rafo verlag

SITZUNGSBERICHTE

LEIBNIZ-SOZIETÄT DER WISSENSCHAFTEN

Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip

Arbeitskreis "Prinzip Einfachheit" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Wissenschaftliche Vorträge 2010-2015

Herausgegeben von Herbert Hörz, Werner Krause und Erdmute Sommerfeld Mit Beiträgen von Karl-Heinz Bernhardt, Charles Coutelle, Werner Ebeling, Lutz-Günther Fleischer, Dieter B. Herrmann, Helga E. Hörz, Hermann Klenner, Dietmar Linke, Ina Müller, Roswitha März, Heidemarie Salevsky



BAND 125/126

Jahrgang 2016

Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

ist eine freie Vereinigung von Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaftlern. Sie steht in der Tradition der von Gottfried Wilhelm Leibniz im Jahre 1700 gegründeten Brandenburgischen Sozietät der Wissenschaften, mit der sie historisch durch die über Jahrhunderte ununterbrochene Zuwahl ihrer Mitglieder und deren wissenschaftliches Wirken verknüpft ist.

Die Sozietät, im Jahre 1993 mit Sitz in Berlin konstituiert, baut auf eigenständigen Forschungen ihrer Mitglieder auf und bietet ihnen ein Forum der Diskussion und Publizität. Im Plenum, in den Klassen und Arbeitsgruppen pflegen ihre Mitglieder und Gäste besonders den interdisziplinären Diskurs und die Erörterung aktueller Grundprobleme von Wissenschaft und Gesellschaft. Die Sozietät will durch ihre Tätigkeit einen angemessenen Beitrag zum geistigen Leben in unserer Zeit leisten.

Vorstand (Präsidium) der Sozietät

Gerhard Banse, Technikphilosoph *Präsident*

Armin Jähne, Historiker Vizepräsident

Ulrich Busch, Wirtschaftswissenschaftler Schatzmeister

Heinz-Jürgen Rothe, Psychologe *Sekretar des Plenums*

Lutz-Günther Fleischer, Verfahrenstechniker, Thermodynamik Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften

Hans-Otto Dill, Romanist, Literaturwissenschaftler Sekretar der Klasse für Sozial- und Geisteswissenschaften

Herbert Hörz, Wissenschaftsphilosoph und -historiker *Ehrenpräsident*







SITZUNGSBERICHTE BAND 125/126 JAHRGANG 2016



Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin

Diese Publikation erfolgte mit freundlicher Unterstützung der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung von Berlin.

Impressum

Herausgeber: Gerhard Banse, Präsident der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. Briefanschrift: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

Briefanschrift der Redaktion:

e-mail: wdhartung@freenet.de

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V., Redaktionskollegium,

Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin

Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin Hausanschrift der Redaktion:

Prof. Dr. Wolfdietrich Hartung, Heidekampweg 127, 12437 Berlin Telefon: 030/532 69 03

Homepage http://www.leibnizsozietaet.de

Im Auftrag der Leibniz-Sozietät e.V. erschienen im trafo Wissenschaftsverlag

Dr. Wolfgang Weist, Finkenstr. 8, 12621 Berlin
Telefon: 030/61 29 94 Fax: 030/61 29 94 21
e-mail: info@trafoberlin.de

Druck: Conrad Citydruck, Berlin

Bruen. Comua City aracii, Berni

Bezugsbedingungen: Die Reihe "Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät erscheint in unregelmäßigen Abständen etwa viermal jährlich.
Bestellungen sowie fortlaufender Bezug bitte über Ihre Buchhandlung oder direkt beim

Bestellungen sowie fortlaufender Bezug bitte über Ihre Buchhandlung oder direkt bei trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist

Redaktionelle Durchsicht dieses Bandes: Wolfdietrich Hartung

Redaktionsschluss: 27.11.2015 ISSN 0947-5850 ISBN 978-3-86464-094-0

Inhalt

Herbert Hörz, Werner Krause, Erdmute Sommerfeld Sind komplexe Systeme einfach? Bilanz des Arbeitskreises "Prinzip Einfachheit"	7
Karl-Heinz Bernhardt Komplexität und Einfachheit im Klimasystem der Erde	25
Roswitha März Gewisse Einfachheit auf den komplizierten Wegen zur höchsten Gewissheit	49
Werner Ebeling Ist Evolution vom Einfachen zum Komplexen gerichtet? Über Werte und Emergenz	69
Helga E. Hörz Ist Feminismus Reduktionismus?	81
Hermann Klenner Einfachheit in der Jurisprudenz?	99
Dietmar Linke Einfachheit in der Chemie? – "Lasst, die ihr eintretet, alle Hoffnung fahren!" – Oder doch nicht ganz?	123
Charles Coutelle Die verführerische Illusion "einfacher" Konzepte Kritische Betrachtungen zum Prinzip Einfachheit anhand von Beispielen aus Molekularbiologie und Medizin	151
Dieter B. Herrmann Sind die Standardmodelle der Kosmologie und Elementarteilchen- physik falsch, weil sie zu kompliziert sind? Anmerkungen aus wissenschaftshistorischer Sicht	171
Heidemarie Salevsky, Ina Müller Das Sensitivitätsmodell Prof. Vester® – ein einfaches Programm zur Lösung komplexer Probleme (mit Anwendungsbeispielen aus der Translatologie)	187

Herbert Hörz, Werner Krause, Erdmute Sommerfeld

Sind komplexe Systeme einfach?

Bilanz des Arbeitskreises "Prinzip Einfachheit"

Am 8. April 2010 fand die ganztägige wissenschaftliche Plenarveranstaltung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zum Thema "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip" statt. (Sommerfeld/Hörz/Krause 2010) Initiatoren waren aus der kognitiven Psychologie und menschlichen Informationsverarbeitung Erdmute Sommerfeld und Werner Krause, sowie der Wissenschaftsphilosoph Herbert Hörz. Das Plenum war der Auftakt zur Gründung des Arbeitskreises "Prinzip Einfachheit", dessen Leitung die Initiatoren mit der Sprecherin Erdmute Sommerfeld übernahmen. Inzwischen haben elf Tagungen des Arbeitskreises (AK) stattgefunden, auf denen durch kompetente Vortragende Erkenntnisse zum Einfachheitsprinzip aus Mathematik, Natur-, Technik-, Sozial- und Geisteswissenschaften vorgestellt wurden. Die anschließenden interessanten und teilweise kontroversen Debatten zeigten, wie unterschiedlich die Auffassungen zu diesem Prinzip sind. Antworten auf die Frage, ob komplexe Systeme einfach sind, fielen vor allem auch deshalb unterschiedlich aus, weil Erfahrungen mit zu sehr vereinfachten Theorien und Modellen manchmal in den Vordergrund gestellt wurden. Der prinzipielle Hinweis auf die von uns angestellten Überlegungen auf die im Erkenntnisprozess herauszuarbeitende Differenzierung zwischen philosophischem Reduktionismus und wissenschaftlich berechtigten Reduktionen ist dafür wichtig.

Bezieht man Einfachheit auf die Anzahl der Subsysteme und Elemente, auf die Interdependenzen der strukturellen Beziehungen, auf die Einflüsse der Umgebung, also das Wechselverhältnis von Selbst- und Fremdorganisation und auf die Möglichkeitsfelder für die Tendenzen der weiteren Entwicklung, zu denen auch die Systemauflösung gehört, dann sind Natur, Gesellschaft, lebende Systeme, soziale Organismen, Gesellschaftsformationen, Individuen, formelle und informelle Gruppen in ihren Systembeziehungen auf keinen Fall einfach. Die Frage nach der Einfachheit komplexer Systeme ist also zu präzisieren: Gibt es in komplexen Systemen einfache Beziehungen

zwischen wesentlichen Parametern, die das Verhalten des Systems bestimmen? Dieser Frage war mit Fallbeispielen nachzugehen. Die Erkenntnis objektiver wesentlicher Kausalbeziehungen und gesetzmäßiger Zusammenhänge ist Grundlage für erklärende Theorien und Modelle, womit praktische Erfolge bei der Gestaltung der Wirklichkeit erreicht werden.

Mit diesem Band der Sitzungsberichte soll eine erste Bilanz bisheriger Veranstaltungen gezogen werden. Es werden die meisten der bisher gehaltenen Vorträge abgedruckt, in der Form, die uns für die Publikation zur Verfügung gestellt wurde, einschließlich einer wissenschaftlichen Mitteilung zu den Verflechtungen wichtiger Kategorienpaare. Wir wissen, dass weitere Fallbeispiele zu untersuchen sind, um die Diskussion über das Prinzip Einfachheit weiter zu führen. Eine Reihe von offenen Fragen, auf die mit den Problemfeldern hinzuweisen sein wird, ist zu beantworten.

Bei unserer Bilanz werden wir zuerst auf die Zielstellung und Methodik des AK eingehen, um dann zweitens die Vortragenden und die Titel ihrer Beiträge als Basis für unsere Sicht auf die bisher erreichten Ergebnisse zu benennen und letztere kurz zu charakterisieren. Dazu ist es empfehlenswert, die dargestellten Einsichten in den bisher vorgestellten Fallbeispielen zur Kenntnis zu nehmen. Drittens geht es im Zusammenhang mit den bisher gesammelten Erfahrungen um die Antwort auf die Frage, was der AK leisten kann. Viertens werden ausgewählte Problemfelder benannt und fünftens ein kurzes Fazit gezogen.

1. Zielstellungen und Methodik des AK

In der Einführung zur Eröffnungsveranstaltung wurde als Zielstellung des Arbeitskreises die allgemeine Frage formuliert: "Ist das Prinzip Einfachheit in allen (zu betrachtenden) wissenschaftlichen Disziplinen nachweisbar?" Gemeinsamkeiten in und Unterschiede zwischen den Disziplinen sollten analysiert werden. Als *spezifische Fragestellung 1* wurde genannt: "Welches sind die Erscheinungsformen des Prinzips 'Einfachheit' in den unterschiedlichen Disziplinen? Um zur Beantwortung dieser Frage beitragen zu können, sind sowohl die inhaltliche und formale Definition von Einfachheitskriterien erforderlich als auch die Suche nach empirischen Belegen in den Disziplinen. … Bei Untersuchungen zur Frage, ob ein Prinzip der Einfachheit generell gilt, ist weiterhin zu beachten, dass die Erscheinungsformen von Einfachheit im Allgemeinen 'nur' das 'Ende' eines Entwicklungsprozesses (z.B. im Rahmen der Evolution) oder eines 'Vorverarbeitungsprozesses' (z.B. beim menschlichen Problemlösen) darstellen. Ein solcher Prozess, in dem die Voraussetzungen für Einfachheit sich entwickeln bzw.

diese erst geschaffen werden, kann ein nicht einfacher Prozess sein. Wollen wir tiefer in das "Wesen" des Prinzips "Einfachheit" eindringen, sind entwicklungs- und situationsabhängige Beziehungen zwischen einfachen und nicht einfachen Strukturen und Prozessen zu analysieren. Wir müssen uns sowohl mit existierenden, sich entwickelnden als auch mit (anforderungsabhängig) zu schaffenden Voraussetzungen für Einfachheit beschäftigen. Das führt uns zu einem weiteren Schwerpunkt.

Spezifische Fragestellung 2: Welches sind die Voraussetzungen für Einfachheit in den unterschiedlichen Disziplinen?...Wenn systematische Analysen zeigen sollten, dass es große Ähnlichkeiten bezüglich des Prinzips 'Einfachheit' zwischen den Fachdisziplinen gibt, könnte man die Frage nach der Allgemeingültigkeit des Prinzips 'Einfachheit' stellen (Sommerfeld et al. 2010, S. 7ff.).

Jeder Erkenntnisprozess erfordert Vereinfachungen. Es ist also konkret zu untersuchen, ob sie sich bei der Modell- und Theorienbildung, bei der Interpretation empirischer Erfahrungen und experimenteller Ergebnisse, auch hemmend auf die Wahrheitssuche auswirken können. Wir unterschieden deshalb zwischen philosophischem Reduktionismus und wissenschaftlich berechtigten Reduktionen. An Fallbeispielen zeigte sich, dass die Unterscheidung tragfähig als erkenntnistheoretische Grundlage für die Erkenntnisgewinnung ist. Insofern ist die Forderung nach einfachen Erklärungen ein heuristisches Prinzip. Es geht also dabei, im Zusammenhang mit Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip, um das erkenntnistheoretische Problem, ob "Vereinfachungen (Komplexitätsreduktionen) in bestimmten Situationen menschlichen Erkennens und Handelns unter konkret-historischen Bedingungen" berechtigt sind.

"Da wir sie brauchen, lautet die Frage: Geht es bei den Vereinfachungen um wissenschaftlich berechtigte Reduktionen oder handelt es sich um philosophischen Reduktionismus? Reduktionen, deren Berechtigung stets abhängig von der Zielstellung ist, unterliegen bestimmten Kriterien. Dazu gehören sowohl Anforderungen an die wissenschaftliche Exaktheit, als auch Rechtsnormen und moralische Implikationen. Philosophischer Reduktionismus umfasst Vereinfachungen, die wesentliche Zusammenhänge nicht beachten, das Erkennen und Handeln einseitig orientieren und bereits erreichte Erkenntnisse ignorieren. Die generelle erkenntnistheoretische Frage nach dem Charakter der Vereinfachungen ist differenziert zu beantworten. Dazu ist auf folgende Unterfragen einzugehen: Hat das Prinzip der Einfachheit ontologische Grundlagen? Gibt es historische und aktuelle Ausformungen als Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip? Wie unterscheiden wir berechtigte Vereinfachungen vom philosophischen Reduktionismus?

Welche Bedeutung hat das 2+1-Prinzip für die Erkenntnis komplexer Systeme? Welche Rolle spielt das Einfachheitsprinzip in kognitiven Strukturen bei der Informationsverarbeitung?"

Zu den ontologischen Grundlagen heißt es: "Worin bestehen die ontologischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit? Die Antwort lautet: Einfachheit als Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip basiert auf entsprechenden objektiven Wirkprinzipien. Die ontologischen Grundlagen sind: Einfachheit ist Effektivität. Mit einem Minimum an Aufwand wird eine optimale Strukturierung eines konkreten Systems erreicht, die dessen Funktionserfüllung dient. Das Weltgeschehen ist einfach, weil effektiv. Einfachheit kann ontologisch nicht allein an die Existenz von einfachen Elementen gebunden werden, da damit nicht die einfachen Mechanismen komplexer Systeme erklärt sind, obwohl in ihnen existierende Elementarmechanismen weiter wirken, doch meist modifiziert, durch die komplexe Struktur geprägt." (Sommerfeld et al. 2010, S. 13ff.) Darüber ist sicher weiter auch unter den Mitgliedern des AK zu diskutieren.

Später problematisierten Vortragende die ontologischen Grundlagen. Dabei wurde manchmal sowohl die von uns getroffene Unterscheidung zwischen Wirkprinzipien I, II und III sowie zwischen philosophischem Reduktionismus und wissenschaftlich berechtigten Reduktionen außer Acht gelassen. So ist bei den Wirkprinzipien die Evolutionstendenz in objektiven komplexen Systemen zur Reduktion des Stoff-, Energie- und Informationsaufwands zur Sicherung der Überlebensfähigkeit unter konkret-historischen Bedingungen zu beachten. Dafür sind jedoch noch mehr Fallbeispiele zu untersuchen.

Über die Methodik, Ergebnisse zu erreichen, herrschte von Anfang an Klarheit in der Leitung des AK. Wir wollten mit zwei gut vorbereiteten Tagungen im Jahr verschiedene Disziplinen und Forschungsgebiete der Naturwissenschaften, Technikwissenschaft, Mathematik, Sozial- und Geisteswissenschaften danach befragen, wie neue Erkenntnisse gewonnen wurden und welche Rolle das Prinzip Einfachheit dabei gespielt hat.

2. Vorträge und Ergebnisse

Bisher wurden folgende Vorträge gehalten:

- Karl-Heinz Bernhardt: Einfachheit und Komplexität im Klimasystem der Erde
- Roswitha März: Schöne Einfachheit als (VER)FÜHRUNG in der Mathematik

- Helmut Moritz: Über G. Chaitin Von Metamathematik zur Metabiologie (Ein Beitrag zur Wirkung Leibnizscher Ideen)
- Werner Ebeling: Ist Evolution vom Einfachen zum Komplexen gerichtet?
 Über Emergenz und Werte
- Helga E. Hörz: *Ist Feminismus Reduktionismus?*
- Lutz-Günther Fleischer: Informationen und Entropien komplexe Werkund Denkzeuge des Prinzips Einfachheit
- Hermann Klenner: Einfachheit in Rechtswissenschaft und Rechtspraxis: Plurimae leges – corruptissima res publica?
- Dietmar Linke: Einfachheit in der Chemie? Lasst, die ihr eintretet, alle Hoffnung fahren! Oder doch nicht ganz?
- Charles Coutelle: Die verführerische Illusion "einfacher" Konzepte Kritische Betrachtungen zum Prinzip Einfachheit an Hand von Beispielen aus Molekularbiologie und Medizin
- Dieter B. Herrmann: Sind die Standardmodelle der Kosmologie und Elementarteilchenphysik falsch, weil sie zu kompliziert sind?
- Heidemarie Salevsky und Ina Müller: Das Sensitivitätsmodell Prof. Vester® ein einfaches Programm zur Lösung komplexer Probleme (mit Anwendungsbeispielen aus der Translatologie)

Die wissenschaftliche Mitteilung von Lutz-Günther Fleischer galt dem Thema: Taxonomie dynamischer ontologischer und kognitiver Mehrebenensysteme. Ein thesenhafter systemtheoretischer Interpretationsversuch der fundamentalen funktionell-strukturellen Systemcharakteristika einfach/kompliziert sowie elementar/komplex und ihrer Korrelationen. Sie spiegelte bereits wichtige Ergebnisse der bisherigen Arbeit des AK wider, da auf die Verflechtung der mit dem Prinzip Einfachheit verbundenen Kategorienpaare "Einfachheit und Kompliziertheit" sowie "Komplexität und Elementarität" subtil eingegangen wird.

Fast alle Vorträge sind in diesem Band in erweiterter bzw. aktualisierter Form publiziert. Roswitha März knüpft mit ihrem Beitrag "Gewisse Einfachheit auf den komplizierten Wegen zur höchsten Gewissheit" an ihren Vortrag im AK an. Von Lutz-Günther Fleischer ist eine ausführliche Form der wissenschaftlichen Mitteilung mit dem Titel "Relationale Klassifikation elementarer Organisationsmerkmale emergenter dynamischer Systeme – ein Essay" enthalten, wobei der Autor in diesen Aufsatz auch Gedanken seines Vortrags mit eingearbeitet hat.

Einigkeit herrschte in den bisherigen Diskussionen darüber, dass letzten Endes die in Experimenten und Beobachtungen festgestellten Tatsachen, die empirischen Befunde und die praktischen Erfolge bei der Verwertung der Erkenntnisse darüber entscheiden, ob eine einfache Theorie oder ein einfaches Modell die Wirklichkeit adäquat erfasst. Beispiele für die hemmende Rolle vereinfachter Annahmen für den Erkenntnisgewinn in Geschichte und Gegenwart wurden ebenfalls angeführt. Die bereits erwähnte Unterscheidung zwischen philosophischem Reduktionismus und wissenschaftlich berechtigten Reduktionen verdeutlicht gerade, dass bei der Erkenntnisgewinnung sehr genau darauf zu achten ist, ob die in Modellen und Theorien vorgenommenen notwendigen Vereinfachungen unter den genannten Bedingungen wissenschaftlich berechtigt sind oder nicht. Wie schon bei der Aufgabenstellung betont, sind die Bedingungen und Voraussetzungen für Reduktionen für die Modell- und Theorienbildung auf der Grundlage empirischer Befunde, Beobachtungen und Experimente weiter zu analysieren.

Die Einfachheit als Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip wurde generell anerkannt. Erkenntnisgewinn ist nur zu erreichen, wenn komplexe Systeme mit Modellen und Theorien erfasst werden, bei denen keine zusätzlichen Annahmen die Erklärung verkomplizieren. Einfachheit als Gestaltungsprinzip ist wesentliche Grundlage bei der Herstellung von technischen Geräten, bei der Entwicklung von Prozesstechnologien, bei der Stoffumwandlung usw. Im langwierigen und notwendigen Klärungsprozess in der wissenschaftlichen Erkenntnis werden einfachere Grundstrukturen durch Experimente und entsprechende Modelle und Theorien erst gefunden.

Die Frage nach einem in Natur und Gesellschaft existierenden Wirkprinzip Einfachheit wurde von einigen Diskutanten teilweise negativ beantwortet, wobei die Mehrheit darauf verwies, dass sich eine Reduktion des Prinzips Einfachheit auf seine unbestrittene heuristische und methodische Rolle einem Idealismus nähere, der die objektive Realität als subjektive Konstruktion ansehe. Es sei deshalb noch einmal auf die Differenzierung der Einfachheit als Wirkprinzip hingewiesen, die wir in der Einführungsveranstaltung vorgenommen haben:

"Es entstehen in bestimmten kosmischen Regionen, wie auf unserer Erde, Bedingungen für das Leben und für die Existenz vernunftbegabter Wesen. Mit dem geringsten Aufwand an Stoff, Energie und Information werden die erforderlichen Funktionen der relativ stabilen Systeme (Atome, Moleküle, Lebewesen, Erde, Kosmos mit Galaxien) für ihre Existenz erfüllt. Uneffektives verschwindet nach seinem Entstehen im wirklichen Geschehen noch kürzerer oder längerer Zeit wieder. Einfachheit im Sinne von Effektivität im mikro-, meso- und makrokosmischen Bereich ist das Wirkprinzip I, das unser Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip fundiert. ... Natürliche Wirkprinzipien I in einer Welt ohne Men-

schen werden mit den im Zentralen Nervensystem existierenden Wirkprinzipien II verbunden, um effektiv die natürliche, soziale und mentale Umwelt zu gestalten. Einfachheit in den Neuronen-Netzen umfasst als Wirkprinzip II die Möglichkeit für die personenspezifische, situationsgebundene und zielgerichtete Strukturierung von Informationen durch Erfahrung und Training. Effektivität verbindet sich mit Humanität. Einfach ist nicht mehr allein die effektive Ausgestaltung natürlicher Systeme. Wichtig für die weitere Existenz der Menschheit und ihrer Lebensbedingungen ist, Effektivitätssteigerung zur Humanitätserweiterung zu nutzen. ... Technische und ästhetische Aneignung der Wirklichkeit durch Menschen mit Bewusstsein führt zu Artefakten, die nach ihrer Existenz eine innere Einfachheit als Wirkprinzip III zeigen." (Sommerfeld et al. 2010, S. 15f.)

Wirkprinzipien I könnten auf die Möglichkeit verweisen, dass auch bei universellen Theorien Urkräfte und Urelemente eine Rolle spielen. Bei der Diskussion um die ontologischen Grundlagen des methodisch-heuristischen Prinzips Einfachheit sollte vor allem das Wirkprinzip III nicht vergessen werden, das zugleich das Wirken technischer Gestalter bestimmt.

