

Leipziger Beiträge zur Informatik: Band XXXII

**MINT – Zukunft schaffen.
Innovation und Arbeit in der
modernen Gesellschaft**

MINT – Zukunft schaffen.

Innovation und Arbeit in der modernen Gesellschaft

Hans-Gert Gräbe, Ingo Groepler-Roeser (Hrsg.) – Leipzig, 2012.

Reihe Leipziger Beiträge zur Informatik; Band XXXII

ISBN 978-3-941608-19-1

Veröffentlicht als Open-Access-Publikation im Rahmen von Qucosa

<http://qucosa.de> unter der URN [urn:nbn:de:bsz:15-qucosa-81933](http://nbn:de:bsz:15-qucosa-81933).

Bezug gedruckter Exemplare über den *Leipziger Informatik-Verbund*

<http://liv.uni-leipzig.de>.



Das Copyright der Texte liegt bei den Autoren. Die Texte können unter den Bedingungen der CC-BY 3.0 frei verwendet werden.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/de>

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Herausgeber	3
Vorwort des Sprechers des Leipziger Informatikverbunds LIV	5
Grußwort aus der Bundesgeschäftsstelle „MINT – Zukunft schaffen“ ...	7
Hubert Laitko: Der Wandel des wissenschaftlichen Denkens und die Entwicklung der Menschheit. Tendenzen der letzten 400 Jahre	11
Ken Pierre Kleemann: Vier Anmerkungen zu Laitkos Text	27
Rainer Thiel: MINT und die Entwicklung der Menschengesellschaft. Ein Plädoyer gegen das Ziegelstein-Denken. Gibt es Alternativen?	37
Florian Krahmer: Creative Industries – Industrie im postindustriellen Zeitalter	65
Hans-Gert Gräbe: Anmerkungen zu Rainer Thiels Autobiografie <i>Neugier, Liebe, Revolution</i>	75
Rainer Thiel: Erfinderschulen der DDR – Silbernes fürs ganze Deutschland	83
Hans-Gert Gräbe: Die Leipziger Gespräche zum digitalen Wandel. Rückblick auf die Debatten im Jahr 2011	99
Hans-Gert Gräbe: Wie der kleine Philosoph die Welt veränderte. Eine Variation auf die 11. Feuerbachthese	109
Zu den Autoren dieses Sammelbandes	127

Der Wandel des wissenschaftlichen Denkens und die Entwicklung der Menschheit. Tendenzen der letzten 400 Jahre

von Hubert Laitko, Berlin

Der folgende Text ist die überarbeitete Version eines schriftlichen Beitrags zur Konferenz des *International Network of Scientists and Engineers for Global Responsibility* (INES) in Stockholm im Juni 2000.

Peter J. Bowler, der 1992 erstmals eine übergreifende Geschichte aller mit den verschiedenen Aspekten unserer natürlichen Umwelt befassten Wissenschaftsgebiete von der Geologie und Geochemie bis zur Biologie und Ökologie publizierte, bemerkte im Vorwort, der Gegenstand seiner Untersuchung sei zu betrachten in Bezug auf die „sich wandelnde Haltung der westlichen Zivilisation zu Umweltfragen. ... Die Wissenschaft scheint dabei oft Teil des Problems zu sein: Ihre professionelle Fragmentierung verkörpert den materialistischen Trend im modernen Denken, den Wunsch, die Natur selbst in separate Einheiten zu zerlegen, von denen eine jede isoliert untersucht und um kurzfristigen Nutzens willen ausgebeutet werden kann“. Zum Ende des 20. Jahrhunderts hin sah Bowles nicht nur philosophische oder epistemologische, sondern vor allem praktische Gründe, „ein Verständnis für die Einheit der Natur wiederzubeleben“, das die Wissenschaftler veranlassen möge, „ihre Neigung, alles zu zergliedern, zu überdenken“. Der historische Überblick möge „die Hoffnung bestärken, dass eine neue, verantwortungsvollere Wissenschaft von der Umwelt nicht durch die Natur der Wissenschaft selbst unmöglich gemacht wird“¹.

¹ P. J. Bowles: *The Fontana History of the Environmental Sciences*. London 1992, pp. XIV–XV.

Bowles' Aussage trifft den Kern der Sache: Wissenschaft² als wichtigstes und effektivstes Mittel zur Erforschung der globalen Probleme der menschlichen Existenz und zur Erkundung sinnvoller Wege zu ihrer Meisterung ist zur gleichen Zeit Teil eben jener Probleme, die zu lösen sie angetreten ist. Das kann als ein äußerer, sichtbarer Ausdruck einer unsichtbaren, tief verwurzelten Dualität angesehen werden, welche die moderne Wissenschaft als eine Form menschlicher Tätigkeit charakterisiert. In epistemologischen Termini, jenseits ethischer Implikationen, können wir dies als Gegensatz von analytischem und synthetischem Vorgehen beschreiben. Natürlich ist die moderne Wissenschaft ein gewichtiges Mittel sowohl der Synthese als auch der Analyse, und die Geschichte der Wissenschaften kennt viele große synthetische Theorien, von Newtons Mechanik bis zu Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie. Dennoch gibt es keine Symmetrie zwischen analytischen und synthetischen Aspekten im wissenschaftlichen Fortschritt. Gewöhnlich dominiert die analytische Seite, die mehr und mehr verfeinerte Aufgliederung der Realität. Bevor eine große theoretische Synthese – in einem wissenschaftlichen und nicht in einem spekulativen Verständnis – erfolgreich sein kann, muss eine Vielzahl von Daten produziert werden, und die Produktion von Daten ist hauptsächlich mit aktiver Einwirkung auf die Natur verbunden. Dasselbe gilt, nur in viel größerem Umfang, für die Anwendung wissenschaftlicher Ergebnisse zu praktischen Zwecken. Sicher, die Beziehung zwischen theoretischer Synthese und Datenproduktion ist keine Einbahnstraße – tragfähige Theorien eröffnen neue Möglichkeiten für die Erforschung der Natur –, dennoch sind die größten Anstrengungen auf die Produktion von Daten gerichtet, welche den jeweils verfügbaren theoretischen Rahmen überschreiten und so den wissenschaftlichen Fortschritt in Bewegung halten. Die vorherrschende analytische Einstellung der Wissenschaft – vor einem kulturellen und sozialen Hintergrund, der die Natur als ein vom Menschen zu beherrschendes und für menschliche Zwecke auszubeutendes Objekt betrachtet – mag erklären, warum die Wissenschaft für die heutigen globalen Risiken und Unwägbarkeiten zumindest teilweise verantwortlich ist.

