

Leitartikel

"Try forecasting the future of physics ... I looked into the previous survey to see how well it had done in my pet field of atomic physics. The performance was unimpressive. Apparently nobody noticed that the laser was about to revolutionize atomic physics ... The lesson is that scientific discoveries invariably exceed the power of our imaginations."
Daniel Klepper (*Physics today*, Dec. 1991)

Pragmatik wissenschaftlicher Erkenntnisse

Geowissenschaften als Basis modernen Handlungsrahmens?

Jörg F.W. Negendank

Prof. Dr. Jörg F.W. Negendank (Emeritus), Reuterstr. 10, D-14482 Potsdam, c/o GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam (neg@gfz-potsdam.de)

1 Prolegomena

Seit ca. 30 Jahren ist die Diskussion um moderne Naturwissenschaft, ihre technische Anwendung und die Umweltproblematik in vollem Gange. Dabei ist die Stellung der Naturwissenschaften mit ihren impliziten Prognosefähigkeiten umstritten, eine Folge sehr unterschiedlicher Betrachtungsweisen. Böhme et al. (1973) beleuchtet in seinem Artikel 'Die Finalisierung der Wissenschaften' dieses Thema in recht einseitiger Weise:

"Die Wissenschaft der Gegenwart ist durch einen spezifischen Alternativspielraum der Entwicklung gekennzeichnet. Sie ist offen dafür, dass externe (ökonomische, soziale, politische) Zwecke zum Entwicklungsleitfaden der Theorie werden. Der Übergang zu einer solchen Struktur wird als 'Finalisierung der Wissenschaft' definiert. Sie ist abzusetzen von traditionellen Formen der 'Anwendung' theoretischer Ergebnisse. Zu ihrer Erklärung werden Annahmen über Struktur und Reichweite der in der gegenwärtigen Wissenschaft geltenden Eigenregulative entwickelt. Drei Gründe werden für die Abnahme interner Determinierung der Wissenschaftsentwicklung gesehen:

1. das Erreichen des Zustands 'theoretischer Reife' in grundlegenden Disziplinen (z.B. Physik und Chemie),
2. der partielle Verzicht auf die Forderung kausaler Erklärung und der Übergang zu funktionalistischen Wissenschaften (z.B. Psychologie),
3. die Notwendigkeit, ökologische Betrachtungsweisen mit den traditionellen Analyseansätzen der wissenschaftlichen Disziplinen zu verbinden.

In der Perspektive der Finalisierung der Wissenschaft liegt eine zunehmende Koinzidenz von theoretischen Zwecken und sozialen Normen."

Dieser Auffassung wurde und muss widersprochen werden, da ihr bestimmte Grundannahmen zugrunde liegen, die – auch wenn sie nach fast 30 Jahren in ähnlicher Weise wiederholt werden (z.B. Rensch 1998) – der Situation in so allgemeiner Formulierung nicht gerecht werden.

Der Wissenschaftler – gleichgültig, ob er in den beobachtenden (Astronomie, Geowissenschaften iwS., Kosmologie, usw.) oder experimentellen (Physik, Chemie, usw.)

Fächern arbeitet – wirft ein Netz von Hypothesen über 'die Welt', mit deren Hilfe er die Phänomene, Prozesse usw. zu

erklären versucht. Dabei nutzt er Modelle, entwirft also virtuelle Welten, mit deren Hilfe er Teilaspekte sogar steuern kann.

Diese Tätigkeit ist dem Zufall unterworfen (Döring 1992), es gibt keine 'Striptease-Theorie' der Wahrheit, sondern der Mensch mit seiner Phantasie ist "alter Deus in creando" (Nicolaus von Cues), oder wie Goodman (1984) es ausdrückt: Wahrheit ist die Interpretationsversion der Plausibilität auf Zeit. Eine Plausibilitätstheorie kennt mehrere Verfahren.

Goodman & Elgin (1989) formulieren deshalb "Innovation bedeutet ... Änderung etablierter Praktiken oder Vorlieben oder Prinzipien" und kritisieren die common-sense-Auffassungen des naiven Realismus und andere Ontologien als 'common-nonsense'.

Döring (1992): "Zwar können wir mit der Welt immer einigermaßen sinnvoll fertig werden, solange die 'Orientierung in der übergroßen Mannigfaltigkeit' gelingt, aber die Bilder, die man sich hierzu notwendig machen muss, sind keine statischen Ab(zieh)bilder einer vorstrukturierten Natur, sondern Entwürfe von elastischer Stringenz. Sie fanden ihren Ausdruck in Theorien mit problemgerechter Genauigkeit und in hinreichender Plausibilität, ohne dabei über ein beschreibungsexternes Kriterium zu verfügen. Die Wahl zwischen verschiedenen Theorien oder Beschreibungsweisen ist damit praxisorientiert bedingt und nicht vom Diktat 'eherner Gesetze' bestimmt. Denn auch zur Entdeckung von Gesetzen gehört es, sie zu entwerfen. Das Erkennen von Strukturen besteht in hohem Maße darin, sie zu erfinden und aufzuprägen. Begreifen und Schöpfen gehen für Goodman somit 'Hand in Hand'. "Selbst wenn das Endprodukt der Wissenschaft, im Gegensatz zur Kunst, wörtlich zu verstehende, wortsprachlich oder mathematisch formulierte denotative Theorie ist, gehen Wissenschaft und Kunst bei ihrem Suchen und Aufbauen in ganz ähnlicher Weise vor: sie adoptieren Metaphern".

2 Geowissenschaften als historische Naturwissenschaften

Die Geowissenschaften als beobachtende Wissenschaften sind im wesentlichen für das moderne Weltbild verantwortlich. Sie haben vor ca. 300 Jahren den historischen Aspekt der Entwicklung der Erde und des Lebens aufgrund der 'Entdeckung der Zeit' (Toulmin & Goodfield 1990) eingebracht

und Theorien zur Entwicklung der Erde einschließlich der Evolutionstheorie entworfen und entwickeln diese Theorien noch heute. Sind die experimentellen Wissenschaften im wesentlichen Laborwissenschaften geworden, die den Zeitaspekt nur in kurzen Zeitabschnitten betrachten, so hat der Geowissenschaftler mit zeitlichen Dimensionen von Milliarden Jahren bis Sekunden zu tun. Ähnlich spannt sich der Raum zwischen einem Atom, einem Kristall, einer Basaltlava oder einem Granitpluton, bis zu einem Kontinent, und z.B. den Schalen des Erdinneren, der Hydrosphäre oder der Atmosphäre.

Beide Dimensionen Zeit und Raum beinhalten das Problem der 'Skalierung', zugleich die Unmöglichkeit des Experimentes, weshalb man zu Modellen vorstößt, um mit ihnen in sich stringente Überlegungen und Hypothesen zu entwickeln.

Die folgenden Beispiele erläutern dies: Die Lebensspanne eines Menschen umfasst ca. 70–80 Jahre, die einer bestimmten Population mehrere Generationen, die der Negentropie des Menschen ca. 3–6 Millionen Jahre.

