Christian Thomas Kohl

Buddhismus & Quantenphysik

Eine seltsame Parallelität zweier Wirklichkeitsbegriffe

Abstract. Rudyard Kipling, der berühmte Autor des „Dschungelbuches", schrieb einmal die folgenden Worte „Oh, East is East and West is West, and never the twain shall meet". „Oh, Osten ist Osten und Westen ist Westen und die beiden werden sich nie treffen". In meinem Aufsatz werde ich zeigen, daß Kipling nicht vollständig recht hatte. Ich versuche auf die gemeinsame Grundlage der buddhistischen Philosophie und der Quantenphysik hinzuweisen. Es gibt eine überraschende Parallelität zwischen dem philosophischen Wirklichkeitsbegriff der Philosophie Nagarjunas und den physikalischen Wirklichkeitsbegriffen der Quantenphysik. Für beide bestehtdie fundamentale Wirklichkeit nicht aus einem festen Kern, sondern aus Systemen wechselwirkender Gegensätze. Diese Wirklichkeitsbegriffe lassen sich nicht mit den substantiellen, subjektivistischen, holistischen und instrumentalistischen Wirklichkeitsbegriffen vereinbaren, die den modernen Denkweisen zugrunde liegen.

1. Nagarjunas Wirklichkeitsbegriff

Nagarjuna war der bedeutendste buddhistische Philosoph Indiens. Nach Etienne Lamotte lebte er in der zweiten Hälfte des 3. Jahrhunderts nach Christus. (1) Seine Philosophie ist von großer Aktualität. Bis heute bestimmt sie das Denken aller Traditionen des tibetischen Buddhismus. Über seine Person haben wir wenig gesicherte Erkenntnisse, aber viele Legenden, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Allerdings gilt die Authentizität von dreizehn seiner Werke in der wissenschaftlichen Forschung als gesichert.

Um die Überprüfung und Übersetzung dieser dreizehn Werke hat sich besonders der dänische Wissenschaftler Chr. Lindtner bemüht. (2) Nagarjunas Hauptwerk, Mulamadhyamaka-Karikas, Merkverse der mittleren Lehre (abgekürzt: MMK), ist 1997 in einer anspruchsvollen deutschen Übersetzung erschienen. (3) Der Indologe Claus Oetke hat für die Übersetzung viele interessante Verbesserungsvorschläge gemacht, die von mir berücksichtigt worden sind. (4) Nagarjuna ist der Begründer der philosophischen Schule des mittleren Weges, Madhyamaka. Der mittlere Weg stellt einen spirituellen und philosophischen Weg dar, der extreme metaphysische Konzepte vermeiden möchte, ganz besonders die Konzepte des substantiellen und subjektivistischen Denkens in ihren verschiedenen Formen. In Nagarjunas Hauptwerk MMK wird der mittlere Weg folgendermaßen beschrieben: "24.18 Das Entstehen in gegenseitiger Abhängigkeit (pratītyasamutpāda), dies ist es, was wir ‚Substanzlosigkeit' (sunyata) nennen. Das ist (aber nur) ein abhängiger Begriff; gerade sie (die Substanzlosigkeit) bildet den mittleren Weg".
Nagarjunas Philosophie besteht hauptsächlich aus zwei Aspekten. Zum einen aus der Darlegung eines eigenen Wirklichkeitsbegriffs, nach dem die grundlegende Wirklichkeit keinen festen Kern hat und nicht aus unabhängigen, substantiellen Grundbausteinen, sondern aus Zwei-Körper-Systemen besteht, deren materielle oder immaterielle Körper wechselwirken. Dieser Wirklichkeitsbegriff wird einem der Schlüsselbegriffe der traditionellen Metaphysik Indiens dichotomisch entgegengestellt: svabhava [eigenes Sein]. Zum anderen aus Hinweisen auf die inneren Widersprüche von vier extremen Wirklichkeitsbegriffen, die nicht ausführlich, sondern nur in ihren Prinzipien dargestellt werden. Allerdings kann man leicht erkennen, auf welche Denkweisen sich diese Prinzipien beziehen und das ist wichtig, denn dabei geht es gerade um **unsere** extremen metaphysischen Denkweisen, die es uns nicht gestatten, die Wirklichkeit zu erkennen. Es geht nicht nur um eine Auseinandersetzung mit der traditionellen Metaphysik Indiens. Diese vier extremen Ansätze beziehe ich auf die substantiellen, subjektivistischen, holistischen und instrumentalistischen Denkweisen der modernen Welt.

Um diese Denkweisen wirkungsvoll unterlaufen zu können, muss man sie als solche erst einmal erkannt haben. Deswegen sollen sie hier ohne Vollständigkeitsanspruch in kurz gefasster Form skizziert werden:

1. Substantialismus. In Europa steht das substantielle Denken im Zentrum der traditionellen Metaphysik, von den Vorsokratikern, über Platon bis Kant. Für die traditionelle Metaphysik ist Substanz oder eigenes Sein etwas, das unveränderlich, sich selbst ewig gleich, von nichts anderem abhängig, durch sich selbst existierend ist. Substanz ist der Daseinsgrund für alles andere, die immaterielle Grundlage der Welt, in der wir leben. Unter der höchsten Substanz wurde in der traditionellen Metaphysik oft Gott oder ein göttliches Wesen verstanden. Seit Kant ist die erste Frage der Philosophie nicht mehr die nach der Wirklichkeit, sondern nach dem Geist oder nach dem Ursprung der Erkenntnis. Deshalb hat die traditionelle Metaphysik in der modernen Welt an Boden verloren. Allerdings sind die zentralen Begriffe der traditionellen Metaphysik, wie Sein, Substanz, Wirklichkeit etc. durch substantielle und reduktionistische Denkweisen moderner Naturwissenschaftler ersetzt worden: Nun sollen Atome, Elementarteilchen, Energie, Kraftfelder, Naturgesetze, Symmetrien etc. der Daseinsgrund für alles andere sein.