Das wohl auffälligste Merkmal der modernen Wissenschaft ist deren unaufhaltsames Wachstum, das mit dem unbegrenzten Wachstum der Wirtschaft korrespondiert; dieses Wachstum wird weithin als eine unverzichtbare Voraussetzung für ein gutes und lebenswertes Dasein aller Bewohner unseres Planeten betrachtet und erzeugt dennoch in ständig wachsendem Ausmaß große soziale Ungleichheiten. Unaufhörlich wächst der Bestand des Wissens, über das die Wissenschaft verfügt,

² In dieser Skizze wird „Wissenschaft“ als deutsches Äquivalent des englischen Terminus „science“ verstanden. Mit dieser Festlegung wird hier von den Schwierigkeiten abgesehen, die daraus resultieren, dass im deutschen Sprachgebrauch grundsätzlich auch die „humanities“ unter „Wissenschaft“ subsumiert werden und daher ein anspruchsvoller Wissenschaftsbegriff die innere Einheit dieser signifikant unterschiedenen Felder zum Ausdruck bringen müsste.

und es wachsen auch – im Durchschnitt, nicht unbedingt überall und immerzu – Input, Ausmaß und Output wissenschaftlicher Aktivitäten. Die meisten Charakteristika der modernen Wissenschaft sind heute soziale Massenphänomene – die Zahl der Studenten und Wissenschaftler, die Zahl der Universitäten und Forschungseinrichtungen, die Zahl der Zeitschriften, Aufsätze, Zitate, Querverweise und so weiter – und spannen ein Feld von Statistiken auf, in denen sich der Einzelne aufzulösen scheint. Die Ambivalenz der Wissenschaft führt dazu, dass mit dem wachsenden Umfang ihrer Errungenschaften auch die sozialen Risiken zunehmen und neue Qualitäten erreichen³. In den 30er Jahren entwickelte der bekannte britische Kristallograph John D. Bernal – alarmiert von den Auswirkungen der Großen Depression auf die Wissenschaft wie auch von den enger werdenden Verflechtungen zwischen Wissenschaft und Militär am Vorabend des zweiten Weltkriegs – die Idee, dass ein so mächtiger Akteur wie die moderne Wissenschaft einer bewussten Kontrolle durch die menschliche Gesellschaft unterworfen werden müsse, an der Wissenschaftler mit sozialem Verantwortungsbewusstsein mitwirken, und dass es dazu einer „Wissenschaft von der Wissenschaft“ („science of science“) bedürfe, welche die Wissenschaft mit all ihren Vorzügen und Gefahren mit Hilfe ihrer eigenen Mittel untersucht. Genauer gesagt, war Bernal eher der hochbegabte Sprecher einer breiten Bewegung unter den zeitgenössischen Wissenschaftlern als der alleinige Schöpfer einer neuen Forschungsrichtung, aber er war der Autor der ersten umfassenden Monographie zu diesem Gebiet⁴ – eines klassischen Werks, das leider durch den Krieg um seine verdiente Wirkung kam. 25 Jahre später gaben Maurice Goldsmith und Alan Mackay einen Jubiläumsband heraus⁵, der auch einen Beitrag von Bernal selbst enthielt; in diesem Aufsatz betonte er die Notwendigkeit einer verantwortungsvollen Forschungsstrategie, die auf einer Wissenschaft von der Wissenschaft basiert, und er charakterisierte das Aufkommen dieser Forschungsrichtung als eine wahrhaft sensationelle wissenschaftliche Innovation in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Das Projekt einer Wissenschaftswissenschaft war ethisch und politisch konnotiert und führte zur Institutionalisierung von „science policy studies“⁶.

³ Radioaktivität von Becquerel bis Tschernobyl. Fortschritte – Risiken – Fehlbeurteilungen. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 17 und 18. Berlin 1997; L. Daston: The Vertigo of Scientific Progress. MPI für Wissenschaftsgeschichte. Preprint 21. Berlin 1995.

⁴ J. D. Bernal: The Social Function of Science. London 1939; Deutsche Ausgabe: J. D. Bernal: Die soziale Funktion der Wissenschaft. Hrsg. von H. Steiner. Berlin 1986; Zu den historischen Details vgl. die biographische Einführung des Herausgebers: H. Steiner: John Desmond Bernal (1901–1971). In: Ebd., S. XV–XLII.

⁵ The science of science. Society in the technological age. Hrsg. von M. Goldsmith und A. Mackay. London 1964.

⁶ Vergleiche dazu etwa die Aufsätze im dritten Abschnitt *Wissenschaft von der Wissenschaft und Wissenschaftspolitik* in dem von Helmut Steiner herausgegebenen Jubiläumsband: 1939 – J. D. Bernals The Social Function of Science – 1989. Berlin 1989, S. 320–455; In den 70er Jahren

Allerdings war das Endergebnis insgesamt eher entmutigend. In den Jahrzehnten der Systemkonfrontation und des Wettbewerbs zwischen Ost und West florierte die Wissenschaftswissenschaft in beiden konkurrierenden politischen Systemen, aber der Kollaps der Sowjetunion und ihrer Satelliten war von einem merklichen Rückgang des Interesses an der Wissenschaftsforschung und des Engagements für sie begleitet – ein irritierendes Faktum angesichts der allgemeinen Überzeugung, dass wir an der Schwelle einer „Informationsgesellschaft“ oder „Wissensgesellschaft“ stünden, die ja gewöhnlich mit dem Gedanken einer wachsenden sozialen Wirksamkeit und Wertschätzung der Wissenschaft assoziiert wird. Es kann nicht bestritten werden, dass Bernals Voraussage nicht eingetroffen ist – vorausgesetzt, er hätte sie selbst als eine Voraussage von Dingen gemeint, die kommen werden. Mir erscheint die Annahme logischer, dass er seine Aussagen eher als einen Appell an die Gesellschaft im Allgemeinen und an die weltweite Gemeinschaft der Wissenschaftler im Besonderen verstanden wissen wollte. Dann müssen wir mehr als 50 Jahre nach dem Erscheinen seines Buches *The Social Function of Science* freilich feststellen, dass sein eindringlicher Appell sowohl innerhalb der Wissenschaftlergemeinschaft als auch in der heutigen Wissenschaftspolitik unverzeihlich unterschätzt und vernachlässigt wird.