Das durch meteorologische Messreihen dokumentierte Klima umfasst ca. 150 Jahre, wobei ein statistisches Mittel der Wetterphänomene von ca. 30 Jahren ursprünglich als Klima definiert wurde. Historische Klimaaufzeichnungen zeigen dabei über die letzten 2000–3000 Jahre größere Schwankungen, die in extreme Verhältnisse übergehen, wenn man 11.600 Jahre vor heute zurück geht; denn vor dieser Zeit waren die Kontinente der Nordhalbkugel bis in mittlere Breiten vergletschert. Dieser Wechsel Warm-Kaltzeiten ist auf der Nordhalbkugel in den letzten ca. 900.000 Jahren jeweils mit einem Rhythmus von ~ 110.000 Jahren abgelaufen.

Beide Polkappen der Erde sind – und das ist ein in der Erdgeschichte fast einzigartiger Zustand – seit ca. 2,5 Millionen Jahren vereist. Davor war im wesentlichen nur die Antarktis vergletschert. Jedoch gab es vor ca. 50 Millionen Jahren warme Zustände, bei denen an beiden Polkappen kein Eis existierte.

Klimazustände sind also Phänomene, die zeitlich und räumlich teleskopartig ineinander verschachtelt sind, ähnlich wie rezente Wetterphänomene von Hoch- und Tiefdruckgebieten oder Tornados zum planetaren Windsystem (Claussen 2003, Negendank et al. 2003, Latif 2005, Negendank 2005, Schönwiese 2005).

Diese zeitliche und räumliche Verschachtelung geo-bio-wissenschaftlicher Phänomene insgesamt führt zur Erfassung von Einzelphänomenen, die aber zugleich in einen größeren Gesamtkomplex eingebettet sind. Hypothesen zur Erklärung der Einzelphänomene stehen neben solchen von 'holistischen' Gesamthypothesen. Man könnte von der Entwicklung von prä-paradigmatischen Hypothesen sprechen, die dann in ein zu entwerfendes Superparadigma 'eingepasst' werden. Kriterium der Gültigkeit oder Tragfähigkeit einer Hypothese bzw. eines Paradigmas ist ihr jeweiliger 'Erklärungswert'. Sie wird durch eine neue ersetzt, falls sie nicht in der Lage ist, die Prozesse, Verhältnisse usw. befriedigend zu erläutern.

Forschung ist also durch Paradigmenwechsel gekennzeichnet; diese entsprechen einer 'Revolution der Denkungsart', während der normale Wandel des Weltbildes eher 'restaurativen Charakter' aufweist (Döring 1992), durch innovative Erweiterungen von bislang Bekanntem (explikativ oder deskriptiv).

Paradigmata im Sinne Kuhns¹ sind herrschende Glaubensartikel einer wissenschaftlichen Epoche und unterliegen wie die oben beschriebenen Phänomene der Zeit, und somit dem Wandel.

Aufgrund der sehr komplexen Gegenstandsbereiche, mit denen sich die Geowissenschaften als historische Naturwissenschaften befassen müssen, führen ihre Erkenntnisüberlegungen zu Nelson Goodman, da seine Überlegungen den größten Erklärungswert liefern:

"Es gibt kein solches Ding wie die wirkliche Welt, keine einmalige, vorgefertigte, absolute Realität, losgelöst und unabhängig von allen Versionen und Visionen. Vielmehr gibt es viele richtige Weltversionen, von denen sich einige mit anderen nicht versöhnen lassen" (Goodman 1984).

Die Komplexität verlangt im Problemlösungsbereich Vielfalt und theoretische Pluralität und ist mit einer 'Grand Unified Theory', einer Allerweltsformel, die einer theoretischen Endlösung entsprechen würde, nicht zu bewerkstelligen. Es gibt somit, wenn überhaupt, 'viele Welten' (Döring 1992).

Nimmt man hierzu die Überlegungen von Jantsch (1984) hinzu, der offene Systeme und ihre z.T. chaotischen Strukturen als Entwurf einer Gesamtschau irdischer Entwicklung ausdeutet, dann ist Wandel Grundstruktur, die Irreversibilität tritt auf langen Zeitskalen in den Vordergrund, und 'sustainable development' ist damit ein Grundwiderspruch solcher Systeme. Planung und Anwendung sind danach maximal auf kurze Zeiträume beschränkt.²

¹ Fuller (2000) diskutiert diese Frage im Sinne einer Gruppierung von Paradigma zu einer geschlossenen Gesellschaft und von 'Movement' zu einer offenen Gesellschaft und ordnet diese den Wissenschaftlern Max Planck und Ernst Mach zu. "In any case, I urge that we turn Kuhn on his head and demonstrate that a paradigm is nothing more than an arrested social movement."

² "Ich habe diese Grundhaltungen ... mit den Beziehungen zu einem Strom verglichen: Stehen wir am Ufer auf dem Trockenen und schauen auf den vorbeifließenden Strom, so entspricht dies der rationalen Weltsicht. Steuern wir unser Schiff im Strom, in direkter Verbindung und Auseinandersetzung mit seiner Bewegung und dabei Distanz zu beiden Ufern haltend, so entspricht dies der mythologischen Weltsicht – wir gehen mit den lebendigen Kräften der Welt gewissermaßen auf gleicher Ebene um, wir sind involviert und engagiert und beeinflussen den Gesamtprozess. Stellen wir uns aber vor, dass wir selber der Strom *sind*, wie eine Gruppe von Wassermolekülen der Strom ist und doch nur ein Aspekt von ihm, so entspricht dies der evolutionären Weltsicht, die wir im Westen nur mit großen Schwierigkeiten realisieren können, die aber dem reinen Prozessdenken des Buddhismus und Taoismus entgegenkommt. Vielschichtiges Management wiederstrebt den Denkweisen und emotionalen Präferenzen vieler Menschen. Die meisten denken entweder kurzfristig-'konkret' oder langfristig-'allgemein'. Die Kunst des Managers besteht darin, nicht auf einer, sondern auf mehreren Ebenen gleichzeitig zu denken, zu fühlen und zu handeln. Im Einklang mit der in Kapitel 14 diskutierten vielschichtigen Autopeosie und Evolution ist es dabei wesentlich, dass die oberen Ebenen gegenüber dem Auftreten von Erstmaligkeit möglichst offen bleiben. Entgegen einer weitverbreiteten Meinung besteht also eine solche evolutionsgerechte Planung nicht in der Verminderung von Unsicherheit und Komplexität, sondern im Gegenteil gerade in ihrer Vermehrung. Die Unsicherheit nimmt zu, indem das Spektrum der Optionen bewusst ausgeweitet wird; hier kommt Imagination ins Spiel. Statt das Naheliegende zu tun, wird auch das Fernliegende bewusst gesucht und erwogen. Die Komplexität nimmt zu, indem der unmittelbare Bereich der Organisation überschritten wird und die Beziehungen innerhalb der Gesamtgesellschaft, der Kultur oder der ganzen Welt in den Vordergrund treten. Die Wirklichkeit *ist* komplex; größere Komplexität (nicht Kompliziertheit) bedeutet daher, dass Planung realistischer wird." (Jantsch 1984).

Einfache Gleichgewichtsphänomene sind eingebettet in komplexe offene Systeme, die statt Entropie Information speichern. Diesen Regeln der offenen Systeme unterliegen das Leben und auch die Tätigkeit des Menschen, weshalb es aufgrund des akzelerierenden Durchzuges von Energie und Materie zu einer gesteigerten Belastung der Umwelt durch Abwärme und 'Abfall' kommt. So ist z.B. Müllvermeidung diesen Regeln zufolge eine inadäquate Strategie.