Argumente gegen eine ontologische Fundierung des Prinzips Einfachheit waren und sind: "Objektiv-reale Prozesse sind nicht einfach. In der Evolution bilden sich immer komplexere Systeme heraus. Wir Menschen vereinfachen die Komplexität, um zu Erkenntnissen zu gelangen. Einfachheit ist in erster Linie ein Erkenntnisprinzip." Dagegen ist ins Feld zu führen, dass wir Menschen als erkennende und handelnde Wesen, die ihre natürliche und gesellschaftliche Umgebung und das spirituelle und mentale Umfeld, also auch den Umgang miteinander, effektiv und human gestalten wollen. Dazu brauchen wir Erkenntnisse. Diese können wir erhalten, da die Wirkprinzipien II existieren. Insofern sind einfache Theorien und Modelle, gestützt durch Experimente und erfolgreich in der Verwertung bei der Gestaltung der Wirklichkeit, nicht einfach subjektive Konstruktionen, sondern weisen eine ontologische Entsprechung auf. Komplexe Systeme sind in ihren wesentlichen Grundstrukturen einfach, wenn man sie nicht für die Komplexität an der Zahl der Strukturelemente, der Beziehungen zwischen den Elementen und den Energie- und Informationsflüssen misst, sondern die objektiven Systemgesetze als wesentliche, d.h. den Charakter der Erscheinungen bestimmende, und reproduzierbare, d.h. unter bestimmten Bedingungen wiederholbare, Beziehungen aufdeckt. Diese sind keine subjektiven Konstruktionen, sondern bestimmen objektiv das Verhalten der Systeme.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass Theorien und Modelle mit einfachen und wesentlichen Systembeziehungen in einem Transformationsprozess, der nicht einfach ist, bis zu experimentell überprüfbaren Folgerungen zu führen sind.

Als erste Ergebnisse können wir festhalten:

- I. Wissenschaftliche Prinzipien sind die auf Erkenntnissen in die objektiven Prozesse in Natur, Gesellschaft und bei der Aneignung der Wirklichkeit (Erkenntnis und Praxis) basierenden allgemeinen Grundsätze theoretischmethodischen Verhaltens. Sie unterliegen folgenden Kriterien: Nicht-Ableitbarkeit, Widerspruchsfreiheit im logischen Sinn, maximaler Erklärungswert im Gültigkeitsbereich, Praxisüberprüfung. Das Prinzip Einfachheit basiert auf der Einsicht in die existierenden objektiven Wirkprinzipien I, II und III, die ontologische Basis des Erkenntnisprinzips sind. Einfachheit als Gestaltungsprinzips folgt dem Grundsatz, mit einem Minimum an Aufwand von Stoff, Energie und Information ein Maximum an Funktionsfähigkeit der vom Menschen zu gestaltenden Systeme (Artefakte, lebende Systeme, informationsverarbeitende intelligente Maschinen) zu erreichen. Dabei sind Effektivitäts- und Humankriterien zu beachten.
- 2. Das Kategorienpaar "Einfachheit und Kompliziertheit" ist nicht zu verwechseln mit dem Paar "Komplexität und Elementarität". Komplexe Systeme sind nicht auf elementare Strukturen zurückzuführen. Das wäre philosophischer Reduktionismus, denn das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile. Komplexe Systeme haben jedoch theoretisch erfassbare einfache Grundstrukturen, die in ihren wesentlichen und unter bestimmten Bedingungen reproduzierbaren Strukturen als objektive wesentliche Kausalbeziehungen oder als objektive Gesetze theoretisch erfasst werden können (Hörz 2009).
- 3. Für die Erforschung komplexer Systeme gilt das 2+1-Prinzip. Dieses Prinzip kann z.B. an einem See als komplexes Ökosystem verdeutlicht werden. (Hörz 1988, S. 306f., 2014) Mit der Rahmentheorie (+1) für bestimmte Systeme ist deren Erforschung in zwei Ebenen (2), System und Elemente oder System und Umwelt möglich. Beachten wir die Hierarchie der objektiven Bewegungsformen, dann ist es möglich, den Zusammenhang von Theorien für verschiedene Objektbereiche über die hierarchischen Strukturen herzustellen. (Hörz 2009, S. 107f.) So ist z.B. die Theorie dissipativer Strukturen eine physikalische Rahmentheorie biotischer Evolution, die lebende Systeme in ihrer Umwelt und als Beziehung von System, Subsystemen und Elementen erfasst. Die physikalische Rahmentheorie biotischer Evolution ist durch die biologische Rahmentheorie sozialen Verhaltens er-

gänzt, die gesellschaftliche durch eine Theorie des Gruppenverhaltens, die sozialpsychische durch eine Theorie individuellen Verhaltens. Dazwischen liegen die Genetik biotischen Verhaltens, die Biotik individuellen Verhaltens, die Biologie der Sozialität, die Psychologie und Soziologie der Gruppen usw. In höheren Bewegungsformen entstehen neue Komplexitätsgrade und Kooperationsformen von Elementen der Systeme. Rahmentheorien geben nur die Möglichkeitsfelder des Verhaltens an und bestimmen nicht die spezifischen Mechanismen und Triebkräfte des Verhaltens der zu untersuchenden Systeme. Jede Theorie von der Verhaltensweise eines Systems in der niedrigeren Bewegungsform ist Rahmentheorie für das Verhalten der Elemente eines Systems in der höheren Bewegungsform. In der Rahmentheorie existiert die höhere Bewegungsform als Möglichkeit in dem von der Theorie beschriebenen Möglichkeitsfeld. Die Existenz der höheren Bewegungsform führt zu Restriktionen für das Möglichkeitsfeld der niedrigeren Bewegungsform. Es wird jedoch ein qualitativ neues Möglichkeitsfeld für eigenes Verhalten in der höheren Bewegungsform aufgebaut, das selbst wieder Möglichkeiten für die weitere Entwicklung höherer Formen enthält.

- 4. Erforderliche Vereinfachungen für die Erkenntnis sind dann wissenschaftlich berechtigte Reduktionen, wenn die darauf basierenden Theorien und Modelle zu praktisch prüfbaren Erfolgen führen. Das hebt nicht auf, dass Theorien, die zu praktischen Erfolgen führen, sich später als gültig nun in einem bestimmten Bedingungsgefüge erweisen. Sie werden dann in eine allgemeinere Theorie eingeordnet und erweisen sich als deren Grenzfall unter den erforschten Bedingungen. Reduktionen sind für die Modellbildung wichtig. Modelle sind jedoch als als-ob-Objekte und als-ob-Theorien nicht mit den Theorien und Objekten gleichzusetzen. Mit der Interpretation ist Modellkritik zu verbinden. Diese setzt bei den wissenschaftlich nicht berechtigten Vereinfachungen an. Werden etwa wesentliche Komponenten nicht beachtet, so löst das falsche Handlungsorientierungen aus. Komplexe Systeme müssen jedoch nicht komplizierter modelliert werden, als es erforderlich ist.
- 5. Einfachheit als Wirkprinzip drückt die Effektivität der Funktionserfüllung durch das Systemverhalten (Stoffwechsel-Prozesse oder Metabolismen, Prozesse als Einheit von Selbst- und Fremdorganisation) aus, indem durch Veränderungen, Auslese, Aussterben komplizierte Prozesse von Stoffumwandlungen, Energieflüssen und Informationsaustausch bei der Anpassung an konkret-historische Umweltbedingungen entsprechend vereinfacht werden.

3. Was kann der AK leisten?

Die Leitung des AK "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip" befasste sich nach Diskussionen um seine Aufgaben mehrmals mit seiner Zielstellung, um genauer zu bestimmen, was in interdisziplinärer Arbeit erreicht werden kann. Dabei wurden verschiedene Argumentationsmuster diskutiert. Man kann etwa in folgender Weise die Problematik unserer Untersuchungen des Prinzips Einfachheit in verschiedenen Disziplinen charakterisieren: Lässt sich ein allgemeines Prinzip Einfachheit (Wirk-, Gestaltungs-, Erkenntnisprinzip) in der Wissenschaft generell nachweisen? Dazu müssten alle Wissenschaftsdisziplinen betrachtet werden. Nehmen wir einmal 100 Disziplinen an und die drei Einfachheitsprinzipien, dann ergibt sich eine Matrix (100,3). Die Zielfrage können wir dann positiv beantworten, wenn es in der Matrix mindestens eine ZEILE gibt, in der nur Kreuze vorhanden sind. Ein Kreuz steht für die Existenz eines Prinzips in einer Disziplin. Zur Realisierung dieses Vorhabens würden wir 50 Jahre benötigen. Mit der Beschränkung auf die LS stehen 40 Disziplinen zur Verfügung. Nehmen wir an, dass sich davon 20 Disziplinen an Beiträgen im AK beteiligen, dann könnte zwar in zehn Jahren ein Ergebnis vorliegen, jedoch ist wegen des Induktionsgesetzes ein Schluss auf die Grundgesamtheit nicht möglich: Über ein allgemeines Prinzip kann nichts ausgesagt werden.

Die in der Matrix postulierten Kreuze verlangen eine Binärentscheidung: Prinzip nachweisbar/Prinzip nicht nachweisbar. Solche Entscheidungen sind schwer zu treffen. Aus gutem Grund ist deshalb auf die Bedingtheit einfacher Erklärungen verwiesen. Für die Bedingungen gilt jedoch ebenfalls, dass der Schluss auf die Grundgesamtheit nicht möglich ist. Das Ziel des AK ist unter den angegebenen Restriktionen eingeschränkt: Die Frage ist positiv beantwortet, wenn es in der eingeschränkten Matrix (20,3) mindestens eine SPALTE mit mindestens einem Kreuz gibt. Wir können die Frage nach Einfachheitsprinzipien nur für ausgewählte Disziplinen beantworten. Damit ist das Problem einer einfachen Bestimmung von Einfachheit klar formuliert, denn die Berechnungen und Befürchtungen sind ernst zu nehmen. Es geht darum, sich keine illusionären Ziele zu stellen.

Man kann jedoch bei Prinzipien auch anders herangehen. Bauen wir eine Hierarchie von Prinzipien auf, dann gibt es allgemeinere und speziellere. In der Wissenschaft haben wir zwei Wissenschaften, die allgemeine Prinzipien untersuchen. Mathematik als Wissenschaft von den formalisierbaren Strukturen ideeller Systeme und Philosophie in ihren Aspekten als heuristische Strukturtheorie mit der Dialektik. Prinzipien sind die auf der Einsicht in die

objektiven Strukturen und Prozesse basierenden allgemeinen Grundsätze theoretisch-methodischen Verhaltens. Sie sind gedankliche Konstruktionen und empirisch belegbare Sachverhalte. (Schimming/Hörz 2009) Theoretisch sind also zur rationalen Aneignung der Wirklichkeit disziplinübergreifende Theorien, die man als intradisziplinär bezeichnen kann, als Heuristik und Zusammenfassung inter- und multidisziplinärer Erkenntnisse zu nutzen. Dazu gehören mathematische Modelle, Struktur-, System- und Prozesstheorien, Kybernetik und Theorien der Selbstorganisation, Ethik und die Philosophie, einschließlich der Dialektik als Heuristik mit ihrer System- und Entwicklungstheorie. Mathematik und Philosophie, generell die damit verbundenen intradisziplinären Theorien, sind also ebenfalls in ihren Beziehungen zu den anderen Wissenschaften zu erfassen. Wenn wir das ernst nehmen, dann besteht die Aufgabe des AK in folgenden zwei Punkten:

- 1. Wir formulieren Einfachheit als Wirk-, Gestaltungs- und Erkenntnisprinzip im philosophischen Sinn und überprüfen an Fallbeispielen, ob man damit heuristisch arbeiten kann. Das machen wir bisher mehr oder weniger gut. Wir müssen also nicht alle Wissenschaften ins Kalkül ziehen, was sowieso nicht geht. Wichtig ist, dass wir bei der Auswahl der Fallbeispiele berücksichtigen, dass es verschiedene Gruppen von Wissenschaften gibt, die sich mit Natur, Gesellschaft, Erkenntnis, Aneignung, Individuen, mental-spirituellen Strukturen usw. befassen.
- 2. Wir nutzen die Fallbeispiele, um herauszufinden, ob Präzisierungen der philosophischen Bestimmung erforderlich sind. Offen bleibt, ob wir eine mathematisch-allgemeine Formulierung des Prinzips finden. Skepsis, die auch in Vorträgen und Diskussionen zum Ausdruck kam, ist berechtigt. Im Vordergrund steht deshalb die heuristische, erkenntnisfördernde Debatte im interdisziplinären Kreis. Insofern könnte sich der Übergang von der Generalisierung zur Kategorisierung als möglicher Ausweg aus dem vorher charakterisierten Dilemma erweisen. Selbst wenn wir keine mathematische Formulierung des Einfachheitsprinzips erreichen, bleibt die Diskussion um Maße wichtig.

Es wird also nicht nur deutlich, was als Zielstellung des AK eventuell nicht erreicht werden kann, sondern auch, dass es ein wesentliches Anliegen/Ziel des AK ist, für eine *Teilmenge von wissenschaftlichen Disziplinen* ganz konkrete, exakte Aussagen über die *inhaltliche* und *formale* Beschreibung und den *empirischen* Nachweis von *Einfachheitskriterien* (und damit zusammenhängenden Maßen für Einfachheit) zu machen sowie nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen den Disziplinen zu suchen (basierend

auf der Analyse situations- und zielabhängiger *Erscheinungsformen* des Prinzips Einfachheit).

Präzisierungen der philosophischen Bestimmung die sich aus den Fallbeispielen ergeben, umfassen auch das folgende Herangehen: Wir nutzen die Fallbeispiele, um die zum Teil intuitive Auffassung vom Prinzip Einfachheit zu konkretisieren/zu präzisieren – ausgehend von der Formulierung des Prinzips Einfachheit im *philosophischen* Sinn und basierend sowohl auf der *exakten Beschreibung* (Formalisierung) von Einfachheitskriterien als auch auf ihrem *empirischen* Nachweis in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen. In dieser Richtung wird der AK weitere Problemfelder untersuchen.

4. Problemfelder

Problemfelder betreffen die weitere Arbeit des AK. Dabei geht es sowohl um Geschichte und Systematik weiterer Disziplinen, die Rolle berechtigter und nicht berechtigter Reduktionen in der Pädagogik bei der Vermittlung von Erkenntnissen, Einfachheit und Welterklärung in Religionen, doch auch weitere Bereiche der Mathematik, Naturwissenschaften und der Technikwissenschaften, um mehr über Komplexitätsmaße und Kriterien der Einfachheit zu erfahren.

Für die weitere Arbeit des AK gibt es dabei eine Reihe genereller Probleme, die teilweise schon bei den Vorträgen und den Diskussionen genannt wurden, und weiter Gegenstand der Arbeit sein werden. Einfachheit ist kein Wahrheitskriterium. Über die adäquate theoretische oder modellmäßige Erfassung wirklicher materieller und ideeller Strukturen komplexer Systeme kann nur der praktische Erfolg entscheiden. Der Hinweis auf die Hierarchisierung von Theorien zeigt auch, dass kein universelles Kriterium der Einfachheit zu finden sein wird. Mit dem Konsens über Einfachheit als Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip hat der AK schon etwas erreicht. In diese Ergebnisliste reiht sich auch Einfachheit als Wirkprinzip in der menschlichen Informationsverarbeitung ein. Wo Menschen sich mit der Wirklichkeit auseinandersetzen, spielt Einfachheit eine entscheidende Rolle, beim Gestalten, bei der Erkenntnis und beim Verarbeiten vorliegender Information.

4.1 Einfachheit als Wirkprinzip in der menschlichen Informationsverarbeitung

Friedhart Klix schrieb in seinem Buch "Erwachendes Denken": "Die Vereinfachung trägt den Keim für die mächtigere Lösung in sich, weil sie bei gleichem Aufwand die Bewältigung höherer Schwierigkeitsgrade ermöglicht. Das macht schließlich die Möglichkeit permanenten Erkenntnisfortschrittes aus. Es begründet die Steigerungsfähigkeit der Denkleistungen wie der Erkenntnisfähigkeit im Ganzen." (Klix 1993, S. 386) In der menschlichen Informationsverarbeitung finden sich Prozesse, in denen das Einfachheitsprinzip wirksam ist und ebenso Prozesse, in denen es nicht wirksam ist. Gefragt sind die Bedingungen, unter denen das eine oder andere auftritt. Diese Bedingungen beziehen sich auf die Anforderung, das Material und die Persönlichkeit. So ist z.B. für Problemlösungsprozesse bei Problemen mit offenem Problemraum (z.B. Entwurfsprobleme: Entwirf einen Betonmischer, der in zwei Sekunden Beton mischt.) ein Einfachheitsprinzip "minimale Schrittanzahl" kontraproduktiv, für Probleme der Klasse mit geschlossenem Problemraum dagegen zielführend.

Die Beispiele auf der Handlungsebene lassen sich ergänzen durch weitere Beispiele auf der kognitiven Strukturebene: Gute Problemlöser strukturieren gegebene Information so, dass die Anzahl der Merkmale zum Behalten und Reproduzieren der Information klein und damit der kognitive Aufwand für das Behalten der Information und das Bewältigen der Anforderung gering wird. Wie deutlich diese Tendenz zur Verringerung des kognitiven Aufwandes ist, lässt sich auch daran erkennen, dass Versuchspersonen selbst fest manifestiertes Alltagswissen auch dann umstrukturieren, wenn sie dadurch eine Zeitverkürzung bei der Anforderungsbewältigung erreichen (Krause 2000, S. 163ff.). Aber selbst bei komplexeren Anforderungen, bei denen eine exakte Definition und Messung kognitiver Strukturen und deren durch Aufwandsreduktion bedingte Transformation nicht gelingt, zeigt sich ein solches Prinzip Vereinfachung: Mathematisch Hochbegabte wechseln beim Lösen komplizierter mathematischer Aufgaben die Modalität (Formel versus Bild), wenn dadurch der Lösungsprozess verkürzt, d.h., vereinfacht werden kann. Um diese Fähigkeit der aufwandsreduzierenden kognitiven Strukturtransformation oder die des aufwandsreduzierenden Modalitätswechsels in der menschlichen Informationsverarbeitung zu erreichen, ist oft ein langwieriger Lern- und Trainingsprozess notwendig. Auch für die neurowissenschaftliche Ebene lassen sich Befunde angeben: Mathematisch Hochbegabte weisen beim mathematischen Problemlösen Mikrozustandssequenzen mit hohem Ordnungsgrad (einfach) auf, bei Normalbegabten ist der Ordnungsgrad geringer (komplizierter).

Die Vernachlässigung der Bedingungen, unter denen solche allgemeinen Prinzipien der menschlichen Informationsverarbeitung wie Einfachheit, Invarianz u.a. wirken, kann zu Fehlschlüssen führen, wie am Beispiel der Invarianz nachvollzogen werden kann. Cavanagh (1972) wertete eine große Anzahl von Publikationen über Suchprozesse im Gedächtnis aus und kam zu dem Schluss, dass das Produkt aus Abtastzeit mal Gedächtnisspanne unabhängig von der Materialvariation konstant ist. Lass et. al. (2004), Lüer und Lass (2012) wiederholten das Experiment unter streng kontrollierten Bedingungen und großer Materialvariation bei Chinesen und Deutschen und wiesen den Anspruch der Invarianz zurück. (Lass et. al. 2004; Lüer/Lass 2012) Eine Reanalyse der Daten zeigte, dass die Invarianz nur teilweise gilt: bei hoher Verwendungshäufigkeit des Materials, bei geringer Verwendungshäufigkeit dagegen nicht (Krause 2014).

Vor einem solchen Hintergrund wurde die Frage aufgeworfen, ob und unter welchen Bedingungen ein allgemeines Prinzip Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip auch in anderen Disziplinen gilt. Dazu wurde der Arbeitskreis "Prinzip Einfachheit" gegründet.

Für die Annahme eines universellen Prinzips Einfachheit, das bedingungsunabhängig gelten sollte, gibt es in der menschlichen Informationsverarbeitung – wie gezeigt – keine Begründung. Ein solches Postulat ist deshalb auch nicht im Arbeitskreis als Annahme gemacht worden.

Zukünftig sollten in Vortrag und Diskussion nicht nur die Definitionen von Einfachheit (basierend auf Kriterien wie z.B. "minimale/geringe Zeit", "minimale/geringe Anzahl", maximaler/hoher Ordnungsgrad) und die geeigneten Maße schärfer herausgearbeitet werden, sondern auch die *Bedingungen*, unter denen ein Einfachheitsprinzip gilt oder nicht gilt, wie dies in der Eröffnungsveranstaltung gefordert wurde.

4.2 Hat das Prinzip Einfachheit eine ontologische Entsprechung?

Der Gedanke, dass einfache Theorien auch ihre ontologische Entsprechung haben, führt dazu, dass das Prinzip Einfachheit auch unabhängig vom Menschen gelten müsste. Hier sind die verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen gefragt. Belege dafür wäre ein neuer Befund. Aus philosophischer Sicht könnte, wie schon betont, darauf verwiesen werden, dass Prozesse der Effektivierung in Natur und Gesellschaft stattfinden. Dazu gehört das Aussterben nicht angepasster Arten, die optimale Regulierung von Stoffwech-

sel, Energieaustausch und Informationsflüssen u.a. Selbst die Existenz der Menschheit kann sich als gefährdet erweisen, wenn die natürlichen Existenzbedingungen vernichtet werden. Die effektive Antwort der Natur auf die Eingriffe der Menschen wäre deren Beseitigung. Auch selbst kann sich die Menschheit auslöschen, wenn sie das angehäufte Vernichtungspotenzial einsetzt, das militärische Aktionen ebenso umfasst, wie technologische Katastrophen. Effektive Prozesse in Natur und Gesellschaft würden eine humane Katastrophe auslösen. Insofern ist die Frage nach dem Prinzip Einfachheit als Wirkprinzip, das ontologische Entsprechung zur Suche nach einfacheren Theorien und Modellen wäre, weiter zu diskutieren.

4.3 Komplexitätsmaße

Wir werden uns auch, die Planung sieht das vor, weiter mit Komplexitätsmaßen befassen. Im Zusammenhang mit "Raumkomplexität" und "Zeitkomplexität" sind die im Kapitel 1 genannten Aspekte "Erscheinungsformen von Einfachheit" und "Voraussetzungen für Einfachheit" wichtig, die auch in experimentellen Ergebnissen der Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung zum Ausdruck kommen.

Ein Aspekt betrifft solche grundsätzlichen Fragen, wie "In welchen einfachen Strukturen und Prozessen äußert sich das Prinzip Einfachheit?" und als eine notwendige Voraussetzung für präzise Aussagen dazu: "Wie lässt sich Einfachheit definieren und messen?" Rainer Schimming, der sich mit Komplexitätsmaßen befassen wird, stellte im Beitrag auf der Eröffnungsveranstaltung fest: "Zu verschiedenartigen Objekten passen verschiedene Maße. Ein universelles Komplexitätsmaß wäre wenig aussagekräftig." (Sommerfeld et al. 2010, S. 71) Das wird auch experimentell gestützt durch die anforderungsabhängige Ausbildung kognitiver Strukturen. Dazu ein Beispiel für Einfachheit als Wirkprinzip in der menschlichen Informationsverarbeitung. In der Kognitiven Psychologie konnte bei der Bewältigung unterschiedlicher Anforderungen (zum einen basierend auf neuer Information, zum anderen basierend auf Wissen) folgendes experimentell nachgewiesen werden: Es werden (anforderungsabhängig und personenspezifisch) kognitive Strukturen ausgebildet, die – abhängig von der Anforderung – durch eine minimale Raumkomplexität bzw. durch eine minimale Zeitkomplexität gekennzeichnet sind. Es stellt sich nun die Frage: "Was ist diesen kognitiven Strukturierungen anforderungsunabhängig gemeinsam?" Die Antwort lautet: "Die jeweils für die entsprechende Anforderung ausgebildete kognitive Struktur stellt eine Voraussetzung für den einfachsten Prozess zur Bewältigung dieser Anforderung dar."