Das Faktum, dass die wissenschaftliche Erkenntnis ständig voranschreitet, auch wenn die Wachstumsmuster für verschiedene Indikatoren und auf verschiedenen Wissenschaftsgebieten sehr unterschiedlich sind⁷, kann als eine Art Fundamentalkonstante in einem Abschnitt der menschlichen Geschichte gesehen werden, der eher durch das Fehlen großer und zündender Ideen über die Zukunft der Menschheit charakterisiert und durch ein diffuses, weit verbreitetes Gefühl von Unsicherheit und Ungewissheit über die möglichen Konsequenzen der Globalisierung geprägt ist. In ihren fortgeschrittensten Bereichen hat die Produktion wissenschaftlicher Ergebnisse bereits einen Rhythmus und eine Stabilität erreicht, die mit dem technologischen Regime einer automatisierten Fabrik verglichen werden kann, eindrucksvoll illustriert durch die atemberaubende Geschwindigkeit der Entschlüsselung menschlicher DNA-Sequenzen im Human Genome Project⁸. Im 19. Jahrhundert wurde der solide Gang des wissenschaftlichen Fortschritts noch als ein im Wesentlichen unproblematischer Wert wahrgenommen, als Garant einer aufgeklärten Zukunft in Frieden, Gerechtigkeit und Wohlstand. Sozialistische Be-

setzten sich anstelle von „science of science“ mehr und mehr die Bezeichnung „science research“ durch. Im Deutschen wurden die sprachlich schwerfälligen Prägungen „Wissenschaft von der Wissenschaft“ oder „Wissenschaftswissenschaft“ sukzessiv durch „Wissenschaftsforschung“ ersetzt.

⁷ R. Wagner-Döbler: Wachstumszyklen technisch-wissenschaftlicher Kreativität. Eine quantitative Studie unter besonderer Beachtung der Mathematik. Frankfurt/M. und New York 1997.

⁸ J. Davis: Mapping the Code. The Human Genome Project and the Choices of Modern Science. New York 1990.

wegungen betrachteten die Wissenschaft oft als ihren natürlichen Verbündeten⁹; es war ein Allgemeinplatz, den mit Darwins Evolutionstheorie als zwangsläufig betrachteten Fortschritt in der lebenden Natur mit progressiven Veränderungen in der menschlichen Gesellschaft zu verbinden, bewirkt durch wissenschaftlich instruierte stetige Evolution oder gar durch radikale revolutionäre Überwindung der bestehenden politischen und ökonomischen Strukturen. Selbst die wachsenden Destruktionspotenziale moderner Waffensysteme als eine Konsequenz wissenschaftsbasierter Aufrüstung wurden in das durchweg optimistische Bild einbezogen. Alfred Nobel, der eine Kategorie des berühmten, aus seinem Erbe finanzierten Preises für Friedensaktivitäten bestimmte, war fest davon überzeugt, dass die Entwicklung von immer schrecklicheren Waffen mögliche Aggressoren zügeln und so einen stabilen Frieden sichern würde. So sagte Nobel 1892 zu Bertha von Suttner, dass seine Fabriken wahrscheinlich eher als ihre Kongresse die Zeit der Kriege beenden würden: Wenn zwei Armeekorps in der Lage wären, sich gegenseitig in einer einzigen Sekunde zu vernichten, würden alle zivilisierten Nationen abrüsten und sogleich alle ihre Truppen auflösen¹⁰. Dieses Argument wurde immer wieder – aber ohne Nobels aufrichtigen Glauben – verwendet, um das Wettrüsten im 20. Jahrhundert zu rechtfertigen. Noch nach dem zweiten Weltkrieg, als sich die Wissenschaftler über die verheerenden Wirkungen von chemischen, biologischen und nuklearen Waffen voll im Klaren waren, einflussreiche Bewegungen für Frieden und Abrüstung initiierten und das Ende oder wenigstens eine strikte Kontrolle aller militärischen Forschung und Entwicklung einforderten, galt als allgemeine Überzeugung, dass die freie und immer weiter wachsende zivile Nutzung der Wissenschaft eine Zukunft im Glück und im Überfluss materieller und ideeller Güter für alle Menschen garantieren würde, wenn nur der Missbrauch der Wissenschaft für militärische Zwecke gebannt werden könnte. Das „friedliche Atom“, das in Kraftwerken überall auf der Erde rastlos tätig ist, würde Energie für jedermann in einem solchen Überfluss produzieren, dass frühere Ungleichheiten in der Verteilung des Reichtums fast bedeutungslos würden; davon waren selbst kritische Wissenschaftler überzeugt.

Wir mussten erst die Berichte an den Club of Rome in den frühen 70ern lesen und die Erfahrung einer Reihe von Katastrophen mit wissenschaftsbasierten Technologien machen, kulminierend in der Tschernobyl-Katastrophe 1986, um zu verstehen, dass es für die Bewältigung der fundamentalen Probleme der Beziehungen zwischen moderner Wissenschaft und heutiger Gesellschaft noch keineswegs ausreichend wäre, wenn es gelänge, die Anwendungen der Wissenschaft allein auf friedliche Zwecke zu beschränken. Zwischen Gebrauch und Missbrauch von Wis-

⁹ W. Lefèvre: Darwin, Marx und der garantierte Fortschritt. Materialismus und Entwicklungsdanken im 19. Jahrhundert. MPI für Wissenschaftsgeschichte. Preprint 89. Berlin 1998.

¹⁰ Siehe H. Kant: Alfred Nobel. Leipzig 1983, S. 94.

senschaft zu unterscheiden – so weit das überhaupt möglich ist in einer Zeit, wo mehr und mehr Produkte und Technologien für einen „dual use“ geeignet sind – ist wichtig, aber das ist nicht mehr als die Spitze des Eisbergs, weil auch nutzbringender Gebrauch der Wissenschaft unvermeidbar mit Ambivalenzen belastet ist.

