wissenschaft und östlicher Philosophie", und möchte damit erweisen, daß uns "*die Physik heute auf einen im wesentlichen mystischen Weg weist*"⁶ und damit "in gewisser Weise" zu ihrem Ursprung zurückkehre, der in Europa 2500 Jahre zurückliegt, zu "*den Ansichten der alten Griechen und der östlichen Philosophie*".⁷ Konkret sieht **Capra** z.B. in den sog. *Paradoxa* der modernen Physik einen wesentlichen Hinweis auf die Parallelität von Quantentheorie und Mystik, so z.B. im sog. "Welle-Teilchen-Dualismus"⁸:

Die doppelte Natur von Materie und Licht ist sehr merkwürdig. Es scheint unmöglich, den Gedanken zu akzeptieren, daß etwas gleichzeitig ein Teilchen sein kann, also eine auf ein sehr kleines Volumen begrenzte Einheit, und eine Welle,

die sich über einen weiten Raum erstreckt. *Und doch mußten die Physiker genau das akzeptieren. Die Situation schien hoffnungslos paradox, bis man erkannte, daß die Ausdrücke »Teilchen« und »Welle« sich auf klassische Vorstellungen beziehen, die nicht völlig ausreichen, um atomare Erscheinungen zu beschreiben.*

Die folgende Aussage stellt dann die angebliche Parallele zur Mystik recht suggestiv her⁹:

Dieser Widerspruch ließ *die meisten der koan-ähnlichen Paradoxa entstehen, die schließlich zur Formulierung der Quantentheorie führten.*

Ein *Koan* ist "im Zen-Buddhismus ein Paradoxer Sinnspruch in kurzer Versform. Diese Rätsel sollen die Quintessenz tiefschürfender Wahrheiten sein"¹⁰. Beispiele für solche Koans sind: "Gehe zu Fuß, indem du auf einem Esel reitest" oder "Gebrauche den Spaten, den du in deinen leeren Händen hältst"¹¹. Schließlich wird von **Capra** eine Parallele zwischen der "logischen Situation" des Physikers und der des Mystikers folgendermaßen gesehen¹²:

Angesichts einer jenseits entgegengesetzter Begriffe liegenden Wirklichkeit müssen Physiker und Mystiker sich eine besondere Art zu denken angewöhnen, wo der Verstand nicht im starren Gerüst klassischer Logik fixiert ist, sondern seinen Gesichtspunkt ständig verlagert und verändert. In der Atomphysik sind wir es z. B. jetzt gewöhnt, sowohl den Teilchen- als auch den Wellenbegriff bei unserer Beschreibung der Materie anzuwenden. Wir haben gelernt, mit den beiden Bildern zu spielen, von einem zum anderen und zurück zu schalten, um die atomare Wirklichkeit zu begreifen. Dies ist genau die Art, in der die östlichen Mystiker denken, wenn sie ihre Erfahrung einer Wirklichkeit jenseits der Gegensätze zu interpretieren versuchen.

Während **Capra** zunächst einmal nur von *Parallelen* - was immer das sein mag - spricht, so wird im Laufe einer genügend häufigen Wiederholung dieser These bei ihm selbst und vor allem bei ihm nachfolgenden Autoren daraus allmählich ein *Beweis* der Aussagen von Mystikern durch die Wissenschaft¹³:

Nichtsdestoweniger führte die sorgfältige Beobachtung der Natur, kombiniert mit starker mystischer Intuition, die taoistischen Weisen zu tiefen Einsichten, *die von modernen wissenschaftlichen Theorien bestätigt werden.*

Bei **P. Russell** stellt sich das Verhältnis von Physik und Mystik dann so dar :

Kurz, die Physik entdeckt die Ewige Philosophie. *Sie versichert*, daß wir im tiefsten Grunde alle eins sind und daß die Mystiker und Visionäre durchaus Leute sein können, die auf diese oder jene Weise zur unmittelbaren Erkenntnis des Wesens der Wirklichkeit gelangt sind.

Damit wird die Physik, diesmal die Moderne Physik, wiederum "Leitwissenschaft" und so huldigen genau diejenigen unversehens einem neuen Reduktionismus, die den sog. **Descartes/Newtonschen** Reduktionismus fast im gleichen Atemzug anprangern - wie können wir aber diesmal sicher sein, daß es der richtige Reduktionismus ist bzw. dann gar kein Reduktionismus mehr vorliegt? Abb. 1 versucht, die Argumentationslinie **Capras** in einem Diagramm zu veranschaulichen.

Man greift sicher nicht fehl, wenn man behauptet, daß die Mehrheit der Physiker den Anschauungen **Capras** oder gleichgesinnter Autoren skeptisch bis ablehnend gegenübersteht. Man findet aber auch eine Reihe prominenter Physiker, die diesbezüglichen Ansätzen in **Capras** Ausführungen zuneigen oder wenigstens Gedanken geäußert haben, die im genannten Sinne ausgelegt werden können. Es seien hier

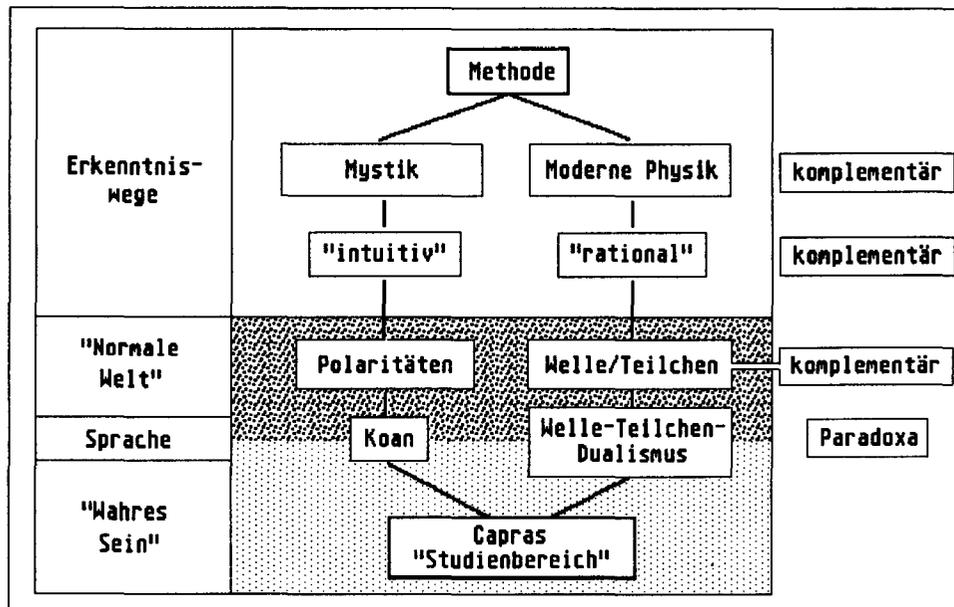


Abb 1. Capras Argumentation zur Komplementarität

einige genannt: D. Bohm, J. Charon, Sir E. Eddington, R. Feynman, V. A. Firsoff, I. J. Good, Sir F. Hoyle, Sir J. Jeans, P. Jordan, E. A. Milne, R. Oppenheimer, E. Schrödinger, D. W. Sciama, G. Stromberg, V. Weisskopf, C. F. von Weizsäcker, E. Whitehead, E. T. Whittaker, G. J. Whitrow, J. Wheeler, E. Wigner. **C. F. von Weizsäcker** nimmt zu **Capra** orakelhaft in folgender Weise Stellung¹⁵:

Die Bezeichnung parapsychologischer Phänomene als »Psi« entstammt wohl einer direkten Bezugnahme auf die ψ -Funktion. In der Tradition dieser Gedanken stehen auch die neuerdings viel gelesenen Schriften von Capra und anderen Autoren, die eine Brücke zur asiatischen Meditationserfahrung zu schlagen suchen. Dies ist wahrscheinlich eine Meute auf der richtigen Spur.

»Psi« bw. ψ dürfte sich wohl eher von dem Anfangsbuchstaben des griechischen Wortes für Seele, $\psi\upsilon\chi\eta$, ableiten. Die Folgerung von **Weizsäckers** ist sicher bedenkenswert, denn er ist ein intimer Kenner der modernen Physik und ihrer Entwicklung und hat selbst Beiträge zu ihr geliefert. Er kann wohl ebenso als Mystiker bezeichnet werden und hat sich zu dem Verhältnis von physikalischer und mystischer Wirklichkeit geäußert¹⁶:

... die Wirklichkeit, die der Physiker studiert, die Wirklichkeit, die der Historiker studiert, der Psychologe studiert, vielleicht sogar die Wirklichkeit, die der Mathematiker studiert, ist eben genau die Wirklichkeit und keine andere als die, die in der Meditation letztlich - vielleicht - erfahren werden kann; denn sonst wäre sie nicht die Wirklichkeit. Und ich würde sagen, daß im Grunde die Einheit der Natur, die uns die Naturwissenschaft in ihrem geschichtlichen Prozeß schließlich zu sehen lehrt, eben eine Spiegelung der Einheit ist, um die es in der Meditation geht. ... Ich sehe einen Unterschied im Verfahren, ich sehe einen Unterschied in den kulturellen Traditionen, in den verwendeten Begriffen, aber an einen Unterschied in der Sache kann ich nicht glauben.

Der international bekannte Psychologe **L. LeShan**, Vertreter der transpersonalen Psychologie, geht noch weiter und erklärt die "Realitäten" von Hellsehern, Mystikern und Physikern als dieselben, da sich alle drei von unserer Alltagserfahrung und dem "gesunden Menschenverstand" unterscheiden.¹⁷

Der "Kleinste gemeinsame Nenner", nämlich aus der *formalen* Feststellung, daß diese "Realitäten" *nicht mit dem "gesunden Menschenverstand"* - was das in jeder Kultur auch immer sein mag - zu erfassen seien, verleitet nun so manchem zu dem Schluß, daß es sich dann auch um eine *materiale*, inhaltliche Einheit handeln müsse, was die wildesten Spekulationen zur Folge hat, die die gleiche mangelnde Differenziertheit erkennen lassen¹⁸:

Der aufregendste Aspekt all der ... revolutionären Entwicklungen in der modernen westlichen Wissenschaft - der Astronomie, Physik, Biologie, Medizin, Informati- ons- und Systemtheorie, Tiefenpsychologie, Parapsychologie und Bewußtseinsfor- schung - ist die Tatsache, daß das neue Bild des Universums und der menschli- chen Natur demjenigen der uralten und östlichen spirituellen Philosophien - den verschiedenen Systemen des Yoga, des tibetischen *Varjayana*, des Shivaismus von Kaschmir, des Zen-Buddhismus, des Taoismus, der Kabbalah, der christlichen Mystik und Gnosis - zunehmend ähnlich wird.

Diese Belege mögen genügen, um zu zeigen, wie bei bestimmten Autoren sich aus ganz rationalen Ursprüngen - nämlich aus der nach wie vor rationalen Physik - eine *scheinbar* zwangsläufige Konsequenz hochschraubt, die sich geradezu als *Rechtferti- gung für methodischen Irrationalismus* versteht. Zurück zum Ausgangspunkt: **C. v. Welzsäcker** mag für seine Einschätzung gewichtige Gründe und persönliche Erfah- rungen in die Waagschale werfen. Nur: Haben in Fragen "Physik und Mystik" Physi- ker mehr Gewicht als z. B. Wissenschaftstheoretiker, Wissenschaftshistoriker, Philo- sophen, Religionshistoriker, Theologen oder Mystiker? Was sagen diese dazu? Ganz sicher teilen die meisten "orthodoxen" Buddhisten, Hinduisten oder Moslems, die nicht ausdrücklich nach irgendeiner Akkulturation suchen, weder **Capras** noch **v. Welzsäckers** Ansichten. So sei z. B. **S. H. Nasr** zitiert, der - in deutlicher Anspie- lung auf **Capras** im "Tao der Physik" beschriebenes mystisches Erlebnis (TdPh, S. 7) bzw. auf seinen Vergleich des "Energietanzes" der Elementarteilchen mit dem Tanz des hinduistischen Gottes Shiva (TdPh, S. 241 ff) - bemerkt¹⁹:

Eine solche Form des Reduktionismus ist es heute, orientalische Lehren über das Wesen der Natur auf irgendeine Art von abgeschmacktem Weltbild zu reduzieren, so wenn man etwa tanzende Elektronen mit dem Tanz Shivas vergleicht, was in Wirklichkeit eine Beleidigung für jeden Hindu ist. Es gibt leider viele derartige Behauptungen, die ohne jegliches wahre Verständnis dessen gemacht werden, worum es in den östlichen Naturphilosophien geht.