Damit wird der Aspekt der Entwicklung bzw. Schaffung von Voraussetzungen für einfache Prozesse angesprochen.

Insgesamt scheint es entscheidend zu sein, dass (anforderungs- und situationsabhängig) solche Strukturen (die nicht einfach sein müssen) ausgebildet werden, die (dann) einfach(st)e Prozesse zur Anforderungsbewältigung ermöglichen. Auch mit der Ausbildung von Doppelrepräsentationen, d.h. von internen Repräsentationen in zwei unterschiedlichen Modalitäten (Krause 2000) werden Voraussetzungen dafür geschaffen, den (für das gegebene Problem) einfacheren Lösungsprozess zu realisieren. Beispiele für die Existenz bzw. Entwicklung solcher Voraussetzungen in der objektiven Realität (ohne und mit Einbeziehung des Menschen) findet man in unterschiedlichen Disziplinen und für unterschiedliche Anforderungen. So stellt z.B. bei der von Sabine Müller in der wissenschaftlichen Plenarveranstaltung am 8. April 2010 beschriebenen Bakteriellen Genexpression eine Struktur mit wenigen "aktiven" Elementen (mRNA, Metaboliten) in Verbindung mit einer Prozedur mit wenigen Regeln eine Voraussetzung für einen Prozess mit einer geringen Anzahl von biochemischen Operationen dar. (Sommerfeld et al. 2010, S. 57ff.) Auch die "Darwin-Finken" sind ein Beispiel für die Entwicklung von Voraussetzungen für einfache Prozesse der Anforderungsbewältigung. Neben einfacher Strukturierung von Beziehungen zwischen wesentlichen Systemparametern selbst scheint die Strukturierung für einfache Prozesse der Anforderungsbewältigung ein Schwerpunkt der Wirksamkeit des Prinzips Einfachheit zu sein. (vgl. auch Sommerfeld et al. 2010, S. 145ff.).

Äußert sich das Prinzip Einfachheit nicht auch für Erkenntnisprozesse insbesondere in der Schaffung von Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse des Erkennens und des Beschreibens? So sprechen z.B. die von Roswitha März in diesem Band charakterisierten Ansätze der Interpolation von Funktionen dafür, dass (mit relativ kompliziert zu konstruierenden Interpolationsfunktionen) Voraussetzungen für möglichst einfache Erkenntnisund Beschreibungsprozesse geschaffen werden. Karl-Heinz Bernhardt verweist in seinem Beitrag auf die Schaffung von Voraussetzungen für Einfachheit zur Aufstellung von Szenarien des künftigen Klimawandels oder womöglich sogar zur Einflussnahme auf die weitere Klimaentwicklung durch die Definition geeigneter abgeleiteter, nicht notwendig selbst einfacher Parameter. Solche Kenngrößen des globalen Klimawandels sind der Strahlungsantrieb ("radiative forcing") und die Klimasensitivität (climate sensitivity). Es stellt sich die Frage, ob sich das Prinzip Einfachheit nicht auch für Gestaltungsprozesse insbesondere in der Schaffung von Vorausset-

zungen für einfach(st)e Prozesse – hier des Gestaltens und des Funktionierens – äußert, und wenn ja, wie sich die entsprechenden Einfachheitskriterien und dazugehörigen Bedingungen exakt beschreiben und messen lassen.

Fazit

Die Bilanz der bisherigen Arbeit des AK Einfachheit verdeutlicht, dass im interdisziplinären Disput eine Reihe von Erkenntnissen gewonnen wurde. Die vorliegenden Beiträge und die wissenschaftliche Mitteilung belegen das. Auf offene Probleme, die weiter zu beraten sind, wurde hingewiesen. Die heuristische Rolle des Prinzips Einfachheit für den Erkenntnisgewinn ist unbestritten. Doch die Warnung vor vereinfachten Theorien und Modellen ist völlig berechtigt. Insofern ist es wichtig, stets zu analysieren: Handelt es sich um wissenschaftlich berechtigte Reduktionen oder um philosophischen Reduktionismus? Das ist nie von Anfang an beim Aufstellen einer Hypothese, Theorie oder bei der Modellierung im Sinne der als-ob-Theorie oder des als-ob-Objektes deduktiv festzustellen. Gerade Neues trifft oft auf die Kritik der bisherigen Spezialisten. Die Wissenschaftsgeschichte bietet viele Beispiele dafür. Es setzt sich, wie manche betonen, meist erst durch das Aussterben der Gegner oder durch anerkannte praktische Erfolge durch. Unser AK will anregen, über Erfahrungen mit dem Prinzip Einfachheit in seinen verschiedenen Ausprägungen nachzudenken. Das soll helfen, Modell-, Theorien- und Methodenkritik so zu fördern, dass Offenheit gegenüber neuen Erkenntnissen und Erkenntnisgewinn erreicht wird.

Literatur

- Cavanagh, J. P. (1972): Relation between the immediate memory span and the memory search rate. In: Psychological Review, 79, S. 525–530
- Hörz, H. (1988, 2014): Wissenschaft als Prozeß. Grundlagen einer dialektischen Theorie der Wissenschaftsentwicklung. Berlin: Akademie-Verlag. Digitalisierte Ausgabe mit Vorwort von 2014 (http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/hoerz-prozess.pdf)
- Hörz, H. (2009): Materialistische Dialektik. Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung. Berlin: trafo Verlag
- Klix, F. (1993); Erwachendes Denken: geistige Leistungen aus evolutionspsychologischer Sicht. Berlin: Spektrumverlag
- Krause, W. (2000): Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht. Göttingen: Hogrefe

Krause, W. (2014): Invarianzeigenschaften in der menschlichen Informationsverarbeitung. Leibniz Online 16/2014 (http://www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2014/04/wkrause.pdf)

Online 16/2014 (http://www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2014/04/wkrause.pdf)

Lass, U., Lüer, G., Becker, D., Fang, Y., Chen, G. (2004): Encoding and retrieval components affecting memory span; Articulation rate, memory search and trace redintegration. In:

Kaernbach, C., Schroeger, E., Mueller, E. (eds.): Psychophysics beyond sensation. Laws and invariants of human cognition. Mahwah/N. J.: Erlbaum, S. 349–370

Lüer, G., Lass, U. (2012): Das Problem kognitiver Invarianten bei der Diagnose geistiger Leis-

tungen. LIFIS-ONLINE, 23.01.2012 (http://www.leibniz-institut.de/archiv/luer_23_01_12.pdf)

Schimming, R., Hörz, H. (2009): Prinzipien der Physik. In: Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 101 (2009), S. 111–133

Sommerfeld, E., Hörz, H., Krause, W. (2010) (Hg.): Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 108 (2010)

Karl-Heinz Bernhardt

Komplexität und Einfachheit im Klimasystem der Erde

1. Vorbemerkungen

Komplexe Systeme zeichnen sich durch große Vielfalt der Verknüpfungen ihrer konstituierenden Elemente aus. Die Komplexität steigt mit der Anzahl der Elemente und der Kompliziertheit ihrer gegenseitigen (insbesondere nichtlinearen) Verbindungen (vgl. "Komplexität", Wikipedia, Stand April 2015). Beschränkte Beschreib- und Vorhersagbarkeit ist ein charakteristisches Merkmal der in diesem Sinne komplexen Systeme, aber keinesfalls auf solche beschränkt: Conways "Game of Life" und andere Versionen zellulärer Automaten werden durch einfache Beziehungen zwischen einer beschränkten Zahl binärer Elemente angetrieben, zeigen aber desungeachtet Erscheinungen von Strukturbildung und Chaos. Im Bereich der Physik der Atmosphäre hat beispielsweise bereits Friedrich 1989 in einer leider unveröffentlicht gebliebenen Diplomarbeit mittels zellularer Automaten Strukturen der luftmasseninternen wie der frontalen Trocken- und Feuchtkonvektion simuliert.

Auch das Planetensystem, in Bezug auf das Gravitationsfeld sicher nicht komplex im eingangs umrissenen Sinn, liefert nicht für beliebige Zeiträume "einfache" stabile, deterministische, sondern auch chaotische Lösungen der Gleichungen der Planetenbewegung – das "Poincare'-Abenteuer" (vgl. Ebeling 2014, S. 74). Umso abwegiger mag auf den ersten Blick die Verknüpfung von Einfachheit und (zweifellos hochgradiger) Komplexität für das Klimasystem der Erde erscheinen. Jedoch können in Bezug auf das komplexe Gesamtsystem elementare Prozesse auf dem Wirken einfacher Prinzipien und Mechanismen beruhen, wie beispielsweise Müller 2010 am Beispiel biochemischer Prozesse in der hochkomplexen Zelle demonstriert hat. Diesen Gedanken weiterführend, gelangt man zur Betrachtung des komplexen Systems Gesamtorganismus, dessen Werden und Vergehen wiederum auf dem Wirken einfacher Prinzipien des Zellzyklus beruht und der seinerseits Element eines übergeordneten komplexen Systems, eines Biotops ist. Existiert vielleicht in der Natur eine Hierarchie von Einfachheit und

Komplexität, indem aus dem Zusammenwirken einfacher Prinzipien/Mechanismen ein komplexes System resultiert, das auf der Grundlage einfacher Wechselwirkung als Subsystem eines wiederum komplexen Systems nächst höherer Ordnung figuriert – im obigen Beispiel etwa in der Aufeinanderfolge Zelle – Organismus – Biotop – Biosphäre? In der Atmosphäre und im Meer als Teilen des Klimasystems der Erde existiert eine seit langem bekannte Hierarchie von Bewegungsformen unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstabes (z.B. Fortak 1982, S. 88), die unter dem Gesichtspunkt von Einfachheit und Komplexität näher zu analysieren wäre (Abb. 1).

Einfachheit als Erkenntnisprinzip kann in Bezug auf komplexe Systeme, wie die Zelle, offenbar in der Analyse von einfachen Wirkprinzipien bestehen, deren Kenntnis das Verhalten des Gesamtsystems verständlich, beschreib- und eventuell auch modellier- und vorhersagbar macht. Eine andere Möglichkeit besteht in der empirischen Suche nach einfachen, räumlichen oder zeitlichen (auch raumzeitlichen), z.B. periodischen Strukturen des komplexen Systems, die ebenfalls Aussagen über das Systemverhalten ermöglichen und die anschließend eventuell wiederum auf einfache Wirkprinzipien und -mechanismen zurückgeführt werden können.

2. Zur Geschichte der Kenntnis des Klimasystems

Der Definition des Klimas wurden noch im 20. Jahrhundert eigene Abhandlungen gewidmet (z.B. Schneider-Carius 1961; vgl. auch Hupfer 1991, Abschnitt 2.1.1.1.). Heute wird im Anschluss an die klassische Begriffsbestimmung des Klimas als mittlerer Zustand der Atmosphäre und durchschnittlicher Verlauf der Witterung an einem gegebenen Ort durch Hann (1839–1921) und Köppen (1846–1940) das Klima gewöhnlich als "mittleres Wetter", im neuesten IPCC-Sachstandsbericht

"as the statistical description in terms of the mean and variability of relevant quantities over a period of time ranging from months to thousands or millions of years" unter Einbeziehung der "associated statistics (frequency, magnitude, persistence, trends, etc.) often combining parameters to describe phenomena such as droughts." (IPCC 2013, p. 126)

definiert. Das entspricht durchaus unserer (Bernhardt 1987) Auffassung des Klimas als der statistischen Gesamtheit atmosphärischer Zustände und Prozesse in ihrer raumzeitlichen Verteilung, "statistische Gesamtheit" dabei als eine mit statistischen Methoden zu beschreibende Gesamtheit reeller (beobachteter) oder virtueller (simulierter) atmosphärischer Zustände und Prozesse verstanden.

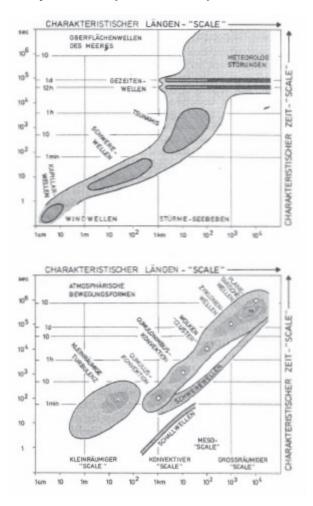


Abb. 1: Charakteristische Längen- und Zeitskalen von Oberflächenwellen des Meeres (oben) und atmosphärischen Bewegungsformen (unten)

(nach Fortak 1982, S. 88)

Der bereits in der Antike geprägte Begriff des Klimas gilt als von "κλιμα" = Neigung abgeleitet, was sich auf den Einfallswinkel der Sonnenstrahlen bezieht, womit die Einteilung der Klimazonen nach der geographischen Breite gegeben und die Sonnenstrahlung als hauptsächlicher Klimafaktor erkannt war, der nach Meinung der antiken Autoren auch über die Bewohnbarkeit

28

der Breitenzonen entscheidet (vgl. z.B. Khrgian 1959 bzw. Khrgian 1970, Kapitel 5; Körber 1987, S. 66f.) Dass die Klimazonen den Charakter ihrer Bewohner prägen und das Klima den Ablauf der Geschichte bestimmt, ist Inhalt der sogenannten "Klimatheorie" (dazu z.B. Müller 2005), eines unzulässigen philosophischen Reduktionismus im Sinne von Hörz 2010. Auf naturwissenschaftlicher Ebene gilt gleiches für das "solare Klima", die noch bis zum Ende des 18. Jahrhunderts von Geographen, Astronomen und Physikern geübte spekulative Darstellung der zonalen Mitteltemperatur durch einfache mathematische Funktionen der geographischen Breite (Schneider-Carius 1955, S. 99ff.; Khrgian 1970, Kapitel 16; Körber 1987, S. 169ff.,).

Alexander von Humboldt (1769–1859) hat in seiner Abhandlung über die isothermen Linien aus dem Jahre 1817, die er im Jahre 1850 rückblickend die "ausgezeichnetste" seiner Arbeiten nannte, mit der auf Temperaturmessungen beruhenden globalen Isothermenkarte die auf Beobachtungen und Messungen fußende moderne beschreibende Klimatologie begründet¹ und in der gleichen Arbeit bei der Unterscheidung zwischen solarem und realem Klima die "fremdartigen Ursachen" beschrieben, die zusätzlich zum Einfall der Sonnenstrahlung das Klima eines Ortes bestimmen und unter diesen den Einfluss des Ozeans, Neigung und Beschaffenheit des Erdbodens, großräumige Orographie sowie Schnee- und Eisbedeckung des Festlandes bzw. des Meeres, angeführt, also bereits wesentliche Komponenten des Klimasystems nach heutigem Verständnis erfasst (vgl. Bernhardt 2003, S. 210). Im "Kosmos", Band I (1845) schließlich lenkte er mit der Begriffsbestimmung des "Ausdruck(es) Klima" durch "in seinem allgemeinsten Sinne alle Veränderungen in der Atmosphäre, die unsre Organe merklich afficiren", bereits im Rahmen der Klimadefinition den Blick auf die Einwirkung der atmosphärischen Umwelt auf die Organismen. Zu diesen "Veränderungen" - wohl als veränderliche Größen zu verstehen - zählte Humboldt neben den gängigen meteorologischen bzw. "Klima"elementen ausdrücklich auch "die Reinheit der Atmosphäre oder ihre Vermengung mit mehr oder minder schädlichen gasförmigen Exhalationen, endlich den Grad habitueller Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels, welcher nicht bloß wichtig ist für die vermehrte Wärmestrahlung des Bodens, die organische Entwicklung der Gewächse und die Reifung der Früchte, sondern auch für die Gefühle und ganze Seelenstimmung des Menschen" (vgl. dazu Bernhardt 2003, S. 208ff.).

¹ Zum Nachweis dieser und der im Folgenden zitierten Äußerungen Humboldts siehe Bernhardt 2003.

Am wichtigsten in unserem Kontext aber ist die im gleichen Werk (1845) formulierte Auffassung vom Wesen des Klimas, das zunächst "eine specifische Beschaffenheit des Luftkreises" bezeichne; diese aber sei "abhängig von dem perpetuirlichen *Zusammenwirken* einer all- und tiefbewegten, durch Strömungen von ganz entgegengesetzter Temperatur mit der wärmestrahlenden *trocknen Erde*, die mannigfaltig gegliedert, erhöht, gefärbt, nackt oder mit Wald und Kräutern bedeckt ist." Damit wurden explizit vier der fünf Komponenten des heute so genannten Klimasystems – Atmosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre, Biosphäre und, bei Humboldt an dieser Stelle explizit nicht aufgeführt, Kryosphäre – und deren ständige gegenseitige Wechselwirkung benannt.

Ungeachtet der häufigen Bezugnahme auf die genannten Beiträge zur Begründung einer modernen Klimatologie wurde Humboldts Charakterisierung des komplexen Klimasystems über mehr als ein Jahrhundert explizit nicht aufgegriffen, geschweige denn weitergeführt. Flohn 1954 beispielsweise leitete seine damals viel gelesene Einführung in die am Wetterablauf orientierte "Witterungs"klimatologie zwar mit der üblichen Referenz an Humboldt ein, ohne aber auf dessen Gedanken zum Systemcharakter der klimabildenden Prozesse zurückzukommen. Auch in der zitierten Übersichtsdarstellung von Schneider-Carius 1961 lässt sich keinerlei Hinweis auf den systemischen Charakter des Klimas ausmachen, und in einem um die Mitte des 20. Jahrhunderts verbreiteten Handwörterbuch der Meteorologie (Keil 1950, S. 386) werden lediglich "diejenigen Wirkungen, die die Klima-Elemente beeinflussen", als "Klimafaktor" zusammengefasst, deren Zusammenwirken nach Art eines eingangs beschriebenen komplexen Systems aber außer Betracht gelassen. Und noch im meteorologischen Wörterbuch von Khromov und Mamontova 1974, dritte Auflage, werden unter dem Stichwort "klimabildende Prozesse" zwar für die Atmosphäre charakteristische Prozesse, wie Wärme- und Feuchteaustausch mit der Unterlage und die allgemeine Zirkulation zusammengestellt und unter "Klimafaktoren" die Aktion der klimabildenden Prozesse unter den gegebenen geographischen Bedingungen, wie Breiten- und Höhenlage, Land-Meer-Verteilung, Relief, Schnee- oder Pflanzendecke – sämtlich Bestimmungsstücke des Klimasystems - aufgeführt, ohne aber zu diesem (oder zu einem äquivalenten) Begriff vorzudringen.

Im Jahre 1987 endlich werden in einem deutschsprachigen Lexikon (Meyer 1987) Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Landoberflächen und Biosphäre als Klimasystem benannt und festgestellt, dass diese Subsysteme "durch vielfältige nichtlineare Wechselwirkungen verbunden" sind (Meyer

1987, S. 212), und um die Jahrtausendwende wird im Wörterbuch der Amerikanischen Meteorologischen Gesellschaft das Klimasystem

"consisting of the atmosphere, hydrosphere, lithosphere and biosphere, determining the earth's climate as the result of mutual interactions among the components of the climate system and responses to external influences (forcing)"

vorgestellt (Glossary 2000, p. 139), nachdem in der Zwischenzeit bereits ein Sammelwerk zum "Klimasystem der Erde" (Hupfer 1991) erschienen war.

Die Herausbildung dieses Begriffes wie auch der Einblick in Struktur und Funktionsweise des Klimasystems resultieren offenbar aus der neuen Etappe der Erderkundung, die mit dem Internationalen Geophysikalischen Jahr (IGY 1957/58), zugleich Beginn der Weltraumfahrt (vgl. z.B. 50 Jahre Weltraumforschung 2008) eingesetzt und über das Globale Atmosphärische Forschungsprogramm (GARP 1967-82) auch zum Weltklimaprogramm (WCP) im Gefolge der ersten Weltklimakonferenz der Meteorologischen Weltorganisation (WMO) im Jahre 1979 sowie 1988 zur Gründung des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) geführt hat. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung des Klimasystems der Erde aus GARP 1975, wie sie seither in leicht modifizierter Form (z.B. Hantel 1989, S. 1) weite Verbreitung gefunden hat. Allerdings vollziehen sich in dem skizzierten System nicht nur die klimabildenden Prozesse, sondern auch alle Wettervorgänge, also atmosphärische Zustände und Prozesse die, wie eingangs dieses Abschnittes dargelegt, erst in ihrer statistischen Gesamtheit das Klima ausmachen. Das legt den ebenfalls in Gebrauch befindlichen Begriff des "Erdsystems" nahe, zumal es sich um ein planetares System handelt, das den gesamten oberflächennahen Erdkörper einschließlich der Atmosphäre umfasst und das sowohl aus dem Erdinneren (Vulkanismus, Plattentektonik, geothermischer Wärmefluss), als auch aus dem kosmischen Raum (solarer und kosmischer Strahlungs- und Partikelfluss) beeinflusst wird.

Überlegungen zu Komplexität und Einfachheit dieses Systems sollen im Folgenden getrennt für das Subsystem Atmosphäre unter dem speziellen Gesichtspunkt der Wettervorhersage und für das Gesamtsystem unter dem Aspekt des Klimawandels betrachtet werden.

² Zur Historie vgl. Bernhardt 2007, S. 73–74, Bernhardt 2009, S. 130–131 sowie speziell zum Weltklimaprogramm Hupfer 1991, Abschnitt 1.2.

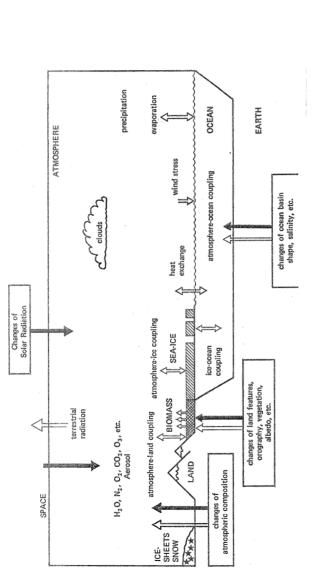


Abb. 2: Schematische Darstellung des Klimasystems der Erde sowie externer (ausgefüllte Pfeile) und interner (offene Pfeile) Antriebe von Klimaänderungen (nach Garp 1975, S. 14)

3. Das Subsystem Atmosphäre und das Problem der Wettervorhersage

Während die Veränderlichkeit des Klimas und speziell die Voraussicht auf das künftige Klima kaum vor dem 19. Jahrhundert als wissenschaftliches Problem erkannt wurde, zeugen überlieferte Wetterregeln seit der Antike von dem immerwährenden Bedürfnis nach einer Voraussicht auf das kommende Wetter. (Wegen Einzelheiten sei auf die bereits zitierten meteorologiegeschichtlichen Werke von Schneider-Carius, Khrgian und Körber verwiesen). Die Möglichkeit einer Wettervorhersage auf wissenschaftlicher Grundlage wurde dabei – besonders im Vergleich zur Astronomie – im Laufe der Jahrhunderte durchaus kontrovers beurteilt (vgl. z.B. Bernhardt 1998). Humboldt neigte auf Grund seiner tiefen Einsicht in die Komplexität des Klima/Erdsystems zur Skepsis, wenn er im "Kosmos" den "meteorologischen Theil des Naturgemäldes" mit der Feststellung beschloss, "daß jeder einzelne meteorologische Proceß durch alle anderen gleichzeitigen modificirt wird und fortfuhr:

"Diese Mannigfaltigkeit der S t ö r u n g e n" … erschwert die Deutung der verwickelten meteorologischen Erscheinungen; sie beschränkt und macht größtentheils unmöglich die V o r h e r b e s t i m m u n g atmosphärischer Veränderungen, welche für den Garten- und Landbau, für die Schifffahrt, für den Genuß und die Freuden des Lebens so wichtig wäre. Diejenigen, welche den Werth der Meteorologie nicht in der Kenntniß der Phänomene selbst, sondern in jene problematische Vorherbestimmung setzen, sind von der festen Ueberzeugung durchdrungen, daß der Theil der Naturwissenschaft, um den so viele Reisen in ferne Berggegenden unternommen worden sind, die Meteorologie, sich seit Jahrhunderten keiner Fortschritte zu rühmen habe."(Vgl. Bernhardt 2003, insbesondere S. 219f.)