Seither wird das fortgesetzte Wachstum nicht mehr nur als Verheißung wahrgenommen wie in der Vergangenheit, sondern gleichzeitig auch als ein Risiko und eine Herausforderung. Oft scheint es, als wären wir einem unentrinnbaren „Sachzwang“ ausgeliefert, den wir wie ein Naturgesetz hinnehmen und an den wir uns irgendwie anpassen müssen. Kein einziges Moratorium für öffentlich kritisierte Forschungsrichtungen scheint zu greifen. „There is no alternative“ – fast ein Jahrhundert nach dem Zusammenbruch des klassischen Determinismus im Weltbild der Physik gehört diese Phrase zu den von Politikern meistgebrauchten Slogans, wenn sie über die Zukunft reden. Das Ringen um Prioritäten, die Härte des Wettbewerbs, die Jagd nach Profit versprechenden Talenten (ein aufschlussreiches Beispiel war die sogenannte Greencard-Aktion für IT-Spezialisten in Deutschland) verlaufen intensiver als je zuvor. Die Voraussetzungen, die entstandene Situation zu meistern, sind eher schlecht, jedenfalls schlechter als in den 70ern und 80ern, als das Projekt der Wissenschaftswissenschaft noch florierte.

Dennoch hält die vergangene Periode der Systemkonfrontation eine wichtige historische Lehre bereit. Die Art von Quantenphysik etwa, wie sie von Vladimir A. Fok in Leningrad oder von Chandrasekhara V. Raman in New Delhi betrieben wurde, war nicht sehr verschieden von jener, über die man in Werner Heisenbergs Büchern oder in den berühmten Vorlesungen von Richard Feynman lesen konnte – aber der soziale Kontext der wissenschaftlichen Arbeit in den verschiedenen Teilen der Welt war signifikant unterschiedlich, und so waren es auch die sozialen Implikationen der Wissenschaft. Mit anderen Worten: ein und dieselbe Wissenschaft enthält offensichtlich alternative und sogar gegensätzliche Möglichkeiten, und konkurrierende Gesellschaften können – aus einer epistemologischen Perspektive gesehen – als experimentelle Anordnungen aufgefasst werden, die von der Geschichte erzeugt worden sind, um die in der Wissenschaft selbst enthaltenen Alternativen auszuloten. Mögliche alternative Pfade der Wissenschaftsentwicklung sollten wir auch in homogenen Gesellschaftstypen wie den westlichen kapitalistischen Demokratien erwarten, wengleich diese unter der Decke scheinbar unveränderlicher Trends verborgen sind.

Eine ähnliche Lehre vermittelt die Geschichte der Wissenschaft. Viele Wissenschaftler glauben, dass Entwicklungsform, Wachstumsmuster und die allgemeinen Denkweisen (wissenschaftliche Rationalität) der Wissenschaft stets dieselben geblieben wären und allein die Genauigkeit unseres Wissens, das Quantum der ge-

sicherten Resultate, das Ausmaß der wissenschaftlichen Aktivitäten und die Geschwindigkeit ihres Wachstums deutlich geändert zugenommen hätten. Als Derek J. de Solla Price begann, Wachstumsprozesse in der Wissenschaft mit quantitativen und dabei vor allem statistischen Methoden zu studieren (der Anfang der später so genannten Scientometrie), fand er für verschiedene von ihm benutzte Indikatoren (Zahl der Publikationen, der Wissenschaftler, der Universitäten usw.) erstaunlich stabile Wachstumsmuster, die kaum von Kriegen oder Krisen berührt wurden und durch einfache mathematische Funktionen (Modelle mit exponentiellem Wachstum und Sättigung) angenähert werden konnten. Psychologisch betrachtet, erfuhren die Menschen die Transformation von der „kleinen“ zur „großen“ Wissenschaft im späten 19. und frühen 20. Jahrhundert als eine Art Explosion, als einen plötzlichen Wechsel von einer Qualität der Wissenschaft zu einer anderen, aber Price erklärt diesen Eindruck aus der Unmittelbarkeit, mit der Wachstumsphänomene situativ wahrgenommen werden, obwohl sie dem gleichen Wachstumsgesetz gehorchen, das auch schon zuvor gegolten hatte.

Reguläre Zeitreihen von Wachstumsindikatoren der Wissenschaft konnte Price bis in das 17. Jahrhundert zurückverfolgen. In dieser Periode scheint eine Art von Singularität in der Entwicklung der Wissenschaft vorzuliegen. Hier treffen sich die Ergebnisse der quantitativen Untersuchungen mit der traditionellen Vorstellung, dass im 17. Jahrhundert die eigentliche Geburtsstunde der Wissenschaft liege; das Nachdenken über die Natur in früheren Zeiten galt demgegenüber als vorwissenschaftlich, philosophisch und spekulativ, im besten Falle als bloße Faktensammlung („Naturgeschichte“)¹¹. Seit etwa 200 Jahren teilten die Naturwissenschaftler (scientists) mehrheitlich diese Sicht der Geschichte, während in den Geisteswissenschaften (humanities) die Ideengeschichte eher als ein durchgehender Prozess stetiger Vervollkommnung von der Antike bis heute betrachtet wurde. Nach der gängigen Ansicht der Naturwissenschaftler (und auch mancher Wissenschaftshistoriker) vollzog sich zu Beginn der Neuzeit eine große wissenschaftliche Revolution, in deren Ergebnis die moderne Wissenschaft entstand¹². In dieser Revolution waren mindestens zwei Geistesriesen am Werk: Galileo Galilei, der die Methode erfand, und Isaac Newton, der die erste konsistente Theorie konstruierte, welche experimenteller Prüfung zugänglich war sowie Naturphänomene erklären und voraussagen konnte; neben diesen beiden Heroen gab es einen Kreis weiterer herausragender Persönlichkeiten wie René Descartes, Gottfried Wilhelm Leibniz, Johannes Kepler, Christiaan Huygens und andere, so dass die Herausbildung der modernen Wissenschaft als eine kollektive Errungenschaft interpretiert werden kann.

¹¹ *Cultures of Natural History*. Ed. by N. Jardine, J. A. Secord, E. C. Spary. Cambridge 1996.

¹² R. E. Hall: *The Scientific Revolution, 1500–1800*. London 1954.