Aber auch von Autoren, die von der New Age-Szene intensiv rezipiert werden, sind **Capras** Ansichten z.T. heftig kritisiert worden. So stellt z.B. **K. Wilber** ernüchternd fest²⁰:

Aus der Tatsache, daß der Mystiker und der Physiker dieselben Worte gebraucht haben, um von ihrer Wirklichkeit zu sprechen, könnte übereilt der Schluß gezo- gen werden, daß dann wohl auch ihre Wirklichkeit dieselbe sein müßte. Das ist sie aber eindeutig nicht.

Natürlich sind diese Urteile nicht ohne die Bezugsrahmen zu verstehen und zu be- werten, die die Urteilenden zugrundelegen. Z. B. bezieht sich nach **K. Wilber** die scheinbare gemeinsame Sprache von Physik und Mystik auf ganz verschiedene Be- wußtseinsebenen und Erfahrungen auf solchen Ebenen. Physik und Mystik sind somit völlig *unterschiedliche Wege zu unterschiedlichen Wirklichkeitsebenen* - also das ganze Gegenteil zu **Capras** Meinung. **Wilbers** Kritik und Folgerung resultiert aus seinem Weltbild der mehrfach geschichteten Bewußtseinsebenen²¹, die die Mystiker in vertikaler Richtung durchdringen, während sich die Physiker in horizontaler Rich-

tung in der ihr zugehörigen Bewußtseins-ebene entfalten. **S. Nasr** hat bei seiner Kritik die "Heiligkeit" der Natur der Mystiker im Blick und muß mit Recht zurückweisen, daß diese Natur mit der Natur der intersubjektiven, säkularen Wissenschaft Physik wegen ein paar tatsächlichen oder nur scheinbaren Übereinstimmungen in Parallele gesetzt wird: "Was ich glaube, ist, daß hier das wichtigste Element fehlt, das mit dem Wort »heilig« zu bezeichnen ist. Für den alten Orient ist die Natur heilig. Und das Verhältnis des Menschen zur Natur ist beherrscht von der Dimension des Heiligen. Herkömmlicher- oder normalerweise hat der Mensch einen angeborenen Sinn für das Heilige, und man kann die nichtneuzeitlichen und nichtabendländischen Naturauffassungen nicht verstehen, solange man von dieser entscheidenden Dimension absieht".²²

Dies sei ergänzend angeführt, um ein wenig ahnen zu lassen, wie komplex das Problem vermuteter Parallelen wirklich ist. Wir brauchen aber garnicht so weit ausholen, um die Problematik von **Capras** Argumentation evident zu machen. *Allein schon auf der Seite der Physik* - also allein auf dem rechten Pfad in Abb.1 - gibt es genügend wohlbegründete Einwände gegen sein Vorgehen: Er spricht davon, daß "die moderne Physik uns *zwingt*", oder von "den Anschauungen, die aus der modernen Physik folgen". Ist aber der "Welle-Teilchen-Dualismus", den **Capra** für seine Komplementarität und für seine Paradoxa braucht, *die* Anschauung, die aus der Quantentheorie zwanghaft folgt?

Mit dem "Welle-Teilchen-Dualismus" gibt **Capra** eine "Erkenntnistheorie" als charakteristisch für die heutige Physik aus, die wir in der Didaktik seit etwa 10 bis 15 Jahren so ziemlich zu den Akten gelegt haben. Bis vor etwa 15 Jahren stützte sich die Didaktik der Mikrophysik auf die erkenntnistheoretische Position des sog. "Welle-Teilchen-Dualismus" der 20er Jahre, und genau diese stellt **Capra** nun wieder als "zwingende Folge" der Modernen Physik vor. Dieser Dualismus sieht in seinen Worten so aus²³:

Ein Elektron ist weder ein Teilchen noch eine Welle, aber es kann in einigen Situationen teilchenähnliche Aspekte haben und in anderen wellenähnliche. Während es sich wie ein Teilchen verhält, kann es seine Wellennatur auf Kosten seiner Teilchennatur entwickeln, und umgekehrt. Auf diese Weise kommt es zu einer fortgesetzten Umwandlung von Teilchen zu Welle und von Welle zu Teilchen. Das bedeutet, daß weder das Elektron noch irgendein anderes atomares »Objekt« innerliche Eigenschaften besitzt, die von seiner Umwelt unabhängig sind. Seine Eigenschaften - teilchenähnlich oder wellenähnlich - hängen von der experimentellen Situation ab, das heißt von der Apparatur, zu der es in Wechselbeziehung treten muß.

Allein schon bei den »inneren« teilchenähnlichen Eigenschaften "Masse", "Ladung" und "Spin" dürfte **Capra** mit dieser Argumentation in Bedrängnis geraten²⁴. Ich möchte die alte Diskussion und die (teilweise) Überwindung des kritisierten didaktischen Standpunkts hier nicht wiederholen; man kann sie nachlesen²⁵. Sie ist auch an der veränderten Darstellung in unseren Schulbüchern während der letzten 10 Jahre zu erkennen.

Ich möchte vielmehr aus der angedeuteten neuen Situation heraus den sog. Welle-Teilchen-Dualismus nochmals beleuchten: Im "New Age" wird er im Gefolge des "Vordenkers" **Capra** quasi als "Paradigma"²⁶ einer neuen komplementären oder paradox-logischen "Erkenntnistheorie" hochstilisiert - ignorierend, daß es sich in der Physik nur um *eine erkenntnistheoretische Episode* gehandelt hat. New Age-Anhänger erhoffen sich vielleicht davon in unserer Zeit offener oder versteckter Wissen-

schaftsgläubigkeit bei noch nicht in die New Age-Szene Eingeweihten den Anschein von wissenschaftlicher Bestätigung und damit einen Gewinn an Glaubwürdigkeit und Solidität ihrer Begründungen und Folgerungen, die sie daraus dann ziehen. Wie stellen wir uns von der Physik und von unseren pädagogischen Zielen her dazu?

2. Die Bedeutung der Begriffe Komplementarität und Dualismus in verschiedenen Einschätzungen

Ich gehe von einem Zitat **F. Capras** aus²⁷:

Der Begriff der Komplementarität ist inzwischen zu einem festen Bestandteil des begrifflichen Rahmens geworden, in dem Physiker über die Natur nachdenken, und Bohr hat oft darauf hingewiesen, daß dieser Gedanke auch außerhalb der Physik nützlich sein könnte. Das scheint wirklich zuzutreffen, ... Die Vorstellung der Komplementarität kam ... schon bei der Darstellung der chinesischen Yin/Yang-Lehre zum Zuge, da die Gegensätze von Yin und Yang auf eine polare oder komplementäre Weise in Wechselbeziehung stehen. Die moderne Idee der Komplementarität ist eindeutig schon im alten chinesischen Denken vorhanden, eine Tatsache, die Niels Bohr tief beeindruckte.

Diesem Zitat möchte ich eine Äußerung **C. F. Weizsäcker**²⁸:

Wir haben aber ... gesehen, daß der Dualismus von unserem Standpunkt aus kein fundamentales, sondern ein abgeleitetes Faktum ist. Auch wenn man die besondere Deutung, die wir dem heutigen Wissensstand geben, nicht übernimmt, muß man konstatieren, daß der Begriff der Komplementarität in der Praxis der heutigen theoretischen Physik keine Rolle spielt; er wird in Lehrbüchern genannt, aber eher mit einer Art von historischem Respekt. Für Bohr hatte der Begriff jedoch in sich selbst eine fundamentale Bedeutung.

und eine von **W. Heisenberg** zur Seite stellen²⁹:

Es wird doch zum Beispiel immer wieder gesagt, daß die Quantentheorie unbefriedigend sei, weil sie nur eine dualistische Beschreibung der Natur mit den komplementären Begriffen »Welle« und »Teilchen« gestattete. Wer die Quantentheorie wirklich verstanden hat, würde aber gar nicht mehr auf den Gedanken kommen, hier von einem Dualismus zu sprechen. Er wird die Theorie als eine einheitliche Beschreibung der atomaren Phänomene empfinden, die nur dort, wo sie zur Anwendung auf die Experimente in die natürliche Sprache übersetzt wird, recht verschieden aussehen kann. Die Quantentheorie ist so ein wunderbares Beispiel dafür, daß man einen Sachverhalt in völliger Klarheit verstanden haben kann und gleichzeitig doch weiß, daß man nur in Bildern und Gleichnissen von ihm reden kann. Die Bilder und Gleichnisse, das sind hier im wesentlichen die klassischen Begriffe, also auch »Welle« und »Korpuskel«. Die passen nicht genau auf die wirkliche Welt, auch stehen sie zum Teil in einem komplementären Verhältnis zueinander und widersprechen sich deshalb. Trotzdem kann man, da man bei der Beschreibung der Phänomene im Raum der natürlichen Sprache bleiben muß, sich nur mit diesen Bildern dem wahren Sachverhalt nähern.

Vergleicht man die Texte miteinander, so stellt man fest, daß hier konzentriert z. T. sehr unterschiedliche Feststellungen oder Behauptungen nebeneinanderstehen, die nochmals übersichtlich aufgelistet seien:

a) Der Begriff "Komplementarität"

1. "ist inzwischen zu einem festen Bestandteil des begrifflichen Rahmens geworden, in dem Physiker über die Natur nachdenken" (**Capra**),
2. spielt "in der Praxis der heutigen Physik keine Rolle"; er wird nur "aus historischem Respekt" in Lehrbüchern genannt (v. **Weizsäcker**)
3. würde aus der Quantentheorie in ihrer endgültigen Form sozusagen ohne "leitendes Vorwissen" garnicht gefolgert werden (**Heisenberg**)

b) Der moderne Begriff der Komplementarität ist schon im alten chinesischen Denken vorhanden (**Capra**).

c) "Für Bohr hatte der Begriff jedoch in sich selbst eine fundamentale Bedeutung" (v. **Weizsäcker**) und er war tief davon beeindruckt, daß der Begriff "schon im alten chinesischen Denken vorhanden" war (**Capra**).

d) Die Quantentheorie kann "sehr verschieden aussehen", wenn "sie zur Anwendung auf die Experimente in die natürliche Sprache übersetzt wird". Man benützt dann "komplementäre Bilder" der klassischen Begriffe »Welle« und »Partikel« (**Heisenberg**).

e) Die Quantentheorie ist ein Beispiel dafür, "daß man einen Sachverhalt in völliger Klarheit verstanden haben kann und gleichzeitig doch weiß, daß man nur in Bildern und Gleichnissen von ihm reden kann." (**Heisenberg**)

Wir müssen uns vergegenwärtigen, daß diese Meinungen das Resultat von Auseinandersetzungen mit Problemen sind, die sich den Autoren selbst oder in Kommunikation mit anderen stellten. Um uns selbst ein Urteil bilden zu können, wollen wir diese aufgelisteten "Lösungen" zunächst einmal *in Probleme zurückverwandeln*, d.h. sie *in Fragen umformulieren* und dann selbst eine Antwort auf diese Fragen versuchen:

1. *Ist Komplementarität ein wesentlicher, ein essentieller Begriff der Physik?*

2. *Folgt der Begriff "Komplementarität" zwingend aus der Quantentheorie?*

3. *Ist der physikalische Begriff der Komplementarität gleich dem der alten chinesischen Philosophie?*

4. *Muß die Quantentheorie in die natürliche Sprache übersetzt werden, um die Theorie auf Experimente anwenden zu können?*

5. *Kann man in der natürlichen Sprache nur in Paradoxien über die von der Quantentheorie beschriebene Realität sprechen?*

6. *Kann man ein Problem in völliger Klarheit verstanden haben, obwohl man nur in Bildern und Gleichnissen von ihm reden kann?*

Den ersten beiden Fragen werden wir uns hier ausführlicher widmen, eine Beantwortung der Fragen 4 - 6 soll - zusammengefasst - nur skizziert werden. Diese Fragen werden auch schon in der Beantwortung der ersten drei eine gewisse Rolle spielen. Ausführlichere Darlegungen zu den Punkten 3 - 6 können Sie z. B. in dem Akademiebericht »Moderne Physik und New Age« (z. Z. in Vorbereitung) finden.