Zwei Jahrzehnte vorher hatte Goethe in seinem zu Lebzeiten unveröffentlicht gebliebenen "Versuch einer Witterungslehre" (1825) auf seiner Suche nach dem "Grundphänomen" des Witterungsgeschehens bemerkt,

"daß alles was ist oder erscheint, dauert oder vorübergeht, nicht ganz isolirt, nicht ganz nackt gedacht werden dürfe; eines wird immer noch von einem anderen durchdrungen, begleitet, umkleidet, umhüllt; es verursacht und leidet Einwirkungen, und wenn so viele Wesen durch einander arbeiten, wo soll am Ende die Einsicht, die Entscheidung herkommen, was das Herrschende, was das Dienende sei, was voranzugehen bestimmt, was zu folgen genöthigt werde?" (Vgl. Bernhardt 2000)

Im Sinne der Ausführungen am Ende der Vorbemerkungen zum vorliegenden Aufsatz bot sich in der von Humboldt und Goethe beklagten Situation im Hinblick auf die Vorherbestimmung des Zustandes des Subsystems Atmosphäre ("Wettervorhersage") zunächst die Suche nach "einfachen" Regeln an, die entweder den Verlauf des Wetters an einem festen Ort (lokale Methode) oder den Zustand der Atmosphäre zu einem festen Zeitpunkt über einem gegebenen Gebiet (synoptische Methode) – also räumliche oder zeitliche Strukturen des komplexen Subsystems Atmosphäre – zum Gegenstand haben sollten.

Goethe selbst sah sich auf der Suche nach dem "Grundphänomen" des Witterungsgehens mit der Gefahr pauschaler Vereinfachung konfrontiert, wenn er 11. April 1827 im Gespräch mit Eckermann seinen starken "Glauben an das Barometer" betonte, aber später fortfuhr:

"Die Sache ist sehr einfach, und so am Einfachen, Durchgreifenden halte ich mich und gehe ihm nach, ohne mich durch einzelne Abweichungen irreleiten zu lassen. Hoher Barometer: Trockenheit, Ostwind; tiefer Barometer: Nässe, Westwind – dies ist das herrschende Gesetz, woran ich mich halte. Wehet aber einmal bei hohem Barometer und Ostwind ein nasser Nebel her, oder haben wir blauen Himmel bei Westwind, so kümmert mich dies nicht und macht meinen Glauben an das herrschende Gesetz nicht irre, sondern ich sehe daraus bloß, daß auch manches Mitwirkende existiert, dem man nicht sogleich beikommen kann."

Zwei Jahre später, am 13. Februar 1829 beklagte er aber dem gleichen Gesprächspartner gegenüber resignierend, dass der Mensch der notwendigen Synthese der "Gegenstände der Meteorologie" nicht gewachsen sei, da "der Mitwirkungen ... so mannigfaltige" seien und er sich daher "in seinen Beobachtungen und Forschungen unnütz abmühet." Und wenig später, am 3. März des gleichen Jahres schrieb er an Zelter:

"Das Studium der Witterungslehre geht, wie so manches Andere, nur auf Verzweiflung hinaus … Hier wie überall verdrießt es die Leute, dass sie dasjenige nicht erlangen, was sie wünschen und hoffen, und da glauben sie gar nichts empfangen zu haben. Man müßte z.B. vor allen Dingen auf das Vorauswissen und Prophezeyen Verzicht thun, und wem ist das zuzumuthen." (Zum Nachweis der Zitate vgl. Bernhardt 2000.)

Sein Scheitern bei der Suche nach einem einfachen Grundgesetz für das Witterungsgeschehen im komplexen Atmosphärensystem mündete schließlich in einem Schreiben Goethes vom 24. Februar 1832 – einen Monat vor seinem Tod – an H. L. F. Schrön, den Leiter der Sternwarte Jena und der von Goethe eingerichteten Meteorologischen Anstalten des Großherzog-

tums Sachsen-Weimar-Eisenach, einem seit dem Jahre 1817 bestehenden Stationsnetz (Goethe, LA S 626–630), in dem die Einstellung aller Beobachtungen verfügt wurde, da "fernerhin, auf diesem Wege, vorerst nichts weiter zu erreichen sei…" (Goethe, LA S. 619, 626–630).

Die ganzheitlich "denkende Betrachtung der Empirie" im Sinne Humboldts hatte zwar zum Erkennen komplexer Systeme, wie des Klimasystems der Erde und seiner Subsysteme, aber selbst für das allgegenwärtige Teilsystem der Atmosphäre nicht zu der von Goethe gewünschten, aber für ein dauernd "unentdecktes Land" gehaltenen Synthese geführt. Dazu bedurfte es zunächst der empirischen Untersuchung einfacher räumlich-zeitlicher atmosphärischer Strukturen und im Weiteren der analytischen Methode der modernen Naturwissenschaft. So entwickelte Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879), von der lokalen Methode, insbesondere den von Leopold v. Buch (1774–1853) eingeführten barometrischen Windrosen ausgehend, zur einfachen Beschreibung des Witterungsablaufs in Mitteleuropa mit dem Drehungsgesetz der Winde und der Vorstellung des Kampfes von Polar- und Äguatorialstrom Paradigmen der atmosphärischen Dynamik, die von Humboldt hoch geschätzt wurden (hierzu und zu dem folgenden ausführlich Bernhardt 2008). Die offenbar in Beziehung zur Naturphilosophie Hegels und Schellings (vgl. Fritscher 2005) zu setzende phänomenologisch begründete Vorstellung einer Entstehung der Stürme aus dem "Kampf" unterschiedlich temperierter Luftströme hat die zeitgenössische Meteorologie, insbesondere in ihren Versuchen einer wissenschaftlich begründeten Wettervorhersage, z.B. durch Robert Fitz Roy (1805–1865), zweifellos befördert.

Der Übergang der Meteorologie von einer beobachtenden und beschreibenden zu einer messenden und berechnenden Wissenschaft der Atmosphäre vollzog sich auf der Grundlage der klassischen Physik, insbesondere der Thermo- und Hydrodynamik. Protagonisten dieser Entwicklung im deutschsprachigen Raum waren insbesondere H. v. Helmholtz (1821–1894), W. v. Bezold (1837–1907) und J. v. Hann (1839–1921) (zu Helmholtz vgl. Bernhardt 1973; Hörz 1997). Als Marksteine in der Physik der Atmosphäre gelten das barische Windgesetz, die um 1860 von H. D. Buys-Ballot (1817–1890) auf empirischem Weg gefundene und von W. Ferrel (1817–1891) theoretisch abgeleitete lineare Beziehung zwischen horizontalem Luftdruckgradienten und (großräumiger, beschleunigungsfreier) Strömung, sowie J. v. Hanns thermodynamische Föhntheorie (1866/67). Dabei blieb die "praktische Meteorologie", die (kurzfristige) Vorausbestimmung des Wetters, zunächst Isobarenmeteorologie, die Veränderungen des Wetters aus Verände-

rungen der Luftdruckverteilung herzuleiten suchte (z.B. Mohn 1883, S. 341f.).

Die von V. Bjerknes (1862–1951) gegen Ende des Ersten Weltkrieges inaugurierte Polarfronttheorie (zur Entstehungsgeschichte vgl. Scherhag 1948, S. 5; Nebeker 1995, S. 56) bot auf der Grundlage der synoptischen Methode mit der Beobachtung und der prognostischen Verfolgung empirisch erfasster und theoretisch erklärbarer "einfacher" Strukturelemente, wie der Fronten und Luftmassen, im Subsystem Atmosphäre über ein halbes Jahrhundert ein Werkzeug für brauchbare Wettervorhersagen auf einige Tage im voraus. Datenbasis waren ein weltweites Beobachtungsnetz von Bodenstationen sowie eine zunehmende Anzahl von aerologischen Aufstiegsstellen (Wettererkundungsflüge und vor allem Radiosondierungen). Als tägliches Arbeitsmaterial dienten umfangreiche Tabellenwerke und Diagramme, einfache analytische Verfahren und eine Vielzahl teils rein empirisch gefundener, teils theoretisch mehr oder minder gut begründeter Regeln. So enthält das in mehreren Auflagen erschienene Lehrbuch von Chromow 1942, das neben dem von Scherhag 1948 als Zeugnis für diese Phase der synoptischen Meteorologie gelten kann, am Ende nicht weniger als 177 "synoptische Regeln" über Luftmassen, Fronten, die Bewegung der Zyklonen und Antizyklonen und die Druckänderungsgebilde (S. 450ff.).

Der Übergang zur modernen Wettervorhersage durch näherungsweise Integration der grundlegenden thermohydrodynamischen Gleichungen war zwar bereits von V. Bjerknes und anderen (vgl. Nebeker 1995, S. 49f.) noch vor dem Entwurf und der praktischen Anwendung der Polarfronttheorie konzipiert worden ("Bjerknes-Programm"), wurde aber erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts vollzogen. (Eine instruktive Rückschau nach 50 Jahren bietet hierzu der Sammelband Deutsche Meteorologische Gesellschaft 2000.) Die operative Verwendung der "governing equations" im operationellen Vorhersageprozess bezeichnet mit dem Rückgriff auf nicht weiter zurückführbare elementare Wirkbeziehungen der atmosphärischen Thermohydrodynamik zugleich ein Element der Einfachheit im Erkenntnisprozess.

"Einfachheit" kommt aber noch in anderer Hinsicht ins Spiel: Die genannten Bewegungsgleichungen beschreiben atmosphärische Bewegungsgleichungen aller Skalen bis herab zu Schallschwingungen. Um die letzteren aus dem Rechenprozess zu eliminieren, wurden als "gefilterte" Gleichungen zunächst aus den Grundgleichungen abgeleitete Wirbelgleichungen für beschleunigungsarme, "quasigeostrophische" Bewegungen verwendet.

Diese Gleichungen können mittels Greenscher Funktionen (Einflussfunktionen) gelöst werden, was die Darstellung der für das Wettergeschehen wichtigen Luftdruck- und Lufttemperaturänderungen sowie der atmosphärischen Vertikalbewegungen als Funktionen der Temperatur- und Wirbeladvektion ermöglicht – also eine Beschreibung wetterwirksamer Prozesse nicht, wie vorher, mittels empirisch gewonnener Regeln, sondern durch die Lösung vereinfachter Gleichungen. (Ausführliche Darstellung bei Marchuk 1967, insbesondere Kapitel 2). Auf den nachfolgenden Übergang zur Lösung der vollständigen Gleichungen ("primitive" equations zu verstehen als "ursprüngliche", nicht als "einfache" Gleichungen!) soll hier unter Verweis auf den oben zitierten Jubiläumsband aus dem Jahr 2000 nicht näher eingegangen werden.

Dagegen soll abschließend unter dem Gesichtspunkt der Einfachheit noch auf Ähnlichkeitstheorie und Dimensionsanalyse verwiesen werden, die im Studium, in der Beschreibung und in der Modellierung der atmosphärischen (Thermo-, Hydro-)Dynamik eine beträchtliche Rolle spielen. So beschreibt die seit langem bekannte Reynoldssche Zahl das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften in einer Strömung, dessen kritischer Zahlenwert die Grenze zwischen laminarem und turbulentem Strömungsregime bezeichnet, wobei sich die Flüsse von Beimengungen, Wärme und Impuls in der laminaren Strömung in einfacher Weise als Produkt der zugeordneten Eigenschaftsgradienten mit quasikonstanten molekularen Transportkoeffizienten (Diffusions-, Wärmeleitungs-, Zähigkeitskoeffizienten) ergeben. Im Falle einer turbulenten Strömung treten an die Stelle der molekularen turbulente Transportkoeffizienten (Turbulenz- oder "Austausch"koeffizienten bzw. -tensoren), die ihrerseits von Strömungs- und Schichtungsparametern abhängen.

Einfache Zusammenhänge der letztgenannten Art bestehen in Erdbodennähe und werden – ein weiteres Instrument der Ähnlichkeitstheorie – durch universelle Funktionen dimensionsloser Koordinaten beschrieben. So beschreibt die Monin-Obuchovsche Ähnlichkeitstheorie (z.B. Foken 2003, S. 42ff.) die vertikalen Profile des Turbulenzkoeffizienten sowie von Windgeschwindigkeit, Temperatur und Luftfeuchte als Funktion der dimensionslosen Höhe z/L über der Erdoberfläche, wobei die Monin-Obuchovsche Länge L plausibel physikalisch begründet und interpretiert werden kann (Bernhardt 1995). Ein Vergleich der von der Monin-Obuchovschen Ähnlichkeitstheorie in Abhängigkeit insbesondere von der thermischen Schichtung gelieferten Profile mit der Vielzahl entsprechender empirischer oder theoretisch unzureichend begründeter Ansätze aus den Jahren bis zur Mitte

des 20. Jahrhunderts illustriert an einem speziellen Beispiel die Fruchtbarkeit des Prinzips der Einfachheit.

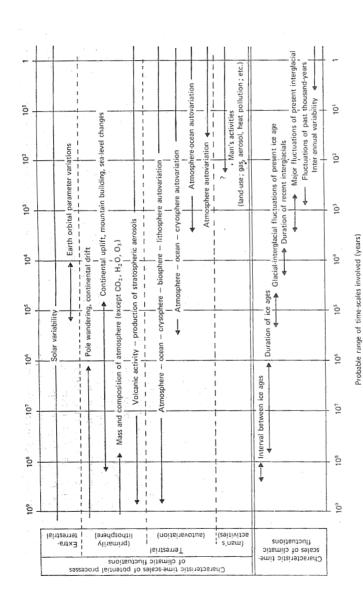
Weitere Ähnlichkeitszahlen, die neben der Reynoldsschen Zahl in der atmosphärischen Dynamik umfassend verwendet werden, hat Foken a.a.O., S. 26ff. zusammengestellt.

4. Das Klimasystem und die Diskussion des Klimawandels

Überlegungen zu Komplexität und Einfachheit des Klimasystems in Hinblick auf das Verständnis des Klimawandels erfordern die Betrachtung des Zeitbereiches jenseits des synoptischen Scales, d.h. von etwa 10⁶ s an aufwärts, und die Einbeziehung aller Teilsysteme einschließlich ihrer vielfältigen nichtlinearen Wechselwirkungen, auf Grund deren das Klima ständigen Schwankungen in den unterschiedlichsten Zeitbereichen unterliegt und der Klimawandel der Normalzustand, gewissermaßen die Daseinsweise des Klima ist.

Abbildung 3 nach GARP 1975, vermittelt eine Vorstellung über Antriebe von Klimaänderungen im Zeitbereich von einem bis zu einem Gigajahr (vgl. auch Kutzbach 1974 sowie Kutzbach/Bryson 1974), wie sie bereits in den ersten Jahren des Globalen Atmosphärischen Forschungsprogramms bestand.

Bei den Versuchen zur Simulation des Klimas der Gegenwart und in Vergangenheit und Zukunft mittels Modellen der allgemeinen Zirkulation (CGMs) finden im Prinzip die gleichen, im vorangegangenen Abschnitt charakterisierten, auf einfache physikalische Wirkprinzipien zurückführbaren Gleichungen Verwendung wie in der numerischen Wettervorhersage, allerdings von vornherein gekoppelt für Ozean und Atmosphäre und nicht mit dem Anspruch einer illusionären "Wetter"prognose auf Jahre oder Jahrzehnte im voraus, sondern als Lieferanten umfangreicher Ensembles atmosphärischer Zustände, die in ihrer statistischen Gesamtheit das zu simulierende Klima darstellen. Vor allem aber basieren numerische Experimente zur Simulation des Klimawandels auf der Verwendung zeitlich veränderlicher Rand- bzw. langzeitig variabler Anfangsbedingungen, z.B. an der Erdoberfläche und an der Atmosphärenobergrenze bzw. in der Zusammensetzung der Lufthülle und des Meerwassers, womit, wie eingangs dieses Abschnittes bereits bemerkt, alle Komponenten des Klimasystems ins Spiel kommen. Das betrifft insbesondere die "Chemie des Klimasystems" (Möller 2010), aber gleichermaßen die Biosphäre, die über Veränderungen der Albedo der Erdoberfläche sowie des Stoff- und Partikelhaushaltes der Atmosphäre ("Treibhaus"gase bzw. Aerosole) in den globalen Strahlungshaushalt eingreift.



(nach GARP 1975, S. 9, entnommen der Arbeit von Kutzbach 1974) Abb. 3: Antrieb von Klimaänderungen in unterschiedlichen Zeitbereichen

Das höchst komplizierte Zusammenspiel von externen Antrieben und systeminternen Schwankungen in einem durch zahlreiche positive wie negative Rückkoppelungen gekennzeichneten komplexen System - einige Überlegungen dazu für den Klimawandel der Gegenwart sind bei Bernhardt 2015 vorgestellt – lässt wenig Raum für eine Erfolg versprechende Konzeption der Einfachheit in der Beschreibung des Klimasystems und des zu erwartenden Klimawandels im Zeitbereich von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. Insbesondere sind keine zu den im vorangegangen Abschnitt erwähnten, zunächst auf empirischem Wege aufgefundenen räumlichen synoptischen Strukturen (Zyklonen und Antizyklonen, Fronten, Luftmassen) analoge Zeitstrukturen auffindbar, vom Jahres- und Tagesgang meteorologischer Elemente einmal abgesehen. Vermeintliche Perioden in den Klimaschwankungen, wie z.B. eine 35jährige "Brücknersche" Periode, wurden im Zeitalter der klassischen Klimatologie in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ausgiebig diskutiert (z.B. Knoch 1930, Abschnitt VI), und "Weather Cycles – Real or Imaginary?" (Burroughs 2003) bezeichnen eine auch noch im 21. Jahrhundert aktuelle Fragestellung, aber alle Erfahrungen zeigen, dass Periodizitäten kein einfaches Wirkprinzip des Klimawandels darstellen.

Auch die bekannten Milankovich-Zyklen der quasiperiodischen Veränderungen der Erdbahnelemente werden zwar als Taktgeber für die Aufeinanderfolge der Kalt- und Warmzeiten (Glaziale und Interglaziale) im gegenwärtigen Eiszeitalter angesehen, können aber diese Rolle offensichtlich nur bei Bestehen interner Selbstverstärkungseffekte (positiver Rückkoppelungen) im Klimasystem der Erde, in erster Linie der Temperatur/Albedo-Rückkoppelung auf einer teilweise schnee- und eisbedeckten Erde spielen.

Das Trugbild vermeintlich einfacher Zusammenhänge ist Quelle zahlreicher Irrtümer in der Klimadebatte, vor allem auf Seiten der "Klimaskeptiker", die teils die globale Erwärmung in den letzten Jahrzehnte insgesamt, teils den anthropogenen Anteil an ihr leugnen, teils ihre Auswirkungen für wenig nachteilig halten bzw. eine Erwärmung, wenn sie denn existierte, für vom Menschen unbeeinflussbar und keiner "mitigation" zugänglich erklären. Das Argument, die seit Jahrzehnten monotone oder annähernd lineare Zunahme der "Treibhausgas"konzentration (CO₂, CH₄, N₂O) in der Atmosphäre könne nicht Ursache eines schubweise verlaufenden Temperaturanstieges an der Erdoberfläche sein, der sich seit Ende der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts deutlich verlangsamt habe oder sogar zum Stillstand gelangt sei ("Hiatus"), postuliert einen monokausalen einsinnigen Zusammenhang zwischen Treibhausgaskonzentration und Temperatur an der Erdoberfläche

und ignoriert damit die für das komplexe Klimasystem fundamentalen vielfältigen internen Wechselwirkungen und nichtlinearen Zusammenhänge.

Abwegig ist die Leugnung globaler Trends unter Verweis auf regionale Witterungsanomalitäten oder -extreme, die in Wahrheit Folge von Schwankungen der atmosphärischen (bzw. der atmosphärisch-ozeanischen) Zirkulation sind. Ein drastisches Beispiel war die Debatte um die winterlichen Witterungsverhältnisse in Teilen Europas und der USA im Dezember des Jahres 2010, dem in den Messreihen seit 1850 gemeinsam mit den Jahren 1998 und 2005 bis dahin weltweit wärmsten Jahr, zu der wir seinerzeit Stellung genommen haben (Bernhardt 2012). Der damals bereits hervortretende, über Veränderungen der Strömungsverhältnisse vermittelte Zusammenhang zwischen dem Rückgang der sommerlichen Meereisbedeckung in bestimmten arktischen Regionen und dem Auftreten kälterer Winter über Teilen Europas und Nordamerikas (auch aus der Klimageschichte bekannt!) wurde seither durch zahlreiche numerische Modellexperimente wie auch durch empirisch-statistische Untersuchungen bestätigt (z.B. Wegmann et al. 2015).

Dass die "globale Erwärmung" – der Anstieg der mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche – im komplexen Klimasystem zeitlich ungleichmäßig und räumlich differenziert erfolgt, ist seit langem bekannt, der aktuelle Stand nach dem fünften IPCC-Sachstandsbericht z.B. bei Bernhardt 2014, Abb. 2a, 2b, S. 18 wiedergegeben (vgl. auch den zusammenfassenden Synthesebericht IPCC 2014, Fig. 1.1, S. 41). Prophezeiungen einer neuen "kleinen Eiszeit" unter Berufung auf markante Kälteperioden, wie sie z.B. auf dem nordamerikanischen Kontinent immer wieder auftreten, sind nicht nur Beispiele für unzulässige Vereinfachungen, sondern einfach unsinnig! Wohl aber dürfte der im Rahmen der regional unterschiedlichen Klimaerwärmung verstärkte Temperaturanstieg im Nordpolargebiet ("arctic amplification") über Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation mit einer erhöhten Häufigkeit extremer Witterungsereignisse in mittleren Breiten – einschließlich des Auftretens strenger Winter – verknüpft sein (z.B. Cohen et al. 2014).

Die für die Vergangenheit konstatierte und in Zukunft zu erwartende veränderte Häufigkeit im Auftreten extremer Witterungsereignisse (IPCC 2013, p. 46f., p. 109f.) ist generell an Veränderungen der ozeanisch-atmosphärischen Zirkulation und nicht in erster Linie an unmittelbare Auswirkungen im Zuge des Klimawandels veränderter Strahlungsflüsse geknüpft, so plausibel (und "einfach") auch lokale Zusammenhänge zwischen erhöhter Gegenstrahlung am Erdboden und erhöhten Nachttemperaturen bzw. er-

höhter Häufigkeit und Andauer von Hitzewellen auch sein mögen. Das gleiche gilt für die höhere Intensität konvektiver Ereignisse in einer wasserdampfreicheren (weil wärmeren) Atmosphäre mit stärkerer vertikaler Temperaturabnahme.