3 Geowissenschaften und Daseinsvorsorge

Seit ca. 200 Jahren haben sich die Geowissenschaften i.w.S. (Geologie, Mineralogie, Geophysik etc.) mit dem Wachstum der modernen Technologie und Zivilisation durch das Auffinden und die Ausbeute neuer Rohstoff- und Energiequellen entwickelt. Negendank (1981): "Geowissenschaft ist also eine aktuelle Wissenschaft, man könnte fast sagen, eine **Zukunftswissenschaft**; denn die aus den Sphären (Gesteins-, Wasser-, Luft- und Lebenshülle) der Erde stammenden Rohstoffe und Energiequellen müssen für die menschliche Nutzung in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt werden, und die Erde muss bewohnbar bleiben."

Diese Ansicht hat sich voll bestätigt und die Geowissenschaften sind seit dieser Zeit ins Zentrum des öffentlichen Interesses gerückt, obwohl ihre Tätigkeit schon immer im Bereich der Daseinsvorsorge angesiedelt war. Das lässt sich historisch zeigen, denn jeder Staat bzw. jedes Land besitzt einen Geologischen Dienst (in Europa seit ca. 200 Jahren), zu deren Hoheitsaufgaben es gehört, z.B. in Deutschland geologische Karten im Maßstab 1:25.000 zu erstellen, durch einen zugehörigen Erläuterungsband vertieft, die zusammen einen Abriss der erdgeschichtlichen Entwicklung in diesem Raum geben und über die aufbauenden Gesteine und ihre Lagerungsverhältnisse an der Erdoberfläche und im Untergrund, über die Vorkommen an Rohstoffen, über Energieträger, Wasser und Böden informieren.

Jede Suche nach Erdöl, Kohle, Salz, Industriegesteinen und -mineralen (Kies, Sand, Ton), Wasser und Metallen gehört in diesen Aufgabenbereich, ähnlich wie die Errichtung von Bauwerken, Tunneln, Straßen jeweils auch ein geowissenschaftliches Problem darstellt.

Zugleich sind an dieser Stelle auch die Bereiche der Naturgefahren und -katastrophen³ zu nennen, da der Mensch mit seinem Bevölkerungsdruck in Gebiete vordringt, die ihn in Konflikt mit natürlichen Abläufen bringen. Hinzu treten die Probleme der Bewältigung der Abfälle.

Der National Research Council (Autorenkollektiv) der USA hat 1993 das Buch 'Solid Earth Sciences and Society' publiziert, in dem es im Prologue heißt:

³ Die Auswirkungen von Meteoriteneinschlägen, Vulkanausbrüchen, der dynamischen Erdkrustenbewegungen (Gebirgsbildung, tektonische Hebungen und Senkungen) auf das Klima (Fluten, Dürren, Hebungen und Senkungen des Meeresspiegels) und den Lebensraum des Menschen, sowie die Kenntnis des wiederholten Auftretens in der Zeit (Erdgeschichte), sind Grundvoraussetzung zur Abschätzung des zukünftigen globalen Wandels.

The Goal is:

To understand the past, present, and future behavior of the whole earth system. From the environments where life evolves on the surface to the interaction between the crust and its fluid envelopes (atmosphere and hydrosphere), this interest extends through the mantle and the outer core to the inner core. A major challenge is to use this understanding to maintain an environment in which the biosphere and humankind will continue to flourish.

SOCIETAL CHALLENGES FOR EARTH SCIENTISTS

The solid-earth sciences are essential to:

- provide sufficient resources – e.g., water, minerals, and fuels;
- cope with hazards – e.g., earthquakes, volcanoes, landslides, tsunamis, and floods;
- avoid perturbing geological environments – e.g., soil erosion, water contamination, improper mining practices, and waste disposal; and
- learn how to anticipate and adjust to environmental and global changes.

RESEARCH FRAMEWORK

The information needed to achieve the goal of the solid-earth sciences and to meet the societal challenges derives from research that can be described conveniently in a matrix of four *objectives* and five *research areas*. *Research opportunities* can be located within the elements of this matrix, and from these have been selected research topics of top priority and high priority.

Objectives

The following four *objectives* are derived from the challenges facing society in which fundamental understanding of the solid-earth sciences plays a primary role:

- *Understand the processes involved in the global earth system, with particular attention to the linkages and interactions between its parts (the geospheres)*
- *Sustain a sufficient supply of natural resources*
- *Mitigate geological hazards*
- *Minimize and adjust to global and environmental change*

Research Areas

The following research areas provide promise of achieving the scientific goal:

- *Global paleoenvironments and biological evolution*
- *Global geochemical and biogeochemical cycles*
- *Fluids in and on the Earth*
- *Dynamics of the crust (oceanic and continental)*
- *Dynamics of the core and mantle*

EARTH SYSTEM SCIENCE

The goal represents an integrated approach to the study of the earth system, requiring interdisciplinary investigations of the geology, physics, chemistry, and biology of the whole Earth, because all parts of the Earth are interconnected through geological, geophysical, and geochemical processes, some of which are monitored by biological activity near the surface.

Attainment of the specific objectives may be greatly enhanced by more complete understanding of processes occurring on a global scale. Boundaries between basic and applied solid-earth sciences are artificial.

This process-oriented, integrated global approach should be incorporated into revised earth science curricula in universities and schools. There are also educational opportunities in redefined engineering geology.

Im Executive Summary wurden die drei folgenden wesentlichen Aussagen formuliert:

1. The study of the whole earth system provides a research framework essential to the solution of global problems.
2. Pure and applied earth sciences are intimately interwoven.
3. International scientific cooperation is needed to understand global earth systems.

Ein wesentliches Fazit ist: Geowissenschaften sind forschungsorientiert, sog. Grundlagen- und Angewandte Wissenschaften sind nicht voneinander zu trennen. Der Forschungsprozess kennt nur interne, sich aus dem Prozess ergebende Motive. Dabei handelt es sich meist um gesellschafts- und zukunfts politisch hochaktuelle Themen.

Erst kürzlich erschienene Arbeiten von Wellmer & Becker-Platen (1999) und Harjes & Walter (1999) bestätigen die oben zitierte Bedeutung der Geowissenschaften als Zukunftswissenschaft.

Besonders hervorzuheben ist hier die neue Programmkonzeption "Geotechnologien. Das 'System Erde': Vom Prozessverständnis zum Erdmanagement", die von der Geokommission der DFG zur Konzentration und Bündelung geowissenschaftlicher Forschungsaufgaben der kommenden Dekade in Form von 13 Schlüsselthemen als Verbundforschung vorgeschlagen wurde. Die ausgewählten Schlüsselthemen haben sich aus der rein wissenschaftlichen Forschung ergeben, die aber gesellschaftspolitisch einen hohen Stellenwert besitzen. "Es muss der Öffentlichkeit und den Geldgebern deutlich gemacht werden, dass sich Vorhersagen und Konzepte zur Zukunft unseres Planeten vielfach erst aus dessen geologischer Vergangenheit ableiten lassen ... Bei der Realisierung der Forschungsprogramme ... erwartet die Geokommission das Engagement und den Ideenreichtum aller Wissenschaftler, die sich durch diese Schrift angesprochen fühlen." (Geotechnologien 1999).