3. Ist Komplementarität ein wesentlicher, ein essentieller Begriff der Physik?

3.1 Was heißt "Komplementarität" in der Physik?

Folgende Erläuterungen zu den Begriffen "Komplementarität" und "Dualismus" finden wir unter dem Stichwort "Komplementarität" im dtv-Lexikon der Physik (in 12 Bänden, München, 1970, Hervorhebungen nicht original):

Der Begriff stammt von dem amerikanischen Philosophen **William James** (1842 bis 1910), einem der Begründer und Förderer des Pragmatismus. **James** benutzte ihn, um die *Aspektabhängigkeit unserer Weltbilder* auszudrücken. Genau derselbe Sachverhalt besteht für die Art, in der elementare Bausteine der Physik unserer Anschauung zugänglich werden. *Elektronen, Lichtquanten, allgemein sämtliche elementaren Gebilde zeigen sich je nach Art des angestellten Experiments einmal als Partikeln auf einer definierten Bahn, ein anderes Mal als Wellen, die den ganzen Raum erfüllen.* Die beiden Bilder bilden im Bereich unserer Anschauung eine *vollständige Disjunktion*. Man bezeichnet diesen Sachverhalt als »Dualismus«. Im Sinne von **James** ist das jeweilige Bild, das man von dem elementaren Gebilde in einem Experiment erhält, abhängig von der Art dieses Experiments, also von dem Standpunkt des Experimentators. Es ist daher naheliegend, die Wellen- und Partikeleigenschaften der elementaren Gebilde nach **James** als komplementäre Eigenschaften zu bezeichnen, also als *Eigenschaften, die nicht additiv einem Gebilde zukommen*, wie etwa Größe und Farbe eines Gegenstandes, *sondern als solche, bei denen das Auftreten des einen das des anderen verbietet*, weil sie miteinander grundsätzlich unverträglich sind. - Der Begriff wurde von **Bohr** in die Physik eingeführt.

Es muß geradezu als Ironie oder eine Art Tragikomik anmuten, wenn heute etwa Vertreter der *Transpersonalen Psychologie*, einer sehr umstrittenen Spielart von Psychoanalyse und im New Age stark aktiviert, sich auf die Quantentheorie berufen, wo doch der Begriff von **Bohr** aus der Psychologie entlehnt wurde³⁰:

Ein weiteres Forschungsfeld, das wichtige Gesichtspunkte für die transpersonale Perspektive lieferte, ist die Physik. Das Weltbild der Physik hat in jüngster Zeit einen so radikalen und in seinen Implikationen so weitreichenden Wandel durchgemacht, daß dabei das naturwissenschaftliche Selbstverständnis bis in die Grundfesten erschüttert wurde.

Was mit radikalem Wandel wohl gemeint ist, dürfte in den weiteren Erläuterungen im dtv-Lexikon zu finden sein:

Eine volle Würdigung der Komplementarität ist erst möglich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß man bei jeder Beobachtung an einem Ding, z. B. einem Elektron, von den Ergebnissen der Einzelbeobachtung auf das Ding an sich extrapoliert. Man geht also über die Beobachtung hinaus und versucht etwas festzulegen, was man gar nicht beobachtet hat, vielleicht sogar prinzipiell nicht beobachten kann. Die Ergebnisse der Mikrophysik lehren, daß die *Extrapolation von der Beobachtung oder auch einer Vielzahl von Beobachtungen auf ein Ding an sich zu Schwierigkeiten mit unserer Anschauung führt, da dieses Ding an sich wegen seiner komplementären Eigenschaften nicht objektivierbar, also nicht in Raum und Zeit darstellbar ist.*

Das ist ein häufig zu hörendes Argument. Was soll aber daran so verwunderlich sein? **Kant** hatte doch schon längst konstatiert, daß eine Extrapolation auf das

»Ding an sich« nicht möglich und damit auch jeder scheinbare Versuch dazu unsinnig ist. Was soll man dann überhaupt unter einer solchen "Extrapolation" verstehen und was sind komplementäre Eigenschaften eines »Dinges an sich«, von dem man sowieso nichts wissen kann. Gemeint kann doch wohl nur sein, daß die *Erscheinung* "Elektron" nicht in der aus der herkömmlichen Physik gewohnten Weise aus Messungen in unserer Vorstellung zu einer anschaulichen Einheit "synthetisiert" werden kann.

Das ist in der Tat etwas sehr überraschendes im Hinblick auf alle Erfahrungen, die man in der Physik bis 1900 gesammelt hatte, und die **Kant** als der Vernunft gemäß begründet hatte³¹:

Sie [die Naturforscher] begriffen, daß die Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurfe hervorbringt, daß sie mit Prinzipien ihrer Urteile nach beständigen Gesetzen vorgehen und die Natur nötigen müsse, auf ihre Fragen zu antworten, nicht aber sich von ihr allein gleichsam am Leitbände gängelein lassen müsse; denn sonst hängen zufällige, nach keinem vorher entworfenen Plane gemachte Beobachtungen gar nicht in einem notwendigen Gesetze zusammen, welches doch die Vernunft sucht und bedarf ... Und so hat sogar Physik die so vorteilhafte Revolution ihrer Denkart lediglich dem Einfalle zu verdanken, demjenigen, was die Vernunft selbst in die Natur hineinlegt, gemäß, dasjenige in ihr zu suchen (nicht ihr anzudichten), was sie von dieser lernen muß, und wovon sie für sich selbst nichts wissen würde.

N. Bohr hat den Begriff "Komplementarität" folgendermaßen in die Physik eingeführt³²:

Nach dem Wesen der Quantentheorie müssen wir uns also damit begnügen, die Raum-Zeit-Darstellung und die Forderung der Kausalität, deren Vereinigung für die klassische Physik kennzeichnend ist, als komplementäre, aber einander ausschließende Züge der Beschreibung des Inhalts der Erfahrung auffassen, die die Idealisierung der Beobachtungs- bzw. Definitionsmöglichkeiten symbolisieren In der Tat stellt uns bei der Beschreibung der atomaren Phänomene das Quantenpostulat vor die Aufgabe der Ausbildung einer "Komplementaritätstheorie", deren Widerspruchsfreiheit nur durch das Abwägen der Definitions- und Beobachtungsmöglichkeiten beurteilt werden kann.

Was hier in **Bohrs** Ausführung vielleicht als *physikalisches Programm* erscheinen mag, nämlich die "Ausbildung einer Komplementaritätstheorie", ist in Wirklichkeit ein *erkenntnistheoretischer Wunsch*.

3.2 Komplementarität ist kein essentieller Begriff der Physik.

Es gibt eigentlich nur einen einzigen physikalischen Sinn dieses Begriffes³³:

Komplementär heißen Elemente, die in der klassischen Theorie zusammengehören, einander in der Quantentheorie jedoch ausschließen, und deren Zusammengehörigkeit insofern für die klassische Theorie charakteristisch ist.

Das ist eine reine nominale Definition, die natürlich nichts erklärt. Das weitere historische "Schicksal" des Begriffes »Komplementarität« läßt noch deutlicher erkennen, daß er - jedenfalls aus dem Blickwinkel der Physik - niemals aus der Physik *selbst* entwickelt werden mußte bzw. entwickelt wurde³⁴:

Was zunächst nur als Interpretation der Quantentheorie vorgeschlagen worden war, erschien Bohr anschließend als ein »Grundzug in dem allgemeinen Erkenntnisproblem«. Mit dem Konzept Komplementarität glaubte er, einen tragfähigen Rahmen gefunden zu haben, um die Natur zu beschreiben. Für ihn lieferte es »eine Erweiterung des konzeptionellen Rahmens zur harmonischen Erfassung von Phänomenen, die sich offenbar widersprechen«. *Komplementarität ist nicht schlicht eine Neuigkeit aus der Physik. Sie soll vielmehr erklären, wie der konzeptionelle Rahmen der Naturwissenschaften die Beschreibung der Natur überhaupt ermöglicht.* Folglich sollte sie über die Physik hinaus bedeutsam sein und etwa in den Bereichen von Chemie und Biologie Anwendung finden können. Bohr hat sich intensiv um solch eine Ausweitung bemüht und seine Idee den anderen Wissenschaften als Lektion der Atome angeboten. Seine Bemühungen haben aber nur wenig Erfolg gehabt. In gewisser Weise stellt Bohrs Idee der Komplementarität den Versuch dar, »einen Ausdruck für die Harmonie des Daseins zu finden«. So gesehen, erinnert sein Gedanke an uralte Vorstellungen, die in vielen Kulturen aufgetaucht sind, daß nämlich grundlegende Prinzipien als polare Paare existieren. Die Chinesen etwa stellen dies als Yin-Yang-Symbol dar, und Aristoteles nennt in seiner »Metaphysik« zehn polare Begriffspaare, wie sie die Pythagoreer kannten: »Begrenztes und Unbegrenztes, Gerades und Ungerades, Eines und Vieles, Rechtes und Linkes, Männliches und Weibliches, Ruhendes und Bewegtes, Gerades und Krümmes, Licht und Finsternis, Gutes und Böses, Rationales und Irrationales.«

"Komplementarität" ist also in der Physik kein wesentlicher Begriff wie etwa der Wahrscheinlichkeitsbegriff, sondern eher als ein "gleichnishafter" Begriff anzusehen, mit dem man - historisch gesehen - nach der Ratlosigkeit angesichts vieler zunächst unverständlicher Experimente wieder das Gefühl des Vertrautseins zu erlangen suchte - des Vertrautseins durch traditionelle, weit verbreitete und damit fast als evident erscheinende Denkmuster. Aber *verstehen* wir mit einem solchen traditionellen Begriff die Physik, die physikalische Realität oder die in der Theorie ausgesagten Tatsachen wirklich?

Mit diesem geistesgeschichtlichen Resümee sind wir natürlich noch nicht am Ende, denn damit sind die Aussagen **Heisenbergs** und **v. Weizsäckers** (siehe oben) noch keineswegs berührt. Man möchte doch *explizit* wissen, wieso der Begriff heute - entgegen **Capras** Behauptung - weder in der physikalischen Theorie selbst noch in ihrem konzeptionellen Rahmen und somit auch nicht zu einem Verständnis der Physik gebraucht wird - ja vielleicht einem tieferen Verständnis sogar entgegenstehen könnte. Dies zu klären ist deshalb notwendig, als ja **Capra**, seine Nachfolger und andere "Dualisten" gerade das Gegenteil behaupten und somit die Physik in gewisser Weise als "Garant" ihrer Anschauung in einer geistigen Welt offener oder nur versteckter Wissenschaftsgläubigkeit zitieren. Ohne essentielle Komplementarität in der Physik sind **Capras** Parallelen hinfällig, so daß sich - wie schon weiter oben betont - allein schon auf der Seite der Physik (Abb. 1) seine Parallelen als an der heutigen Physik vorbeikonstruiert erweisen.

Ich behaupte, daß der Begriff "Komplementarität" nicht zu einem wirklichen Verständnis der durch die Physik geschriebenen Realität führt, da er keine Erklärung oder zumindest nur ad hoc-Erklärungen zu liefern vermag, die der Theorie nicht immanent sind. Das "ad hoc" wird mit anthropologischen Grundpositionen des Erkennens begründet, die als Voraussetzungen der Möglichkeit der Erfahrung und der Theorie hingestellt werden - tatsächlich bedarf aber die Theorie gar nicht solcher Voraussetzungen.