Als letztes Beispiel einer unzulässigen Vereinfachung bei der Analyse des Klimasystems und der Untersuchung des derzeitigen Klimawandels seien die einseitige Betonung solarer Variationen und insbesondere die Leugnung anthropogener Einflüsse, angeführt, etwa im Sinne des apodiktischen Buchtitels "Die Natur, nicht menschliche Aktivität, bestimmt das Klima" (Singer 2008). Natürlich ist die Sonneneinstrahlung die bei weitem dominierende Energiequelle für alle atmosphärischen Bewegungen, ihre Verteilung über die Erdkugel in Raum und Zeit der entscheidende Faktor für die Ausbildung von Tages- und Jahreszeiten wie für die Anordnung der Klimazonen an der Erdoberfläche, und selbst geringfügige Veränderungen der Erdbahnelemente (Milankovich-Zyklen) können auf dem Weg kleiner Modifikationen der solaren Einstrahlung und ihrer geographischen Verteilung im Jahresverlauf tiefgreifende klimatische Konsequenzen (z.B. Warm- und Kaltzeiten) nach sich ziehen.

Selbstverständlich gehören Schwankungen der solaren Strahlung neben wechselnder Vulkanstaubtrübung der Atmosphäre zu den entscheidenden natürlichen Antrieben des Klimawandels in historischer Zeit, besonders in der vorindustriellen Ära. Der Versuch einer Rekonstruktion für das letzte Jahrtausend auf der Nordhalbkugel ist in IPCC 2013, Box TS.5, Fig.1, p. 78 unternommen worden, wiedergegeben auch bei Bernhardt 2014, Abb. 4, S. 20. Es wäre ein letztes Beispiel ungerechtfertigter Vereinfachung, diese Entwicklung eines wesentlich naturgetriebenen Klimawandels ungeachtet dessen unverändert fortzuschreiben, dass die Verbrennung in Jahrmillionen angehäuften fossilen Kohlenstoffs binnen zweier Jahrhunderte samt weiterer Eingriffe in den globalen Stoffhaushalt der Atmosphäre die Konzentration für den Strahlungshaushalt des Klimasystems wesentlicher Spurengase (CO₂, CH₄, N₂O) höher als irgendwann zumindest in den letzten 800.000 Jahren ansteigen lassen hat!

Eine Folge dieses schwerwiegenden anthropogenen Eingriffs in den globalen Stoff- und Energiehaushalt ist die seit einem Jahrzehnt genauer bekannte Imbalance des Klimasystems – die Differenz zwischen einfallender minus reflektierter und rückgestreuter kurzwelliger solarer sowie emittierter langwelliger irdisch-atmosphärischer Strahlung an der Atmosphärenobergrenze –, die für den Zeitraum von 1971 bis 2010 auf im Mittel 0,42 W/m² veranschlagt wurde (IPCC 2013, p. 39), was ca. 0,12% der solaren Einstrah-

lung von 340,25 W/m² (mit einer Total Solar Irradiance [TSI] von 1361 W/m²) entspricht. Eine Aktualisierung und Aufschlüsselung nach Monatsmittelwerten für den Zeitraum von 2001 bis 2012 (Kratz et al. 2014) zeigt Ausschläge der Imbalance-Monatsmittel bis ca. +/– 2 W/m² bei einer mittleren interanuellen Variabilität von gerundet +/– 0,70 W/m², die für die ausgehende langwellige Strahlung +/– 0,50 W/m², +/– 0,40 W/m² für die reflektierte, aber nur +/– 0,20 W/m² für die einfallende Sonnenstrahlung beträgt.

Diese Strahlungsimbalance an der Atmosphärenobergrenze - eine an Bord von Satelliten kontinuierlich messbare Größe – stellt einen im Sinne einer Verknüpfung mit fundamentalen physikalischen Prinzipien (erster Hauptsatz) "einfachen" Parameter zur Kennzeichnung eines "global heating" des gesamten Klimasystems dar, das über das "global warming" – die Erhöhung der mittleren globalen Lufttemperatur an der Erdoberfläche – hinausgeht. Nach den Angaben in IPCC 2013, p. 39 (auch Bernhardt 2014, Abschnitt 3, 2015, S. 4) finden sich im Zeitraum der letzten Jahrzehnte nur ca. 1% dieses Energieüberschusses in einer Erwärmung der Atmosphäre wieder, während ca. 96% (93% ± 3%) in die Erwärmung des Ozeans fließen bzw. für das Abschmelzen der Gletscher und der polaren Eisschilde verbraucht werden - beides Prozesse, die für den globalen Meeresspiegelanstieg verantwortlich sind, der sich sehr viel gleichförmiger (und in den letzten Jahrzehnten beschleunigt) vollzieht als der Anstieg der mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche. Der weitere Verlauf des Klimawandels wird demzufolge entscheidend von den systeminternen Prozessen beeinflusst, die die Wärmeumverteilung zwischen Hydro, Kryo- und Atmosphäre bestimmen, aber auch (über die Veränderung der vertikalen Temperaturund Feuchteverteilung sowie des Wolkenregimes in der Atmosphäre) auf die Strahlungsimbalance an der Atmosphärenobergrenze selbst einwirken.

Eine Analyse des in gewissem Sinn "einfachen" Energiebudgets des globalen Klimasystems (vgl. auch IPCC 2013, p. 67f.) führt also sofort wieder zu Prozessen von hoher Komplexität – insbesondere in der Wechselwirkung von externen Antrieben und systeminternen Schwankungen (dazu Bernhardt 2014) –, die die Klimazukunft der Erde entscheidend mitbestimmen. Eine Abschätzung des kumulativen Verlaufs der Strahlungsimbalance, ihrer wichtigsten Verursacher (lang- und kurzlebige Treibhausgase, solare Schwankungen, troposphärische und vulkanische Aerosole, Landnutzung) sowie des Verbleibs des Energieüberschusses für den Zeitraum 1970 bis 2011 wurde bereits in IPCC 2013, p. 67f. präsentiert.

Auf der Suche nach weiteren Elementen der Einfachheit im Klimasystem und bei dem Versuch der Aufstellung von Szenarien des künftigen Klimawandels oder womöglich sogar der Einflussnahme auf die weitere Klimaentwicklung bleibt schließlich noch die Schaffung von Voraussetzungen für Einfachheit durch die Definition geeigneter abgeleiteter, nicht notwendig selbst einfacher Parameter (vgl. dazu Sommerfeld 2010) übrig. Solche Kenngrößen des globalen Klimawandels sind der Strahlungsantrieb ("radiative forcing") und die Klimasensitivität (climate sensitivity). Es handelt sich dabei, grob gesagt, um die Veränderung der globalen Strahlungsbilanz im Troposphärenniveau infolge natürlicher und anthropogener Einflussfaktoren gegenüber der vorindustriellen Epoche (Bezugsjahr 1750) bzw. um den bei einer Verdoppelung der CO₂-Konzentration zu erwartenden Anstieg der bodennahen globalen Mitteltemperatur. (Näheres dazu bei Rahmstorf, Schellnhuber 2007, Kapitel 2, aktualisiert in IPCC 2013, p. 53ff., p. 82ff. bzw. bei Bernhardt 2014, Absatz 4).

Unter Verwendung dieser Parameter wurden bereits in früheren IPCC-Sachstandsberichten unter der Annahme verschiedener, von der gesellschaftlichen und technologischen Entwicklung abhängiger Szenarien künftiger Treibhausgasemissionen Projektionen für die Veränderung der globalen Mitteltemperatur an der Erdoberfläche und den zu erwartenden Meeresspiegelanstieg vorgestellt (z.B. Klimaänderung 2007, S. 8ff., S. 48ff.). Auf dieser Grundlage wurde auch das viel diskutierte, auf der Weltklimakonferenz in Cancun im Jahre 2010 erstmals international anerkannte Ziel formuliert, die globale Erwärmung auf 2°C gegenüber der vorindustriellen Ära zu beschränken (z.B. Rahmstorf/Schellnhuber 2007, Kapitel 5, Schellnhuber 2011). Dabei kann auch die maximal zulässige Menge fossilen Kohlenstoffs angegeben werden kann, die noch verbrannt werden darf, ohne dieses (oder ein zahlenmäßig anderes, als "Leitplanke" dienendes) Begrenzungsziel für die anthropogen bedingte globale Erwärmung zu verfehlen.

Abweichend von den vorhergehenden Sachstandsberichten werden in IPCC 2013 (vgl. auch IPCC 2014, pp. 57ff. und die Erläuterungen bei Bernhardt 2014, Abschnitt 5) "Representative Pathways" auf der Grundlage des für das Jahr 2100 angestrebten (bzw. noch tolerierten) Strahlungsantriebes definiert, denen sowohl noch zulässige kumulative CO₂-Emissionen, als auch zu erwartende Anstiege der globalen Mitteltemperatur, des pH-Wertes an der Meeresoberfläche und weitere Parameter zugeordnet werden können. Im Rahmen der genannten Szenarien können auch sozialökonomische, energiewirtschaftliche und Maßnahmen der Klimapolitik in die Simulationsexperimente einbezogen werden. So ist die Beschränkung des anthropogenen

Strahlungsantriebes auf 2,6 W/m² im Jahre 2100 gegenüber 2,3 W/m² im Jahre 2011 ohne drastische Emissionsminderungen nicht denkbar.

Diese Pfade in die Klimazukunft versprechen unter Verwendung konstruierter "einfacher" Parameter, wie des Strahlungsantriebs, Aussagen über "einfache", aber sicher schwer durchsetzbare Gestaltungsprinzipien für die künftige Entwicklung des Klimas im Erdsystem in aktiver Wechselwirkung natürlicher und anthropogener Einflussfaktoren.

Abschließend soll ausdrücklich auf den Wahrscheinlichkeitscharakter all dieser Klimaprojektionen verwiesen werden. Bereits die Angaben über den Strahlungsantrieb und seine Komponenten für das Ausgangsjahr 2011 (IPCC 2013, p. 54, IPCC 2014, p. 45 bzw. Bernhardt 2014, S. 7f., 25) zeigen eine erhebliche Schwankungsbreite und werden auch in Form von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen präsentiert. Letzteres gilt erst recht für die Abschätzung der Klimasensitivität (IPCC 2013, p. 82ff.), die angesichts der weiter oben skizzierten komplexen Zusammenhänge zwischen Strahlungsimbalance des Klimasystems, die wiederum nur zu einem Teil von den anthropogenen Treibhausgasen bestimmt wird, und der globalen Mitteltemperatur nur den Charakter eines für einen längeren Zeitraum gültigen Mittelwertes haben kann.

Schließlich ist die Erstellung von Klimaprojektionen mittels Modellsimulationen nicht nur durch Differenzen zwischen den verwendeten Modellen und deren Simulationsergebnissen belastet, sondern auch durch die prinzipielle Schwierigkeit einer adäquaten Berücksichtigung natürlicher Einflussfaktoren auf das Klimasystem, die entweder schwer (Sonnenaktivität) oder praktisch gar nicht (Vulkaneruptionen) vorhersagbar sind.

Angesichts dieser Unwägbarkeiten künftiger Klimaentwicklung erscheint es aber umso dringlicher, speziell dessen anthropogenen Anteil weiter zu analysieren, der nach gegenwärtigem Erkenntnisstand "very likely" mehr als die Hälfte des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur an der Erdoberfläche im Zeitraum von 1850 bis 2010 verursacht hat (IPCC 2014, p. 5) und der zugleich die Möglichkeit einer gezielten Einflussnahme auf den weiteren Klimawandel durch eine rationale Klimapolitik eröffnet – das Einfache, das schwer zu machen ist!

Die Suche nach Elementen der Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip im Klimasystem der Erde sollte dabei zumindest heuristisch fruchtbar sein.

Literatur

- 50 Jahre Weltraumforschung. Erforschung und Überwachung der Erde und des Weltraumes gestützt auf die Mittel der Raumfahrt. Sitz. Ber. d. Leibniz-Soz. d. Wiss. 96 (2008), 217 S.
- Bernhardt, K.: Der Beitrag Hermann von Helmholtz' zur Physik der Atmosphäre. Wiss. Z. d. Humboldt-Universität zu Berlin, Math.-Nat. Reihe XXII (1973), 331-340.
- Bernhardt, K.: Aufgaben der Klimadiagnostik in der Klimaforschung. Gerl. Beitr. zur Geophys. 96 (1987), 113–126.
- Bernhardt, K.: Zur Interpretation der Monin-Obuchovschen Länge. Meteorol. Z. 4 (1995), 81–82.
- 82.

 Bernhardt, K.: Wettervorhersage und Meteorologie als exakte Wissenschaft Anmerkungen

aus historischer Sicht. In: Schröder, W. E. (ed.): From Newton to Einstein. (A Festschrift

- in Honour of the 70th Birthday of Hans-Jürgen Treder). Mitteilungen des Arbeitskreises Geschichte der Geophysik in der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft 17 (1998), Heft 3–4, 26–37.

 Bernhardt, K.: Goethe, die Meteorologie und kein Ende? Sitz.Ber. d. Leibniz-Soz. 42
- (2000)8, 109–125.

 Bernhardt, K.: Alexander von Humboldts Beitrag zur Entwicklung und Institutionalisierung von Meteorologie und Klimatologie im 19 Jahrhundert Algorismus Heft 41 München
- von Meteorologie und Klimatologie im 19. Jahrhundert. Algorismus, Heft 41, München 2003, S. 195–221.

 Bernhardt, K.: Die Klimazukunft Europas. Forschungsinstitut der Internationalen Wissen-
- schaftlichen Vereinigung Weltwirtschaft und Weltpolitik (IWVWW) e. V., Berichte 17. Jg., Nr. 176/177, Juli/August 2007, 73–87.

 Bernhardt, K.: Heinrich Wilhelm Dove (1803–1879) und seine Stellung in der Geschichte der
- Berliner Meteorologie. Dahlemer Archivgespräche 14 (2008), 61–100. Bernhardt, K.: Dialektik des Klimas. Sitz. Ber. d. Leibniz-Soz. d. Wiss. 102 (2009), 123–137.
- Bernhardt, K.: Klima im Wandel. http://www.leibniz-institut.de/archiv/bernhardt_01_02_12.pdf, 1-12
- Bernhardt, K.: Johann Wolfgang von Goethe Poet, Naturforscher und Witterungschronist am Ausgang der Kleinen Eiszeit. Ann. d. Meteorol. 46 (2013), 8–11.
- $Bernhardt,\ K.:\ Das\ Klimasystem\ der\ Erde\ im\ Licht\ des\ funften\ IPCC-Sachstandsberichtes. \\ http://www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2014/11/bernhardt.pdf,\ 1-30.$
- Bernhardt, K.: Zum Verhältnis von externen Antrieben und systeminternen Schwankungen im gegenwärtigen Klimawandel. http://www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2015/02/bernhardt.pdf, 1–5.
- Burroughs, W. J.: Weather Cycles. Real or Imaginary? (2nd ed.). Cambridge Univ. Press 2003, 317 pp.
- Chromow, S. P.: Einführung in die synoptische Wetteranalyse. Wien, Springer-Verlag 1942, 532 S.
- Cohen, J., Screen, J. A., Furtado, J. C., Barlow, M., Whittleston, D., Coumu, D., Francis, J., Dethloff, K., Entekhabi, D., Overland, J., Jones, J.: Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. Nature geoscience, 17 August 2014, DOI: 10.1038/NGE0 2234, 627–637.

- Deutsche Meteorologische Gesellschaft e. V.: 50th Anniversary of Numerical Prediction. Commemorative Symposium, 9–10 March, 2000. Rucksaldruck Berlin 2000, 255 S.
- Ebeling, W.: Über das Gedächtnis des Zufalls zur Dialektik von Gesetz und Zufall. Sitz. Ber. d. Leibniz-Soz. d. Wiss. 118 (2014), 71–78.
- Eckermann, Johann Peter: Gespräche mit Goethe in den letzten Jahren seines Lebens. Aufbau-Verlag, Berlin und Weimar 1982, 884 S.
- Flohn, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa (2. Aufl.). S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1954, 214 S.
- Foken, T.: Angewandte Meteorologie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2003, 289 S
- Fortak, H.: Meteorologie. Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 1982, 298 S.
- Friedrich, J.: Ansätze zur Modellierung konvektiver Wolkenstrukturen mittels Zellulärer Automaten. Dipl.-Arb. Humboldt-Univ., Sektion Physik, Ber. Meteorol. u. Geophys., Berlin 1989, 53 S.ff., unveröff.
- Fritscher, B.: The dialectic of the atmosphere: Heinrich Wilhelm Dove in Context. Algorismus 52 (2005), 91–102.
- GARP: The physical basis of climate and climate modelling. WMO-ICSU Joint Organizing Committee, GARP Publ. Ser. 16 (1975), 265p.
- Glossary of Meteorology. American Meteorological Society, Boston, sec. ed., 2000, 855 p.
- Goethe, J. W. v.: Die Schriften zur Naturwissenschaft. Leopoldina-Ausgabe, Zweite Abt., Ergänzungen und Erläuterungen, Bd. 2, Hermann Böhlaus Nachf., Weimar, 2005.
- Hantel, M.: Climate modelling. In: Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaft und Technik, Neue Serie, Gr. V, Bd. 4, Meteorologie, Teilbd. c2, Springer-Verlag, Berlin etc., 1989, 1–116.
- Hörz, H.: Helmholtz und die Meteorologie. Berlin-Brandenburg. Akad. d. Wiss., Wissenschaftshistorische Manuskripte 14(1997), 43 S.
- Hörz, H.: Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich berechtigte Reduktionen? Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit. Sitz. Ber. d. Leibniz-Soz. d. Wiss. 108 (2010), 11–36.
- Hupfer, P. (Hg.): Das Klimasystem der Erde. Akademie Verlag, Berlin 1991, 464 S.
- IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. Migley (eds.)]. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 1535 pp. Siehe auch http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report of Working Groups I, II and III of the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. Siehe auch http://ar5-syr.ipcc.ch/
- Keil, K.: Handwörterbuch der Meteorologie. Verlag Fritz Kapp, Frankfurt/Main, 604 S.
- Khrgian, A. Kh.: Ocherki razvitiya meteorologii, Tom I, izd. vtor., Gidrometeoizdat, Leningrad 1959, 428 S.
- Khrgian, A. Kh.: Meteorology. A Historical Survey, Vol. I, Keter Press, Jerusalem 1970, 387 S.

- Khromov, S. P., Mamontova, L. I.: Meteorologicheskij slovar'. Izd. tret'e., Gidrometeoizdat, Leningrad 1974, 508 S.
- Klimaänderung 2007. Synthesebericht. Deutsche Übersetzung herausgegeben von der deutschen IPCC Koordinierungsstelle, Berlin, September 2008, 109 S.
- Knoch, K.: Klima und Klimaschwankungen. Quelle & Meyer, Leipzig, 1930, 150 S.
- $K\"{o}rber, H.-G.: Vom\ Wetteraberglauben\ zur\ Wetterforschung.\ Edition\ Leipzig,\ 1987,\ 231\ S.$
- Kratz, D. P., Stackhouse, P. W., Jr., Wong, T., Sawaengphokai, P., Willer, A. C., Gupta, S. K., Loeb, N. G.: Earth radiation budget. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 95 (2014) No. 7, Special
- Supplement, State of the climate in 2013, July 2014, 30–32.

 Kutzbach, J.: Fluctuations of climate monitoring and modelling. WMO Bull. 23(1974), 155–
- Kutzbach, J. E., Bryson, R. A.: Variance spectrum of holocene climatic fluctuations in the north Atlantic sector. J. Atmosph. Sci. 31 (1974), 1958–1963.
- Meyers Kleines Lexikon Meteorologie. Meyers Lexikonverlag, Mannheim, Wien, Zürich 1987, 496 S.
- Marchuk, S. I.: Chislennye metody v prognoze pogody. Gidrometeoizdat, Leningrad 1967, 356 S. Mohn, H.: Grundzüge der Meteorologie. Verl. Dietrich Reimer (3. Aufl.), Berlin, 1883, 359 S. Möller, D.: Chemistry of the Climate System. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, Berlin,
- New York, 2010, 722 S.

 Müller, R.: Montesquieu über Umwelt und Gesellschaft die Klimatheorie und ihre Folgen.

 Sitz. Ber. d. Leibniz-Soz. 80 (2005), 19–32.
- Müller, S.: Einfachheit biochemischer Komplexität ein Widerspruch? Sitz. Ber. d. Leibniz-Soz. d. Wiss. 108 (2010), 57–65.
- Nebeker, F.: Calculating the Weather. Academic Press, San Diego etc. 1995, 251 p. Rahmstorf, S., Schellnhuber, H. J.: Der Klimawandel (5. akt. Aufl.), C. H. Beck oHG,
- München 2007, 144 S.
- Schellnhuber, H.-J.: Globaler Klimaschutz eine unlösbare Aufgabe? Vortrag im Plenum der Leibniz-Sozietät am 13. Januar 2011. Bericht in Leibniz intern 51, 1. Juni 2011, S. 4.
- Scherhag, R.: Wetteranalyse und Wetterprognose. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1948, 424 S.Schneider-Carius, K: Das Klima, seine Definition und Darstellung: zwei Grundsatzfragen der
- Klimatologie. Veröff. d. Geophys. Inst. d. Karl-Marx-Univ. Leipzig, Bd. 17, 2 (1961), 222 S.Schneider-Carius, K.: Wetterkunde, Wetterforschung. Verl. Karl Alber, Freiburg, München, 1955, 423 S.
- Singer, F. (Hg.): Die Natur, nicht menschliche Aktivität, bestimmt das Klima. TvR Medienverlag GbR Jena, 2008, 98 S.
- Sommerfeld, E.: Einfachheit ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen? Anregungen zur interdisziplinären Diskussion. Sitz. Ber. d. Leibniz-Soz. d. Wiss. 108 (2010), 145–163.
- Wegmann, M., Orsolini, Y., Vázquez, M., Gimeno, L., Nieto, R., Bulygina, O., Jaiser, R., Handorf, D., Rinke, A., Dethloff, K., Sterin, A., Brönnimann, S.: Arctic moisture source for Eurasian snow cover variations in autumn. Environm. Res. Letters 10(2015)054015, 10 pp. doi:10.1088/1748-9326/10/5/054015.



Gewisse Einfachheit auf den komplizierten Wegen zur höchsten Gewissheit

1. Mathematisierung vereinfacht und hilft wirkliches Einfaches aufzuspüren

Der jedem Wissenschaftler ureigene Drang, Zusammenhänge in Natur nebst Gesellschaft, vor allem die Beziehungen von Ursachen und Wirkungen aufzudecken, setzt die Erkennbarkeit der Welt voraus: die Welt selbst ist ein strukturiertes Ganzes und Menschen sind befähigt, diese strukturierte Welt in ihrem Bewusstsein mehr oder minder adäquat abzubilden. Komplexe Zusammenhänge werden so erforscht, dass Ergebnisse in der Form von Aussagen gefunden werden, deren Wahrheit oder Richtigkeit für jeden logisch Denkenden unbestreitbar ist. Insofern ist jeder Erkenntnisprozess zugleich ein Vereinfachungsprozess.

Das an wirklichen Zusammenhängen schon Herausgefundene kommt uns klar und einfach vor gegenüber dem noch Unerklärlichen, Unverstandenen, und mitunter fragen sich Beteiligte nach Jahren von Irrungen und Wirrungen, warum sie die dann doch so klaren, einfachen Zusammenhänge nicht schon früher gesehen haben, wie es beispielsweise im langen Prozess der Entdeckung der nuklearen Energie der Fall war. Im endlosen Labyrinth der Wege und Irrwege zur Gewissheit stehen neue Einsichten für Fortschritte, die den zurückgelegten, bewältigten Teil des Weges, also die aufgedeckten wirklichen Zusammenhänge, als relativ *einfach* erscheinen lassen. Erkennen macht einfacher, was freilich im Einzelnen einen subjektiven Aspekt hat.