Damit steht die Innovation und Kreativität der Wissenschaftler im Vordergrund und entspricht der Auffassung von Stehr (2000 & 2001) einer sog. 'Wissengesellschaft', die mit all ihren Unsicherheiten und dem schon erwähnten steten Wandel zu rechnen hat. Das gilt aber nicht nur für den wissenschaftlichen Bereich, denn alle – auch einfache – technische Prozesse unterliegen einem schnellen Wandel.

Dieser stete Wandel hat z.B. dazu geführt, dass die einschlägige geowissenschaftliche Industrie Forschung von außen einkauft, immer jeweils von denen, die international in dem jeweiligen Forschungsbereich an der Spitze stehen. Diese Tatsache verursacht Umstrukturierungen in der Industrie, den freien Ingenieurbüros, denn sie übernehmen oft nur noch Routinearbeiten und kaufen 'know-how' in Form von Gutachten bzw. Forschungsaufträgen ein. Eine simple Anwendung von Ergebnissen wird immer kurzlebiger und riskanter. Forschung ist immer der Anwendung voraus, da sie eingesetzt wird, um Probleme zu lösen, also Folgehandlungen auszuführen. Das ist natürlich von den Fragestellungen abhängig, die sich aus dem enormen Spektrum der Arbeits- und Forschungsfelder der Geowissenschaften ergeben. So gibt es zusätzlich zu den oben beschriebenen Hoheitsaufgaben, z.B. der Landesaufnahme, Aufgaben von großregionaler, kontinentweiter und globaler Bedeutung. Das GeoForschungsZentrum Potsdam oder das AWI Bremerhaven oder die BGR Hannover haben hierbei u.a. die geowissenschaftlichen Fragestellungen von übergeordneter Tragweite zu bearbeiten, die oft nur in nationaler und internationaler Vernetzung verschiedenster Forschungsinstitute und Wissenschaftler der unterschiedlichsten Fachgebiete zu erarbeiten sind. Hierfür ist z.B. das Thema 'Klima' ein beredtes Beispiel, das in Kapitel 6 detaillierter herangezogen wird.

4 Geowissenschaften und Weltbild

Das moderne Weltbild der Entwicklung der Erde und des Lebens geht auf die Entdeckung der Irreversibilität der Zeit durch die Geologie zurück, auf welcher der Entwurf der Evolutionstheorie des Lebens, verwoben in die der Erde und unseres Sonnensystems, beruht. Das Bewusstsein, dass alles ein Werden ist und heutige Prozesse in lang- und mittelfristigen Abläufen eingebettet sind, ist in vielen Wissenschaften noch nicht präsent und wurde erst durch immer intensivere Eingriffe in natürliche Abläufe und ihre Folgen deutlich. Der Mensch lotet im heutigen gesellschaftlichen Großversuch die 'Grenzen' der Belastbarkeit aus, ohne die zugrundeliegenden geo-biochemischen Stoff- und Energiekreisläufe im Detail zu kennen, geschweige denn quantifizieren zu können.

Nach Jantsch (1984) ist die Gesamtentwicklung als die "Selbstorganisation des Universums" zu interpretieren. Damit fallen auch menschliche Aktivitäten unter die Regeln dieser Entwicklung, wie es auch Luhmann (1997) beschreibt.⁴

Das Bild der klassischen Physik der Trajektorien beherrscht zugleich noch immer die gesellschaftliche Diskussion, man handelt, als wäre in Technik und Naturwissenschaften alles reproduzierbar und übersieht die zugrundeliegende Irreversibilität.

5 Geowissenschaften und Praxis

Mit der Nutzung natürlich vorkommender angereicherter Minerale und Gesteine, von Erzmitteln, Kohle, Erdöl, Salz entwickelten sich die Geowissenschaften als nützliche Kenntnisse für den Bergbau. Dabei kam es darauf an, die Bildungs-

⁴"Gesellschaft ist das Resultat von Evolution. Man spricht auch von 'Emergenz'. Das ist aber nur eine Metapher, die nichts erklärt, sondern logisch auf eine Paradoxie zurückführt. Wenn das akzeptiert ist, kann man Evolutionstheorien beschreiben als Transformation eines logisch unlösbaren Problems in ein genetisches Problem. Wie immer unbefriedigend evolutionstheoretische Erklärungen, gemessen an logischen, wissenschaftstheoretischen und methodologischen Standards kausaler Erklärung und Prognose, ausfallen mögen: es gibt heute keine andere Theorie, die den Aufbau und die Reproduktion der Strukturen des Sozialsystems 'Gesellschaft' erklären könnte.

Damit haben wir zunächst aber nichts anderes getan als ein Wort genannt und auf eine eher verwirrende Diskussion Bezug genommen. Als Leitfaden für die weitere Analyse wird uns die *Paradoxie der Wahrscheinlichkeit des Unwahrscheinlichen* dienen. Für Statistiker ist das eine Trivialität (oder auch: eine falsche Anwendung statistischer Begriffe). Denn schließlich ist jede Merkmalsgesamtheit, etwa die Eigenart eines bestimmten Menschen, wenn man nach den Bedingungen des Zusammenkommens eben dieser Merkmale fragt, extrem unwahrscheinlich, nämlich das Resultat eines zufälligen Zusammentreffens; aber zugleich ist diese Unwahrscheinlichkeit in jedem Falle gegeben, also ganz normal. Die Statistik kann und muss dieses Problem ignorieren. Für die Evolutionstheorie liegt in der Auflösung dieser Paradoxie jedoch der Ausgangspunkt. Die Unwahrscheinlichkeit des Überlebens isolierter Individuen oder auch isolierter Familien wird transformiert in die (geringere) Unwahrscheinlichkeit ihrer strukturellen Koordination, und damit beginnt die *soziokulturelle Evolution*. Die Evolutionstheorie verlagert das Problem in die Zeit und versucht zu klären, wie es möglich ist, dass immer voraussetzungsreichere, immer unwahrscheinlichere Strukturen entstehen und als normal funktionieren. Ihre Grundaussage ist, dass Evolution geringe Entstehenswahrscheinlichkeit in hohe Erhaltungswahrscheinlichkeit transformiert. Dies ist nur eine andere Formulierung der geläufigeren Frage, wie aus Entropie (trotz des Entropiesatzes) Negentropie entstehen kann. Es geht, mit nochmals anderen Worten, um die Morphogenese von Komplexität."

geschichte und Genese zu klären, um mit Hilfe dieser Kenntnisse den Abbau zu optimieren und weltweit neue Lagerstätten zu finden. Die wissenschaftlichen Kenntnisse wurden also jeweils unmittelbar in die Praxis umgesetzt, was auch heute noch im wesentlichen der Fall ist. Jedoch waren einige Probleme der Lagerstättenbildung nicht verstehbar, ohne die vor ca. 30 Jahren sich etablierende Theorie der Plattentektonik und Ozeanbodenspaltung, die auf die Idee der sog. 'Kontinentalverschiebungstheorie' von Alfred Wegener zurückgeht. Sie wurde Ende der zwanziger Jahre geäußert, fand ein geteiltes Echo und geriet fast in Vergessenheit. Intensive militärische Forschungen der USA in den Weltmeeren während des Krieges ermöglichten die Kartierung und Entdeckung z.B. der Mittelozeanischen Rücken, der kontinentbegleitenden Tiefseegräben und der Altersstruktur der Ozeanböden, gepaart mit der Entwicklung des Paläomagnetismus. Sie waren die Stütze – neben intensiver Kenntnis der Gebirgszüge der Erde aufgrund der 'Durchleuchtung' durch seismische Methoden – zur Entwicklung der Plattentektonik und Ozeanbodenspaltungstheorie, die nun ein Paradigma darstellen, das einen Großteil aller Strukturen und Prozesse auf der Erde zu erklären vermag (Entstehung und Alter der Ozeane und Kontinente mit ihren Strukturen, z.B. Mittelozeanische Rücken, Tiefseegräben, Vulkanismus, Erdbebenzonen, Geotektonik). Mit Hilfe dieser Theorie war es dann möglich, neue Konzepte zur Auffindung von Lagerstätten zu entwickeln. Der Ausbau dieser Theorie und ihrer Basisierung im Erdmantel und noch tieferen Bereichen ermöglicht das Verständnis für viele oberflächennahe Prozesse, die den Menschen in seinem Lebensraum unmittelbar betreffen (Erdbeben, Vulkanismus).