2. Subjektivismus. Unter einem subjektivistischen Denken verstehe ich, die durch Descartes eingeleitete Wendung zum Subjekt, d.h. die Lehre, dass das Bewusstsein das primär gegebene sei, alles andere aber Inhalt, Form oder Schöpfung des Bewusstseins. Den Höhepunkt dieses Subjektivismus stellt der Idealismus Berkeleys dar. Als gemäßigter Subjektivismus oder Idealismus dieser Art kann der Kantianismus betrachtet werden. Der Primat der Subjektivität oder des Selbstbewusstsein ist bekanntlich seit Descartes der Drehpunkt des modernen philosophischen Denkens, der ihm Evidenz und Gewissheit verschafft. Das ist von den modernen Naturwissenschaften mit ihrer mathematischen Objektivität stets bezweifelt worden. Allerdings hat dieser Zweifel nicht zu einem neuen komplementären Wirklichkeitsbegriff geführt, sondern nur zu der verhängnisvollen Trennung zwischen Philosophie und Naturwissenschaften, und den Dualismus nur noch

verschärft, der das moderne Denken noch immer in Atem hält.
3. Holismus. Der dritte Ansatz versucht dem verhängnisvollen Entweder-Oder-Schema der ersten beiden Ansätze zu entgehen, indem er die beiden Körper zu einem Ganzen fusionieren läßt, bei dem es genau genommen keine Teile mehr gibt, nur eine Identität, es ist alles eins. Das Ganze wird verabsolutiert und mystifiziert, es wird zu einer selbständigen Einheit, die unabhängig von ihren Teilen besteht. Ganzheit wird nun offenbar als etwas Konkretes verstanden, so als ob das Ganze ein Erfahrungsbegriff sei. Als eine philosophische Grundhaltung aller großen Epochen der europäischen Philosophiegeschichte ist dieser Ansatz mit den Namen Thomas von Aquin, Leibniz, und vor allem mit Schelling verbunden und durch David Bohm für die Quantenphysik vertreten.
4. Instrumentalismus. Der vierte Ansatz besteht in einer Zurückweisung oder Ignorierung der Existenz von Subjekt & Objekt. Statt den einen oder den anderen Ansatz zu bevorzugen oder beide zusammen, weist dieser metaphysische Ansatz beide zurück. Die Frage nach der Wirklichkeit ist für ihn belanglos oder sinnlos. Der Instrumentalismus ist modern, klug [beispielsweise in der Person des Philosophen Ernst Cassirers] und manchmal auch etwas spitzfindig. Es ist schwer, sich ihm zu entziehen. Er besteht darin, als eine Fortsetzung des Subjektivismus Denken als ein Denken in Modellen, als eine Informationsverarbeitung zu betrachten und sich nicht mehr wirklich darum zu kümmern, über welche Phänomene die Informationen informieren. Das ist ein Problem, das er vom Subjektivismus geerbt hat, über den der Philosoph Donald Davidson schreibt: "Hat man sich erst einmal für den cartesianischen Ausgangspunkt entschieden, weiß man - wie es scheint - nicht mehr anzugeben, wofür die Belege eigentlich Belege sind".(5).Instrumentalismus ist ein Sammelbegriff, er bezeichnet unterschiedliche wissenschaftstheoretische Auffassungen, die darin übereinkommen, menschliche Erkenntnis insgesamt oder wissenschaftliche Begriffsbildungen, Sätze und Theorien nicht bzw. nicht primär realistisch, als Wiedergabe der Struktur der Wirklichkeit, sondern als Resultat menschlicher Interaktionen mit der Natur zum Zweck

erfolgreicher theoretischer und praktischer Orientierung anzusehen. Für den Instrumentalismus sind Theorien nicht Weltbeschreibungen, sondern Instrumente zur systematischen Ordnung und Erklärung von Beobachtung und zur Prognose von Tatsachen. (6) In Kurzform wird der instrumentalistische Ansatz von dem experimentellen Physiker Anton Zeilinger wiedergegeben. Zeilinger sagt in einem Interview: "In der klassischen Physik sprechen wir von einer Welt der Dinge, die irgendwo das draußen existieren, und wir beschreiben diese Natur. In der Quantenphysik haben wir gelernt, dass wir da sehr vorsichtig sein müssen. Die Physik ist letztlich nicht die Wissenschaft über die Natur, sondern die Wissenschaft von den Aussagen über die Natur. Die Natur selbst ist immer eine geistige Konstruktion. Niels Bohr hat das einmal so gesagt: Es gibt keine Quantenwelt, es gibt nur eine quantenmechanische Beschreibung". (7)

Nagarjuna stellt diese vier extremen Wirklichkeitsbegriffe in einem Schema dar, das in Sanskrit 'catuskoti', in griechisch 'Tetralemma' genannt wird. In Kurzform könnten sie vielleicht folgendermaßen formuliert werden: Die Dinge entstehen nicht **substantiell**, 1. weder aus sich selbst heraus, 2. noch aus etwas anderem heraus, 3. nicht aus beidem, 4. aber auch nicht ohne eine Ursache. Dahinter stehen Wirklichkeitsbegriffe, die sich, wie gesagt, auf 1. substantielle, 2. subjektivistische, 3. holistische und 4. instrumentalistische Denkweisen der modernen Welt beziehen lassen. Es wird schwer sein, einen modernen Menschen zu finden, der nicht auf seine Art einen dieser vier extremen Ansätze vertritt. Das macht die Aktualität der Philosophie Nagarjunas aus. Nagarjuna hat keineswegs nur 1. das substantielle Denken zurückgewiesen, um dann 2. im Nihilismus oder Subjektivismus zu landen, wenngleich dies vielfach gegen ihn behauptet wurde. Er hat auch nicht das dualistische Entweder-Oder-Denken zurückgewiesen, um 3. bei einem Ansatz der Nondualität, des Holismus, der Identität oder der Ganzheit anzukommen, was manchmal wohlwollende Interpreten von ihm sagten. Auch hat er nicht den Holismus zurückgewiesen, um 4. beim Instrumentalismus stehen zu bleiben, wie zahlreiche moderne Interpreten