Mathematik dient als Methode und Werkzeug der Erkenntnisgewinnung und entwickelt sich in Wechselwirkung mit immer neuen Anforderungen selbst weiter. Sie wird dabei zunehmend nützlicher und vielfach unentbehrlich. Gelingt es, wesentliche Charakteristika eines natürlichen, einschließlich gesellschaftlichen Phänomens mit mathematischen Mitteln zu erfassen und

¹ Vgl. Horst Kant, Die Entdeckung der nuklearen Energie – einige wissenschaftshistorische Betrachtungen. Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 11. Juni 2015.

aus der formalen mathematischen Beschreibung neues Wissen über das zu Erkennende abzuleiten, spricht man von einer *Mathematisierung* des betreffenden Phänomens. Mathematisierung zielt auf Gesetzesaussagen über objektive Vorgänge mittels einer mathematischen Formalisierung, sie hilft somit, Einfaches aufzuspüren.

Mathematische Formalisierungen sind notwendigerweise mit Idealisierungen und mit der Abstraktion von allem Sinnlichen verbunden. Mathematische Modelle sind also immer *Reduktionen*, stellen immer *Vereinfachungen* dar. Wenn sinnliche Erfahrungen nicht zugänglich sind oder, umgekehrt, ausschließlich als eine unübersichtliche Fülle von Datenmengen und scheinbaren Zusammenhängen, dann werden Mathematisierungen unverzichtbar. In den verschiedensten Bereichen wirken die heutigen mathematischen Methoden schon in höchst beeindruckender Weise. Dennoch erwachsen immer wieder neue, weitere Entwicklung erzwingende Herausforderungen. Im Grunde bleibt jedoch die Situation so, wie sie bereits Leonhard Euler (1707–1783), einer der Pioniere der Mathematisierung, beschrieben hat:

"Selbst im Interesse derjenigen Wissenschaften, für welche die elementare Mathematik zu genügen schien, ist die Weiterentwicklung der höheren Mathematik bis zu einem Grade erforderlich, den sie noch lange nicht erreicht hat. Daher will ich in dieser Abhandlung zeigen, dass der Nutzen der höheren Mathematik [...] stets wächst, je höher man in dieser Wissenschaft steigt; ja, dass die Mathematik noch nicht einmal so weit entwickelt ist, als auch die gebräuchlichsten Anwendungen es eigentlich erfordern. Um dies deutlich zu beweisen, möchte ich der Reihe nach jene Wissenschaften durchgehen, deren Nutzen von jedermann anerkannt wird [...] Ich werde zur Evidenz zeigen, dass eine um so höhere Analysis erforderlich ist, je größer der Nutzen, den wir aus diesen Wissenschaften ziehen wollen; dass es aber fast immer der noch ungenügenden Entwicklung der Mathematik zuzuschreiben ist, wenn unsere Hoffnungen, die wir in jene setzen, nicht erfüllt werden"

– man lese nur elementare Mathematik als vorhandene Mathematik.³

Vgl. Gerhard Banse et al. (Hg.), Die Mathematik im System der Wissenschaften. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 24, trafo Wissenschaftsverlag Berlin, 2009; Eberhard Zeidler, Die Faszination der Wechselwirkungen zwischen Mathematik und Naturwissenschaften. In: Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, Band 109, Sonderheft, S. S19–S40, Birkhäuser Verlag Basel, 2007; Peter Deuflhard et al. (eds.), MATHEON – Mathematics for Key Technologies, EMS Series in Industrial and Applied Mathematics, Band 1, European Mathematical Society Zürich, 2014.

³ Leonhard Euler, Einleitung zur Rechen=Kunst zum Gebrauch des GYMNASII bey der Kayserlichen Academie der Wissenschaften in St.Petersburg. Gedruckt in der Academischen Buchdruckerey 1738. Deutsche Übersetzung von J. J.Burckhardt, Commentatio 790

2. Mit Mathematik verbundene Paradigmen der Einfachheit und Reduktionismus

Die Herausbildung von Infinitesimalrechnung, Variationsrechnung, Differentialgleichungstheorie und klassischer Mechanik in der Zeit der Aufklärung war eng verbunden mit dem Gedanken einer mathematischen Ordnung der Welt, vereint mit der Vorstellung, alle Bewegung sei mechanischer Art und mathematisch berechenbar. Mathematische Gesetze wurden als inhärenter Bestandteil der Schöpfung angesehen, woraus die verpflichtende Aufgabe resultiere, die entsprechende Mathematik zur Entschlüsselung zu entwickeln. Lassen wir dazu wieder Euler zu Wort kommen:

"Muss man sodann bei all den Vorgängen, bei denen man eine Veränderung beobachtet, nicht vorerst auf die Bewegung achten, zusehen, wodurch und wie sie hervorgerufen wurde, welche Veränderungen sie erleidet, u.s.w.? … Denn alle Veränderungen, die wir in der Natur beobachten, stammen von der Bewegung her; es ist also klar, dass die Mechanik, das heißt die Wissenschaft von der Bewegung, notwendig ist, um selbst die kleinste Veränderung im Universum zu erklären." (Ebd.)

Vor diesem Hintergrund gelangte Immanuel Kant (1724–1804), dem Eulers Auffassungen nicht unbekannt waren, zu der häufig zitierten Behauptung, "dass in jeder besonderen Naturlehre nur so viel *eigentliche* Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin *Mathematik* anzutreffen ist".

Euler war der Begründer des *calculus variationum*, der Variationsrechnung, die nächst ihm besonders durch Joseph L. Lagrange (1736–1813) und William R. Hamilton (1805–1865) geprägt wurde. Euler hat als erster ein *Prinzip der kleinsten Wirkung* für die Bewegung eines Massenpunktes mathematisch korrekt formuliert. Zugleich mahnte er Vorsicht an in Bezug auf etwaige Generalisierungen im Rahmen der seinerzeit – insbesondere an der preußischen Akademie geführten – hochaktuellen Diskussion zum Prinzip der kleinsten Aktion: "Aus diesen Fällen leuchtet die völlige Übereinstimmung des Prinzips [...] mit der Wirklichkeit ein: aber es kann noch zweifelhaft sein, ob diese Übereinstimmung auch in komplizierteren Fällen statt-

C indicis Enestroemiani, Opera Omnia, Band 3/2, Birkhäuser Verlag Basel, 1942; vgl. Roswitha März, Mit Euler rechnen. Oder: Eine dorische Säule in der Mathematik. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 94, S. 87–89, trafo Wissenschaftsverlag Berlin, 2008.

⁴ Immanuel Kant, Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft (A VIII), Riga 1786, Werkausgabe, Band 9, Suhrkamp Frankfurt am Main, 1991, S. 14.

findet. Deshalb muss man sorgfältig die Reichweite dieses Prinzips untersuchen, um ihm nicht mehr zuzuschreiben, als in seiner Natur liegt."⁵

Mit Hilfe der Formalismen von Lagrange und Hamilton und deren Weiterentwicklungen wurden die klassische Prinzipien-Mechanik abgeleitet und später auch die Grundlagen der modernen Physik gelegt, welche insgesamt die Annahme stützen, dass Grundgesetze der Natur prinzipiell einfach seien. Dazu Werner Heisenberg (1901–1976):

"Die moderne Physik schreitet also auf denselben geistigen Wegen voran, auf denen schon die Pythagoreer und Plato gewandelt sind, und es sieht so aus, als werde am Ende dieses Weges eine sehr einfache Formulierung der Naturgesetze stehen, so einfach, wie auch Plato sie sich erhofft hat."

Das Paradigma von Einfachheit als Wirkprinzip wird traditionell von Philosophen, Physikern und mit mathematischer Physik befassten Mathematikern favorisiert, zunächst ausgehend von den nun offensichtlich einfachen mechanischen Beziehungen wie die Newtonschen Grundgesetze der Bewegung und mechanischen Extremalprinzipien, später in Anbetracht modernerer physikalischer Gesetze nebst entsprechender Mathematisierungen. Die anhaltende gemeinsame Suche von Physikern und Mathematikern nach der *Weltformel*, einer einheitlichen Feldtheorie, die alle vier bekannten physikalischen Wechselwirkungen konsistent beschreiben soll, gilt ausschließlich physikalischen Vorgängen – auch wenn in der Euphorie des Erkenntnisfortschritts immer wieder von allgemeinen Naturgesetzen oder gar der Mathematisierung der Natur die Rede ist.

Zwar belächelt jedermann heute die mit der mechanistischen Weltanschauung aus dem 18. Jahrhundert verbundene Vorstellung, Tiere seien mechanische Maschinen komplizierterer Art, doch wird kaum daran gedacht, dass die in unserer Zeit vielfach vorgenommene Gleichsetzung von Naturgesetzen mit ausschließlich physikalischen Zusammenhängen nur ein auf

⁵ Leonhard Euler, Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimi proprietate gaudentes, sive solutio problematis isoperimetrici lattisimo sensu accepti, Additamentum II der Variationsrechnung (EO I/24), Lausanne, 1744, Opera Omnia, Band 1/24, Birkhäuser Verlag Basel, 1952.

⁶ Werner Heisenberg, Physik und Philosophie (7. Auflage). Hirzel Stuttgart, 2006, S. 106.

⁷ Der Large Hadron Collider (LHC) am CERN bei Genf wird auch "Weltmaschine" genannt. Von den dort derzeit bis 2018 geplanten Experimenten werden bahnbrechende Erkenntnisse zu einer neuen Physik erwartet; vgl. Martin Koch, "Weltmaschine" erreicht Rekordenergie, Neues Deutschland vom 13./14. Juni 2015, S. 26.
Vgl. John D. Barrow, Theorien für Alles, Snektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Vgl. John D. Barrow, Theorien für Alles. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 1992; Anthony G. Lisi, An Exceptionally Simple Theory of Everything, arxiv: 0711.0770 v1 [hep-th], 2007.

neue Art reduktionistischer Ansatz ist, der möglicherweise in späteren Jahren gleichermaßen belächelt werden wird. Zweifellos aber waren und sind diese mit Mathematisierung verknüpften Reduktionismus-Varianten mit erheblichem Erkenntnisgewinn verbunden.

Die Einfachheit der die physikalischen Wechselwirkungen beschreibenden Differentialgleichungen wird immer wieder erneut hervorgehoben. Sieht man sich allerdings das weitere mathematische Zubehör an, so findet man auch reichlich Kompliziertes. Unter anderem spielen Lie-Gruppen bei der Lösung der beschreibenden Differentialgleichungen eine wesentliche Rolle, ein elegantes, aber durchaus kein triviales mathematisches Konstrukt! In Bezug auf die Weltformel wird die Superstringtheorie noch immer kontrovers diskutiert, desgleichen die spezielle Lie-Gruppe E8, ein Gebilde mit 248 Freiheitsgraden, dessen Struktur 2007 nach aufwendiger Suche berechnet werden konnte, mit einer Ergebnisliste bestehend aus einer Matrix mit 205 Milliarden Einträgen. Soweit zu den nicht einfachen Hintergründen der erhofften einfachen Weltformel. Der Mathematiker Eberhard Zeidler stimmt ein in die Euphorie zur Einfachheit der Gleichungen, betont aber auch die immensen Schwierigkeiten ihrer Lösung:

"Die Naturgesetze werden besonders einfach, wenn man die infinitesimale Strategie von Newton und Leibniz benutzt [...] Dann entstehen nur wenige fundamentale Differentialgleichungen, z.B. die Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik, die Einsteinschen Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie, die die Entwicklung des Kosmos beherrschen, und die Gleichungen für das Standardmodell der Elementarteilchen [...] Es ist erstaunlich, dass man die Fülle der Naturerscheinungen durch wenige Grundgleichungen beschreiben kann. Die Aufgabe der Mathematik ist es, diese Differentialgleichungen zu lösen. Wegen der Vielgestaltigkeit der Phänomene in der Natur ist es jedoch nicht verwunderlich, dass die Lösung von Differentialgleichungen mit erheblichen mathematischen Schwierigkeiten verbunden ist und einen höchst aktuellen Forschungsgegenstand darstellt."

Der Gedanke, Naturgesetze mittels relativ einfacher Gleichungen beschreiben zu können oder, noch besser, in der Form, dass man eine bestimmte Größe angibt, die beim wirklichen Ablauf einen Extremwert annimmt, wodurch sich entsprechende Gleichungen als Extremalbedingungen ergeben, ist nach wie vor faszinierend. Der Frage nach der Generalisierung solcher Prinzipien der Einfachheit wird seitens der Philosophie grundsätzliche er-

⁸ Eberhard Zeidler, Die Faszination der Wechselwirkungen zwischen Mathematik und Naturwissenschaften. In: Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, Band 109, Sonderheft, S. S19–S40, Birkhäuser Verlag Basel, 2007.

kenntnistheoretische und methodologische Relevanz für wissenschaftliches Arbeiten beigemessen. ⁹ Die eigentliche Schwierigkeit, auch bei einfach aussehenden Gleichungen, ist die praktische Bestimmung von Lösungen. Meist können nur Approximationen von Lösungen berechnet werden, wozu leistungsfähige Verfahren zur Verfügung stehen und ständig neue bedarfsgerecht entwickelt werden, die allerdings wiederum zum Teil recht aufwendig sind mit integrierter Adaptivität und Kontrollmechanismen. Außerhalb von Mechanik und Physik, in Bereichen der Chemie, der Ökologie, der Lebens-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften sind wirkliche Zusammenhänge weitaus vielschichtiger und umfassender. Die Mathematisierung kommt dort zuweilen einer Gratwanderung gleich zwischen der angemessenen Berücksichtigung aller als wichtig angenommenen Einflussfaktoren und der praktischen Lösbarkeit. Die wirklich wesentlichen Faktoren müssen oft erst durch Experimente, gegebenenfalls mathematische, herausgefunden werden, ihre Einflussbereiche können sich mit der Zeit und in Abhängigkeit von anderen Komponenten ändern. 10 Dennoch gelingt es, vielfältige wirkliche Prozesse zu simulieren, zu prognostizieren und zu steuern, also zu mathematisieren.

Bei der mathematischen Modellierung mittels Gleichungen, deren Lösungen das interessierende Prozessverhalten widerspiegeln sollen, geht man in der Regel aus von vorhandenen Erfahrungen und der Intuition in Bezug auf einfache, partielle, wirkliche Zusammenhänge wie etwa die Proportionalität beteiligter Größen. Die daraus schließlich konstruierten Gleichungen sehen in der Folge tatsächlich oft relativ einfach aus, wenigstens für Mathematiker. Das primäre Anliegen ist hier aber nicht die Einfachheit der Gleichungen, sondern der Aufbau eines sachgemäßen mathematischen Modells und dessen praktische Lösung. Das Verhalten der Lösungen kann – wie das Prozessverhalten selbst – durchaus veränderlich komplexe Züge aufweisen. Einfachheit der resultierenden Gleichung ist gegebenenfalls nur ein höchst erfreuliches Zusatzergebnis.

Dem Obigen völlig entgegengesetzt sind Herangehensweisen, die von einem Paradigma der Einfachheit des Verhaltens als primäre Grundlage aus-

⁹ Erdmute Sommerfeld et al. (Hg), Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 108, S. 5, trafo Wissenschaftsverlag Berlin, 2010.

¹⁰ Vgl. hierzu in diesem Band: Charles Coutelle, Die verführerische Illusion "einfacher" Konzepte – Kritische Betrachtungen zum Prinzip Einfachheit an Hand von Beispielen aus Molekularbiologie und Medizin; Dietmar Linke, "Einfachheit in der Chemie? – Lasst, die ihr eintretet, alle Hoffnung fahren! – Oder doch nicht ganz?"

¹¹ Vgl. hierzu: Peter Deuflhard et al. (eds.), MATHEON – Mathematics for Key Technologies, EMS Series in Industrial and Applied Mathematics, Band 1, European Mathematical Society Zürich, 2014.

gehen. In der Automatentheorie werden Modell-Systeme mit einer Vielzahl gleichartiger, einfacher Grundbausteine konstruiert, die nach einfachsten Regeln interaktiv agieren, und die in diskreten Schritten mit vorgegebener Transformation von Schritt zu Schritt natürliche Systeme nachbilden sollen. Jeder Grundbaustein hat nur eine geringe Anzahl von Zuständen. Das Ganze wird auf Computern durchgespielt und visualisiert. Das entstehende Bild wird in Bezug auf Muster untersucht. Manche der Bilder sehen Natur-Mustern faszinierend ähnlich. Man sieht, dass einfachste Regeln, d.h. einfachste Grundstrukturen, zu überaus komplizierten Gebilden führen können, die kaum mehr durch Intuition, sondern nur durch rechnerische Ausführung und Datenanalyse erfasst werden können, und die gegebenenfalls ihrerseits Strukturen (Musterbildung) aufweisen können. Stephen Wolfram ist einer der Pioniere, die einen derartigen Ansatz mittels der Theorie zellulärer Automaten verfolgen, wie vor ihm auch schon Konrad Zuse (1910–1995). ¹² Einfachheit steckt unmittelbar in den vorgegebenen Verhaltensannahmen. Man lässt den Automaten oder das Spiel einfach laufen und versucht, entstehende Muster zu erkennen und zu deuten. ¹³ Das Instrumentarium ist tatsächlich einfachster Art. Gebraucht werden: ein Raum mit Zellaufteilung und der Vorgabe, was Nachbarschaft von Zellen bedeuten soll, der Anfangszustand aller Zellen und schließlich eine Transformationsfunktion, die für die nächste Generation (die nächste Zeitstufe) den Zustand einer jeden Zelle in Abhängigkeit vom Zustand aller Nachbarzellen und des eigenen Zustandes berechnet. Es ist erstaunlich, welche verschiedenartigen und komplizierten Muster auf diese Weise erzeugt werden. Ähnlich wie bei Fraktalen können durch einfachste Regeln Bilder mit komplizierter Struktur erzeugt werden. Hinreichend ausgestattete zelluläre Automaten besitzen die Fähigkeit, sich selbst zu reproduzieren. Wolfram hat 2002 bewiesen, dass man schon aus dem elementaren zellulären Automaten mit Nummer 110 eine Turing-Maschine konstruieren kann. 14 Beeinflusst werden kann das entstehende Muster nur über die Vorgabe der Grundkonstellation. Besonders interessant wird es. wenn in den vorbestimmten Regeln stochastische Elemente enthalten sind.

¹² Konrad Zuse, Rechnender Raum. Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1969; Stephen Wolram, A new Kind of Science. Wolfram Media, Inc. http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html, 2002; Stephen Wolfram hat sich durch die Entwicklung von mathematischer Software sehr verdient gemacht. Das Computeralgebrasystem Wolfram MATHE-MATICA (http://www.wolfram.com/mathematica/) ist ein viel genutztes, bewährtes Hilfsmittel beim mathematischen Experimentieren.

¹³ Das bekannte Lebensspiel von John H. Conway (https://de.wikipedia.org/wiki/Conways_ Spiel des Lebens) ist hier tatsächlich Vorbild und Spezialfall.

¹⁴ http://mathworld.wolfram.com/ElementaryCellularAutomaton.html .

Mit großem Rechenaufwand können eindrucksvolle Muster für die Ausbreitung von Waldbränden, Krankheiten und Ähnliches erzeugt werden. Es bleiben aber Muster ohne ernsthaftes Potential zu konkreten Vorhersagen. Es handelt sich deshalb nicht um Mathematisierungen der wirklichen Phänomene im obigen Sinne. Sieht man diese Automaten als Modelle von konkreten natürlichen Prozessen an, so ergibt sich in jedem Einzelfall wahrscheinlich eine viel zu weitgehende Reduktion. Es geht hier eher um Muster für das globale Zeitverhalten von Systemen. Im Unterschied zu den obigen gleichungsbasierten Modellen mangelt es nun an echten Bindungen an konkreten, natürlichen Zusammenhängen. Da nun der Ansatz sehr einfach und auch Laien leicht zugänglich ist, verschwindet das theoretische Umfeld schnell aus dem Blick, ein Aspekt, den sich Aktivisten auch gern zunutze machen.

Das Modell der biologischen Evolution von Gregory Chaitin ist ein wenig konkreter angelegt. ¹⁵ Es geht ebenfalls gleich im Ansatz vom Paradigma einer wirklichen Einfachheit aus:

"In my opinion, if Darwin's theory is as simple, fundamental and basic as its adherents believe, then there ought to be an equally fundamental mathematical theory about this, that expresses these ideas with the generality, precision and degree of abstractness that we are accustomed to demand in pure mathematics." ¹⁶

In seiner algorithmischen Informationstheorie verwendet Chaitin die Kolmogorov-Komplexität zur Bestimmung des Informationsgehalts von Zeichenketten. Er begreift genetische Codes von Lebewesen als natürliche Software und ersetzt sie durch Zeichenketten als künstliche Software. Chaitins Modell der biologischen Evolution ist das Muster sich zufällig entwickelnder Software, eine spezielle Turing-Maschine, in der Zeichenketten für die genetischen Codes stehen. Die Kolmogorov-Komplexität wird als deren Fitness interpretiert. Pro Zeittakt vollzieht sich als Transformation die (zufällige) algorithmische Mutation, die per Ansatz die natürliche Mutation und die Selektion in Einheit zum Vorbild hat. Wenn die Mutation A'=M (A) fitter ist als A, dann stellt sich die Mutation ein, sonst nicht. Das Modell ist wegen der viel zu weit gehenden Reduktionen sehr umstritten, was wenig überrascht. Es konzentriert sich nur auf Genetisches und auch das nur restriktiv. Nach Anlage entsteht das Muster von immer mehr Fitness. Das ist eine viel zu starke Vereinfachung in Bezug auf die biologische Evolution.

¹⁵ Gregory Chaitin, Making Biology Mathematical, Phanteon Books, 2012.

¹⁶ Gregory Chaitin, Speculations on Biology, Information and Complexity, EATCS Bulletin, February 2007.

Die Einfachheits-Ansatz-Modelle der Automatentheorie werden als Experimentierwerkzeug geschätzt. Es bleibt aber offen, inwieweit sie nicht nur einfachstes, zu stark idealisiertes Systemverhalten skizzieren, sondern auch für echte Mathematisierungen mit Prognose-Potential relevant sein können. Aussagen wie "Everything is reducible to these simple computational processes" kennzeichnen die Euphorie der Beteiligten und zugleich einen viel zu weit gehenden Reduktionismus. Es sieht so aus, als geselle sich zum Mechanismus des 18. Jahrhunderts, zum Physikalismus des 19. und 20. Jahrhunderts nun ein durch Informations- und Automatentheorie nebst gewaltiger Rechenkapazitäten geprägter weiterer Reduktionismus, eine Art Daten-Analysismus. Dessen Erfolge in Datenanalyse, Mustererkennung, Bild- und Spracherkennung zeigen sich inzwischen allgegenwärtig in unserem Alltagsleben. Man denke zum Beispiel an die beeindruckende Musikerkennungsfunktion von Smartphones, die schnell und vielfach fehlerfrei mitteilt, welches Musikstück welches Komponisten man gerade hört, durch wen, wo und wann es so interpretiert wurde. Natürlich, wie in der Zeit des Mechanismus die maschinellen Tiere, so gibt es auch hier wieder viel zu weit gehende Übertreibungen.

3. Mathematische Modelle unterliegen Gültigkeitsbedingungen zweifacher Art, zur Widerspiegelung der Wirklichkeit und zur mathematischen Korrektheit

Mathematik und Physik haben sich in engster Wechselwirkung entwickelt. Hier fällt das Unterscheiden von mathematischer Beschreibung und Wirklichkeit oft schwer, vor allem, wenn es um der sinnlichen Wahrnehmung unzugängliche Bereiche geht. Moderne Theoretische Physik ist gar nicht denkbar ohne das zur Mathematik gehörende Gebiet der Mathematischen Physik und umgekehrt. Insbesondere bei der Suche nach der die vier fundamentalen physikalischen Wechselwirkungen konsistent vereinheitlichenden Feldtheorie sind die physikalischen und mathematischen Aspekte nicht mehr zu trennen.