In einer leicht modifizierten Version konnte jeder Disziplin ihre eigene Revolution zugeschrieben werden, nämlich der Moment, wo sie reif genug war, das mechanische Modell zu übernehmen. So hatte die Chemie ihre glorreiche Revolution – fest verbunden mit dem Namen von Antoine L. Lavoisier – im späten 18. Jahrhundert herbeigeführt durch die Anwendung physikalischer Methoden (Messung von Masse, Volumen, Wärme) und Konzepte (Massenerhaltungssatz) auf chemische Phänomene. Der entscheidende Punkt war, dass jedem Zweig der Wissenschaft nur *eine* solche Revolution zugebilligt wurde, die ein für alle Mal, unumkehrbar das wissenschaftliche vom vorwissenschaftlichen Stadium der Erkenntnis trennte. Alle vorhergehenden, auf aristotelischen Ideen basierende Naturstudien wurden als vorwissenschaftlich klassifiziert.

Werfen wir einen kurzen Blick auf den epistemologischen Kern der mit dem Namen Galileis verbundenen Wende. Mit dem Entwurf einer neuen Kinematik verbesserte Galilei nicht einfach die mittelalterliche Mechanik, sondern schuf einen neuen originären Ansatz, der im Gegensatz zu dem seiner Vorgänger stand. Der Schlüssel zum Verständnis der hauptsächlichlichen Innovation, die Galilei in die Methode der Wissensproduktion einführte, ist in seinem berühmten Diktum gegeben, das Buch der Natur sei in der Sprache der Mathematik geschrieben. Das Buch der Natur – eine traditionelle Metapher in der christlichen Kultur, welche die Natur als göttliche Schöpfung (natürliche Offenbarung) mit der Heiligen Schrift vergleicht – liegt offen vor aller Augen, aber Menschen, welche die Mathematik nicht kennen, können es nicht korrekt lesen. Die Kenntnis der Mathematik allein reicht allerdings noch nicht aus, um die Natur im Sinne Galileis zu erforschen; sie ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung. Die Naturobjekte sind mit den mathematischen Strukturen durch Messungen verbunden, welche die Eigenschaften der Natur in Zahlen übersetzen, und die Situationen, in denen Messungen möglich sind, müssen zumindest sorgfältig ausgewählt, im Allgemeinen aber durch technische Anordnungen und experimentelles Umformen der ursprünglichen Natur künstlich vorbereitet werden. Es war in der Tat eine Revolution im Denken, Prozeduren handwerklicher Kunstfertigkeit, die bis dahin nur für praktische Zwecke zum Einsatz gekommen waren, in die Erforschung der Natur einzuführen. Die Macht der experimentellen Methoden wurzelt in der kontrollierten Veränderung der Natur durch den Menschen für kognitive Zwecke; dieses Verfahren ist durch Theorien geleitet, die in einer mathematischen Sprache ausgedrückt sind, und das ist verbunden mit der eingangs erwähnten Vorherrschaft des analytischen Vorgehens, der Auftrennung und Zergliederung der Natur. Viele Zusammenhänge mussten vernachlässigt werden, um eine präzise Beschreibung reproduzierbarer Fakten zu erreichen.

Natürlich war die experimentelle Methode der modernen Wissenschaft keineswegs eine persönliche Erfindung von Galilei allein. Das Aufkommen dieser Methode konnte einerseits nur als Suchprozess mit vielen Beteiligten erfolgreich sein, und andererseits war Galileis Vorgehen noch von gewissen Inkonsistenzen und Zugeständnissen an traditionelle Denkweisen beeinflusst. Dennoch ist der historische Galilei besser als jeder andere seiner gelehrten Zeitgenossen geeignet, als Symbolfigur für die Geburt der modernen Wissenschaft zu dienen.

Hier kam der Widerspruch zwischen Innovation und Tradition klar zum Ausdruck. Die alte, aristotelische Naturphilosophie war eine direkte theoretische Explikation des Alltagsbewusstseins, der alltäglichen Erfahrung. Jeder wusste, dass er zum Schieben eines Karrens oder zum Ziehen eines Wagens dauerhaft Kraft anwenden muss, um eine geradlinige gleichförmige Bewegung aufrecht zu erhalten. Deshalb war die entsprechende Aussage der aristotelischen Physik unmittelbar einsichtig. Andererseits hatte niemand je eine Bewegung erfahren, die unbegrenzt ohne dauernde Anwendung von Kraft vor sich ging. Aus einer Alltagsperspektive war es also unmöglich, das von Galilei angegebene Trägheitsprinzip als eines der grundlegenden Prinzipien der neuen Mechanik zu akzeptieren. Jürgen Mittelstraß macht einen prinzipiellen Unterschied zwischen phänomenologischer und instrumenteller Erfahrung¹³. Phänomenologische Erfahrung, wie sie in der aristotelischen Physik kodiert ist, kommt direkt aus der Alltagspraxis. Solches Wissen kann niemals der Erfahrung widersprechen; ein epistemisches System, das auf phänomenologischer Erfahrung basiert, enthält keine innere Quelle und keinen Anreiz für Fortschritt. Im Gegensatz dazu produziert Wissenschaft im Verständnis Galileis in künstlichen Anordnungen unter theoretisch und praktisch kontrollierten Bedingungen instrumentelle Erfahrung, die mit der Alltagserfahrung nicht kompatibel ist. Eine Verbindung zwischen beiden existiert nur in einer Richtung. Wissenschaftliche Forschung kann – im Prinzip – phänomenologische Erfahrung erklären, indem sie die Wege ihrer Entstehung analysiert, während das Alltagsbewusstsein nicht imstande ist, Wissenschaft zu verstehen. Auf instrumenteller Erfahrung basierende epistemische Systeme werden entworfen, um Widersprüche zwischen Theorie und empirischen Daten festzustellen und zu lösen; damit enthalten sie eine interne Quelle des Fortschreitens¹⁴.

Gerade diese Eigenschaft bildet die Grundlage für wissenschaftlichen Fortschritt als selbst-determinierenden und selbst-reproduzierenden Prozess, der seine eigenen Pfadabhängigkeiten erzeugt und in einer methodisch (und technologisch) kon-

¹³ J. Mittelstraß: Galilei als Methodologe. In: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 18 (1995), S. 15–25, hier S. 21–22.