Die Fortsetzung solcher Großprojekte in Form von 'Ocean Deep Drilling', 'Continental Deep Drilling', 'Lake Drilling', der seismischen Tiefensondierung durch den gesamten Erdball, die Sondierung der Erdoberfläche von Kleinsatelliten aus zum Studium des Gravitations-, des Magnetfeldes, der Atmosphäre, Hydrosphäre, Geosphäre liefern vertiefende Kenntnisse, die mittelbar und unmittelbar in die Praxis umgesetzt werden. Hierbei ist festzustellen, dass vor allem neue Methodenentwicklung ein entscheidender Faktor der Entwicklung ist.

Betrachtet man dazu die Liste der Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in 'Geo technologien' (1999), dann ist das Ziel, das Verständnis des globalen Systems Erde als Grundlage für die regionale und lokale Nutzung von Ressourcen und für das Erdmanagement zu ermöglichen:

- Das Erdinnere als treibende Kraft geologischer Prozesse
- Beobachtung des Systems Erde aus dem Weltraum
- Tomographie der Erdkruste – Von der Durchschallung zu Echtzeitmonitoring
- Kontinentalränder: Brennpunkte im Nutzungs- und Gefährdungspotential
- Sedimentbecken: Die größte Ressource der Menschheit
- Das gekoppelte System Erde – Leben
- Globale Klimaänderungen – Ursachen und Auswirkungen
- Stoffkreisläufe: Bindeglied zwischen Geosphäre und Biosphäre
- Gashydrate: Energieträger und Klimafaktor

- Mineraloberflächen: Von atomaren Prozessen zur Geotechnik
- Erkundung, Nutzung und Schutz des unterirdischen Raums
- Frühwarnsysteme im Erdmanagement
- Informationssysteme im Erdmanagement

Dafür ist auch der Vortrag 'Erdbeben – Instabilität von Megastädten' von Fuchs & Wenzel (2000) ein beredtes Beispiel, der sich aus dem SFB 461 (Sonderforschungsbereich) 'Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen' ergeben hat:

"Während die Zahl und die Stärke der Erdbeben und damit die von ihnen ausgehende Gefahr auf dem Planet Erde im Mittel über die vergangenen Jahrhunderte und auch heute unverändert ist, nimmt doch das Risiko des Schadens durch Erdbeben zur Zeit stark zu. Die ständig wachsende Konzentration der Bevölkerung und der Sachwerte führen im Fall eines Erdbebens zu exponentiell anwachsenden Schäden.

Besonders von diesem erhöhten Schadensrisiko betroffen sind die Megastädte mit mehr als 8 Millionen Einwohnern wie Tokio, Mexico City, Shanghai, Los Angeles, die sich zudem immer mehr in erdbebengefährdeten Gebieten ausbreiten.

Wenn sich auch Erdbeben nicht befriedigend vorhersagen lassen, so sind zumindest die zu erwartenden Schäden bei möglichen Beben mit hoher Genauigkeit berechenbar. Daraus lassen sich Maßnahmen zur Schadensbegrenzung in den gefährdeten Gebieten ableiten: Einmal das 'Retrofitting' des alten Baubestandes, zum anderen erdbebenspezifische Bauvorschriften bei Neubauten. Auch die Einrichtung eines Frühwarnsystems kann mit zur erheblichen Minderung der Schäden an Leben und Werten beitragen. Zur Optimierung dieser Maßnahmen ist eine engere Zusammenarbeit zwischen Geowissenschaftlern und Ingenieuren dringend erforderlich."

Dieser Kommentar spricht deutlich ähnliche Verhältnisse an, wie sie in der Klimadiskussion zu beobachten sind, moderne 'Katastrophen' sind ein Problem der Besiedlung natürlich gefährdeter Regionen.

6 Geowissenschaften und Klima

Hydrosphäre und Atmosphäre haben sich in der Frühzeit der Erde bei der Segregation der Schalen der Erde in Kern, Mantel und später Kruste abgesondert. Seit dieser Zeit ist ihre chemische Zusammensetzung mit der Entwicklung der Biosphäre eng verwoben, geht man doch davon aus, dass mit der Entwicklung der Sauerstoffatmung über die Photosynthese der Sauerstoff der Atmosphäre entstand. Dieser revolutionäre Schritt führte etwa zur heutigen Zusammensetzung der Atmosphäre, reduzierte also den CO₂-Gehalt auf eine geringe Konzentration. Dabei handelt es sich um einen dauernden Austauschprozess der Biosphäre (marin und kontinental) mit der Atmosphäre und scheint einem Selbstregelungsprozess in Form eines Systems zu entsprechen. Daraus wurde die sog. GAIA-Hypothese entwickelt, ein offenes System, das chemische Zusammensetzung und Temperatur zu regulieren scheint. Ob man dieser Hypothese zustimmt oder nicht, grundsätzlich ist ein enger Zusammenhang zwischen der Biosphäre und der Zusammensetzung der

Atmosphäre, vor allem hinsichtlich O₂ und CO₂, festzustellen. Dabei ist auffällig, dass bis auf die Zeit im Karbon mit wahrscheinlich höheren Sauerstoffgehalten – zu schlussfolgern aus Insekten mit Flügelspannweiten von 70 cm – die Atmosphäre in ihrer Zusammensetzung relativ bis heute stabil gewesen ist, eine Folge des oben zitierten Systems mit hohen Puffermöglichkeiten. Die Energie bezieht das System aus der Sonneneinstrahlung, und die Atmosphäre wirkt wie ein Puffersystem, das die entstehende Wärme speichert und die Abstrahlung so regelt, dass keine extremen Temperaturdifferenzen entstehen.

Die mittlere Zusammensetzung der Hydrosphäre ist hingegen im wesentlichen ein Produkt der Perkolations durch den Ozeanboden in den mittelozeanischen Rücken und der Zufuhr durch die erodierten chemischen Verwitterungsprodukte der Kontinente. Die Hydrosphäre, zu über 90% gebunden in den Ozeanen als Meerwasser (salzhaltiges Wasser), und nur zu einem geringen Anteil als Süßwasser (salzfreies Wasser) vorhanden (Wasser auf den Kontinenten, in den Wolken, im Eis (Gletscher und Schnee)), steht über hydrologische Kreisläufe mit allen Sphären im Austausch.

Damit hat sich das Leben mit der Entwicklung der Erde und der Sphären herausgebildet.