Ich möchte nun versuchen, dies an möglichst konkreten Beispielen und Argumenten zu erläutern. Dabei wird sich zeigen, daß die geringe Tragweite des Komplementaritätsbegriffs hauptsächlich dadurch verschleiert wird, daß stets zwei ganz verschiedene Bedeutungen von "Verstehen" verwendet werden, ohne daß man sich vergewissert, welche Bedeutung gerade gemeint ist. Dadurch entsteht eine Vermengung von "erklärendem Verstehen" im Sinne der Physik und "interpretierendem Verstehen" im Sinne der Auslegung einer "Botschaft der Natur" - was immer man darunter verstehen mag.

Diese beiden "Facetten" des Verstehens müssen sich natürlich nicht zwangsläufig widersprechen, aber: Komplementarität ist als erkenntnistheoretisches Konzept zu eng für die Physik und daher stellt uns das Quantenpostulat keineswegs "vor die Aufgabe der Ausarbeitung einer »Komplementaritätstheorie«" (N. Bohr, s. Zitat 31), sondern im Gegenteil vor die Aufgabe, die versteckten erkenntnistheoretischen Vorgaben in dieser Forderung **Bohrs** aufzudecken und gerade ihre beschränkte Tragweite zu verdeutlichen, um die Berufung auf ein solches Prinzip außerhalb der Physik ins rechte Licht zu rücken. Um das im Rahmen unserer Problematik auseinandersetzen zu können, müssen wir uns erst einmal vergewissern, was mit »Verstehen« gemeint sein kann, denn aus einer unkritischen Verwendung dieses Begriffes entwickeln sich Scheinantworten, die fast zur Weltanschauung werden können bzw. schon geworden sind, wie die folgenden Ausführungen von **E. P. Fischer** in seinem Buch mit dem vorurteilträchtigen Titel "Sowohl als auch - Denkerfahrungen der Naturwissenschaftler" verdeutlichen³⁴:

Die Quantenmechanik war und ist sehr erfolgreich: Sie ist die am besten bestätigte Theorie der physikalischen Wissenschaften, und es gibt keine Erfahrung, die nicht mit ihr in Einklang steht. Aber sie widerspricht unserer Anschauung und beleidigt den gesunden Menschenverstand. Bohr war bereit, dies zu akzeptieren, und er verbrachte einen großen Teil seines Lebens mit dem Versuch, die Konsequenzen daraus zu ziehen. *Uns bleibt keine Wahl, als ihm auf diesem Weg zu folgen.* Die Wirklichkeit der Atome läßt sich nur komplementär mit den Begriffen fassen, die auf die Wirklichkeit passen, die wir durch unsere Sinne kennenlernen. Wenn auch andere Gebiete der Wissenschaft in solche unanschaulichen (unangeschauten) Bereiche vordringen - sie sind nicht nur durch räumliche Dimensionen charakterisiert -, dann wird man hier ebenfalls auf die Idee der Komplementarität zurückgreifen müssen.

4. »Verstehen« und Komplementarität

4.1 Was ist "erklärendes Verstehen"?

Was heißt "Verstehen" - im weitesten Sinne - in der *Physik*? - Zu den einfachen, großen Zusammenhängen vorzustoßen, von denen **W. Heisenberg** sagt: "Solche Zusammenhänge sind doch wohl der eigentliche Inhalt unserer Wissenschaft. Nur wenn man die Existenz solcher Zusammenhänge ganz in sich aufgenommen hat, kann man unsere Wissenschaft wirklich verstehen."³⁵

Die Quantenmechanik ist die Theorie, die uns sagt, wie wir sinnvoll, d.h. angemessen und widerspruchsfrei, über die physikalischen Situationen reden können (bzw. müssen), die sie zu beschreiben vermag. *Ein Phänomen »physikalisch« verstehen heißt, es in der Sprache der oder einer Theorie formulieren und richtige Aussagen konstruieren zu können, d. h. genauer: bzgl. des Phänomens empirisch prüfbar (und*

dann auch verifizierte) Vorhersagen machen zu können.

Wenn auf diese Weise ein experimentelles Phänomen *ohne ad hoc-Annahmen aus der Theorie abgeleitet* werden kann, so sagt man: wir "verstehen" das Phänomen. Es ist sozusagen ein "deduktives" Verstehen, bei dem ein Einzelphänomen aus allgemeinen ("obersten") Prinzipien, der "Theorie", logisch schlüssig deduziert wird. Man sagt auch synonym: wir "erklären" das Phänomen mit Hilfe der Theorie oder - und diese Sprechweise kann dann zu Mißverständnissen Anlaß geben - das Phänomen wird durch die Theorie "interpretiert". *Interpretation* bedeutet aber *zunächst* in der Physik in einem sehr viel *eingeschränkteren Sinn* die Herstellung einer Korrespondenz zwischen den Meßdaten des Experimentes und den mathematischen Ausdrücken (physikalischen Größen) in den Gleichungen der Theorie bzw. den speziellen Zahlenwerten der physikalischen Größen unter den Randbedingungen des Experimentes. Solche Interpretationen (im engeren Sinne der Zuordnung) geben den Grundbegriffen eine *Bedeutung* und schaffen die Verbindung zwischen Kalkül (Theorie) und Realität. Mathematisch gleichartige Theorien können verschiedene physikalische Realitäten beschreiben.

4.2 Was heißt "interpretierendes Verstehen"?

Dies war zunächst ein Begriff der Geisteswissenschaften: So wird z. B. in der Geschichtsinterpretation "aus gegebenen Zeichen auf Geistiges geschlossen, das sich in Schriften oder Handlungen manifestiert". In diesem Sinne definiert **W. Dilthey** die Hermeneutik als Fundament für die Geisteswissenschaften³⁶:

Wir nennen den Vorgang, in welchem wir aus Zeichen, die von außen sinnlich gegeben sind, ein Inneres erkennen: *Verstehen* ... Dies Verstehen reicht von dem Auffassen kindlichen Lallens bis zu dem des Hamlet oder der Vernunftkritik. Aus Steinen, Marmor, musikalisch geformten Tönen, aus Gebärden, Worten und Schriften, aus Handlungen, wirtschaftlichen Ordnungen und Verfassungen spricht derselbe menschliche Geist zu uns und bedarf der Auslegung Solches kunstmäßiges Verstehen von dauernd fixierten Lebensäußerungen nennen wir Hermeneutik Verstehen ist das grundlegende Verfahren für alle weiteren Operationen der Geisteswissenschaften.

"Verstehen" in diesem ursprünglich nur auf die Geisteswissenschaften eingeschränkten Sinn ist aber eine "existentielle Daseinsform" des Menschen (**M. Heidegger**) überhaupt und damit erhält die *Hermeneutik* eine *Universalität*, die in der philosophischen Hermeneutik studiert wird und die eben auch als Grundgegebenheit bei einer Deutung der Quantentheorie zum Tragen kommen kann.

Wir müssen also unterscheiden zwischen der *Interpretation*, die in der *Physik immanent* bei der Verknüpfung der mathematischen Theorie mit den experimentellen Daten vorgenommen wird, und einer *Interpretation*, die als existentielle Form *erkenntnistheoretischer* Natur ist und über die Physik selbst hinausgreift und damit einen hermeneutischen Aspekt der eben beschriebenen Art beinhaltet.

Solches hermeneutisches "Verstehen" müssen wir als einen Prozeß ansehen, mit dem ein denkendes Wesen auf eine (tatsächliche oder vermeintliche) "Botschaft" reagiert, indem es ihr in irgendeiner Form einen *Sinngehalt* zuspricht: Es faßt ein Phänomen über die eigentlichen "Daten" hinaus als eine Botschaft auf, die es etwa wie eine *sprachliche Botschaft* (einen Text) zu interpretieren hat. Es fragt dann nicht primär nach kausalen Zusammenhängen in der Manifestation der Botschaft, sondern nach

dem *Sinn*. Damit verbunden sind die Fragen³⁸:

- Welches ist die ursprüngliche Form der Manifestation?
- Welches ist der eigentliche Sinn der Manifestation?
- In welchem Verhältnis steht der Sinn zur Wahrheit im Horizont des Interpretieren?

Diese Fragen implizieren sofort ein weiteres Problem, das uns auch in der Physik begegnet³⁹:

Für die Beantwortung dieser Fragen ist das Hintergrundwissen der Interpretieren von größter Bedeutung. Jeder Verstehensvorgang setzt demnach ein bestimmtes »Vorverständnis« voraus, das die Vertrautheit definiert. Es bildet den Verstehenshorizont des Interpretieren.

Daß wir uns damit nicht in philologische Detailfragen verirrt haben, erhellt sofort, wenn wir uns einen vielzitierten Ausspruch **G. Galileis** (1564 - 1642), des Begründers der neuzeitlichen Physik, vergegenwärtigen⁴⁰:

Die Philosophie [= Naturphilosophie] ist in dem großen Buch der Natur niedergeschrieben, das uns beständig vor Augen liegt, das aber niemand zu lesen vermag, es sei denn, daß er zuvor die Chiffren, in denen es verfaßt ist, d. h. die mathematischen Figuren und deren notwendige Verknüpfung zu verstehen gelernt hat.

Selbst moderne Naturwissenschaftler bedienen sich derselben Metaphorik. **M. Planck** (1858-1947) vertritt z. B. die Auffassung, daß zwar das Ziel des Physikers die Erkenntnis der Außenwelt ist, aber seine quantitativen Forschungsmittel sagen ihm über diese nie etwas unmittelbar aus, sondern sie sind für ihn⁴¹

immer nur eine gewisse mehr oder weniger unsichere Botschaft oder, wie es Helmholtz einmal ausgedrückt hat, ein Zeichen, das die reale Welt ihm übermittelt und aus dem er dann Schlüsse zu ziehen sucht, ähnlich einem Sprachforscher, welcher eine Urkunde zu enträtseln hat, die aus einer ihm gänzlich unbekanntem Kultur stammt.

Galilei's Metapher drückt durchaus einen für die gesamte neuzeitliche Physik charakteristischen Zug aus, nämlich die Natur nach der Art eines Textes zu analysieren. Die »Natur als Buch zu lesen« zu wollen, bedeutet doch, daß sie für uns eine Art »verschlüsselter Text« ist und »Beschäftigung mit der Natur« wäre dann zu verstehen als »Entschlüsselung der Sprache der Natur«, sodann als die »Rekonstruktion des Textes«, »Analyse des Textes« (einschließlich der Sprache) und schließlich nach der Herstellung des gesicherten Textes eine »Interpretation (Sinndeutung) des Textes«: »Was sagt uns die Natur?« oder: »Welche Botschaft erhalten wir?«

Man kann sagen, daß wir die »Grammatik« der »Sprache der Natur« besser denn je kennen⁴²:

Die Grundannahmen der Quantentheorie kann man für den mathematisch gebildeten Leser auf einer Druckseite aussprechen. Der Quantentheorie genügen schätzungsweise eine Milliarde von heute bekannten einzelnen Erfahrungstatsachen, und keine einzige Erfahrung ist bekanntgeworden, die in überzeugender Weise den Eindruck erweckt hätte, sie widerspreche der Quantentheorie.

Wie steht es also mit dem interpretierenden Verstehen der Natur? Was sagt uns die Natur via Naturwissenschaft? Interpretation erfordert einen *Kontext*, der die Bedeutung des Textes erst verstehen läßt und dieser Kontext ist nicht einfach universell gegeben: Hier sitzt das tiefere Problem, ja vielleicht fast ein Dilemma, wenn man manche heutige Diskussion um die Naturwissenschaften betrachtet. Ist heute der Punkt erreicht, den **O. Marquard** sehr witzig so charakterisiert⁴³:

Hermeneutik ist die Kunst, aus einem Text herauszukriegen, was nicht drinsteht: wozu - wenn man doch den Text hat - brauchte man sie sonst?