in der Nachfolge des Philosophen Ludwig Wittgensteins meinen. Denn das sind gerade die vier extremen metaphysischen Ansätzen, die von Nagarjuna systematisch zurückgewiesen werden.
Bereits der erste Vers der MMK verdeutlicht nicht nur das ganze Dilemma, sondern das ganze Tetralemma unseres Denkens, er lautet: "MMK 1.1 Nirgendwo finden sich jemals irgendwelche Dinge, seien sie aus sich selbst oder aus anderem oder aus beidem oder ohne irgend eine Ursache entstanden".(Oetkes Übersetzung)
Diesen Vers kann man als die hauptsächliche Aussage der MMK auffassen: Die Zurückweisung von vier extremen metaphysischen Ansätzen, die sich nicht mit dem abhängigen Entstehen der Dinge vereinbaren lassen. Der 'Rest' der MMK wäre dann nichts anderes, als eine Erläuterung dieses Verses. Deswegen ist eine sorgfältige Betrachtung angebracht. Was ist die Aussage dieses Verses, dass sich nichts finden läßt, dass es nichts gibt, dass nichts existiert? Wollte Nagarjuna die Außenwelt leugnen? Wollte er zurückweisen, was offensichtlich ist? Wollte er die Welt, in der wir leben, infrage stellen? Wollte er bestreiten, dass man überall irgendwelche Dinge finden kann, die irgendwie entstanden sind? Wenn ein Ding nicht aus sich selbst heraus entstanden ist, dann muss es doch aus etwas anderem entstanden sein, so könnte man einwenden, wenn man unter dem Begriff 'entstehen' das empirische Entstehen der Dinge meint. Welche Bedeutung hat der Begriff 'entstehen'? In einem anderen Text gibt Nagarjuna selber einen Hinweis zum Verständnis dieses Begriffs. Er schreibt in seinem Werk Yuktisastika (YS), 19: „Was abhängig von diesem und jenem entstanden ist, das ist nicht substantiell entstanden. Was nicht substantiell entstanden ist, wie kann man es wörtlich (nama) 'entstehen' nennen?" „39. Was aus einer Ursache entstanden ist und was ohne Bedingugen nicht dauerhaft bleibt, sondern verschwindet, wenn die Bedingungen nicht vorhanden sind, wie kann es als 'existieren' verstanden werden?"(8) Mit dem Entstehen der Dinge ist also nicht ihr empirisches, sondern ihr substantielles Entstehen gemeint. Wenn Nagarjuna an vielen anderen Stellen seines Hauptwerkes MMK sagt, die Dinge entstehen nicht (MMK 7.29), sie existieren nicht (MMK 3.7, MMK 5.8, MMK 14.6), sie sind nicht

zu finden (MMK 2.25, MMK 9.11), sie sind nicht (MMK 15.10), sie sind unwirklich(MMK 13.1), dann hat das offenbar die Bedeutung: die Dinge entstehen nicht substantiell, sie existieren nicht durch sich selbst, ihre Unabhängigkeit ist nicht zu finden, sie sind abhängig und in diesem Sinn sind sie substantiell unwirklich. Nur die Idee des substantiellen Entstehens der Dinge, nur eine absolute und unabhängige Existenz, nicht das empirische Entstehen, nicht eine empirische Existenz der Dinge werden von Nagarjuna zurückgewiesen.
Er erläutert dies in MMK 15.10: "Sagt man 'es ist', hält man an ewiger Dauer fest. Sagt man 'es ist nicht', hat man die Vorstellung des Aufhörens [der Dinge]. Deshalb möge sich der Verständige nicht auf die beiden [Ansichten], 'es ist' und 'es ist nicht', festlegen lassen". 'Es ist' hat also bei Nagarjuna die Bedeutung 'es ist substantiell'. Sein Thema ist nicht die empirische Existenz der Dinge, sondern die metaphysische Idee von einer ewigen Dauer, von einer Substanz der Dinge. Nur die Idee von einem eigenen Sein, ohne Teilhabe an etwas anderem, wird von Nagarjuna zurückgewiesen: Die Dinge entstehen nicht für sich selbst, sie existieren nicht absolut, ihr dauerhaftes Sein ist nicht zu finden, sie sind nicht unabhängig, sondern sie sind abhängig entstanden.
Wenn von zahlreichen Interpretationen Nagarjuna unterstellt wird, er weise auch die empirische Existenz der Dinge zurück, dann ist das eine unzulässige Verallgemeinerung, die Nagarjuna in die Nähe des Subjektivismus oder Instrumentalismus rückt. Solche Interpretationen sind aus metaphysischen Ansätzen entstanden, die Schwierigkeiten haben, die empirische Existenz der Gegebenheiten anzuerkennen, was bei Nagarjuna überhaupt nicht der Fall ist.
Wie belegt Nagarjuna die Abhängigkeit der Phänomene? Ausgangspunkt der MMK ist die Zweiheit der Phänomene. Diese grundlegenden Zwei-Körper-Systeme können nicht weiter zerlegt werden, sie bilden ein System von zwei materiellen oder immateriellen Komponenten, die sich ergänzen. Die eine Komponente existiert nicht ohne die andere, die eine bildet das Gegenstück der anderen. In den MMK beschäftigt sich Nagarjuna mit solchen konkreten Dualitäten, wie: Ding (dharma) & seine Bedingungen

(1. Kapitel), Geher & begangene Strecke (2. Kapitel), Seher & Sehen (3. Kapitel), Ursache & Wirkung (4. Kapitel), Kennzeichen & Zu-Kennzeichnendes (5. Kapitel), Leidenschaft & der von Leidenschaft Ergriffene (6. Kapitel), Entstehen & Ursache des Entstehens (7. Kapitel), Tat & Täter (8. Kapitel), der Sehende & das Sehen (9. Kapitel), Feuer & Brennstoff (10. Kapitel) etc.
Dadurch werden wir in das Zentrum der Philosophie Nagarjunas geführt, es besteht in seinem Wirklichkeitsbegriff. In den ersten 10 Kapiteln seines Hauptwerkes, aber auch in den weiteren, betont Nagarjuna hauptsächlich einen einzigen Gedanken, der in der Erkenntnis besteht, die beiden materiellen oder geistigen Körper eines Zwei-Körper-Systems sind nicht identisch, aber sie fallen auch nicht auseinander. Das wichtigste Kennzeichen der Phänomene ist ihre Abhängigkeit und die daraus resultierende Substanzlosigkeit, die Unmöglichkeit, einzeln und unabhängig existieren zu können. Das ist mit sunyata gemeint: die Phänomene sind ohne eigenes Sein und Unabhängigkeit, die fundamentale Wirklichkeit besteht nicht aus einzelnen, isolierten materiellen oder immateriellen Faktoren, die Phänomene entstehen nur in Abhängigkeit von anderen Phänomenen, substantiell entstehen sie nicht, denn ein abhängiges Phänomen kann nicht unabhängig sein:
Ein Ding ist nicht unabhängig von seinen Bedingungen und nicht identisch mit ihnen, ein Geher existiert nicht ohne eine begangene Strecke und er ist nicht identisch mit der begangenen Strecke, bei einem Seher gibt es weder Identität noch Verschiedenheit mit dem Sehen. Es gibt keine Ursache ohne eine Wirkung und umgekehrt. Der Begriff Ursache hat keine Bedeutung ohne seinen Gegenbegriff Wirkung. Ursache & Wirkung sind nicht eins, aber sie fallen auch nicht in zwei getrennte Begriffe auseinander. Ohne Kennzeichen können wir nicht von einem Zu-Kennzeichnenden sprechen und umgekehrt. Wie sollte es einen von Leidenschaft Ergriffenen geben, ohne Leidenschaft? Wenn es keine Ursachen des Entstehens gibt, gibt es auch kein Entstehen, für sich allein gibt es keines von beidem. Ohne Tat gibt es keinen Täter, ohne Feuer keinen Brennstoff. [Nach modernen Erkenntnissen sind Brennstoffe