Aufgrund der rotierenden Erde im Sonnensystem, der Einwirkung von Sonnenstrahlung und z.B. der Gravitation, vollführen Ozeane und Atmosphäre komplexe Bewegungen in ihren Systemen, und es existieren entsprechende Austauschvorgänge, z.B. durch Niederschläge und Verdunstung zwischen Erd- und Meeresoberfläche und der Atmosphäre. Diese Ozeanströme, wie der Golfstrom, sind durch die heutige Konstellation der Kontinente und ihre Lage gesteuert, ähnlich wie Luftströme durch Gebirge abgelenkt werden.

Der heutige Beobachtungsstand ist also eine Momentaufnahme während der Gesamtentwicklung der Erde.

Die Zusammenhänge dieser Entwicklung, einschließlich des jeweils herrschenden Klimas, sind Forschungsgegenstand der Geowissenschaften, während das heutige Wettergeschehen von der Meteorologie, das Klimageschehen meist von der Geographie untersucht werden. Letztere greift auf meteorologische Messwerte bzw. auf historische Klimaaufzeichnungen zurück, die maximal 150–2000 Jahre zurückreichen (Glaser 2001). Will man jedoch das operierende Klimasystem insgesamt verstehen, ist eine Kombination der Jetztzeitdaten mit denen früherer Zeiten über die 2000 Jahre hinaus notwendig, denn wir leben seit 11.600 Jahren in einer Warmzeit, davor herrschte ca. 80.000 Jahre eine Kaltzeit. Kurzzeitige Klimaschwankungen sind in mittelfristig-langfristige Rhythmen eingebettet (teleskopartige Verschachtelung) (Sarnthein et al 2001).

Ein möglicher Weg ist also, vorliegende komplexe Klimamodelle der Wettervorhersage, die eine 50–70%ige Trefferwahrscheinlichkeit besitzen, für die Modellierung früherer Klimate zu nutzen, wobei die Zeitauflösung für Vorzeitdaten maximal 1 Jahr ist.

Dieser Prozess der Zusammenführung unterschiedlicher Wissenschaftskulturen und Methoden ist zur Zeit hochaktuell (Negendank 2001).

Neben der Nutzung und Entwicklung von Klimamodellen einfacher bis hoher Komplexität, die von einer Vielzahl meteorologischer Messstationen auf der Erde ihre Daten erhalten, um 'Wettervorhersage' bzw. die Rekonstruktion von Klimazuständen zu simulieren, müssen Klimamodelle so angepasst oder neu entwickelt werden, um sog. Stellvertreterdaten (Proxies) für Temperatur, Niederschlag, usw. aus verschiedenen Archiven (Meeressedimente, Korallen, Seesedimente, Baumringe, Speleotheme, Eis) in jährlicher Auflösung zu assimilieren (Wefer et al. 2002).

Diese auf Jahresbasis beruhenden Archive sind selten und reichen meist bei hoher Genauigkeit nicht über 15.000 Jahre hinaus. Im einzelnen erlauben sie aber eine Aussage über Klimavariabilitäten in dem Untersuchungsgebiet und erlauben z.T. auch Korrelationen z.B. von Seesedimentprofilen der Eifel mit grönländischen Eisprofilen. Das ist u.a. eine wichtige Voraussetzung für die Synchronisation der quasi-meteorologischen Messreihen.

Vor Beginn der heutigen Warmzeit z.B. lässt sich die Jüngere Dryaszeit (~ 1090 Jahre Dauer) in Mitteleuropa und Grönland auf ± 10 Jahre genau fassen. Das war eine Zeit der Abkühlung, in Mitteleuropa herrschte Tundravegetation. Dieser Kälteeinbruch geschah in der Eifel innerhalb von 25 bis 30 Jahren. Am Ende dieser Kaltphase, die ca. 1100 Jahre dauerte, erwärmte sich das Klima innerhalb von 50–60 Jahren.

Ähnliche Variabilitäten lassen sich zu anderen Abschnitten der warvierten Seesedimente nachweisen. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die Warvendicken der Diatomeengytjen Periodizitäten von 11, 22, 88, 210 und 490–510 Jahren zeigen, die auf solare Einflüsse aufgrund der Übereinstimmung mit Sonnenfleckenaktivitäten verweisen, ähnlich wie das in evaporitischen Warven des Toten Meeres gezeigt werden konnte. Das führte zur Kontroverse mit Modellen, die CO₂ als wesentliches Forcing annehmen. Jedoch zeigen neuere Modelle (Science, 290, 2133), dass 'natural & anthropogenic forcings' anzunehmen sind. (More than 80% of observed multidecadal-scale global mean temperature variations and more than 60% of 10 to 50 year land temperature variations are due to changes in external forcings.) Hinzu tritt, dass man in antarktischen Eis eine Entkopplung von CO₂ und Temperatur feststellen konnte, die Temperaturzunahme läuft 900 bzw. 1200 Jahre der CO₂-Zunahme voraus (Hauser 2003).

Das Projekt KIHZ⁵ ist die erste Untersuchung weltweit, die solche Daten und Modelle miteinander kombiniert hat (Fischer et al. 2004). Damit wurden weitere Aussagen auch über notwendige weitere Forschungsschritte erhalten, um dem Klimasystem auf die Spur zu kommen. Man muss sich bewusst sein, dass das nur Aussagen für die letzten 10.000 Jahre, also für unsere jetzige Warmzeit, sind. Eine Herausforderung besteht im nächsten Schritt, den Übergang von der Kaltzeit vor 21.000 Jahren bis 11.000 vor heute zu modellieren, ganz abgesehen davon, einen gesamten Glazialzyklus einschließlich der Eem-Warmzeit, also von 150.000 Jahren bis heute, zu verstehen.

⁵ KIHZ: Klima in historischen Zeiten. Natürliche Klimavariationen während der letzten 10.000 Jahre.

Neben möglichen 'periodischen' Variabilitäten der Milankowitch- und Submilankowitch-Zeiträume gibt es aperiodische einmalige Ereignisse wie Vulkanausbrüche, die das gesamte System stören. So konnte Robock (2000) zeigen, dass der Ausbruch des Vulkans Pinatubo das Klima in der Weise beeinflusste, dass sich im Osten Nordamerikas, in Europa und Sibirien die Wintertemperaturen erwärmten, während sie sich in Alaska, Grönland, im Nahen Osten und China abkühlten. Dieses Bild konnte er in einem GCM-Modell mit ähnlicher Verteilung simulieren, das bei minimaler Sonnenfleckenaktivität in ähnlicher Weise entsteht.

Neuere Untersuchungen haben auch Zusammenhänge zwischen der Produktion der kosmischen Isotope z.B. von ^{14}C und ^{10}Be und der Stärke des geomagnetischen Feldes ergeben. Bei solarem Aktivitätsmaximum ist eine geringe Produktion von ^{14}C und ^{10}Be zu erkennen, da der Solarwind und das heliosphärische Magnetfeld die kosmische Strahlung reduzieren. Die erkennbare Periodizität ist mit den schon beschriebenen solaren Aktivitätsmustern identisch. Eine weitere Überlegung folgt aus der generellen Abnahme des geomagnetischen Dipolfeldes seit ca. 200 Jahren (Zunahme des heliosphärischen Feldes), da dadurch die kosmische Strahlung abgeschwächt wird und eine Beziehung zwischen Wolkenbildung in ca. 3,2 km Höhe und der kosmischen Strahlung besteht, und zwar wird durch die Abschwächung der kosmischen Strahlung die Wolkenbildung reduziert. Daraus wird auf den heute beobachtbaren Erwärmungstrend geschlossen.