¹⁴ *Experimentelle Philosophie. Ursprünge autonomer Wissenschaftsentwicklung*. Hrsg. von G. Böhme, W. van den Daele, W. Krohn. Frankfurt/M. 1977.

trollierten Weise prüfbare Wissensseinheiten produziert, die akkumuliert (den regelmäßigen Ersatz veralteter Daten durch präzisere eingeschlossen) und zu Wissenssystemen kombiniert werden können. Was Price registriert hat, das waren die auffallenden externen Effekte dieser bemerkenswerten internen Eigenschaft der Wissenschaft. Zwischen der systematischen Produktion wissenschaftlicher Daten und der systematischen Nutzung rationeller Technologien in der Industrie bestehen fundamentale Analogien und Entsprechungen¹⁵ und es scheint mehr als eine nur oberflächliche Ähnlichkeit zu sein, dass der historische Weg der modernen Wissenschaft von den kleinen Experimentierkabinetten und bescheidenen Privatlaboratorien des 18. Jahrhunderts bis zur „big science“ eng mit der Entwicklung der Wirtschaft von den Werkstätten der Handwerker über die Manufakturen und Fabriken bis hin zu den global operierenden Unternehmen korrespondiert. Deshalb muss die Frage erlaubt sein, ob die Wissenschaft in einer post-industriellen Gesellschaft nicht eine grundsätzlich andere Form annehmen sollte als die einer bloßen Extrapolation der „big science“, die historisch gesehen das Gegenstück zur großen Industrie war.

Wie auch immer – Wissenschaft vom Galilei-Typ besitzt eine große Vitalität und ein starkes Durchdringungsvermögen, das sich bis zum heutigen Tag durchaus nicht erschöpft hat. Es ist nicht so entscheidend, dass die Mechanik der erste Bereich war, in den der neue Stil der Naturforschung Einzug hielt; der Vorteil war eher ein pragmatischer, da hier die epistemische Konstellation recht einfach und klar war. Einmal in der Form der klassischen Mechanik etabliert, hat der Stil der modernen Wissenschaft schrittweise die anderen Zweige der Physik, der Chemie und der Technik, wesentliche Teile der Biologie, der Geowissenschaften, der Psychologie, der Ökonomie und sogar der Soziologie (Sozialwissenschaften) erobert. Zusammen mit dem Welthandel und der Kolonialisierung über den ganzen Planeten expandierend hat die moderne („westliche“) Wissenschaft fast ohne Widerstand die traditionellen, eng mit lokalen Kulturen verbundenen Wissensformen verdrängt. So begann Japan – ein Land mit reichen Traditionen auch auf dem Gebiet des Wissens – nach den Meiji-Reformen 1868 plötzlich „einen groß angelegten Import westlicher Wissenschaft und der entsprechenden Institutionen“¹⁶. Nur ein paar Jahrzehnte später waren eine Reihe von Zweigen traditionellen Wissens wie die japanische Mathematik (*wasan*) aus lebendigen Komponenten einer lokalen Kultur zu bloßen Relikten geworden, die nur noch historisches Interesse fanden.

¹⁵ E. Zilsel: Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft. Hrsg. von W. Krohn. Frankfurt/M. 1976.

¹⁶ Sh. Nakayama: The History of Science – A Subject for the Frustrated. In: Science and Society in Modern Japan. Selected Historical Studies. Ed. by Sh. Nakayama, D. L. Swain, E. Yagi. Tokyo 1974, S. 3–16, hier S. 13.

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde das klare Bild des wissenschaftlichen Fortschritts mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Während andere Felder noch dabei waren, ihre eigenen Domänen nach dem Modell der klassischen Physik umzubauen¹⁷, setzten im Innern der physikalischen Theorie fundamentale Veränderungen ein¹⁸, die nicht mehr als ein weiteres Fortschreiten im klassischen Rahmen interpretiert werden konnten, sondern diesen Rahmen selbst veränderten. Die Physiker gewöhnten sich daran, zwischen der klassischen Physik, die von Galilei und Newton bis James Clerk Maxwell und Hermann von Helmholtz reichte, und der modernen Physik zu unterscheiden, die mit der Quantentheorie, der Speziellen und der Allgemeinen Relativitätstheorie und mit den Namen von Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr und vielen anderen assoziiert wurde. Nach und nach begann man, den Übergang von der klassischen zur modernen Physik als eine wissenschaftliche Revolution zu betrachten. Diese Terminologie brachte ein gewichtiges Problem im Verständnis des wissenschaftlichen Fortschritts mit sich. Wenn die Physik mindestens zwei Revolutionen durchgemacht hat und die erste von ihnen von einem vorwissenschaftlichen zu einem wissenschaftlichen Status des Wissensgebiets geführt hatte – bedeutet dies, dass man der zweiten Revolution eine geringere historische Bedeutung zuerkennen müsste als der des 17. Jahrhunderts, weil sich die letztere innerhalb der bereits etablierten Wissenschaft vollzogen hat und somit bestimmte Grundlagen der klassischen Physik unangetastet gelassen haben muss? Dies ist eine komplizierte Frage, die sich implizit durch den großen Berg von Literatur über das Verhältnis von klassischer und moderner Physik zieht.

Das Problem hatte die Qualität eines gordischen Knotens und erst in den 50er Jahren entwickelte ein junger amerikanischer Physiker, der zu den Wissenschaftshistorikern konvertiert war, einen frischen und originellen Ansatz, um diesen Knoten zu durchschlagen. Sein Name war Thomas S. Kuhn, und er wurde weltbekannt, als er 1962 sein Buch *The Structure of Scientific Revolutions* publizierte, eine einflussreiche Studie, die zahlreiche Auflagen und Übersetzungen in vielen Ländern erfahren hat¹⁹. Seine zentrale Idee war, dass reife Wissenschaftsgebiete dazu tendieren, weitgehend geschlossene Paradigmen zu entwickeln, die in der Lage sind, das ganze Wissensfeld zu organisieren und den seiner Erweiterung dienenden Forschungen Leitlinien zu geben. Wissenschaftler, so Kuhn, nutzen ein akzeptiertes Paradigma nicht wie ein externes Instrument, das man nach Belieben austauschen kann; eher leben sie innerhalb des Paradigmas und schauen auf die Welt durch die Brille dieser paradigmatischen Struktur. Deshalb können rationale Ar-

¹⁷ Die Experimentalisierung des Lebens. Experimentalsysteme in den biologischen Wissenschaften 1850/1950. Hrsg. von H.-J. Rheinberger, M. Hagner. Berlin 1993.

¹⁸ The Emergence of Modern Physics. Ed. by D. Hoffmann, F. Bevilacqua, R. H. Stuewer. Pavia 1996.