bekanntlich unterschiedliche Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die nur dann, wenn sie sich mit Sauerstoff verbinden, intensive Wärme- und Lichtenergie (Feuer) abgeben. Deswegen sind Feuer & Brennstoff nicht eins, aber sie fallen auch nicht in zwei unabhängige Objekte auseinander.]
Die materiellen und geistigen Komponenten eines Zwei-Körper-Systems existieren nicht isoliert, aus sich selbst heraus, sie sind nicht identisch und sie sind nicht unabhängig von einander, deshalb sind sie nicht wirklich. Bei einem Gegensatzpaar und bei einem Begriffspaar ist die Beschaffenheit und sogar die ganze Existenz der einen Komponente von der anderen abhängig. Die eine entsteht mit der anderen, verschwindet die eine, dann verschwindet die andere mit ihr. Deswegen entstehen die Dinge nicht **substantiell**, 1. weder aus sich selbst heraus, 2. noch aus etwas anderem heraus, 3. nicht aus beidem, 4. aber auch nicht ohne eine Ursache. Die grundlegende Wirklichkeit besteht nicht aus einem festen Kern, sondern aus einem Zusammenspiel von Systemen, deren immaterielle oder materielle Körper wechselwirken.
Dieser Wirklichkeitsbegriff ist zunächst nur eine Idee, ein Hinweis auf die Wirklichkeit, die eigentlich nicht erklärt werden kann. Wer von der konzeptfreien Wirklichkeit reden kann, hat sie nicht erlebt. Das yogische Erleben der Substanzlosigkeit, die Erfahrung von sunyata & pratityasamutpada, die Erfahrung der Wirklichkeit, so wie sie ist, setzt für die buddhistische Tradition, die sich auf Nagarjuna bezieht, eine hohe spirituelle Realisierung voraus, das Aufgeben extremer Ansätze, die Auflösung des ganzen trennenden, dualistischen Denkens. Sunyata, die Substanzlosigkeit der Dinge zu erleben, heißt, frei zu werden von allen Bindungen an diese Welt, wofür Nirvana nur ein anderes Wort ist.

2. Interpretationen

Für Nagarjuna war die erste Frage seiner Philosophie nicht die nach dem Geist oder nach dem Ursprung der Erkenntnis. Dieser Subjektivismus trifft eher auf die philosophische Schule des Yogacara zu. Doch die Interpretation der wichtigsten Yogacara-Texte ist umstritten, weil sie in

einem ontologischen Sinn verstanden werden können, der die äußere Welt leugnet und somit den Standpunkt des Idealismus einnimmt, oder aber in einem erkenntnistheoretischen Sinn, als ein Modell für den erkenntnistheoretischen Prozeß, das die Art und Weise erklärt, in der die Wahrnehmung eine Projektion des Geistes ist. Was im Yogacara alayavijna, Speicherbewußtsein, im tantrischen Buddhismus klares Licht oder Mahamudra genannt wird, bezieht sich auf die glückselige **Erkenntnis** von sunyata und bei Nagarjuna auf sunyata selbst. Eine umfassende Position hat Tarab Tulku Rinpoche dazu im Jahre 2003 vertreten. Er sagte: „So we can call this basic 'energy' for a fundamental underlying 'mind-field'. This means, in accordance with Ancient Inner Science that everything existing partakes in a fundamental 'mind-field', which is the basic 'substance' from which basis mind in a more individual way and the individual body develop". „So können wir es 'Grundenergie' für ein grundlegendes 'Geistfeld' nennen. Das bedeutet, in Übereinstimmung mit der 'Alten Inneren Wissenschaft', daß alles was existiert an einem grundlegenden 'Geistfeld' teilhat, das die 'Basissubstanz' ist, von der aus sich der Geist, in einer mehr individuellen Art und der individuelle Körper entwickeln". (9)
Um zu belegen, dass Nagarjuna nicht nur von substanzlosen Konzepten spricht, sondern von substanzlosen Objekten, vergleiche ich seinen Wirklichkeitsbegriff mit dem physikalischen Wirklichkeitsbegriff der Quantenphysik, denn in der Physik geht es nicht nur um Konzepte, sondern auch um die Beschaffenheit der physischen Wirklichkeit. Unmittelbar erzeugt sie zwar nur Modelle, sie untersucht also nur Wirklichkeiten, die sie selbst herstellt, aber wir dürfen nun keineswegs so weit gehen, alle unsere Wahrnehmungen und Denkmodelle als völlig willkürlich zu betrachten: Die Konstruktionen unseres Geistes sind zwar nicht unmittelbar mit der Realität identisch, aber sie sind keineswegs zufällig und in der Regel auch nicht täuschend. [Irvin Rock, (10)] Hinter diesen Modellen sind die empirischen Objekte und annäherungsweise gibt es eine strukturelle Ähnlichkeit zwischen einem wirklichkeitsgetreuen physikalischen Modell und der ihm entsprechenden physischen

Wirklichkeit.

3. Die metaphysischen Fundamente der Quantenphysik

Vorbemerkung: Hier geht es nicht um eine Darstellung oder Kritik der Quantenphysik sondern um eine Diskussion der metaphysischen Denkfiguren, die der Quantenphysik zugrunde liegen. Der quantenphysikalische Wirklichkeitsbegriff kann durch die drei Schlüsselbegriffe dargestellt werden: **Komplementarität, Wechselwirkungen** und **Verschränkungen.** Aus Platzgründen werden Verschränkungen hier nicht erklärt. Nur der Kurzkommentar des Mathematikers Roger Penrose soll hier zu Geltung gebracht werden, weil er, wie mir scheint, ein Prinzip, eine grundlegende Struktur, herausfiltert und dabei ganz dicht am Untersuchungsgegenstand bleibt. Penrose schreibt: „Die nichtlokale Verschränkung ist eine sonderbare Angelegenheit. Es handelt sich um einen Mischzustand – die Objekte sind weder richtig getrennt noch richtig miteinander verbunden"[11].