Bleiben wir aber bei unserem Ausgangspunkt: **Galilei** setzt das »Buch der Natur« in Parallele zur »Heiligen Schrift« mit dem Argument, daß das »Buch der Natur« nicht durch den Menschen verfälscht sei oder verfälscht werden könne. **Spinoza** geht noch weiter. In seinem *Tractatus-theologico-politicus* (1670) macht er die Naturerkenntnis zur Instanz der Schriftauslegung und damit wird die vernünftige "Naturerkenntnis" zum Maßstab des Bibelverständnisses. Die Konsequenz davon ist, daß "dort, wo die Natur aus der pantheistischen Gleichsetzung mit Gott zur experimentablen und mathematisierbaren Objektwelt entzaubert und die Naturerkenntnis zur exakt naturwissenschaftlichen Erkenntnis wird, ... das Schriftverständnis und die Interpretation von Schriften vermeintlich überflüssig [wird], weil zunächst die praktische Vernunft ... und dann die exakte Natur die Schrift und die Schriften schließlich nicht mehr erklärt, sondern ersetzt".⁴³

Welcher Kontext interpretiert aber jetzt die (exakte) Natur? Wir stehen damit genau vor den Fragen, die oben als Grundfragen der Hermeneutik formuliert sind. Man ist sich heute (vielleicht wieder) stark bewußt geworden, daß *jeder* Umgang mit Natur aus einem gewissen *Vorverständnis* resultiert. *Jedes* Vorverständnis setzt aber umgekehrt immer schon *Erfahrung* mit der Natur voraus (sog. Hermeneutischer Zirkel). Somit kann man die Frage nach dem "was sagt uns die Natur?" besser so formulieren: "Wie verändert die naturwissenschaftliche Erfahrung das Vorverständnis von Natur bzw. wie erweitert, beschränkt oder verlagert, korrigiert oder relativiert diese Erfahrung andere Vorverständnisse von Natur, wie z. B. die Vorstellung »Die Natur macht keine Sprünge« (**G. W. Leibniz**, **C. Darwin**)?". Vorverständnisse, die explizit gegen die Erfahrungen der Wissenschaften stehen, dürften heute kaum mehr ernstlich möglich sein, was ja auch das eifrige Bemühen der New-Age-Exegeten bezeugt, die Physik als "Kronzeuge" aufzurufen und heranzuziehen.

In gleicher Weise können wir aus den naturwissenschaftlichen Erfahrungen im Umgang mit der Natur Rückschlüsse auf unsere *Erkenntnisfähigkeit* ziehen, wie das etwa **Kant** im Gefolge der Erfahrungen mit der **Newtonschen** Physik getan hat. So ist auch **Bohrs** Versuch zu werten, sein Komplementaritätsprinzip als Erkenntnistheorie im Sinne **Kants** zu etablieren: Die Komplementarität bietet nach **Bohr** die Möglichkeit für "eine Ausweitung unseres konzeptionellen Rahmens", den **Kant** als a-priori angesehen hat (siehe Zitat 34). Es ist die Schaffung eines Kontextes, der die Natur zu deuten gestatten soll.

Ist das aber eine wirklich durch die Physik gerechtfertigte, gar erzwungene Anschauung unserer Erkenntnisweise? Hat die sich nach **Bohr** offenbarende Erkenntnis-Begrenzung des Menschen durch Komplementarität in der forschenden Praxis irgendwo tatsächlich stattgefunden oder sich irgendwie ausgewirkt? **G. Steiner** resümiert⁴⁴:

In der Praxis der Naturwissenschaften hat sie [die erkenntnistheoretische Diskussion der Physik] sich nur am Rande als störend erwiesen. Physik, Molekularbiologie, Astrophysik gehen so vor, als sei der kartesianisch-kantianische Vertrag zwischen Theorie und Versuch (Karl Poppers Kriterium der Falsifizierbarkeit) nach wie vor gültig und universal. Darüber hinaus scheint sich das alte Modell aller Evidenz nach auch zu bestätigen, ausgenommen an den äußersten Rändern der Kosmologie und in den Halbschatten der neuen Physik der "Singulartäten". Unsere Atomphysiker, unsere Genetiker und Ingenieure machen mit ihren Forschungshypothesen und ihrer angewandten Arbeit nach wie vor Fortschritte.

Sie setzen Theorien und Gegentheorien durch Formulierungen und Formalisierungen (mathematisch) in die Praxis um. Sie wenden sie mit greifbaren Erträgen auf die Materie der Welt an. Diesen Begriff von "Theorie", diese Annahme einer Reziprozität zwischen Theorie und Tatsache aufzugeben, hieße für sie, sich von der Ratio zu verabschieden.

Ob z. B. die aus dem Komplementaritätsprinzip von **Bohr, Heisenberg** u. a. gefolgerte Aufhebung der ("physikalischen") Trennung von Objekt und Subjekt nun wirklich gilt oder nicht, davon ist der Fortgang der physikalischen Forschung völlig unberührt - im Gegenteil, man gewinnt eher den Eindruck, daß der Fortgang die so gerne beschworene Aufhebung vielleicht als überflüssig und damit möglicherweise als unzutreffende Metaphysik erweisen könnte - ähnlich wie **Newtons** »Absoluten Raum«.

Die Rolle, die der Komplementarität zugesprochen wird, beruht darauf, daß das rein *deskriptiv interpretierende* Konzept der Komplementarität als ein *erklärendes* Prinzip mißverstanden wird. Durch Vermengung dieser beiden Arten von Verstehen entsteht die Vorstellung, daß die Physik als erklärende Wissenschaft ein mehr oder weniger weltanschauliches Konzept, das Phänomene recht und schlecht zu *beschreiben* gestattet, stütze.

4.3. Der "Dualismus" als Vermengung von erklärendem und interpretierendem Verstehen

Um zu zeigen, daß der Dualismus kein oder besser ein nur sehr eingeschränktes erklärendes Prinzip ist, betrachten wir einige typische physikalische Situationen, in denen der sog. Dualismus angewandt werden soll: Zunächst analysieren wir den

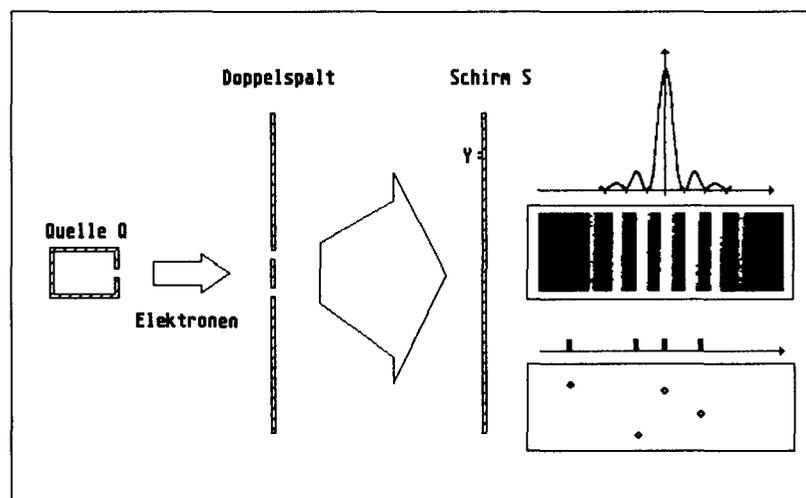


Abb. 2

bekanntem *Doppelspaltversuch* (mit Elektronen; Abb. 2) und legen **Capras** Deutung des Dualismus zugrunde (siehe Zitat 23):

Ein Elektron ist weder ein Teilchen noch eine Welle, aber es kann in einigen Situationen teilchenähnliche Aspekte haben und in anderen wellenähnliche. Während es sich wie ein Teilchen verhält, kann es seine Wellennatur auf Kosten

seiner Teilchennatur entwickeln, und umgekehrt. *Auf diese Weise kommt es zu einer fortgesetzten Umwandlung von Teilchen zu Welle und von Welle zu Teilchen.* Das bedeutet, daß weder das Elektron noch irgendein anderes atomares »Objekt« innerliche Eigenschaften besitzt, die von seiner Umwelt unabhängig sind. *Seine Eigenschaften - teilchenähnlich oder wellenähnlich - hängen von der experimentellen Situation ab, das heißt von der Apparatur, zu der es in Wechselbeziehung treten muß.*

Im letzten Satz ist das "Rezept" beschrieben, nach dem zu verfahren ist. Man kann ihm folgen, wenn man das Vorverständnis der klassischen Wellenphysik voraussetzt und einen Elektronenstrahl hoher Intensität hat. Wenn man extrem geringe Intensität des Elektronenstrahls annimmt, so daß in der Meßzeit nur einige Elektronen mit dem Schirm wechselwirken, so versagt das "Rezept": Wir haben kein "Wellenresultat" trotz des typischen "Wellenexperimentes". Bekanntlich haben wir aber jetzt auch kein "Teilchenresultat", was sich sofort zeigt, wenn wir den Versuch lange genug laufen lassen: Es stellt sich allmählich das "Wellenbild" bei hoher Intensität ein. *Dasselbe* Experiment zeigt also - in **Capras** Formulierung - wellenähnliche und teilchenähnliche Eigenschaften, entgegen **Capras** Darstellung. Auch das häufig vorgebrachte Argument, es handele sich hier eigentlich um zwei Experimente, ist nicht entkräftigend. Dazu brauchen wir die Experimente ebenfalls nur bei verschiedenen Intensitäten in Rechnung stellen!

Die Unbrauchbarkeit des Dualismus erkennt man deutlicher bei der Analyse eines nicht so gewohnten Experimentes, für das man mit Hilfe des Dualismus eine Vorhersage des Resultates treffen soll. Es handelt sich um *Streuexperimente* mit gleichnamig geladenen (idealen) Objekten. Es handelt sich hier im Prinzip um ein zu den **Rutherford**'schen Streuversuchen analoges Experiment (im Schwerpunktsystem).

A) Zunächst Streuexperimente mit *klassischen* Streuobjekten:

Aus entgegengesetzten Richtungen 1 und 2 werden zwei gleichnamig geladene Kugeln mit gleicher Ladung aufeinander geschossen (Abb. 3). Die Energie der Stoßpartner sei so gewählt, daß die Wechselwirkung allein die Coulomb'sche Abstoßung ist. Es kommt also niemals zu einer Wechselwirkung, die einen geometrischen Zusammenstoß enthält. Nach der Wechselwirkung fliegen die Kugeln in verschiedenen Richtungen auseinander. Der Streuprozess wird im Schwerpunktsystem betrachtet, in dem der Gesamtimpuls verschwindet (im Gegensatz zu dem Laborsystem, in dem die realen Experimente stets durchgeführt werden). Im Schwerpunktsystem sind die Richtungen der gestreuten Kugeln in größerer Entfernung vom Schwerpunkt wiederum genau

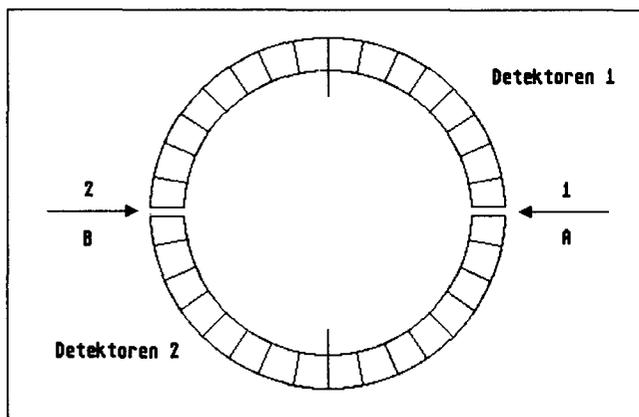


Abb. 3

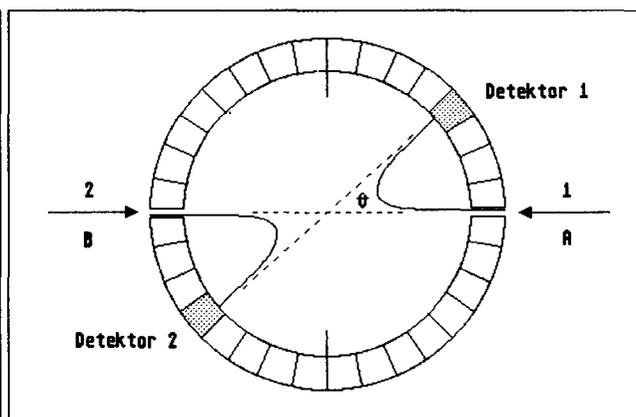


Abb. 4

entgegengesetzt (Abb. 4). Die Detektoren, die die gestreuten Kugeln registrieren, sind auf einer Kugelschale angeordnet, deren Mittelpunkt im Schwerpunkt des Bezugssystems liegt. Wegen der Symmetrie der Coulombwechselwirkung reicht es aus, nur die Meßergebnisse der Detektoren zu betrachten, die auf einem Großkreis durch die Einschußpunkte aus Richtung 1 und 2 liegen (Abb. 4). Unter stets gleichbleibenden äußeren Bedingungen wird nun nacheinander eine sehr große Anzahl von Kugelpaaren gegeneinander geschossen. Die gestreuten Kugeln verteilen sich in einer charakteristischen Weise auf die registrierenden Detektoren. Die von rechts kommenden Kugeln sind durch eine rote Farbe markiert, die von links kommenden durch eine blaue. Sonst sollen sich die Kugeln in keiner physikalischen Eigenschaft unterscheiden. In einer *zweiten* Versuchsreihe unterscheiden sich die Kugeln auch nicht mehr in der Farbe. Sie sind dann *klassisch vollkommen gleich*. In beiden Versuchsreihen erhält man eine charakteristische Verteilung. Es ist die bekannte *Rutherford-Verteilung* im Schwerpunktsystem (Abb. 5).