¹⁹ Th. S. Kuhn: *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago 1962.

gumente und experimentelle Evidenz ein Paradigma erschüttern, aber sie reichen nicht aus, um einen Wissenschaftler zu überzeugen, es aufzugeben; dazu bedarf es einer Art von „Gestalt switch“, der die Wissenschaftler von einer Denk- und Wahrnehmungswelt in eine andere transferiert.

Jeder Zweig der Wissenschaft kann eine Folge von Paradigmen und damit eine Folge von verschiedenen Revolutionen durchlaufen, und er kann dabei eine Zeit lang durch konkurrierende Konzepte charakterisiert sein. Es ist offensichtlich, dass Kuhns Theorie der wissenschaftlichen Revolutionen die starre Unterscheidung zwischen vorwissenschaftlichem und wissenschaftlichem Wissen abschwächte und den Begriff des wissenschaftlichen Fortschritts veränderte. In Kuhns Perspektive ist zum Beispiel die Chemie als Wissenschaft nicht erst durch Lavoisier geschaffen worden; die chemische Revolution des 18. Jahrhunderts ist vielmehr als Wechsel von einem chemischen Paradigma zu einem anderen aufzufassen. Inspiriert durch Kuhns Ideen hat Elisabeth Ströker ein sehr differenziertes Bild des Übergangs von der phlogistischen zur antiphlogistischen Chemie geschaffen²⁰.

In den letzten Jahrzehnten wurde Kuhns Konzept gründlich durch die Mühlen der wissenschaftlichen Kritik getrieben. Aber abgesehen von der Frage der Gültigkeit seiner Theorie im Detail (die hier nicht erörtert werden kann), hat sein couragierter Versuch die eher simple und lineare traditionelle Sicht des wissenschaftlichen Fortschritts gründlich in Bewegung gebracht und die Aufmerksamkeit für konzeptionelle Pluralität und häretische Phänomene in der Geschichte der Wissenschaft erhöht. Das traditionelle Bild vom Fortschritt der Wissenschaft war rigide und mit Monopolansprüchen verbunden (Kriterien der „Wissenschaftlichkeit“). Eine an Kuhn orientierte Sicht wäre hingegen eher „weich“ und würde die Aufmerksamkeit auf alternative Tendenzen in der Wissenschaft richten, die im Schatten der herrschenden Paradigmen existieren und oft als nur philosophische, „spekulative“ oder pseudo-wissenschaftliche Gedankenspiele diskreditiert werden. Der Mainstream des dominanten analytischen Vorgehens war immer begleitet von Tendenzen eines eher synthetischen Denkens, das die Komplexität und Ganzheitlichkeit der Natur betonte – Tendenzen, die gewöhnlich marginalisiert wurden und ihren Platz nur an der Peripherie der herrschenden Wissenschaftskulturen hatten. Manchmal erreichten sie etwas mehr Sichtbarkeit, etwa in der Zeit der Romantik oder in enzyklopädischen Panoramen wie Alexander von Humboldts *Kosmos*. Im Allgemeinen aber konnten sie sich nur unter dem Mantel der Philosophie im Vorhof der Wissenschaft entwickeln; vor allem die dialektische Philosophie agierte lange Zeit als Verteidigerin einer komplexen, integrierten und evolutionären Weltansicht gegen den analytischen Mainstream der Wissenschaft.

²⁰ E. Ströker: *Theoriewandel in der Wissenschaftsgeschichte. Chemie im 18. Jahrhundert*. Frankfurt/M. 1982.

Die verbreitete Einstellung unter Wissenschaftlern zur Dialektik war eine Art von herablassender Ignoranz, die sie als ein Phänomen wertete, welches außerhalb der Wissenschaft steht und für die wissenschaftliche Tätigkeit selbst ohne Bedeutung ist. Dennoch vermag dialektisches Denken als nützlicher Begleiter der Wissenschaft zu agieren, weil es die Spezialisten dauernd daran erinnert, dass die Beziehungen, die jene aus methodischen Gründen vernachlässigt haben, in der Natur real existieren, und weil es die Ideen von Komplexität und Evolution lebendig hält, bis die Wissenschaft selbst so weit entwickelt ist, dass sie sich diesem Gegenstand mit ihren eigenen Instrumenten nähern kann, zum Beispiel in Gestalt der erst in neuerer Zeit entstandenen Theorien der Selbstorganisation. Dialektik kann sinnvoll als eine kulturelle Ressource der Wissenschaft betrachtet werden, welche die Herausbildung von Paradigmen, die Interpretation von Theorien, das Design von Forschungsstrategien und die Wahl zwischen verschiedenen Optionen zugunsten der Berücksichtigung von Aspekten der Diversität, der Komplexität, der Historizität, der Einheit von Mensch und Natur und der menschlichen Werte beeinflusst.

Die wohl wichtigste Brücke über den Graben zwischen analytischer Wissenschaft und dem Erfordernis einer synthetischen Weltsicht war die Zusammenfügung analytisch identifizierter Prozess-Einheiten zu zyklischen Strukturen und Interaktionen, mit denen sich die Selbstreproduktion, damit auch die dynamische Stabilität und sogar die Selbst-Evolution natürlicher Systeme erklären lässt. Beispiele aus der Frühzeit der modernen Wissenschaft sind das kopernikanische heliozentrische System mit der Vorstellung von Planeten, die um die Sonne kreisen, oder die Entdeckung des Blutkreislaufs durch William Harvey, spätere Exempel sind das Konzept der ökonomischen Gleichgewichte auf der Basis von Zyklen des Austausches (François Quesnay), der Reproduktion (Karl Marx) und der Innovation (Josef Schumpeter), das Konzept der thermodynamischen Kreisläufe, das die Unterscheidung zwischen reversiblen und irreversiblen Prozessen ermöglicht, die Identifizierung vielfältiger biochemischer Reaktionszyklen im Stoffwechsel lebender Organismen bis hin zu der von Manfred Eigen zur Erklärung der Entstehung des Lebens auf der Erde aufgestellten Hyperzyklen-Hypothese, die Idee der automatisierten Regelungssysteme und der Rückkopplung in der Kybernetik und viele andere Beispiele²¹. So hat die Wissenschaft, als die Zeit dafür reif war, den von der dialektischen Philosophie lange vorher in vagen Umrissen vorgezeichneten Weg beschrritten und solide ausgebaut.

²¹ K. Mainzer: *Thinking in complexity. The complex dynamics of matter, mind, and mankind.* Berlin 1994; *Chaos und Ordnung: Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft.* Hrsg. von G. Küppers. Ludwigsburg 1996.