Die Quantenphysik hat eine lange Vorgeschichte, in der experimentell nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte, ob die kleinsten Elemente des Lichts und der Materie einen Wellencharakter oder einen Teilchencharakter haben. Viele Experimente sprachen für die eine oder die andere Annahme. Elektronen & Photonen verhalten sich manchmal wie Wellen und manchmal wie Teilchen. Das wurde 'Wellen-Teilchen-Dualismus' genannt. Der Begriff 'Dualismus' wurde dabei als ein logischer Widerspruch, als kontradiktorisch verstanden, so dass nur das eine oder das andere zutreffen könne, paradoxerweise jedoch beides in Erscheinung tritt. Nach dem Konzept des Dualismus können Elektronen & Photonen nicht sowohl Teilchen als auch Wellen sein. Das sind Erwartungen, die wir mit dem Atomismus verknüpfen, denn im Sinne des Atomismus besteht eine wissenschaftliche Erklärung darin, einen wechselhaften Gegenstand auf seine beständigen Bestandteile oder aber auf seine mathematischen Gesetzmäßigkeiten zu reduzieren. Das ist dasdualistische Grundkonzept,

das der moderne Atomismus und die moderne Physik von den griechischen Naturphilosophen übernommen haben: Substanz und Beständigkeit sind nicht in den Sinnesdingen der Welt, in der wir leben, zu finden, sondern in den elementaren Bestandteilen der Dinge und in der mathematischen Ordnung, diese materiellen oder immateriellen Fundamente halten die Welt zusammen, sie verändern sich nicht, während alles andere wechselhaft ist. Nach den Erwartungen des Atomismus und der Elementarteilchenphysik müßte es möglich sein, ein Objekt auf seine **unabhängigen** Bestandteile oder mathematischen Gesetzmäßigkeiten oder einfachen Grundprinzipien zu reduzieren und nach denen müßten die grundlegende Systeme entweder Teilchen oder Wellen sein, nicht beides. Was ist unter unabhängigen Bestandteilen zu verstehen? Platon hatte zwei Formen des Seins unterschieden, er unterschied besonders im zweiten Teil des 'Parmenides', Einzeldinge, die alles, was sie sind, nur durch Teilhabe sind und insofern kein eigenes Sein haben, und Ideen, die ein eigenes Sein haben. Diese Zweiteilung hat die traditionelle Metaphysik von Platon übernommen. Ein unabhängiges, eigenes Sein bezeichnet in der traditionellen Metaphysik etwas, das als Existierendes von nichts anderem abhängig ist (Descartes), was aus sich selbst heraus existiert, durch sich selbst besteht (More), was gänzlich uneingeschränkt durch anderes und frei von jeder Art von Fremdbestimmung ist (Spinoza), das, was für sich selbst, ohne ein anderes besteht (Schelling). In dieser metaphysischen Tradition stand auch Albert Einstein, wenn er schrieb: „Wesentlich für diese Einordnung der in der Physik eingeführten Dinge erscheint ferner, dass zu einer bestimmten Zeit diese Dinge voneinander unabhängige Existenz beanspruchen, soweit diese Dinge ‚in verschiedenen Teilen des Raumes liegen'. Ohne die Annahme einer solchen Unabhängigkeit der Existenz (des ‚So-seins') der räumlich distanten Dinge voneinander, die zunächst dem Alltags-Denken entstammt, wäre physikalisches Denken in dem uns geläufigen Sinne nicht möglich".(12)

Diese Idee einer unabhängigen Realität wurde vom Atomismus und von der Elementarteilchenphysik auf die Grundbausteine der Materie projiziert. Eine wissenschaftliche Erklärung bedeutet in ihrem Sinne, die Wechselhaftigkeit und Vielfalt der Objekte und Zustände auf ihre beständigen, stabilen, unabhängigen unteilbaren Bestandteile oder mathematischen Gesetzmäßigkeiten zu reduzieren. Nach den Erwartungen des Atomismus und der Elementarteilchenphysik lassen sich alle Veränderungen der Natur als Trennung, Verbindung und Bewegung unveränderlicher, unabhängiger Atome oder noch elementarerer Bestandteile erklären. Diese oder ihre mathematischen Gesetzmäßigkeiten machen den Kern der Dinge aus, sie liegen allem zugrunde und sie halten die Welt zusammen**.** Die Frage, ob die Grundbausteine der Materie Wellen oder Teilchen sind, enthielt also einigen Zündstoff: Die traditionellen Wirklichkeitsbegriffe, die die Metaphysik der Quantenphysik zur Verfügung gestellt hatte, standen auf dem Spiel. Möglicherweise war die fundamentale Wirklichkeit nicht mit den traditionellen Wirklichkeitsbegriffen zu erfassen. Welchen Erklärungswert hat der Atomismus, wenn sich herausstellen sollte, dass es keine unabhängigen, stabilen Atome oder Elementarteilchen gibt und die Objekte keinen festen Kern haben? Waren die Objekte 1. objektiv, 2. subjektiv, 3. beides oder 4. keines von beidem? Was ist Wirklichkeit? Unterscheidet sich die Quantenwelt von der Welt, in der wir leben?