Aus diesen Betrachtungen neuer Forschungsergebnisse aus Meteorologie, Klimatologie und Geowissenschaften ist zu entnehmen, dass sich der Forschungsprozess in einem hochinteressanten Stadium der Vielfalt von Hypothesen befindet, die möglicherweise zu einer zukünftigen Gesamthypothese für das Klimasystem führen können. Dabei sind alle Ergebnisse von theoriestützender Erklärung, aber das 'Superparadigma' ist nicht in Sicht. Schnellschüsse – z.B. nur anthropogenes CO_2 als wesentliche Ursache einer Erwärmung des Weltklimas zu verkaufen – sind forschungsexterne Kriterien, die nur in einer Sackgasse⁶ enden können.

Fragt man also die Wissenschaftler in einem Forschungsprozess und will ihre Ergebnisse politisch oder anderweitig nutzen, dann führt das zum Expertenstreit. Forschung und die Entwicklung von tragenden Theorien benötigen Zeit, breite internationale Anstrengungen, um zu reifen. Als Beispiel kann die Plattentektonik und Ozeanbodenspaltingstheorie gelten, deren Entwicklung vom Beginn ihrer ersten Formulierung bis zur 'Ausreifung' ca. 50 Jahre benötigt hat.

Wissenschaft ist ein fortlaufender Prozess. Die Entdeckung neuer Zusammenhänge kann neue Entwürfe notwendig machen. So ist die Klimaforschung eine sehr komplexe Systemanalyse, die in den Anfängen steckt. Die heutigen Modelle sind viel zu grob und vereinfacht, um das Klima in Vergangenheit

und Gegenwart annähernd beschreiben zu können und sind auch gegen Einflüsse z.B. der Stratosphäre 'abgeschirmt'. Die Modelle und Modellhierarchien sind also Ergebnis grundsätzlicher meteorologischer Theorien, die nicht über gravierende Probleme und Schwierigkeiten zweifelsfrei erhaben sind.

Erinnern wir uns an die Formulierung 'Geowissenschaften als Zukunftswissenschaft', so ist festzustellen, dass diese Überlegung in den letzten 20 Jahren beim Thema 'Klimawandel' in fast rasanter Weise Wirklichkeit geworden ist. Viele Institutionen weltweit, in Europa und besonders in Deutschland haben großen Anteil an der Klimaforschung⁷.

Eine Besonderheit stellt in Deutschland die Klimafolgenforschung dar (Stock 2003, 2004), die versucht, Strategien und Konzepte für die zukünftige Entwicklung und daraus folgende Anpassungsstrategien für die menschliche Gesellschaft zu entwerfen (Brack et al. 2002, Bürger et al. 2006, Merz & Didszun 2005, Grunewald et al. 2004, Hollert et al. 2003).

Stichweh (2000) erläutert in seinem Buch "Die Weltgesellschaft", dass sich im Fall der Klimaforschung erstmalig in der Wissenschaft eine weltpolitische Option durchgesetzt hat.

"Das Problem der Klimaforschung ist das Problem eines nur schwer dekomponierbaren Systems; aus diesem Grund spielt in der Geschichte der Klimaforschung auch die Semantik der *earth system science* eine bedeutende Rolle."

Das führt z.T. zu wissenschaftsinadäquaten Konzepten mit den folgenden interessanten Implikationen nach Stichweh (2000):

1. Für die öffentliche Rolle, die die Wissenschaft zu besetzen versucht, muss sie eine Sprache zu benutzen wissen, die fein graduierte Nuancen von Ungewissheit auszudrücken versteht. Für Wissenschaftler ist ein Wissen um die Ungewissheit ihrer Aussagen heute eine Selbstverständlichkeit. Aber in der relativen Informalität von Kommunikation im Binnenraum der Wissenschaft muss das Wissen um Ungewissheit nicht laufend mathematisiert werden, kann man auch einmal starke Behauptungen riskieren, die von anderen als Teil eines Spiels verstanden werden. Für Verlautbarungen gegenüber der Öffentlichkeit, die eine Autorität der Wissenschaft zu beanspruchen und zu plausibilisieren versuchen, gelten andere Regeln.

2. Der Versuch der kollektiven Expertise einer *world community* impliziert zwangsläufig die Ausschaltung von Dissens. Ein gewisser Grad von Dissens ist in die Sprache der Ungewissheit übersetzbar. Aber es wird immer andere wissenschaftliche Meinungen geben, die in wissenschaftlichen Publikationen gut dokumentiert sind, bei denen es sich gleichzeitig aber um Minderheitsmeinungen handelt, die in die kollektive Expertise nicht mehr aufgenommen werden können, ohne deren Einheitlichkeit zu sprengen und damit ihre Wirkungschance zu gefährden.

3. Die Ausschaltung von Dissens scheint im Fall des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) die Form einer methodologischen Option anzunehmen. Diese Option schreibt *Klimamodelle* als die Form vor, in der über Interpretationsvarianten diskutiert werden kann, und sie setzt

⁶ Solche Sackgassen sind in der heutigen Forschungsfinanzierung durch Projekte und Programme oder politische Vorgaben vorgezeichnet. Extrinsische Motivationen wie Geld oder gesellschafts-relevante Themen führen zu Fehlentwicklungen (z.B. Krebsforschung in den USA, Studienwahl aufgrund von Notenquerschnitten [Bundesrepublik Deutschland]). Sie wirken fokussierend wie das Licht auf 'Schmeißfliegen'. Die notwendige und nicht bestrittene Konzentration auf die 'komplexe Systemanalyse' hat nur Erfolg über intrinsische Motivation und Innovation und kann nur von der Wissenschaft selbst ausgehen.

⁷ Dabei würde allein bei der Aufzählung der Publikationen ein ganzer Band der Zeitschrift UWSF nicht ausreichen, weshalb bewusst eine Auswahl getroffen wurde.

damit anspruchsvolle Voraussetzungen hinsichtlich Computertechnologie und mathematischer Kompetenz fest.

Resümierend möchte ich eine Beobachtung betonen. Die wichtigste Bedingung des bisherigen Erfolgs des IPCC ist die neuartige Globalität der Fragestellung und damit die Nichtzerlegbarkeit des zur Diskussion stehenden Systems. D.h. natürlich nicht, dass das System prinzipiell nicht in Subeinheiten zerlegbar sein wird; es heißt nur, dass die individualistische Option ausscheidet, mit relativ leicht identifizierbaren Elementen des Systems zu beginnen und dann nach Gesetzmäßigkeiten zu suchen, die die Aggregation individueller Effekte regieren. Ob die zunehmende Häufigkeit globaler Problemsituationen vom Typus Klimawandel wissenschaftspolitischen Strategien in der Art des IPCC künftig eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit verleihen wird, ist schwer vorauszusagen. Natürlich ist auch in diesem Fall nicht auszusprechen, dass eine einmal erfolgreich gewesene Institutionenbildung Nachahmereffekte auslöst und deren Erfolgchance steigert. Genauso wenig wie dieser Ausgang feststeht, kann man nicht mit Bestimmtheit sagen, ob dies eigentlich eine wünschbare Entwicklung wäre. Eine Weltwissenschaft, die in strategischen Situationen in der Weltöffentlichkeit nur mit einer Stimme spricht – ist dies nicht vielleicht eine negative Utopie? Ist es nicht wahrscheinlicher, dass die Binarität der Optionen wiederkehrt und mindestens eine wissenschaftliche Alternative (eine neue Heterodoxie in einer jetzt artifizial homogenisierten Wissenschaft) neu entsteht, die der Politik dazu verhilft, dank einer erneuerten Polarität wissenschaftlicher Expertisen die politische Handlungsfreiheit wiederzugewinnen?"