¹⁷ Der Informatiker Raymond Kurzweil, einer der Vordenker des Transhumanismus, prognostiziert für das Jahr 2029 den Bau eines Modells, das wie ein Gehirn funktioniert, und für 2045 eine technologische Singularität, einen Zeitpunkt, ab dem sich Maschinen mittels künstlicher Intelligenz (KI) selbst verbessern können. Das soll eine künstliche Intelligenz ermöglichen, mit welcher die Menschheit Unsterblichkeit erlangen kann. Hier wird KI mit menschlichem Denken identifiziert und außerdem dem technologischen Wachstum ein "Gesetz vom steigendem Ertragszuwachs" zugeordnet, demzufolge das Wachstum dauerhaft ungedämpft exponentiell sei. Statt der maschinellen Tiere des Mechanismus sind nun kognitive Maschinen angekündigt.

Die Mathematik hat, meist in Gemeinschaft mit der Physik, wichtige Bereiche der Chemie, der Biologie und der Technikwissenschaften erfasst. Es sind mathematische Methoden entstanden, die zu einer nutzbringenden Verbindung von Mathematik mit Wirtschaftswissenschaften geführt haben. *Mathematisierung* eines natürlichen Phänomens schließt ein, dass es gelingt, wesentliche Charakteristika formal mit mathematischen Mitteln zu beschreiben und aus dieser Beschreibung neue Erkenntnisse, zum objektiven Vorgang abzuleiten. Von *Mathematisierung einer Wissenschaftsdisziplin* wird gesprochen, wenn eine weitgehende Mathematisierung ihrer dominanten Vorgänge und Sachverhalte erfolgt. Für die Physik trifft das sicher zu. Wie und wie weit die Mathematisierung heutiger und künftiger Disziplinen vor sich gehen kann, bleibt ungewiss. Es gibt dazu sowohl erhebliche Skepsis als auch Euphorie. ¹⁸ Mathematisierung kann als progressive, unendliche Geschichte angesehen werden.

Mathematische Modelle, mathematisch formulierte Theorien und Aussagen sind an zweierlei Gültigkeitsbereiche gebunden und nur in diesem Rahmen relevant. Wie bei allen Gesetzesaussagen, die sich auf die Wirklichkeit beziehen, müssen Wirkungsbedingungen, Reichweiten, berücksichtigt werden. Das trifft für die mathematisch formulierten Gesetze ebenso zu, wie für alle anderen. Wie Eulers oben zitierte Meinung zum Prinzip der kleinsten Aktion belegt, ist das seit langem eigentlich klar. Nichtbeachtung von Widerspiegelungsbedingungen kann zu ernsten Fehlschlüssen führen. Jedes Modell ist lediglich ein Bild, eine Vereinfachung, eine Idealisierung bestimmter Seiten des Originals. Bild und Original sind grundsätzlich verschieden, woran wir uns mit Vergnügen etwa durch René Magrittes Bild "La trahison des images" erinnern lassen. Handelt es sich jedoch um das mathematische Modell eines natürlichen Phänomens, so wird häufig zwischen Original und Modell nicht unterschieden. Das ist im Allgemeinen bedenklich, denn es verführt dazu, dem Original Eigenschaften des Modells zuzuschreiben und dessen Widerspiegelungsbedingungen zu vernachlässigen. Man kann recht schnell der Verführung einfacher Muster unterliegen.

Zusätzliche Gültigkeitsbedingungen mathematischer Aussagen beziehen sich auf deren interne mathematische Korrektheit. Es ist die spezielle Besonderheit mathematischer Theorien und Aussagen, dass sie durch strenge logische Beweise im Rahmen der Begriffswelt der Mathematik als folge-

¹⁸ Vgl. Gerhard Banse et al. (Hg.) Die Mathematik im System der Wissenschaften, Abhandlungen der Leibniz Sozietät Band 24, trafo Wissenschaftsverlag Berlin, 2009; Mathematisierung der Natur, DEBATTE Heft 4, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, 2006.

richtig korrekt verifiziert werden müssen, und sie sind ausschließlich in diesem Sinne unumstritten richtig. Das ist die spezifische Eigenheit der Mathematik selbst! Kant sah die Aussagen der reinen Mathematik als Urbild höchster Evidenz, Muster höchster Gewissheit an, Moses Mendelssohn (1729–1786) hat dies in seiner preisgekrönten Schrift auf reine und angewandte Mathematik bezogen. Mathematisierungen erben damit einen Aspekt höchster Gewissheit, der sich aber allein auf den mathematischen Inhalt bezieht und beschränkt. Die Maxime aus früherer Diskussion "Mathematik ist die einfachste unter den Wissenschaften, denn sie birgt den geringsten Anlass zum Streit, ob etwas richtig ist. Sie ist nur insofern wie alle anderen, wenn es darum geht, ob etwas gut und wichtig ist" reflektiert diesen Sachverhalt einmal mehr. Leider wird die mathematische Reichweite außerhalb der Mathematik selten beachtet, wir kommen weiter unten in Beispielen darauf zurück.

Mathematisierungen dynamischer Vorgänge münden in der Regel in Differentialgleichungen, mit deren Hilfe man die Vorgänge simulieren und prognostizieren kann. Woher und wie bekommt man diese Gleichungen? Der Ansatz der beschreibenden Gleichungen beruht weitgehend auf Resultaten vorhandener Erfahrung und Intuition. Hier ist eines der klassischen Beispiele: Das zweite Newtonsche Bewegungsgesetz, auch Aktionsprinzip und Grundgesetz der Bewegung genannt, besagt, dass die Änderung der Bewegung eines Körpers der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional ist und zwar nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt. So hat es Newton durch Beobachtung und eine Portion Intuition herausgefunden. Erst Euler hat es in die Form der Gleichung "Masse mal Beschleunigung gleich Kraft" gegossen, woraus die Differentialgleichung $m\ddot{x} = F$ entstanden ist. Dabei bezeichnet m die Masse des Körpers, F die Kraft, und x den Ort, an welchem sich der Körper befindet, sodass \ddot{x} die

19 Immanuel Kant, Inaugural-Dissertation von 1770, Werkausgabe Band 5, Frankfurt, 1993,

S. 45; Moses Mendelssohn, Über die Evidenz in metaphysischen Wissenschaften, Moses Mendelsohns Schriften zur Philosophie, Ästhetik und Apologetik, Band 1, Leipzig 1880, Preisgekrönte Abhandlung zur von der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin für das Jahr 1763 gestellten Preisaufgabe, die Evidenz betreffend.

Das Lemma "Mathematik" im Wörterbuch Philosophie und Naturwissenschaften, Dietz Verlag Berlin, Neuausgabe 1991, enthält in Bezug auf die angewandte Mathematik eine impführende Versinfsahung indem diesen eine geschülen der weinen. M. gestingen

Verlag Berlin, Neuausgabe 1991, enthält in Bezug auf die angewandte Mathematik eine irreführende Vereinfachung, indem dieser eine "gegenüber der "reinen" M. geringere Strenge der Beweisführungen" unterstellt wird, was noch hinter Mendelsohn zurückfällt. Auch die ebenda zu findende Reduktion des Gedankens der approximativen Lösung auf den "Verzicht auf absolute Genauigkeit" ist unsachgemäß.

²⁰ Roswitha März, Schöne Einfachheit als (VER)FÜHRUNG in der Mathematik, Leibniz Online 09/2011, http://www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2011/12/Maerz.pdf.

Beschleunigung als Maß für die Veränderung der Geschwindigkeit darstellt. Inzwischen stellt die gewonnene Differentialgleichung zur Berechnung von x den unmittelbaren Ausgangspunkt jeder entsprechenden Anwendung dar.

Um etwa einen Diffusionsprozess zu beschreiben und zu simulieren. greift man in unserer Zeit unmittelbar auf die als geeignetes Werkzeug bekannten Diffusionsgleichungen und gegebenenfalls entsprechende Software zurück. Auch diese Gleichungen sind aus der Beobachtung von Proportionalitäten heraus entstanden, in diesem Falle aus den beiden Fick'schen Gesetzen. Die phänomenologische Formulierung des 1. Gesetzes für den zeitinvarianten Diffusionsfluss besagt, dass zwischen dem lokalen Teilchenstrom und der lokalen Differenz der Teilchenkonzentration eine Proportionalität besteht. Das 2. Gesetz liefert daraus die klassische instationäre Diffusionsgleichung. Adolf Fick (1829-1901) hat seine Entdeckung um 1855 mit Experimenten begründet. Etwa 50 Jahre später, gelang es Albert Einstein, die Fick'schen Gesetze aus den Gesetzen der Thermodynamik zu gewinnen. Damit wurden die klassischen Diffusionsgleichungen in den allgemeineren Rahmen der Mathematisierung thermodynamischer Prozesse eingeordnet. Eine Erweiterung des Horizonts wie diese wesentliche Verallgemeinerung ist immer von Vorteil. Es ist jedoch irreführend zu schließen, die Diffusion habe damit ein theoretisches Fundament bekommen.²¹ Die Diffusion selbst bedarf keiner Theorie, um sich zu vollziehen, und die Gültigkeitsbedingungen der Diffusionsgleichungen hinsichtlich der Wirklichkeit beziehen sich nach wie vor auf die experimentell verifizierten Proportionalitäten und die Massenerhaltung. Daran ändert eine elegantere, allgemeinere mathematische Beschreibung nichts. Nur die rein mathematischen Rahmenbedingungen könnten für Experten transparenter geworden sein.

Erhaltungsannahmen und Bilanzgleichungen bilden seit jeher eine weitere Quelle für Mathematisierungen. Zu den einfachen physikalischen Erhaltungsgesetzen zählen die Kirchhoffsche Knotenregel und die Maschenregel, die bei der Entwicklung elektrischer Schaltungen eine fundamentale Rolle spielen. Gustaf R. Kirchhoff (1824–1887) hat 1845 festgestellt, dass die Summe der zufließenden Ströme in einem Knotenpunkt eines elektrischen Netzwerkes aus konzentrierten Bauelementen gleich der Summe der abfließenden Ströme ist. Die moderne Physik versteht die beiden Kirchhoffschen Regeln als Schlussfolgerungen aus den Maxwell-Gleichungen, die

²¹ Bei Wikipedia, unter http://de.wikipedia.org/wiki/Diffusion und https://de.wikipedia.org/wiki/Adolf_Fick, liest man dazu, Albert Einstein habe die Fick'schen Gesetze aus den Gesetzen der Thermodynamik abgeleitet und so der Diffusion ein sicheres theoretisches Fundament gegeben.

Knotenregel ergibt sich da als Konsequenz der Ladungserhaltung. Hier werden die erkannten einfachen physikalischen Regeln in weit umfassendere Gesetzesaussagen eingebettet, die ihrerseits Einfachheit auf höherer Ebene widerspiegeln. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass für die Simulation integrierter Schaltungen in der Mikroelektronik zwar die Kirchhoffschen Regeln zum Aufbau der Gleichungen verwendet werden, zur numerischen Lösung dann aber ladungserhaltende Verfahren vorteilhaft sind.

Die Suche nach sogenannten Symmetrien ist ein bereits auf das engste mit der Mathematik verbundener Ansatz bei der Modellierung. Im 19. Jahrhundert begann sich in der Mathematik die Gruppentheorie und damit eine spezielle Art des Lösens von Differentialgleichungen zu entwickeln. Mittels geeigneter Transformationen, sogenannter Symmetrien, kann, sofern sie existieren, eine Differentialgleichung in einfachere Gestalt gebracht und gelöst werden. Bei der Suche nach physikalischen Gesetzesaussagen konzentriert sich in der Neuzeit das Interesse auf Erhaltungssätze und Invarianzen, was direkt mit der Suche nach geeigneten Symmetrien einhergeht. Symmetrien können schließlich auf Erhaltungsgrößen hinweisen.

Während physikalische Vorgänge relativ einfach mathematisierbar sind, ja meist gleich in mathematischer Form entwickelt werden, ist auf anderen Gebieten, wie etwa der Biologie, Ökologie und Medizin, die Lage erheblich komplizierter. Auch hier enthält der Werkzeugkasten zur Ergründung von Systemverhalten wieder Proportionalitätsansätze und Bilanzgleichungen, aber deren Gültigkeitsbereiche sind meist nur noch von lokaler Art. Beispielsweise kann man zunächst vermuten, dass die Wachstumsgeschwindigkeit einer Population proportional der Populationsgröße sei, was bei positiver Wachstumsrate ein unbeschränktes exponentielles Wachstum ergäbe. Das ist aber völlig unrealistisch, denn eine zu große reale Population behindert sich selbst. Mit der sogenannten logistischen Gleichung wird dem Rechnung getragen, indem eine bestimmte zustandsabhängige Wachstumsrate eingeführt wird. Die nächsten Stufen der Modellbildung sind die Einbeziehung von gegnerischen Populationen und der Übergang zu mehr und mehr Gleichungen und gegebenenfalls die Berücksichtigung stochastischer Einflüsse bis hin zu Modellen für Ökosysteme.²² Im Unterschied zu global klaren physikalischen Verhältnissen gibt es nun vielfältige, zwar nachvollziehbare, aber dennoch mathematisch willkürliche Ansätze von variablen

²² Vgl. Roswitha März, Faszination Mathematik – ohne Illusionen, in: Die Mathematik im System der Wissenschaften, Abhandlungen der Leibniz Sozietät Band 24, trafo Wissenschaftsverlag Berlin, 2009, S. 47–57.

Wachstumsraten, und auch die Kalibrierung der eingefügten Konstanten durch Experimente ist weitaus schwieriger und ungenauer. Oft ist noch unklar, welche Komponenten der wirklichen Zusammenhänge überhaupt wesentlich sind, auch im lokalen Sinne. Sie zu erkennen ist eine wichtige Aufgabe, zu deren Beantwortung sukzessive Sensitivitätsanalysen mit verschiedenen Modellen beitragen können. Nur insoweit ist hier der Begriff Mathematisierung angebracht.

Ein weiteres einfaches Mittel zum Aufbau mathematischer Modelle besteht im Ansatz von Kompartimenten, die mit verschiedenen Eigenschaften ausgestattet werden, wie etwa seit langem bei Klimamodellen bewährt und in jüngerer Zeit bei Modellen für die Humanmedizin.

4. Eine verfehlte formalistische Vereinfachung mit positiven Folgen

Es gibt zuweilen unter Mathematikern auch Streit um die Gewissheit in der Mathematik, aber meistens geht es bei Auseinandersetzungen nur um Schönheit, Wichtigkeit und anderweitig Subjektives.

Zu Beginn des 20. Jahrhundert entwickelte David Hilbert (1862–1943) ein Programm, das die Mathematik insgesamt als Wissenschaft der formalen logischen Systeme begründen sollte. Andere Mathematiker mit entgegengesetzten Ansichten zur Mathematik, wie Luitzen E. J. Brouwer (1881–1966), arbeiteten an einem intuitionistisch geprägten konstruktiven Neuaufbau der Mathematik. Den Ausgang des damaligen heftigen Grundlagenstreits der Mathematik zwischen den Verfechtern des formalistischen und des intuitionistischen Zugangs entschieden schließlich 1931 die Unvollständigkeitssätze von Kurt Gödel (1906–1978), die die Unhaltbarkeit von Hilberts Programm der Konsistenzbeweise mit Hilfe von finiten Methoden zeigten. Die beiden Gödelschen Unvollständigkeitssätze gehören zu den wichtigsten

²³ Die von Finanzmanagern zur Bewertung der Risikoanfälligkeit gebündelter Anlagewerte nach 2000 vielfach verwendete Copula-Formel von David X. Li hat eine schöne, einfache Form und ist einfach zu interpretieren. Sie enthält einen Korrelationskoeffizienten, der von Li aufgrund historischer Daten als Konstante festgelegt wurde. Warnungen von Mathematikern, weshalb dies unzureichend sei, und dass die Verwendung Krisen heraufbeschwören könne, wurden nicht beachtet. Die grundlegende Annahme eines konstanten Koeffizienten war nicht mehr sachgemäß im veränderten Markt. Der damit unsachgemäße Gebrauch der Formel hat möglicherweise zum Ausbruch der Krise ab 2007 beigetragen (vgl. George Szpiro, Eine falsch angewendete Formel und ihre Folgen, Mitteilungen der DMV 17.1, 2009, S. 44–45).

²⁴ Vgl. Dirk van Dalen, Der Grundlagenstreit zwischen Brouwer und Hilbert, in: E. Eichhorn und E. J. Thiele (Hg.), Vorlesungen zum Gedenken an Felix Hausdorff, Heldermann Verlag Berlin, 1994, S. 207–212.

Sätzen der modernen Logik und beziehen sich auf die Ableitbarkeit von Aussagen in formalen Systemen. Der Erste Unvollständigkeitssatz besagt, dass es in hinreichend starken widerspruchsfreien Systemen immer unbeweisbare Aussagen gibt. Der Zweite Unvollständigkeitssatz besagt, dass hinreichend starke widerspruchsfreie Systeme ihre eigene Widerspruchsfreiheit nicht beweisen können. Es gibt also in bestimmten formalen Systemen Aussagen, die man weder formal beweisen noch widerlegen kann. Damit war das Hilbertsche Programm, die Mathematik als widerspruchsfreies formales System zu konstituieren, fehlgeschlagen.

Für den überwiegenden Teil der heutigen mathematischen Disziplinen, die sich im 20. Jahrhundert auf der Grundlage der Mengentheorie geradezu fantastisch entwickelt haben, spielen Gödels Sätze keine Rolle. Es geht eben nicht um Aussagen zu formalen Systemen. Hilberts Ansatz führte aber – zunächst unbeabsichtigt – zur nachfolgenden Entwicklung der Disziplin der modernen mathematischen Logik, nach Hilbert auch als Metamathematik bezeichnet, die ihrerseits zu einer der Quellen der theoretischen Informatik wurde und mit dieser eng verknüpft bleibt.

Die Gödelschen Unvollständigkeitssätze werden sehr häufig außerhalb der mathematischen Logik rezipiert, insbesondere in der Philosophie aber auch in anderen Gebieten. Dabei wird wenig darauf geachtet, dass zum Gültigkeitsbereich dieser Aussagen die strenge Begriffswelt der Metamathematik unerlässlich ist.

5. Linearität und Nichtlinearität: Missverständnisse wegen unbeachteter mathematischer Reichweiten

Die Wörter *linear* und *nichtlinear* werden höchst unterschiedlich gebraucht. Der gedruckte Duden kennt nur das Wort *linear* und erklärt es als: 1. gerade, geradlinig, in einer Linie, in gerader Richtung, auf gerader Linie verlaufend, linienförmig, nicht gekrümmt, nicht krumm, pfeilgerade, und 2. eindimensional. Dazu kommt nach der digitalen Ausgabe: einfach und stetig. sowie als Komparativ *linearer* und als Superlativ *am linearsten*. Die digitale Dudenversion vermerkt auch *nichtlinear* (zu schreiben: *nicht linear*) als: nicht

²⁵ Alan Sokal und Jean Bricmont bezeichnen den Gödelschen Satz treffend als eine "unerschöpfliche Quelle intellektueller Missbräuche", besonders dessen Übertragung auf Soziales und Politisches. In: Alan Sokal und Jean Bricmont, Eleganter Unsinn, Verlag C. H. Beck München, 1999, insbesondere S. 200–205.

²⁶ Die deutsche Rechtschreibung (Duden, Band 1) und Das Synonymwörterbuch (Duden, Band 8), Dudenverlag Berlin, 2013 bzw. 2010.

²⁷ http://www.duden.de/rechtschreibung/linear.

geradlinig, ungleichmäßig, unzusammenhängend und – mit Verweis auf Mathematik – zwei- oder mehrdimensional, nicht nur der Länge nach. Als Gebrauchsbeispiel wird *nicht lineares* Denken angeboten!²⁸ Was für ein Graus, vermutlich nicht nur für Mathematiker! Über Fehlverwendungen muss man sich da nicht wundern.

Zum Glück benennt das Wörterbuch zur Philosophie und den Naturwissenschaften Linearität sogleich als Struktureigenschaft mathematischer Ausdrücke.²⁹ Wir können hier also davon ausgehen, dass im Rahmen wissenschaftlicher Diskussionen die Wörter linear und nichtlinear tatsächlich an die mathematische Begriffswelt, in der lineare Funktionen, lineare Gleichungen und lineare Ordnungen wohldefiniert sind, anknüpfen. Dennoch entstehen immer wieder Missverständnisse, weil auf mathematische Ergebnisse Bezug genommen wird, aber deren mathematische Gültigkeitsbereiche nicht ausreichend oder gar nicht beachtet werden. Das trifft insbesondere auf die Verknüpfung von Linearität mit Einfachheit und die damit verbundene verbreitete Meinung zu, der Fluss der Lösungen linearer Differentialgleichungen sei notwendigerweise einfach, während Bifurkationen und sonstige Komplikationen ausschließlich bei nichtlinearen Gleichungen vorkämen. Das gilt zwar für eine einfache Klasse von linearen Differentialgleichungen, aber eben nicht mehr für etwas allgemeinere. Demgegenüber können auch nichtlineare Differentialgleichungen sehr einfache Lösungs-Flüsse generieren. Bei allgemeineren linearen Gleichungen können schon kleinste Änderungen in den Eingangsgrößen beliebig große Lösungsänderungen bewirken, was irrtümlicherweise meist ausschließlich nichtlinearen Problemen zugeschrieben wird. Einfachheit ist weder Synonym noch Attribut mathematischer Linearität. Die Vorstellung, nur bei nichtlinearen Zusammenhängen könnten kleine Ursachen katastrophale Wirkungen erzeugen und lineare Systeme seien dagegen immun, also einfach, ist an die engen Rahmenbedingungen spezieller mathematischer dynamischer Systeme gebunden. Jedes schlichte unbegründete Kopieren von Aussagen auf andere Verhältnisse ist ein fragwürdiges Unterfangen.

Es ist abzusehen, dass die Mathematisierung wirklicher Vorgänge nicht bei den einfachsten Klassen mathematischer Gleichungen stehen bleiben kann. Umso wichtiger wird der korrekte Umgang mit den mathematischen Reichweiten! Zu bedenken ist insbesondere, dass die bisherige allgemeine

²⁸ http://www.duden.de/rechtschreibung/nicht linear.

²⁹ Philosophie und Naturwissenschaften, Wörterbuch, 2 Bände, Dietz Verlag Berlin, Neuausgabe 1991.

³⁰ Vgl. Anmerkung 20.

Systemtheorie sich weitgehend an die mathematische Theorie dynamischer Systeme anlehnt, welche sich ihrerseits eben nur mit einer ganz speziellen, vermutlich zu einfachen Klasse von Differentialgleichungen befasst.

Sollte man in der Dimension eines Gleichungssystems ein Indiz für Kompliziertheit sehen? Euler, der Begründer der Theorie von Differentialgleichungssystemen, hätte das vielleicht bejaht. Die damalige umständlich ausführliche Schreibweise war wenig übersichtlich. In modernen kompakten Schreibweisen spielen dagegen Dimensionen kaum noch eine Rolle. Man berechnet heute Lösungen von Systemen mit Millionen von Gleichungen. Zeigen sie viel Struktur, so vereinfacht das die Lösungsprozedur. Wenn man von ganz speziellen Fragestellungen für spezielle Klassen von Differentialgleichungen absieht, ist die Dimension heute kein brauchbarer Einfachheits-Indikator. Was der Duden (mit Hinweis auf Mathematik, siehe oben!) zu Dimension, Einfachheit und Linearität anbietet, ist ohnehin Unsinn.