Niels Bohr. Ab dem Jahre 1927 führte der Physiker Niels Bohr den Begriff der Komplementarität in die Quantenphysik ein, nach dem das Wellenbild & das Teilchenbild nicht zwei getrennte, sich widersprechende Bilder darstellen, sondern sich gegenseitig ergänzen und nur gemeinsam eine vollständige Beschreibung der physikalischen Erscheinungen liefern. Komplementarität bedeutete für Niels Bohr, dass es in der Quantenwelt nicht möglich sei, von selbständigen, unabhängigen, objektiven Quantenobjekten zu sprechen, da diese unter einander und mit dem Messgerät in einer Wechselwirkung stehen. Bohr betonte, dass diese Wechselwirkung zwischen dem Quantenobjekt & dem Messgerät ein untrennbarer Bestandteil der Quantenobjekte sei, weil sie für das

Zustandekommen einiger wichtiger Eigenschaften der Quantenobjekte selbst eine wesentliche Rolle spielt: Bestimmte Messungen legen Elektronen oder Photonen als Teilchen fest, sie bestimmen das Verhalten der Quantenobjekte und zerstören die Interferenz, die die Quantenobjekte als Welle kennzeichnet. Andere Messungen legen sie als Welle fest. Das war der neue physikalische Wirklichkeitsbegriff Niels Bohrs. Aus der Erkenntnis, dass Quantenobjekt & Messgerät nicht getrennt werden können, zog Niels Bohr nicht die instrumentalistische Schlussfolgerung, es gäbe keine Quantenobjekte (jedenfalls dann nicht, wenn er physikalisch argumentierte, wenn er metaphysisch über die Quantenphysik sprach, dann nahm er manchmal einen instrumentalistischen Ansatz ein). (13) Physikalisch bestand für Niels Bohr die fundamentale physische Wirklichkeit aus Systemen wechselwirkender Gegensätze.

Wechselwirkungen im Standardmodell der Quantenphysik. In der Zwischenzeit hat der Begriff der Wechselwirkungen im Standardmodell der Elementarteilchenphysik Einzug gehalten. Die vier elementaren Wechselwirkungen verhindern es, die Dinge auf ihre elementaren Grundbausteine zu reduzieren, wie es Demokrit vorgeschlagen hatte. Zu den elementaren Grundbausteinen kommen die Wechselwirkungen hinzu, die Kräfte, die zwischen den Elementarteilchen wirken. Als Grundbausteine der Materie haben sich nicht einzelne, unabhängige Objekte, sondern **Zwei-Körper-Systeme** oder Mehr-Körper-Systeme, ganze Ensembles von Elementarteilchen etabliert. Zwischen ihren Komponenten wirken Wechselwirkungen, das sind Kräfte, die die Komponenten zusammenhalten. (14) Sie sind ein bestandteil dieser Komponenten. Meistens sind es Anziehungskräfte, bei den elektromagnetischen Kräften können es auch abstoßende Kräfte sein. Mann stellt sich die Wechselwirkungen zwischen den Elementarteilchen als einen Austausch von Elementarteilchen vor. Der Physiker Steven Weinberg schreibt über sie: "Heute kommen wir einer einheitlichen Sicht der Natur am nächsten, wenn wir in Begriffen von Elementarteilchen und den Wechselwirkungen zwischen ihnen denken.(...) Am bekanntesten sind Gravitation und Elektromagnetismus, die wegen ihrer großen Reichweite zur alltäglichen

Erfahrungswelt gehören. Die Gravitation hält unsere Füße auf dem Boden und die Planeten auf ihren Bahnen. Die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen Elektronen und Atomkernen ist für alle bekannten chemischen und physikalischen Eigenschaften gewöhnlicher Festkörper, Flüssigkeiten und Gase verantwortlich. Zu einer anderen Kategorie gehören die beiden Kernkräfte hinsichtlich der Reichweite wie der Vertrautheit: Die 'starke' Wechselwirkung, die Protonen und Neutronen im Atomkern zusammenhält, hat eine Reichweite von nur etwa 10^{-13} Zentimetern, so dass sie im alltäglichen Leben und selbst im Bereich eines Atoms (10^{-8} Zentimeter) völlig untergeht. Am wenigsten vertraut ist die 'schwache' Wechselwirkung, die eine so kurze Reichweite (weniger als 10^{-15} Zentimeter) besitzt und so schwach ist, dass sie wohl kaum irgendetwas zusammenhalten kann".(15) Dabei gehen die Erklärungen bis in sehr schwierige und subtile Einzelheiten hinein. Wie kann zum Beispiel ein Elektron, das nur aus einem Teil besteht, mit einem anderen Quantenobjekt wechselwirken? Welchen Teil soll es denn abgeben, wenn es nur aus einem Teil besteht? Diese Frage kann durch das Konzept der Wechselwirkungen beantwortet werden. Ein Elektron besteht nicht nur aus einem einzigen Teilchen, denn die Wechselwirkung des Elektrons ist selbst ein Teil des Elektrons. In einem Artikel über Supergravitation aus dem Jahre 1978 schreiben die Physiker Daniel Z. Freedman und Pieter van Nieuwenhuizen darüber: "Beispielsweise kann man die beobachtete Elektronenmasse als Summe aus einer ‘nackten Masse’ und der ‘Selbstenergie’ beschreiben, die auf einer Wechselwirkung des Elektrons mit seinem eigenen elektromagnetischen Feld beruht. Einzeln ist keiner dieser Anteile beobachtbar".(16)
Was die Elementarteilchenphysik über die Träger der Wechselwirkungen weiß, soll hier in einer Kurzfassung mit den Worten des Physikers Gerhard 't Hooft wiedergegeben werden. Er schreibt, "dass ein Elektron von einer **Wolke** aus virtuellen Teilchen umgeben ist, die es ständig emittiert und wieder absorbiert. Diese **Wolke** besteht nicht nur aus Photonen, sondern auch aus Paaren geladener Teilchen, beispielsweise Elektronen und ihren Anti-Teilchen, den Positronen".(...) "Auch ein Quark ist von einer **Wolke**