Der wohl größte Triumph komplexen Denkens in zyklischen Abhängigkeiten ist der Aufstieg der Ökologie von einer biologischen Spezialdisziplin zu einem übergreifenden Konzept, welches sowohl verschiedene Wissenschaftsdisziplinen als auch verantwortungsbewusste ökonomische und politische Strategien durchdringt. Das Nachhaltigkeitskonzept ermöglicht die kritische Analyse der aktuellen Tendenzen einer entgrenzten und unverantwortlichen Globalisierung und der Bestrebungen, diese Prozesse der effektiven sozialen Kontrolle zu entziehen. Der russische Mineraloge und Geochemiker Vladimir I. Vernadskij²² entwickelte im Ergebnis seiner grundlegenden Studien über die Migration der chemischen Elemente in der Erdkruste die Idee, dass die lebende Natur und die menschliche Gesellschaft zugleich als geologische Kräfte wirksam sind, führte das Konzept der Biosphäre ein und adaptierte das Noosphärenkonzept des häretischen Theologen und Naturforschers Teilhard de Chardin²³. Das von Vernadskij bereits in den 20er Jahren entworfene Gedankengebäude hätte zu einem neuen Paradigma werden können, das geeignet gewesen wäre, eine Vielzahl unterschiedlicher Disziplinen unter ökologischem Aspekt miteinander zu verbinden und die Erde mit ihrer Biosphäre und der auf diesem Planeten wohnenden menschlichen Gesellschaft als ein subtil ausbalanciertes hyperkomplexes System mit einer Vielzahl von integrierten Zyklen auf unterschiedlichen Organisationsebenen abzubilden. Vernadskijs Paradigma schließt die ethische Forderung an die Menschheit ein, für die Erhaltung des globalen Gleichgewichts Verantwortung zu übernehmen. Diese Ideen hätten eine geeignete Grundlage für die Forschungen zur globalen Ökologie sein können, aber sie wurden in den westlichen Staaten nicht zur Kenntnis genommen. Deshalb musste der Club of Rome für die Beschreibung des Zustands und der Perspektiven unseres globalen Systems seine eigene Philosophie entwickeln, die manche Ähnlichkeit mit dem Noosphärenkonzept aufweist.

Fast dreißig Jahre nach dem ersten Bericht an den Club of Rome²⁴ gibt es viele gute Gründe für die Ansicht, dass wir zwischen der Fortsetzung des unbeschränkten Wachstums und dem Übergang zu einer nachhaltigen Entwicklung auf der stabilen Grundlage eines globalen Gleichgewichts zu wählen haben und dass allein die zweite Option eine gute Wahl ist. Alexander King und Bertrand Schneider haben den Übergang zur Nachhaltigkeit als eine „globale Revolution“ charakterisiert, die alle Aspekte menschlichen Lebens einschließlich der Wissenschaft verändern wird²⁵. Sie argumentieren, dass die Herausforderungen der globalen Revolution

²² P. Krüger: Wladimir Iwanowitsch Vernadskij. Leipzig 1981.

²³ V.I. Vernadskij: Einige Worte über die Noosphäre. In: *Biologie in der Schule* (Berlin) 21 (1972), S. 222–231.

²⁴ D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers, W. H. Behrens: *The limits to growth*. New York 1972.

²⁵ A. King, B. Schneider: *Die erste globale Revolution*. Ein Bericht des Rates des Club of Rome.

eine Neuorientierung der Forschungs- und Entwicklungsprogramme und einen radikalen Wandel der Forschungsprioritäten verlangen. Die dringendste übergreifende Aufgabe für das gesamte System der modernen Wissenschaften muss die Erforschung von Ressourcen und Verfahren einer kooperativen globalen Regulation sein, die – nach Meinung der Lissabon-Gruppe – den ungezähmten Wettbewerb in der globalen Wirtschaft ablösen muss²⁶. Mit ihrer tiefen Kritik am „Mythos Wachstum“ haben schon die „Klassiker“ des Club of Rome gezeigt, dass eine Gesellschaft im globalen Gleichgewicht, die sich von materiellen Entbehrungen ebenso wie von der Jagd nach Profit zumindest teilweise befreit hat, ungeahnte Möglichkeiten konstruktiver Kreativität eröffnen würde²⁷.

Der kognitive Kern der modernen Wissenschaft, der tief in unserem sozialen und ökonomischen System und in unseren kulturellen Traditionen wurzelt, ist seit Galileis Zeiten bis heute die Auffassung und praktische Gestaltung des Verhältnisses zwischen Mensch und Natur als ein Subjekt-Objekt-Verhältnis. Darin sind Distanz und Objektivität ebenso eingeschlossen wie Dominanz und Ausbeutung. Dieses Verhältnis begünstigt die wissenschaftliche Erkenntnis objektiver Zusammenhänge, aber es ist nicht immun gegen die Gefahr, das innere Maß zu verlieren – ein Maß, das durch die einfache Tatsache gegeben ist, dass der Mensch Teil dieser Welt ist und immer sein wird und daher ihr gegenüber nicht die Position eines äußeren Beobachters und Lenkers einnehmen kann. Die globale Ökologie ist die bisher wohl stärkste Herausforderung, die Erkenntnishaltung der Wissenschaft zu ändern. Wenn sie sich nicht auf die Rolle einer Spezialdisziplin unter vielen beschränken lässt, sondern – unter Einbeziehung mentaler Ressourcen der außereuropäischen Kulturen – als Leitparadigma der gesamten Wissenschaft wirksam wird, dann könnte es gelingen, ein fundamentales Problem zu lösen, welches alle Paradigmenwechsel der letzten 400 Jahre offen gelassen haben: das Problem der Versöhnung von Mensch und Natur.

Ich bin Dr. Horst Kant (MPI für Wissenschaftsgeschichte Berlin) für interessante Diskussionen und wertvolle Hinweise zu Dank verpflichtet.

Frankfurt/M. 1992; A. Peccei: *One Hundred Pages for the Future*. New York 1989.

²⁶ Die Gruppe von Lissabon: *Grenzen des Wettbewerbs. Die Globalisierung der Wirtschaft und die Zukunft der Menschheit*. München 1997.

²⁷ D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers: *Beyond the Limits*. Post Mills, Vermont (USA) 1992.