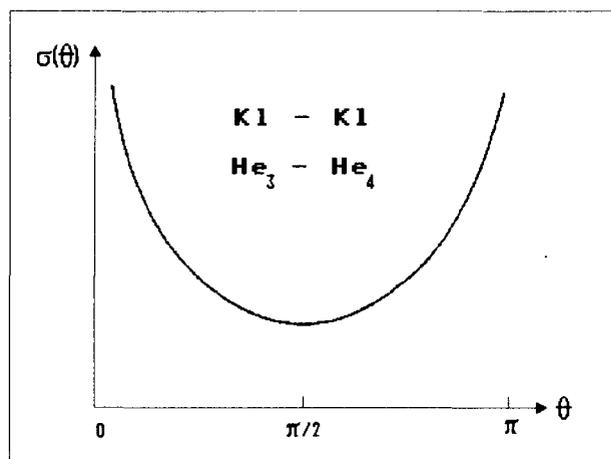


Abb. 5

B) *Dieselben* Experimente mit *quantenmechanischen* Objekten:

Aus Richtung 1 werden zunächst ^3He -Kerne an ^4He -Kerne aus Richtung 2 gestreut. Es handelt sich nach dem Dualismus um ein typisches Teilchen-Experiment: Beide Kerne haben wiederum die gleiche Ladung; sie *unterscheiden sich in der Masse*. Der Impuls beider Teilchen sei wiederum entgegengesetzt gleich und die Energie der Teilchen sei so klein, daß nur die Coulombschen Abstoßungskräfte wirken. Die Kerne sollen sich also immer nur so weit nähern können, da sich die Kernkräfte

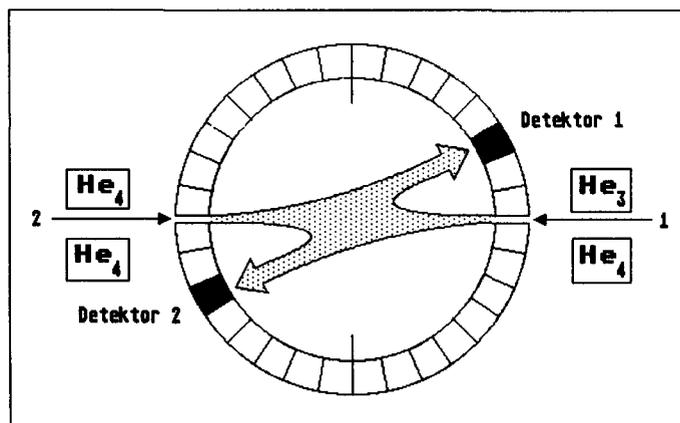


Abb. 6

noch nicht bemerkbar machen. Nach der Wechselwirkung registrieren wir wieder in gegenüberliegenden Detektoren die aneinander gestreuten Kerne. Wollen wir uns davon unterrichten, in welche Richtung ein ${}^3\text{He}$ -Kern gestreut wurde bzw. in ${}^4\text{He}$ -Kern, so können wir das an dem unterscheidenden Merkmal der beiden Kerne herausfinden, nämlich an ihren unterschiedlichen Massen. Wird z. B. im Detektor 1 ein Kern der Masse 3 registriert, so ist es ein ${}^3\text{He}$ -Kern und er ist aus der Richtung 1 gekommen, während dann der Kern in Detektor 2 ein ${}^4\text{He}$ -Kern sein muß und aus Richtung 2 gestreut wurde (Abb. 6).

Man wird sich vielleicht fragen: Wozu diese komplizierte Methode der Bestimmung? Beobachten wir doch einfach die Bahnen der Kerne wie bei den Kugeln des ersten Beispiels! Das ist aber jetzt nicht mehr möglich! Wegen der deutlichen Auswirkung der Unschärferelation bei quantenmechanischen Objekten haben diese zu keinem Zeitpunkt gleichzeitig einen scharfen Ort und einen scharfen Impuls. Daher können sie nicht wie Newtonsche Teilchen, denen zu jedem Zeitpunkt praktisch ein scharfer Ort und gleichzeitig ein scharfer Impuls zugeschrieben werden kann, auf raum-zeitlich anschaulichen Bahnen verfolgt werden. Die Ausführung des Experimentes mit einer sehr großen Anzahl von Paaren ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ liefert ein Streudiagramm, das dem Diagramm des Experimentes mit Kugeln völlig gleicht.

Bis jetzt sind die Resultate nichts unerwartetes und man würde wohl aufgrund der Erfahrungen mit Rutherford-Streuung diese Ergebnisse erwarten. Nun sollen in einem weiteren Experiment nicht mehr ${}^3\text{He}$ - und ${}^4\text{He}$ -Kerne gegeneinander geschossen werden, sondern ${}^4\text{He}$ -Kerne gegen ${}^4\text{He}$ -Kerne. Sonst wird gegenüber den vorigen Experimenten *nichts geändert* (Abb. 6). Das Streudiagramm zeigt Abb. 7.

Das ist ein wahrhaft verblüffendes Ergebnis: Es zeigen sich jetzt *ohne Veränderung der Versuchsanordnung und der Versuchbedingungen* "Interferenzeffekte". Wir haben die Streuexperimente hier zur Vereinfachung nur schematisch betrachtet. Experimente der dargestellten Art wurden z. B. von **Chadwick, Blackett** und **Champion** 1930 mit ${}^4\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ durchgeführt. Abb. 8 zeigt das Resultat eines Experimentes von **Bromley, Kuehner** und **Almqvist** aus dem Jahre 1960 mit ${}^{12}\text{C}$ - ${}^{12}\text{C}$.⁴⁵

Ich glaube, daß man keine stichhaltigen Argumente vorbringen kann gegen die Behauptung, daß dieses "Wellenresultat" mit Hilfe der Dualismus-Anschauung *nicht erklärt werden kann*. Man kann sich vielleicht "hinterher" einige Plausibilitätsargumente zur Interpretation zurechtlegen - aber das ist kein erklärendes Prinzip in der

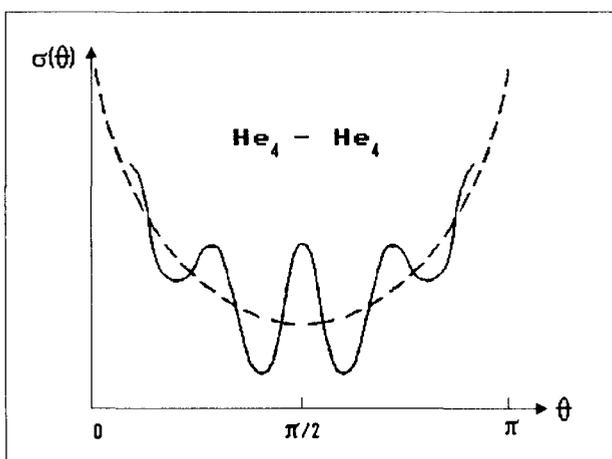


Abb. 7

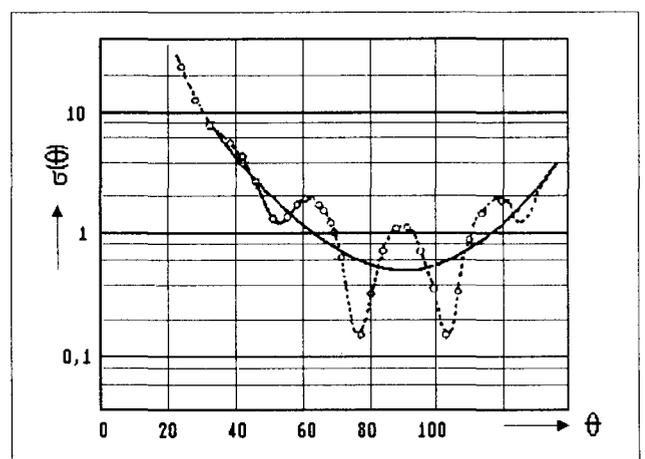


Abb. 8

Physik. Warum sollte man aufgrund des Dualismus die ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ -Streuung als "teilchen-ähnlich" behandeln und die ${}^4\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ -Streuung als "wellenähnlich"? Die Versuchsbedingungen sind *identisch* und durch diese, d. h. durch die vom Experimentator arrangierte Versuchsanordnung sollen laut **Capra** die dann beobachtbaren Eigenschaften festgelegt sein. Bei der ${}^4\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ -Streuung scheint zu den Objekten noch eine Eigenschaft "hinzugekommen" zu sein, die *unabhängig* von der Versuchsanordnung ist, die das "Wellenresultat erzeugt": Der Dualismus ist es offenbar nicht. In Abschnitt 5.2 werden wir eine Erklärung geben können, ohne zu ad-hoc-Annahmen greifen zu müssen!

Man erkennt hier, daß der Dualismus bestenfalls als ein *nachträgliches* Interpretationsmodell verstanden werden kann, das aber nicht durchweg - wie dieses Beispiel zeigte - zu einem Verständnis ohne zusätzliche "ad-hoc"-Annahmen führt. Es kann kein "tiefliegendes Prinzip" in einer *erklärenden* Physik sein. Dualismus ist kein aus der Physik *abgeleitetes* Erkenntnismodell, sondern ein in die Physik *hineinprojiziertes* Interpretationsschema mit geradezu weltanschaulichen Hintergrund, wie die schon vorgetragenen Zitate bereits deutlich gemacht haben. Daß die Redeweise des Dualismus u. U. bei den Physikern als "Laborjargon" weiterlebt, ist eine ganz andere Sache.

Es könnte nun aber sein, daß die Verstehensweise des Dualismus zwar ohne *physikalische* Relevanz ist, aber das einzige anschaulich und in der gewöhnlichen Sprache formulierbare Erklärungsmuster. Es ist also zu fragen: Ist diese in sich widersprüchliche "anschauliche" Interpretation von der Quantentheorie erzwungen?

5. Folgt "Komplementarität" in der Anschauung zwingend aus der Quantentheorie?

5.1 Formalismus und physikalische Interpretation der Quantentheorie

Historisch ist festzuhalten: Aus tastenden Vorarbeiten (**Bohrsches** Korrespondenzprinzip, **De Broglies** Materiewellen) wurde mit erstaunlichem physikalischen Instinkt durch "geniales Raten" (Intuition und Erfahrung) von **E. Schrödinger** und **W. Heisenberg** zuerst der mathematische Formalismus - einerseits die Wellenmechanik und andererseits die Matrizenmechanik - er/gefunden und dann erst folgte die physikalische Interpretation. **W. Heisenberg** berichtet aus einem Gespräch mit **A. Einstein** im Jahre 1926 Folgendes⁴⁶:

Wir haben zwar eine mathematische Sprache, d.h. ein mathematisches Schema, mit Hilfe dessen wir die stationären Zustände des Atoms oder die Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Zustand zu einem anderen ausrechnen können. Aber wir wissen noch nicht - wenigstens noch nicht allgemein - wie diese Sprache mit der gewöhnlichen Sprache zusammenhängt. Natürlich braucht man diesen Zusammenhang, um die Theorie überhaupt auf Experimente anwenden zu können. Denn über die Experimente reden wir ja immer in der gewöhnlichen Sprache, d.h. in der bisherigen Sprache der klassischen Physik. Ich kann also nicht behaupten, daß wir die Quantenmechanik schon verstanden hätten. Ich vermute, daß das mathematische Schema schon in Ordnung ist, aber der Zusammenhang mit der gewöhnlichen Sprache ist noch nicht hergestellt.