virtueller Teilchen umgeben, und zwar von Gluonen und Quark-Antiquark-Paaren".(17) Einzelne, isolierte, unabhängige Quarks hat man noch nie beobachtet. Dieses Phänomen wird in der neueren Forschung Confinement bezeichnet, d.h. Quarks sind Gefangene, sie können einzeln nicht auftreten, sondern nur als Paar oder als Trio. Versucht man zwei Quarks gewaltsam von einander zu trennen, entstehen zwischen ihnen neue Quarks, die sich zu Paaren oder Trios verbinden. Der Physiker Claudio Rebbi und andere berichten: "Zwischen den Quarks und Gluonen im Innern eines Elementarteilchens entstehen laufend zusätzliche Quarks und Gluonen, die nach kurzer Zeit wieder vergehen".(18) Diese **Wolke** aus virtuellen Teilchen stellen die Wechselwirkung dar oder stellen sie her. Wir sind im Zentrum der Quantenphysik angekommen, es besteht in einem neuen **physikalischen** Wirklichkeitsbegriff, der nicht mehr einzelne, unabhängige Grundbausteine als die Fundamente der Wirklichkeit ansieht, sondern Zwei-Körper-Systeme oder zwei Zustände der Quantenobjekte oder zwei Begriffe, wie Erde & Mond, Proton & Elektron, Proton & Neutron, Quark & Antiquark, Welle & Messgerät, Teilchen & Messgerät, Zwillingsphotonen, Superpositionen, Spin-up & Spin-down, Materie & Antimaterie, Elementarteilchen & Kraftfeld, Naturgesetz & Materie, Symmetrie & Antisymmetrie etc. Diese Systeme fallen nicht auseinander, sie lassen sich nicht auf zwei getrennte, unabhängige Körper oder Zustände reduzieren, von denen der eine grundlegend und der andere abgeleitet sein soll, wie es das metaphysische Entweder-Oder-Schema des Substantialismus & Subjektivismus versucht. Sie sind zusammen auch keine nahtlose Einheit, sie sind nicht dasselbe, sie sind nicht identisch, sie sind nicht ein mysteriöses Ganzes, wie der Holismus meint. Auch kann man nicht behaupten, sie seien einfach nichts als mathematische Modelle, die wir konstruieren und denen keine physische Realität entspricht, was vom Instrumentalismus ausgesagt wird. Genau die letzte Behauptung stellt z. B. Stephen Hawking auf, obwohl er sich selbst nicht als Instrumentalist, sondern als Positivist bezeichnet. Er sagt in einer Diskussion mit Roger Penrose: "Ich dagegen bin Positivist – ich glaube, dass physikalische

Theorien lediglich von uns konstruierte mathematische Modelle sind und dass es sinnlos ist, danach zu fragen, ob sie der Wirklichkeit entsprechen, allenfalls, ob sie Beobachtungen vorhersagen können".(19) Es ist nicht sinnlos, nach einer Entsprechung von Modell & Objekt zu fragen, denn wenn ein Denkmodell richtig ist, hat es strukturelle Ähnlichkeiten mit den Gegebenheiten, die es rekonstruiert, andernfalls kann es zu Voraussagen führen, für die es keine sinnvolle physikalische Deutungen gibt, weil sie nicht der Wirklichkeit entsprechen können.
Physikalisch ist eine grundlegende Wirklichkeit kein Ein-Körper-System, sondern ein Zwei-Körper-System oder ein Ensemble von Körpern, eine Wolke aus virtuellen Teilchen, von der die Körper umgeben sind. Zwischen diesen Körpern gibt es eine Wechselwirkung, die ein Bestandteil dieser Körper ist. An dieser physikalischen Erkenntnis ist nicht zu rütteln und doch sträuben sich unsere ganzen metaphysischen Schemata dagegen. Diese Wolke entspricht nicht unseren traditionellen metaphysischen Erwartungen von allem, was Stabilität, Substanz, Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Ordnung darstellen und grundlegend sein soll. Wie können Wolken das sein, was wir gewohnt sind, die Grundbausteine der Materie zu nennen? Wie kann dieses kleine vibrierende Etwas das sein, nach dem ganze Generationen von Philosophen und Physikern gesucht hatten, um auf den Kern der Dinge oder auf eine letzte Wirklichkeit zu stoßen? Soll das alles gewesen sein? Aus diesen kleinen Wolken wollen wir durch eine metaphysische Interpretation etwas herausfiltern, das Bestand hat, das bleibt. Ganz im Sinne der Substanzmetaphysik Platons nannte Werner Heisenberg die mathematischen Formen die Ideen der Elementarteilchen, denen das Objekt der Elementarteilchen entsprich. Carl Friedrich von Weizsäcker nannte Mathematik das Wesen der Natur, für den Physiker Herwig Schopper sind Kraftfelder die letzte Wirklichkeit oder wir wollen sie als ein mysteriöses Ganzes betrachten (Holismus) oder sie als eine Konstruktion abtun, der überhaupt keine empirische Realität zukommt (Instrumentalismus). Und das alles nur deswegen, weil wir nicht leicht zugeben wollen, dass den komplexen Wechselwirkungen der Welt, in der wir leben, eine Wirklichkeit zugrunde liegt, die ihrerseits eine

komplexe Wirklichkeit ist. Es ist unmöglich, aus dem Ereignisgeflecht, das wir 'Welt' oder 'komplexes System' nennen, herauszukommen, es ist unmöglich ein elementares Quantenobjekt zu finden, das nicht von anderen Quantenobjekten oder aber von seinen eigenen Teilen abhängig ist, es ist unmöglich die Zweiheit der Quantenzustände aufzulösen. Die grundlegende physische Wirklichkeit besteht aus Wolken wechselwirkender Quantenobjekte.

4. Ergebnis

Wirklichkeit ist nichts Statisches, Festes, Unabhängiges, sie besteht überhaupt nicht aus einzelnen, isolierten materiellen oder immateriellen Faktoren, sondern aus Systemen abhängiger Körper. Die meisten Systeme bestehen aus mehr als zwei Körpern, aber es gibt keine Systeme, die aus weniger als zwei Körpern bestehen. In der Quantenphysik werden solche grundlegenden Zwei-Körper-Systeme Erde & Mond, Elektron & Positron, Quark & Antiquark, Elementarteilchen & Kraftfeld genannt. Nagarjuna nennt seine Systeme Geher & begangene Strecke, Feuer & Brennstoff, Tat & Täter, Seher & Sehen. **Beide Modelle beschreiben Zwei-Körper-Systeme, deren Körper weder richtig getrennt noch richtig miteinander verbunden sind, weder fallen sie zusammen, noch auseinander.** Die Körper sind nicht unabhängig, nicht selbständig und sie können einzeln nicht beobachtet werden, weil sie in ihrer Existenz und Beschaffenheit von einander abhängig sind und nicht unabhängig von einander existieren und funktionieren können. Sie werden durch eine Wechselwirkung zusammengehalten. Der eine Körper kann nicht auf den anderen reduziert werden, der eine lässt sich nicht durch den anderen erklären, die Körper sind nicht identisch miteinander. Die Systeme haben eine fragile Stabilität, die auf manchmal bekannten, manchmal noch nicht vollständig bekannten und manchmal (wie zum Beispiel bei Zwillingsphotonen) vollkommen unbekannten Wechselwirkungen und gegenseitigen Abhängigkeiten ihrer Komponenten beruht.
Was ist Wirklichkeit? Wir sind daran gewöhnt, festen Boden unter den

Füßen zu haben und flüchtige Wolken am Himmel zu sehen. Der Wirklichkeitsbegriff der Philosophie Nagarjunas und die physikalischen Begriffe der Komplementarität. der Wechselwirkungen und der Verschränkungen in der Quantenphysik lehren uns etwas anderes, das man metaphorisch so ausdrücken kann: Es ist alles auf Sand gebaut und noch nicht einmal die Sandkörner haben einen festen Kern, ihre Stabilität basiert auf der instabilen Wechselwirkung ihrer Bestandteile.