Literatur

- Böhme G, van der Daele W, Krohn W (1973): Die Finalisierung der Wissenschaft. *Zeitschrift für Soziologie* 2 (2) 128–144
- Döring E (1992): Zufall der Forschung. Aspekte zur Kunst der Erkenntnis. Berlin
- Fuchs K, Wenzel F (2000): Erdbeben – Instabilität von Megastädten. Eine wissenschaftlich-technische Herausforderung für das 21. Jahrhundert. Schriften der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Heidelberger Akademie der Wissenschaften Nr. 6, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Fuller S (2000): Thomas Kuhn: a philosophical history of our times. The University of Chicago Press
- Geotechnologien (Autorenkollektiv) (1999): Das 'System Erde': Vom Prozessverständnis zum Erdmanagement. (Senatskommission für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung der DFG), Potsdam
- Goodman N (1984): Weisen der Welterzeugung. Frankfurt/M
- Goodman N, Elgin C (1989): Revisionen: Philosophie und andere Künste und Wissen schaffen. Frankfurt/M
- Harjes HP, Walter R (Hrsg) (1999): Die Erde im Visier. Die Geowissenschaften an der Schwelle zum 21. Jahrhundert. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Jantsch E (1984): Die Selbstorganisation des Universums – Vom Urknall zum menschlichen Geist. dtv Wissenschaft, München
- Luhmann N (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft. Suhrkamp, Frankfurt/M
- National Research Council (USA) (1993): Solid Earth Sciences and Society. Washington
- Negendank JFW (1981): Geologie, Wissenschaft aktuell. Mosaikverlag München
- Rensch S (Hrsg) (1998): Naturlos. Der blaue Reiter. Journal für Philosophie 9, 60–65
- Robock A (2000): Volcanic Eruptions and Climate. *Reviews of Geophysics* 38 (2) 191–219
- Stehr N (2000): Die Zerbrechlichkeit moderner Gesellschaften – Die Stagnation der Macht und die Chancen des Individuums. Weilerswist
- Stehr N (2001): Economy and Ecology in an Era of Knowledge – Based Economics. *Current Sociology* 49 (1) 67–90
- Stott PA, Tett SFB, Jones GS, Allen MR, Mitchell JFB, Jenkins GJ (2000): External control of 20th Century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science* 290, 2133–2137
- Toulmin S, Goodfield J (1970): Entdeckung der Zeit. München
- Wellmer FW, Becker-Platen JD (1999): Mit der Erde leben – Beiträge geologischer Dienste zur Daseinsvorsorge und nachhaltigen Entwicklung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg

Weiterführende Literatur zum Thema 'Geowissenschaften und Klima' (Auswahl)

- Brack W, Altenburger R, Dorusch F, Hubert A, Möder M, Morgenstern P, Moschütz S, Mothes S, Schirmer K, Wennrich R, Wenzel K-D, Schürmann G (2002): Hochwasser 2002 – Chemische und toxische Belastung überschwemmter Gemeinden im Raum Bitterfeld. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 14 (4) 213–220
- Bürger K, Seidel J, Imbery F, Dostal P (2006): RIMAX-Projekt Xfloods 'Analyse historischer Hochwasserereignisse für ein integratives Konzept zum vorbeugenden Hochwasserschutz'. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 18 (1) 27–29
- Buttschardt T (2005): Klimaänderung – Was weiß die Wissenschaft? *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 17 (3) 166–170
- Claussen M (2003): Klimaänderungen: Mögliche Ursachen in Vergangenheit und Zukunft. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 15 (1) 21–30
- Daschkeit A, Sterr H (2003): Klimawandel in Küstenzonen. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 15 (3) 199–207
- Fischer H, Kumke T, Lohmann G, Flüser G, Miller H, von Storch H, Negendank JFW (Hrsg) (2004): The Climate in Historical Times : Towards a Synthesis of Holocene Proxy Data and Climate Models (GKSS School of Environmental Research). Springer-Verlag
- Glaser R (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- Grunewald K, Unger C, Brauch H-J, Schmidt W (2004): Elbehochwasser 2002 – Ein Rückblick. Schadstoffbelastung von Schlamm- und Sedimentproben im Raum Dresden (Sachsen). *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 16 (1) 7–14
- Hauser W (Hrsg) (2002): Klima. Das Experiment mit dem Planeten Erde (Begleitband und Katalog zur Sonderausstellung des Deutschen Museums 2002–2003)
- Hollert H, Haag I, Dürr M, Wetterauer B, Holtey-Weber R, Kern U, Westrich B, Färber H, Erdinger L, Braunbeck T (2003): Untersuchungen zum ökotoxikologischen Schädigungspotenzial und Erosionsrisiko von kontaminierten Sedimenten in staugeregelten Flüssen. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 15 (1) 5–12
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): Third Assessment Report: The Scientific Basis. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Mitigation. Cambridge University Press
- Latif M (2005): Verändert der Mensch das Klima? Diese Frage stellt sich nicht mehr. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 17 (4) 193–196
- Merz B, Didszun J (2005): Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (Editorials). *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 17 (4) 191–192
- Negendank JFW (Hrsg) (2001): Klimaweißbuch. Klimainformationen aus geowissenschaftlicher Forschung (Fallstudien). Stand und notwendige Erfordernisse der Paläoklimaforschung. Terra Nostra 2001/7
- Negendank JFW, Gerstengarbe F-W, Wolff R (Hrsg) (2003): Klimavariabilität. 6. Deutsche Klimatagung. Terra Nostra 2003/6
- Negendank J (2005): Gehen wir in eine neue Kaltzeit? *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 17 (4) 242–247
- Sarnthein M, Hay WW, Negendank JFW, Prentice C, Schwab M, Seibold E (Hrsg) (2001): Klimawechsel vor dem Einfluß des Menschen. *Nova Acta Leopoldina Neue Folge* 88 (331)
- Schönwiese C-D (2005): Globaler und regionaler Klimawandel – Indizien der Vergangenheit, Modelle der Zukunft. 17 (3) 171–175 (2005)
- Stichweh R (2000): Die Weltgesellschaft. Suhrkamp-Verlag
- Stock M (2004): Klimafolgenforschung: Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gesellschaft – Fallstudien. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 16 (2) 115–124
- Stock M (2003): Klimafolgenforschung: Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Gesellschaft – Problemstellung und Grundlagen. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox* 15 (4) 251–261
- Wefer G, Berger WH, Behre K-E, Jansen E (Hrsg) (2002): Climate development and history of the North Atlantic realm. Springer-Verlag

Eingegangen: 13. Januar 2006
 Akzeptiert: 12. März 2006
 OnlineFirst: 13. März 2006