In die Theorie waren z.B. neue physikalische Größen eingeführt worden, deren Zusammenhang mit dem Experiment erst noch geklärt werden mußte. Wie eine gege-

bene experimentelle Situation in dem gefundenen mathematischen Schema beschrieben werden kann, konnte zunächst nur für spezielle Fälle angegeben werden. Einen entscheidenden Fortschritt erzielte **W. Heisenberg**, indem er die Fragestellung umkehrte: "Kommen vielleicht in der Natur nur solche experimentellen Situationen vor, die in dem mathematischen Formalismus der Quantenmechanik auch ausgedrückt werden können?"⁴⁷ Mit dieser veränderten Fragehaltung suchten nun **N. Bohr** und **W. Heisenberg** den Formalismus der Quantenmechanik durch Gedankenexperimente zu verstehen und zu interpretieren.

Wellenmechanik und Matrizenmechanik sind, wie schon bald nach ihrer Aufstellung gezeigt wurde, *äquivalente* Formulierungen. Es gibt also die "abstrakte Theorie" in verschiedenen mathematischen Formulierungen. Die eine "entsteht" durch Verallgemeinerung (sog. Quantisierung) der klassischen Punktmechanik, die andere durch Verallgemeinerung der klassische (Materie)Wellentheorie (Abb. 9). Somit könnte man die *Deutung* der abstrakten Theorie als "Umkehrung" der Verallgemeinerung (Quantisierung) betrachten (Abb. 9), und das ist auch so gesehen worden⁴⁸:

Die Tatsache, daß Partikelbild und Wellenbild zwei verschiedene Erscheinungsformen ein- und derselben physikalischen Realität sind, bildet das zentrale Problem der Quantentheorie. Es ist befriedigend, daß auch im mathematischen Apparat der Theorie eine vollkommene Analogie zur eben betrachteten Doppelnatur der Atomphänomene existiert. Sie besteht darin, daß ein und dasselbe mathematische Schema als Quantentheorie des Partikelbildes, einmal als Quantentheorie des Wellenbildes interpretiert werden kann.

Man kann sich fragen: Ändert sich die Situation, wenn man die Quantentheorie anders formuliert?

1948 wurde von **R. Feynman** eine weitere äquivalente Formulierung angegeben⁴⁹. Sie

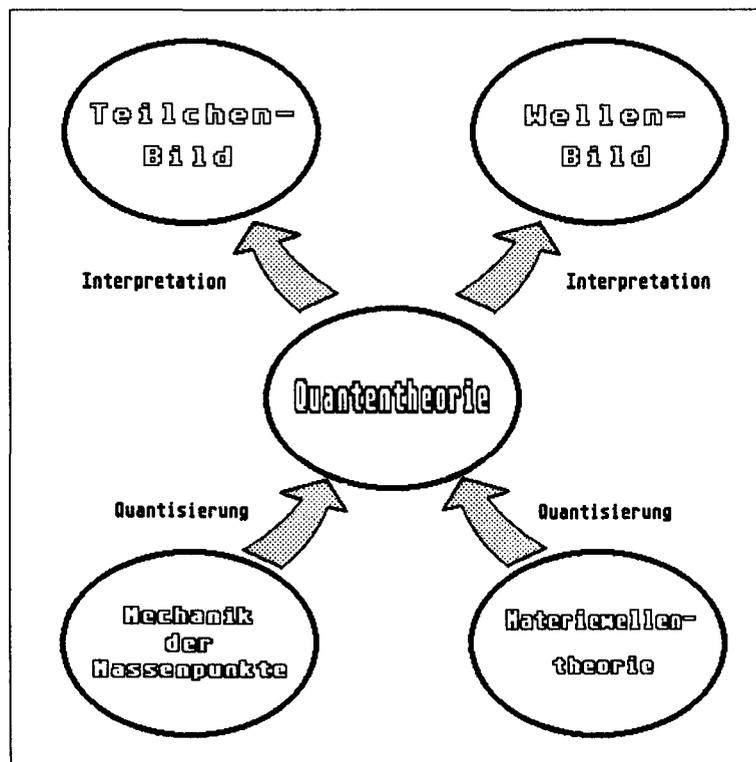


Abb. 9

war der Vorläufer zu den Arbeiten zur Quantenelektrodynamik, für die er zusammen mit **S. Tomonaga** und **J. Schwinger** den Nobelpreis erhielt. Er schreibt: "The formulation is mathematically equivalent to the more usual formulations. There are, therefore, no fundamentally new results. However, there is a pleasure in recognizing old things from a new point of view. Also, there are problems for which the new point of view offers a distinct advantage."⁵⁰

Die Grundgedanken der **Feynmanschen** Formulierung der Quantenmechanik sind an anderer Stelle von **A. Brachner** und dem **Autor** unter didaktischen Gesichtspunkten für die Darstellung der Quantenmechanik im Unterricht dargestellt worden, u. a. im 1. Band der »Wege in die Physikdidaktik« (S. 189 - 203). Hier sei nur ein Kernpunkt der Quantentheorie nochmals wiederholt, der unsere Diskussion betrifft. Bereits 1929 hat **W. Heisenberg** bei der Diskussion des **Stern-Gerlach-Experiments** mit Atomstrahlen von 1923 darauf hingewiesen, daß es sich in der Quantenmechanik um zwei *wesentlich* verschiedene Experimente handelt, ob *tatsächlich* entschieden ist, daß die Natur die eine oder andere zweier Alternativen gewählt hat, oder ob es sich nur um eine gedankliche Unterscheidung handelt. "Die prinzipielle Verschiedenheit der Fälle I und II" - gemeint ist das ungestörte Experiment bzw. das durch eine zusätzliche Meßapparatur - "bildet jedoch, genügend verallgemeinert, den Kernpunkt der Quantentheorie"⁵¹. **R. Feynman** setzt diesen "Kernpunkt" an den *Anfang* seiner gesamten Überlegungen. **A. Brachner** und der **Autor** haben daher im Rahmen der Schulphysik vorgeschlagen, diese zentrale Erkenntnis als *quantenmechanisches Fundamentalprinzip* zu bezeichnen, da es sich als Grundlage für das Verständnis typischer Phänomene der Quantenmechanik erwiesen hat. Qualitativ kann man es folgendermaßen formulieren:

Gibt es verschiedene Möglichkeiten (Wege) für das Eintreten eines bestimmten Ereignisses und wird durch die Versuchsanordnung nicht festgelegt, daß ausschließlich eine bestimmte Möglichkeit gewählt wurde, so tritt immer Interferenz auf.

Hinterläßt dagegen jedes Ereignis an der Versuchsanordnung eindeutig ein bestimmtes Merkmal, durch das entschieden werden kann, welche der verschiedenen Möglichkeiten gewählt wurde, dann tritt nie Interferenz auf.

Es soll hier aus Platzgründen auf eine weitere Ausführung verzichtet und auf die Literatur verwiesen werden, die im ersten Band der "Wege in die Physikdidaktik" angegeben ist. Bereits die rein sprachliche Formulierung gestattet uns, z. B. nun eine zwanglose und in sich widerspruchsfreie, d. h. "nicht-paradoxe" Erklärung der in Abschnitt 4.3 geschilderten Streuexperimente zu geben.

5.2 Deutung des Streuexperimentes aus 4.3

Wie kann das verblüffende Resultat des Streuexperimentes mit ^4He -Kernen an ^4He -Kernen verstanden werden? Zunächst seien die entscheidenden Punkte bei den Experimenten mit *quantenmechanischen* Objekten nochmals hervorgehoben:

1. Die Wechselwirkung beruht in beiden Experimenten mit quantenmechanischen Objekten nur auf der Coulombschen Abstoßung. Die Stoßpartner haben jeweils die gleiche elektrische Ladung.
2. In beiden Fällen können Bahnen der Stoßpartner nicht verfolgt werden, wie das etwa bei Newtonschen Teilchen möglich wäre.⁵² Eine etwaige Bahnbewegung

kommt also als Unterscheidungsmerkmal nicht in Frage.

3. Die Objekte aus jeweils derselben Richtung sind in allen Experimenten vollkommen gleich. (Sie heißen "vollkommen gleich", wenn jedes durch ein anderes dieser Objekte ersetzt werden kann, ohne daß sich die physikalische Situation ändert.) Im Experiment, in dem ^3He -Kerne an ^4He -Kernen gestreut werden, können die quantenmechanischen Objekte aus Richtung 1 bzw. aus Richtung 2 an ihren verschiedenen Massen unterschieden werden, auch ohne eine Bahn verfolgen zu können. Es handelt sich hier um ein Experiment mit *unterscheidbaren* Streupartnern. Im 2. Experiment haben wir es mit vollkommen gleichen Objekten aus beiden Richtungen zu tun: Hier werden *ununterscheidbare* Objekte aneinander gestreut.

Die Tatsache, daß vollkommen gleiche Streupartner *nicht unterscheidbar* sind, muß die "Ursache" für das verblüffende Resultat in unseren Experimenten sein. Man könnte zunächst auch andere, vielleicht noch unbekannte Ursachen dafür verantwortlich machen - der Vergleich $^3\text{He} - ^4\text{He}$ mit $^4\text{He} - ^4\text{He}$ macht dies allerdings unwahrscheinlich.

Zunächst sind auch in diesem Fall die beiden Stoßpartner durchaus unterscheidbar, nämlich durch ihre relativ gute Lokalisation an den Stellen A bzw. B kurz nach Verlassen ihrer Einschußkanäle. Im Bereich der Wechselwirkung können sie ihre Rollen vertauschen oder auch nicht, ohne daß sich an dem physikalischen Resultat etwas ändert. Berücksichtigt man diese Austauschmöglichkeit in der theoretischen Betrachtung, so erhält man ohne sonstige Zusatzannahmen genau die experimentellen Resultate (**Mott**, 1930).

Die Analogie der Streuexperimente zu den viel bekannteren und damit auch stärker mit "Vorurteilen" behafteten Doppelspaltexperimente mit Elektronen oder Photonen liegt aufgrund des Fundamentalprinzips auf der Hand. Das läßt bereits ahnen, daß das Fundamentalprinzip ein mächtiges Erklärungsinstrument darstellt, das physikalisches Geschehen nicht nur nachträglich ad-hoc zu interpretieren gestattet, sondern eben auch auf sehr allgemeinem Niveau Vorhersagen ermöglicht, da es ein der Quantentheorie immanentes Prinzip ist.

6. Was folgt für uns als Resümee?

Die **Feynmansche** Formulierung der Quantentheorie ermöglicht eine Sprechweise, der die gequälte und weltanschaulich verbrämte Sprechweise der Komplementaritätsidee fremd ist. Es ist also keineswegs so, wie **Capra** behauptet, daß wir - um Physik zu verstehen - es lernen müssen, "mit den beiden Bildern zu spielen, von einem zum anderen zurückzuschalten, um die atomare Wirklichkeit zu begreifen." Es mag zwar sein, daß dies "genau die Art ist, in der die östlichen Mystiker denken, wenn sie ihre Erfahrung einer Wirklichkeit jenseits der Gegensätze zu interpretieren versuchen."⁵³ Aber **Capra** ist bei Anschauungen aus den 20er Jahren stehen geblieben, wenn er behauptet, daß die Quantentheorie (und Relativitätstheorie) "uns zwingen, die Welt auf sehr ähnliche Weise zu sehen, wie ein Hindu, Buddhist oder Taoist sie sieht"⁵⁴, und hier den Welle-Teilchen-Dualismus als "Beweis" anführt. Von einer zwanghaften Interpretation der mathematischen Theorie im Sinne eines Welle-Teilchen-Dualismus kann keine Rede sein - im Gegenteil, sie verschleiert oder verwässert eher die Aussagen der Theorie. Sie ist unnötig, da es durchaus - wie gezeigt wurde - auch aus didaktischer Sicht eine dem Formalismus *adäquate* und *anschauli-*

che Darstellung gibt.