Anmerkungen

(1) Etienne Lamotte, Traité de la Grande Vertu de Sagesse de Nagarjuna, Tome I-V, Louvain 1944 ff, Tome III, p. IX
(2) Vgl. Chr. Lindtner, Nagarjuniana, Copenhagen 1982. Die neuere Forschung hat jedoch einige Zweifel an der Authentizität einiger dieser 13 Werke zum Ausdruck gebracht. Vgl. beispielsweise Tilmann Vetter, On the Authenticity of the Ratnavali, in: Asiatische Studien XLVI (1992), S.492-506
(3) Vgl. Nagarjuna, Die Philosophie der Leere, Nagarjunas Mulamadhyamaka-Karikas, Bernhard Weber-Brosamer/Dieter M. Back (Hg.), Wiesbaden 1997 (abgekürzt: MMK).
(4) Vgl. Claus Oetke, Materialien zur Übersetzung und Interpretation der Mulamadhyamakakarikas, Reinbek 2001
(5) Donald Davidson, Der Mythos des Subjektiven, Stuttgart 1993, S. 90
(6) Vgl. Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, 4 Bände, Jürgen Mittelstraß (Hg.), Stuttgart, Weimar 1980 ff, Bd. 2, S. 252 f
(7) Anton Zeilinger in einem Interview mit dem Tagesspiegel vom 20. Dezember 1999
(8) Chr. Lindtner, op.cit., S. 109, 113, 119
(9) Vgl. Geshe Rabten, Mahamudra, Le Mont-Pèlerin 2002, S. 255. Siehe Tarab Tulku Rinpoche, UD-Newsletter Nr. 4, January 2005. Vgl. Damien Keown, Lexikon des Busshismus, Düsseldorf 2003
(10) Vgl. Irvin Rock, Wahrnehmung: vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen, Heidelberg, Berlin, Spektrim Akad. Verlag, 1998, S. 3

(11) Roger Penrose, Das Große, das Kleine und der menschliche Geist, Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin, 2000, S. 89
(12) Albert Einstein, Quanten-Mechanik und Wirklichkeit, Dialectika 2, 320-
324, S. 321, in: Jürgen Audretsch (Hg.), Verschränkte Welt, Weinheim 2002, S. 198
(13) Niels Bohr interpretierte die Quantenphysik manchmal instrumentalistisch. So sagte er beispielsweise auf der berühmten Solvay Conference im Jahre 1927: "I do not know what quantum mechanics is. I think we are dealing with some mathematical methods which are adequate for description of our experiments".[Niels Bohr, Collected Works, Volume 6, North-Holland, Amsterdam, New York, Oxford, Tokyo 1985, p. 103] Offenbar hat er nicht immer einen instrumentalistischen Ansatz vertreten. Nach Ulrich Röseberg hielt Bohr in seinen späteren Jahren Mikroobjekte für real existierende Objekte. Vgl. Ulrich Röseberg, Niels Bohr, Heidelberg, Berlin, New York 1992, S. 163. Ein Beispiel dafür ist Niels Bohrs Buch, Atomphysik und menschliche Erkenntnis, in dem von atomaren Objekten, nicht nur von mathematischen Konzepten die Rede ist.
(14) Den Begriff von **Zwei-Körper-Systemen,** die nicht in unabhängige Grundbausteine zerlegt werden können, übernehme ich von den Elementarteilchenphysikern Elliot D. Bloom und Gary J. Feldman. Sie schreiben: "Die Grundkräfte der Natur lassen sich am besten untersuchen, wenn man möglichst einfache physikalische Systeme beobachtet, insbesondere zwei Körper, die durch gegenseitige Anziehungskräfte aneinander gebunden sind. Beispielsweise bieten sich Erde und Mond als nächstliegendes Anschauungsobjekt für die Wirkungsweise der Gravitation an. Für die Theorie des Elektromagnetismus eignet sich das Wasserstoffatom als Modellsystem, weil es durch die Anziehungskräfte zwischen Proton und Elektron zusammengehalten wird. Natürlich gibt es auch für die Kernkräfte ein einfaches Zwei-Körper-Teilchen; das Deuteron, ein schwerer Wasserstoffkern aus einem Proton und einem Neutron. Was die Materie im innersten zusammenhält, nämlich die Kräfte zwischen den

Bausteinen der Protonen, Neutronen und vieler anderer Teilchen, lässt sich ebenfalls an einem Zwei-Körper-System untersuchen. Denn auch die kleinsten Materiebausteine, die Quarks, können sich zu einer Art Atomium zusammentun – man nennt dieses System Quarkonium. Es besteht aus einem schweren Quark, das an ein Antiquark gleicher Masse gebunden ist. Zwischen beiden Quarks wirken Kräfte, die stärker sind als alles, was wir bisher kennen: Sie heißen Farbkräfte, weil sie mit einer Quarkeigenschaft einhergehen, die man als Farbe oder Farbladung bezeichnet".(Elliot D. Bloom und Gary J. Feldman, Quarkonium: 'Atome' der kleinsten Materiebausteine, in: Teilchen, Felder und Symmetrien, mit einer Einführung von Hans Günther Dosch, Spektrum, Heidelberg 1995, S. 102)

(15) Steven Weinberg, Vereinheitlichte Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung, in: Quantenobjekt, Felder und Symmetrien, mit einer Einführung von Hans Günter Dosch, Spektrum, Heidelberg 1995, S. 14

(16) Daniel Z. Freedman/Pieter Nieuwenhuizen, Supergravitation und die Einheit der Naturgesetze, in: Quantenobjekt Felder und Symmetrien, op.cit., S 154

(17) Gerhard 't Hooft, Symmetrien in der Physik der Elementarteilchen, in: Teilchen, Felder und Symmetrien, op.cit., S. 42, 56

(18) Zitiert in: Rainer Scharf, Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 05. 09. 2001

(19) Stephen Hawking, Einwände eines schamlosen Reduktionisten, in: Roger Penrose, Das Große, das Kleine und der menschliche Geist, Heidelberg, Berlin 2002, S. 211