Über die Anschaulichkeit des *Fundamentalprinzips* mag man vielleicht im Zweifel sein – ich möchte mich darüber an dieser Stelle nicht weiter äußern, sondern nur anmerken, daß es wohl kein Problem ist nachzuweisen, daß das *Fundamentalprinzip* mindestens die gleiche Anschaulichkeit beanspruchen kann wie der Trägheitssatz der klassischen Mechanik. Der Welle-Teilchen-Dualismus ist dagegen keine "anschauliche Version" der Quantentheorie, sondern eine erkenntnistheoretische Episode. Ursache für die in diesem Punkt zum Teil wirre Einschätzung der Quantentheorie dürfte die merkwürdig zwiespältige Haltung sein, die z. B. bei **W. Heisenberg** zum Ausdruck kommt, wenn er einmal behauptet: "Wer die Quantentheorie wirklich verstanden hat, würde aber gar nicht mehr auf den Gedanken kommen, hier von einem Dualismus zu sprechen", im gleichen Atemzug aber zum anderen sagt: "Die Quantentheorie ist so ein wunderbares Beispiel dafür, daß man einen Sachverhalt in völliger Klarheit verstanden haben kann und gleichzeitig doch weiß, daß man nur in Bildern und Gleichnissen von ihm reden kann."⁵⁵ Das klingt wie eine Beschwichtigung. **Kant** hat das Verhältnis von Metaphysik und Religion einmal so charakterisiert⁵⁶:

Die Metaphysik ist nicht die Mutter der Religion, sondern ihre Schutzwehr.

Bei **Heisenberg** drängt sich – da er die Quantentheorie ein *Beispiel* nennt – der Verdacht auf, daß er in seiner Aussage die Physik als Schutzwehr einer ganz bestimmten Metaphysik (und im Gefolge davon der Religion) verstehen könnte. Die Bemühungen **Capras** und seiner Nachfolger, Parallelen zwischen Physik und Mystik zu konstruieren, haben wohl in unserer Zeit offener oder nur versteckter Wissenschaftsgläubigkeit genau diese Absicht. Die Interpretation der Quantentheorie im Sinne des Welle-Teilchen-Dualismus soll letzten Endes einen im New Age besonders gepflegten *methodischen Irrationalismus rechtfertigen*, wie vielleicht besonders eindrucksvoll uns **J.-E. Berendt** – ein nicht nur in New Age rezipierter Journalist und Buchautor – vor Augen führt⁵⁷:

Das Argument des westlichen Rationalisten, das, was wir da gesagt hätten, könne nicht »stimmen«, denn es sei »unlogisch«, zieht nicht mehr. Nicht nur Koans sind absurd. Die Aussagen der Neuen Physik sind es auch. Und zwischen beider Absurditäten bestehen – wie wir sehen werden – exakte Parallelen. Der Rationalist muß sich sagen lassen: Er ist nicht informiert, er lebt immer noch im vergangenen Jahrhundert, er weiß nicht, daß gerade die höherentwickelte westliche Wissenschaft [gemeint ist die Quantentheorie], auf die er sich doch beruft, inzwischen zu paradox-logischen Systemen gefunden hat, die denen entsprechen, die es in Asien seit Jahrtausenden gibt.

Jedem, dem die Physik am Herzen liegt, muß eine solche Entstellung der Quantentheorie – und darüber hinaus sicher auch der ostasiatischen Philosophie! – eine Herausforderung sein. Es ist aber nicht nur eine Herausforderung für die Physik, sondern ebenso für uns als Pädagogen, denen Schüler anvertraut sind, die dieses unverstandene Gerede aus ungenauer Kenntnis oder unter Umständen sogar durch mißverständlichen Unterricht für bare Münze halten! Natürlich bleiben die Gedanken, Ideen und Praktiken des New Age von all dieser Diskussion selbst unberührt, aber eine – wenn auch sehr willkommene – "Absicherung" durch die Quantentheorie (und Relativitätstheorie) ist Unsinn und zeugt von gedankenlosem Reden in *Wörtern*, nicht in deren *Sinn*, und das mag manchen vorsichtig werden lassen – es kann sich demnach bei näherem Hinsehen auch manch andere Idee aus der Szene als inhaltsleeres Gerede entpuppen!?

Literaturverweise:

(Hervorhebungen in Zitaten sind *nicht original*, wenn nicht ausdrücklich vermerkt)

- 1) Eine gute Übersicht bietet: C. Schorch, Die New Age Bewegung, Gütersloh, 1989.
- 2) Gibt es ein «Tao der Physik»? Ein Gespräch mit F. Capra, geführt von R. Weber, in: Ken Wilber (Hrsg.), Das holographische Weltbild, Bern, München, Wien, 1988, S. 149.
- 3) TdPh, S. 306. (TdPh = F. Capra, Das Tao der Physik, Die Konvergenz zwischen westlicher Wissenschaft und östlicher Philosophie, Bern, München, Wien, 1984.)
- 4) TdPh, S. 15.
- 5) TdPh, S. 14.
- 6) TdPh, S. 15.
- 7) TdPh, S. 16.
- 8) F. Capra, Wendezeit, München, 1988, S. 81 (Weiter zitiert mit WZ).
- 9) TdPh, S. 66.
- 10) N. Drury, Lexikon esoterischen Wissens, München, 1988.
- 11) Zit. n. J.-E. Berendt, Nada Brahma, Reinbek b. Hamburg, 1989, S. 56.
- 12) TdPh, S. 154.
- 13) TdPh, S. 117.
- 14) P. Russell, Die erwachende Erde. Unser nächster Evolutionssprung, München, 1984, S. 156.
- 15) C. F. von Weizsäcker, Aufbau der Physik, München, 1988, S. 638.
- 16) C. F. von Weizsäcker, Der Garten des Menschlichen, Frankfurt/M., 1980, S. 401 und 411.
- 17) L. LeShan, The Medium, the Mystic, and the Physicist: Towards a general Theorie of the Paranormal, New York, 1974.
- 18) S. Grof, Ost und West, in: S. Grof (Hrsg.), Alte Weisheit und modernes Denken, München, 1986, S. 30.
- 19) S. H. Nasr, Mystik und Rationalität im Islam, in: H. P. Dürr, W. Ch. Zimmerli (Hrsg.), Geist und Natur, Bern, München, Wien, 1989, S. 221.
- 20) K. Wilber, Physik, Mystik und das holographische Paradigma, in: Ken Wilber (Hrsg.), Das holographische Weltbild, Bern, München, Wien, 1988, S. 159, Siehe insbesondere S. 176-177.
- 21) K. Wilber, Psychologia perennis und das Spektrum des Bewußtseins, in: R. N. Walsh, F. Vaughan (Hrsg.), Psychologie in der Wende, Bern, München, Wien, 1985, S. 84.
- 22) S. H. Nasr, Mystik und Rationalität im Islam, op. cit., S. 221.
- 23) WZ, S. 81.
- 24) Capra scheint es in diesem Punkt denn auch nicht geheuer zu sein: Siehe seine vielsagende Bemerkung in Anm. Nr. 7 in WZ, S. 491.
- 25) A. Brachner, R. Fichtner, Quantenmechanik im Unterricht, PhuD 2, 1974 (81 - 94) und PhuD 4, 1974 (249 - 275), R. Fichtner, Das quantenmechanische Fundamentalprinzip, phys. did. 7, 17 (1980), und in: W. B. Schneider (Hrsg.), Wege in die Physikdidaktik, Erlangen, 1989, S. 189.
- 26) gr. παράδειγμα: Beispiel, Muster, Musterbild, typische Begebenheit. Von **T. S. Kuhn** in die wissenschaftstheoretische Diskussion eingeführter Begriff: "Ein Paradigma ist das, was den Mitgliedern einer wissenschaftlichen Gemeinschaft gemeinsam ist, und umgekehrt besteht eine wissenschaftliche Gemeinschaft aus Menschen, die ein Paradigma teilen. (T. S. Kuhn, Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt/M., 1978, S. 187.)

- 26) WZ, S. 82.
- 27) C. F. v. Weizsäcker, *Der Aufbau der Physik*, München, 1988, S. 507.
- 28) W. Heisenberg, *Der Teil und das Ganze*, München, 1973, S. 246.
- 29) R. N. Walsh, F. Vaughan (Hrsg.), *Psychologie in der Wende*, Bern, München, Wien, 1985, S. 22.
- 30) I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft, Vorrede zur 2. Auflage (1787)*, in: *Kants gesammelte Schriften*, Berlin, 1902 - 1941, Bd. III, S. 224.
- 31) N. Bohr, *Atomtheorie und Naturbeschreibung*, Berlin, 1931, S. 36.
- 32) K. M. Meyer-Abich, *Korrespondenz, Individualität und Komplementarität*, Wiesbaden, 1965, S. 151.
- 33) E.-P. Fischer, *Sowohl als auch - Denkerfahrungen der Naturwissenschaften*, München, 1987, S. 14 und 13.
- 34) E. P. Fischer, *Sowohl als auch - Denkerfahrungen der Naturwissenschaften*, München, 1987, S. 15 (Hervorhebung nicht original).
- 35) W. Heisenberg, *Der Teil und das Ganze*, München, 1973, S. 121.
- 36) K. Wuchterl, *Philosophische Arbeitsweisen und Forschungsprogramme*, in: E. Martens, H. Schnädelbach (Hrsg.), *Philosophie - Ein Grundkurs*, Reinbek b. Hamburg, 1989, S. 520.
- 37) Die analoge Formulierung zu den Ausführungen in 36) ist aus leicht ersichtlichen Gründen beabsichtigt.
- 38) K. Wuchterl, *op. cit.*, S. 520.
- 39) G. Galilei, *Il Saggiatore*, 1623, zit. nach: E. Cassirer, *Individuum und Kosmos in der Renaissance*, Darmstadt, 1963, S. 165.
- 40) M. Planck, *Positivismus und die reale Außenwelt*, in: M. Planck, *Wege zur Physikalischen Erkenntnis*, Bd. 1, Leipzig, 1943, S. 174.
- 41) C. F. v. Weizsäcker, *Aufbau der Physik*, München, 1988, S. 23.
- 42) O. Marquard, *Abschied vom Prinzipiellen*, Stuttgart, 1987, S. 117.
- 43) O. Marquard, *op. cit.*, S. 143.
- 44) G. Steiner, *Von realer Gegenwart*, München, 1989, S. 99.
- 45) Bromley, Kuehner und Almqvist, *Phys. Rev. Letters*, 4, 365 (1960).
- 46) W. Heisenberg, *op. cit.*, S. 83.
- 47) W. Heisenberg, *Physik und Philosophie*, Frankfurt/M. 1959, S. 26.
- 48) W. Heisenberg, *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*, Mannheim, 1952, S. 109.
- 49) R. Feynman, *Space - Time Approach to Non-Relativistic Quantum Mechanics*, *Rev. Mod. Phys.* 20, S. 268 (1948).
- 50) R. Feynman, *op. cit.*, S. 267.
- 51) W. Heisenberg, *Physikalische Prinzipien der Quantentheorie*, Bibliographisches Institut, Mannheim, 1958, S. 47.
- 52) "Können" heißt hier fast so viel wie "dürfen nicht": Durch den Prozeß der Beobachtung würden in jedem Moment neue Anfangsbedingungen für den weiteren Verlauf des Experimentes geschaffen. Beobachten würde nämlich hier fortlaufende Ortsmessung bedeuten, die ständig in das ungestörte Geschehen eingreift. Die Schaffung solcher zusätzlichen Anfangsbedingungen würde nicht das Resultat zustandekommen lassen, das wir bei dem ungestörten Geschehen beobachten.
- 53) *TdPh*, S. 154.
- 54) *TdPh*, S. 14.
- 55) W. Heisenberg, *Der Teil und das Ganze*, München, 1973, S. 246.
- 56) I. Kant, *Reflexionen zur Metaphysik*, *op. cit.*, Bd. XVII, S. 498.
- 57) J.-E. Berendt, *Nada Brahma*, Reinbek, 1989, S. 65.