6. Einfachheit in der Mathematik

Die Frage nach Einfachheit in der Mathematik hat keine einfache Antwort. Schöne Einfachheit ist auch in der mathematischen Forschung ein allgemeines Leitmotiv, ein allerdings recht subjektiv geprägter Antrieb, der eben auch auf Abwege verführen kann, und Vereinfachung ist ein bewährtes allgemeines Hilfsmittel. Das ist so wie bei anderen Wissenschaften auch. Der Mathematik sind jedoch zwei besondere Aspekte der Vereinfachung eigen: innere Approximation und Abstraktion.

Die Interpolation ist das wohl einfachste Beispiel einer Approximation eines mathematischen Gegenstandes durch einen anderen. Bei nur tabellarisch gegebenen Funktionen besteht die Aufgabe, den Funktionsverlauf zur Ansicht geschlossen darzustellen. Oft will man auch eine gegebene, sehr komplizierte Funktion vereinfachen, damit sie besser weiterverarbeitet werden kann. Das ist die klassische Interpolation: Gegeben sind die Stützstellen $t_1, ..., t_n$ und die berechneten oder gemessenen Werte $y_1, ..., y_n$. Gesucht ist eine Funktion f aus einer bestimmten Klasse F recht einfacher Funktionen, die an allen Stützstellen die vorgegebenen Werte annimmt, das heißt, $f(t_1) = y_1, ..., f(t_n) = y_n$. Die traditio-

³¹ Bei expliziten autonomen Differentialgleichungen x" = g (x), mit polynomialer Funktion g, wie der zweidimensionalen *van der Pol Gleichung* und der dreidimensionalen *Lorenz Gleichung*, ist die Antwort auf die Frage nach der Anzahl von Grenzzykeln bzw. chaotischen Attraktoren von der Dimension abhängig. Beide Phänomene kommen auch nur vor, wenn g keine lineare Funktion ist. Dieser Sachverhalt ist eine ergiebige Quelle für Missverständnisse.

³² Vgl. Anmerkung 20.

nelle Vorliebe vieler Mathematiker für Polynome führte zunächst dazu, F als Klasse von Polynomen von möglichst niedrigem Grad anzusetzen. Man erhält damit sogleich die schönen, einfachen Interpolationspolynome in der Form von Newton oder Lagrange. Der Approximationssatz von Weierstraß scheint die Zuversicht zu geben, dass man mit ausreichend vielen Stützstellen eine gute Anpassung an den echten Funktionsverlauf erreichen kann. Das trifft zu für sehr spezielle Funktionen, ist im Allgemeinen jedoch ein Irrtum. Die Interpolationspolynome zeigen dann bei wachsender Anzahl von Stützstellen immer hässlichere Fluktuationen.

Eine weniger einfache, mit komplizierterer Konstruktion verbundene Klasse F ist durch die natürlichen kubischen Spline-Funktionen gegeben (schon der Name ist nicht mehr so einfach!). Diese Funktionen bestehen aus Segmenten von Polynomen höchstens dritten Grades auf den Teilintervallen, die an den Stützstellen zweimal stetig differenzierbar zusammengefügt sind. Man bekommt die Spline-Interpolierende nicht mehr als geschlossene Formel wie die Interpolationspolynome, sondern man muss sie aus einem Gleichungssystem berechnen. Die Spline-Interpolation ist vor etwa 60 Jahren entwickelt worden, hat sich, auch in vielen Modifikationen, praktisch bestens bewährt und ermöglicht schließlich auch schöne, qualifizierte Konvergenzaussagen. Es gibt sogar eine sehr nützliche Extremaleigenschaft: Die natürliche interpolierende kubische Spline-Funktion ist, verglichen mit allen interpolierenden, zweimal stetig differenzierbaren Funktionen, im integralen quadratischen Mittel der zweiten Ableitung minimal. Das heißt etwa, es ist die Interpolierende mit kleinster mittlerer Krümmung.

Zusammengesetzte Funktionen wie die Spline-Funktionen spielen bei der numerischen Lösung unter anderem von Differentialgleichungen eine wesentliche Rolle. Statt der vorgegebenen Werte verwendet man nun Kollokationsbedingungen aus den Gleichungen. Solche Spline-Kollokationsverfahren können recht zuverlässig gestaltet werden, analog die Finite-Element Methoden. Auch hier ist es wieder so, dass die Ansätze mit Polynomen bzw. Taylor-Reihen zwar viel einfacher aussehen, aber eine sehr eingeschränkte Reichweite haben und für viele Aufgaben eben nicht brauchbar sind. Andererseits sind sie im entsprechenden Rahmen von höchstem Nutzen. Einfachheit bleibt hier ambivalent, abhängig von Zielen und Umfeld.

Verallgemeinernde Abstraktionen wie der Übergang von Differentialgleichungssystemen zu Operatorgleichungen in Funktionenräumen sind die wichtigsten Vereinfachungen in der Mathematik. Sie erlauben neue Sichtweisen und bergen ein immenses Entwicklungspotential, wie beispielsweise ein Blick auf die Entwicklung von Gruppentheorie, Funktionalanalysis und Operatorentheorie zeigt.³³ Immer höhere Abstraktionsstufen formieren in der Mathematik einen Weg zu in gewisser Einfachheit komprimiertem tiefgreifendem Wissen.

7. Fazit

Das Prinzip Einfachheit in Bezug auf die wirkliche Welt und auf die Erkenntnis geht einher mit der Vorstellung existierender und erkennbarer Strukturen. Je besser wesentliche Strukturen erkannt sind, umso eher kann man in entsprechender Abstraktion relativ einfache Aussagen formulieren. ³⁴

Mathematisierung ist ein unentbehrliches, sich ständig entwickelndes Hilfsmittel für Erkenntnis und Gestaltung, insbesondere aufgrund des unbeschränkten Potentials der Mathematik zur weiteren Abstraktion.

Konkrete Vorstellungen von Einfachheit wandeln sich wie die von Schönheit und Eleganz abhängig vom Wissensstand, sie bleiben mehr oder weniger subjektiv geprägt. Karl-Heinz Bernhardt hat Einfachheit entsprechend als historische Kategorie charakterisiert. Innerhalb der Mathematik dienen qualifizierte Abstraktionen als Schritte zu gewisser Einfachheit.

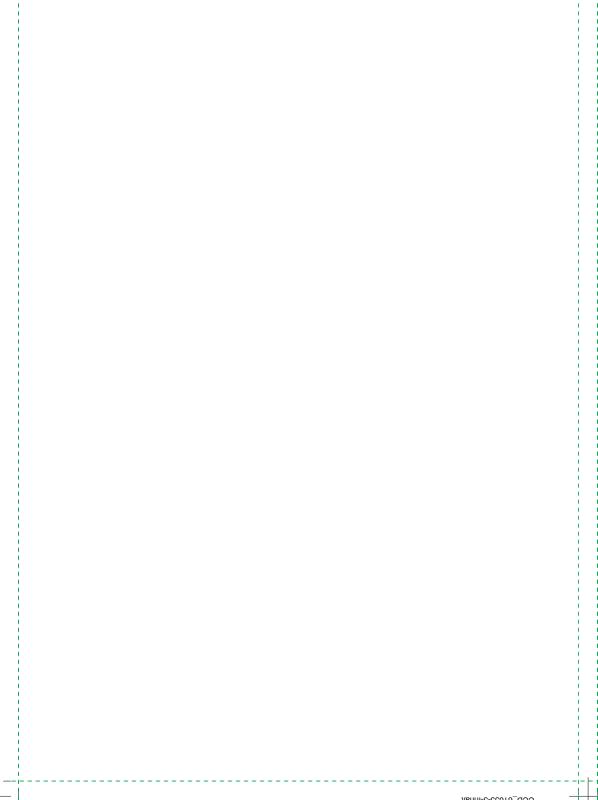
Praktische Berechenbarkeit von Mathematisiertem ist verbunden mit verlässlicher Vorhersagbarkeit und indiziert damit eine gewisse Einfachheit.

In dieser Hinsicht befinden wir uns auf dem Wege zu mehr Einfachheit, auch wenn des Nichteinfachen dabei nicht weniger wird.

³³ Ebenda.

³⁴ Strukturlosigkeit der Welt würde notwendig Unerkennbarkeit bedeuten. Daher scheint es nicht angebracht, Einfachheit mit *geringer Strukturiertheit* zu identifizieren.

³⁵ Karl-Heinz Bernhardt, Diskussionsbemerkungen zur "Einfachheit", Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 108, trafo Wissenschaftsverlag Berlin, 2010, S. 121–125.



Werner Ebeling

Ist Evolution vom Einfachen zum Komplexen gerichtet?

Über Werte und Emergenz

1. Einleitung

Für den Gründungsvater unserer Sozietät Leibniz war eine der zentralen Ideen die Theodizee. Leibniz verstand darunter die Idee einer besten aller möglicher Welten. Die wirkliche Welt ist die beste u.a. in dem Sinne, dass das Gute in ihr auch von Gott nicht mit einem geringeren Maß an Übel verwirklicht werden kann. Außerdem ist die "beste aller möglichen Welten" dynamisch gedacht: Nicht der derzeitige Zustand der Welt ist der bestmögliche, sondern die Welt mit ihrem Entwicklungspotential ist die beste aller möglichen Welten. Einem der ersten Präsidenten der Akademie, Maupertuis (Präsidentschaft 1746-53), verdanken wir die Aufstellung eines physikalisch begründeten Wirkprinzips und Leonhard Euler (1741-66 Leiter der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie) die mathematisch korrekte Begründung dieses Prinzips (März 2011) sowie Lagrange eine mehr oder weniger endgültige Fassung. Max Planck hat in seinen Reden die Formulierung der Naturgesetze als Variationsprinzipien als Ziel der Wissenschaft bezeichnet, das "dem idealen Endziel der theoretischen Forschung am nächsten kommt" (Planck 1948). Planck schreibt die eigentliche Urheberschaft des Wirkprinzips Leibniz zu, und folgt damit Helmholtz und Planck, die sich auf die von dem Akademiemitglied König aufgefundene Abschrift eines Briefes von Leibniz an einen unbekannten Empfänger berufen (Akademieansprache, 1932). Bis zur vollen Aufklärung dieses Sachverhaltes zum Leibniz-Brief muss man unseres Erachtens, zumindest nach heutiger Auffassung von Urheberrecht, Maupertuis als ersten nachweisbaren Urheber eines Wirkprinzips bezeichnen und die Urheberschaft von Leibniz solange als offen betrachten, wie der Brief von 1707 und sein Adressat nicht zweifelsfrei festgestellt werden.

Es gibt auch Aussagen von Leibniz direkt zu unserem Thema "Einfachheit – Komplexität". In Sektion VI der "Discours" stellt er ein einfaches Ge-

70 Werner Ebeling

dankenexperiment an und präsentiert seine Ideen zur Theoriebildung. Er betrachtet eine Menge von unregelmäßig verteilten Punkten auf einer Ebene, man denke an Tintenspritzer, und fragt, was es bedeutet, dazu eine Theorie zu machen. Leibniz sagt, das kann nicht heißen, eine Gleichung und entsprechende Kurve zu finden, die alle Punkte verbindet, denn eine solche mathematische Beschreibung gibt es immer. Nach Leibniz' Vorschlag kann man die mathematische Beschreibung nur dann als gesetzmäßig bezeichnen, wenn sie einfach ist, eine komplizierte Beschreibung, die gleichwohl alle Punkte erfasst, kommt dafür nicht in Frage. In dieser Feststellung von Leibniz sehen wir das Kernstück seiner Auffassung von Einfachheit – Komplexität, die wir ausdrücklich teilen. Es sei am Rande angemerkt, dass wir hier nicht zwischen Komplexität und Kompliziertheit unterscheiden, um die Übersetzbarkeit in die zwei Hauptsprachen der Komplexitätsforschung Englisch und Russisch nicht einzuschränken.

In den bisherigen Diskussionen und Beiträgen sind schon viele Facetten unseres Themas behandelt worden (Sommerfeld et al. 2010). Hier soll das Thema aus der Sicht der Physik, aber auch aus informationstheoretischer und evolutionstheoretischer Sicht behandelt werden. Wir stellen uns dabei u.a. das Ziel, die früheren Beiträge der Mitglieder der Leibniz-Sozietät und der Vorgängerakademie aus neuerer Zeit wie die von Kolmogorov, Thiele, Klix, Eigen, Haken, u.a. zu diesem Thema besonders herauszuarbeiten und neuere Entwicklungen darzustellen. Dabei kann nicht vermieden werden, vieles zu wiederholen, was in den bisherigen Beiträgen im Arbeitskreis schon dargelegt wurde (siehe Sommerfeld et al. 2010; März 2011; Moritz 2011).

2. Über formale Komplexitätsmaße

In der Mathematik, Informatik, Psychologie, und in den Naturwissenschaften wurde insbesondere seit 1960 viel über formale Komplexitätsmaße gearbeitet. Dieses Thema ist sehr umfangreich. Wir lassen hier erst mal die Physik beiseite und diskutieren die Komplexitätsmaße der Mathematik und Informatik (Shannon, Solomonoff, Kolmogorov und Chaitin) bis hin zu den Komplexitätsmaßen in der angewandten Psychologie (Klix, Thiele, Scheidereiter). Den Anstoß gaben die wichtigen Arbeiten von Solomonoff, Kolmogorov und Chaitin in den 1960er Jahren (Lebensdaten siehe Wikipedia), wobei der letztgenannte direkt an die Idee von Leibniz zur Theorienbildung anknüpft. Ray Solomonoff, der aus einer russischen Einwandererfamilie stammte, und als Informatiker arbeitete, stellte als einer der ersten das Ziel der Formalisierung von Theorien (Solomonoff 1964). Andrey Kolmogorov

(AW der AdW der DDR seit 1977) publizierte 1965 eine fundamentale Arbeit, welche die Grundlage der modernen algorithmischen Informationstheorie und Wahrscheinlichkeitstheorie formulierte. Gregory Chaitin präsentierte 1968 einen unabhängigen Ansatz und die Kolmogorov-Schüler Zvonkin und Levin publizierten 1970 eine umfassende Übersicht der bis dahin vorliegenden Theoreme und Beweise (Zvonkin/Levin 1970). Helmut Thiele (OM der AdW der DDR seit 1978) befasste sich seit 1970 mit einer axiomatischen Fassung der Kolmogorov-Theorie und machte Vorschläge zur Realisierung, wie z.B. die Teilwortkomplexität und die grammatische Komplexität (siehe Thiele in Klix 1974).

Die neuen algorithmischen Komplexitätsmaße wurden von verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen mit großem Interesse aufgenommen. In der Physik haben Komplexitätsmaße insbesondere im Kontext der Chaosforschung eine große Rolle gespielt, sodass man mitunter sogar von einer Komplexitätsphysik spricht (Schapiro 1994; Wackerbauer et al. 1994; Günther et al. 1994; Ebeling et al. 1998). Man kann sicher über den Erkenntnisgewinn durch diese neuen Konzepte noch streiten, aber die moderne Forschung zu Chaos und Vorhersagbarkeit ist ohne Begriffe wie die Kolmogorov-Entropie nicht mehr denkbar.

Betrachten wir nun Anwendungen in Psychologie und Biowissenschaften. Unser leider viel zu früh verstorbenes Mitglied Friedhart Klix erkannte seit den 1970er Jahren die Fruchtbarkeit der Komplexitätsforschung für Probleme der experimentellen Psychologie, wie Wahrnehmungs- und Erkennungsleistung, und baute eine umfangreiche interdisziplinäre Forschung auf (Klix 1974). Viele Ergebnisse der Klix-Schule spiegeln sich in dem Band Organismische Informationsverarbeitung (Klix 1974) wider. Beeinflusst und ermutigt durch Friedhart Klix haben sich auch die vom Verfasser geleiteten Forschungsgruppen in Rostock und Berlin mit der Anwendung von Komplexitätsmaßen auf Biosequenzen und andere Informationssequenzen befasst (Ebeling/Feistel 1982, 1986; Ebeling, et al. 1998). Im einfachsten Fall beschränkt man sich auf die Betrachtung von Sequenzen, d.h. auf lineare Strukturen über einem Alphabet, wie Texte, Zahlenfolgen, Nachrichten, Biosequenzen. Ist eine Sequenz auf einem Alphabet von lambda verschiedenen Buchstaben aufgebaut, so gibt es (W = lambda hoch N) verschiedene Möglichkeiten. Das ist eine gigantische Zahl. Nach Eigen ist die biologische Evolution eine Art von Spiel mit diesen Sequenzen gewesen und das Problem war, eine Auswahl zu treffen (vgl. dazu Moritz 2011). Folgen wir Eigen (1971), so kommt es bei der frühen Evolution von Biosequenzen nicht auf formale Eigenschaften der Sequenzen, sondern auf den Wert der Infor72 Werner Ebeling

mation im Kontext der Zelle an. Damit kommt der Begriff des Wertes als emergente Eigenschaft von Sequenz und zellulärer Umgebung ins Spiel. Wir sehen allerdings den Ursprung der Diskussion um den Wertbegriff in den Naturwissenschaften schon in den fundamentalen Werken von Clausius und Darwin in der Mitte des 19. Jahrhunderts. Für die Physik war von besonderer Bedeutung, die von Clausius gefundene Rolle des Wertes von Energie in Relation zum Entropiebegriff (Ebeling/Feistel 1982, 1992; Feistel/Ebeling 2011). Auch in den Lebenswissenschaften gehören Werte zu den zentralen Konzepten, insbesondere in der Darwinschen Theorie der Evolution, in der "Fitness" und Selektionswerte die zentrale Rolle spielen wie auch in der Eigenschen Theorie der Evolution von Biomolekülen (Eigen 1971; Ebeling/Feistel 1982, 1986, 1994; Feistel 1990; Feistel/Ebeling 1990, 2011).

3. Evolution komplexer Systeme aus der Sicht der Physik und Emergenz

Im Kontext der Physik betrachten wir nun die von Maupertuis, Euler, Planck und vielen anderen aufgeworfenen Fragen der Wirkprinzipien. Offenbar spielen in der Natur Wirkprinzipien und Evolutionsprinzipien eine bedeutende Rolle, wobei wir Wirkprinzipien im Planckschen Sinne verstehen und Evolutionsprinzipen als Aussagen über die Optimierung einer Größe oder Eigenschaft in der Zeit. Beispiele sind die Prinzipien von Maupertuis, Lagrange und Hamilton über die Optimierung einer Wirkung und der Clausius-Planck'sche zweite Hauptsatz über die Evolution der Entropie in der Zeit. Ein komplexeres Beispiel ist die beobachtete Entwicklung der genetischen und neuronalen Informationskapazitäten im Zuge der biologischen Information (Ebeling/Feistel 1982, 1986, 1994). Offensichtlich gibt es eine Richtung der Entwicklung, aber die Dinge sind doch komplizierter als von Leibniz vorgedacht:

- Offenbar gibt es kein globales Optimierungskriterium, aber es gibt viele lokale Wirkungs- und Evolutionsprinzipien. Auf allen Ebenen der Naturentwicklung wird verglichen und irgendetwas optimiert, Optimierung ist aber meist multikriteriell und damit auch widersprüchlich.
- 2. Lokale Evolutionskriterien sind in der Regel stochastischer Art, d.h. es werden nur Tendenzen (Mittelwerte) vorgeschrieben, die mit mehr oder weniger großer Wahrscheinlichkeit eintreten. können, aber nicht müssen.

Um diese Sicht der Dinge von der Physik her zu untersetzen, müssen wir etwas ausholen. Die Physiker unterscheiden grundsätzlich zwischen rever-

siblen und irreversiblen Prozessen. Aus dieser Sicht ist Evolution ein irreversibler d.h. nichtumkehrbarer Prozess. Das schließt nicht aus, dass sich einzelne Spezies oder Gesellschaften "rückentwickeln". Im Ganzen ist die Evolution aber irreversibel und wer das leugnet, hat Probleme mit den Naturwissenschaften. Offensichtlich ist das Problem der Evolution komplexer Systeme aber nicht auf reine Physik reduzierbar und in diesem Kontext kommt das Problem der Emergenz auf.

Die Naturwissenschaftler hatten lange Zeit Probleme mit emergenten Begriffen, und besonders mit dem Wertbegriff. Heute stellen sie die Existenz emergenter Eigenschaften nicht mehr grundsätzlich in Frage (Ebeling/ Feistel 1982, 1986, 1994; Feistel/Ebeling 1989, 2011; Ebeling 2006). Hier nur einige Bemerkungen zu dem Problemkreis: elementar, komplex und Emergenz: Das Weltbild der Physik bezieht sich auf die Gesetzmäßigkeiten, welche die Physiker "fundamental" nennen. Der Begriff "fundamental" steht hier dafür, dass es keine tieferliegenden Gesetzesmäßigkeiten gibt, auf die wir jene zurückführen könnten. Es sind die Gesetze, welche die Eigenschaften und die Dynamik der elementaren Teilchen und Felder regeln. Weiterhin gehören dazu die Gesetze, welche die generellen Verbote für Prozessmöglichkeiten formulieren, wie die Hauptsätze der Physik. Die fundamentalen Gesetze der Physik sind von der Art, dass sie Möglichkeiten für die zeitliche Entwicklung von Systemen offerieren, die je nach Anfangsund Randbedingungen realisiert werden können, oder aber auch nicht. Die Gesetze der Mechanik schließen keineswegs aus, dass etwa die Erde sich anders herum um ihre Achse bewegt oder ihren Rotationssinn um die Sonne umkehrt

Dieses und viele andere Beispiele führen zu der wichtigen These:

Die Kenntnis der fundamentalen Gesetze der Physik reicht nicht aus, um unsere Welt zu verstehen und in ihr zu bestehen. Die Welt, die uns umgibt, ist von großer Komplexität und rein physikalisches Herangehen reicht für ein Verständnis komplexer Phänomene nicht aus.

Zwar bestehen die Dinge, mit denen wir zu tun haben, letztlich nur aus elementaren Teilchen und Feldern, aber dieser Aspekt ist häufig ohne Relevanz für uns. Wir betrachten unser Auto oder unseren Kühlschrank nicht als System von elementaren Teilchen und Feldern, sondern als Entität, als Gebrauchsgegenstand, der für unser Leben einen bestimmten Gebrauchswert hat. Wenn diese Gebrauchsgegenstände einmal ausfallen, wenden wir uns nicht an einen Elementarteilchen-Physiker, sondern rufen einen Mechaniker oder Elektriker, der die erforderlichen technischen Kenntnisse hat. Da wir

74 Werner Ebeling

unsere Welt als eine Einheit begreifen möchten, entsteht nun natürlich die grundlegende Frage: In welcher Beziehung stehen die Gesetze für das Elementare und für das Komplexe?. Auf diese Frage gibt es mehrere mögliche Antworten. Unsere Auffassung beruht auf folgenden Grundannahmen (Ebeling/Feistel 1994):

- 1. Die fundamentalen Gesetze der Physik können niemals verletzt werden, sie sind auch für komplexe Systeme uneingeschränkt gültig.
- 2. Komplexe Systeme haben emergente Eigenschaften, das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.
- 3. Die Gesetze der Dynamik komplexer Systeme bilden einen Kegel von Einschränkungen, den "Gesetzeskegel". Mit steigender Komplexität wächst die Menge der gesetzmäßigen Einschränkungen.
- 4. Komplexe Systeme und die Gesetzmäßigkeiten, denen sie unterliegen, sind im Evolutionsprozess entstanden, ihre Historizität ist ihr zentrales Merkmal.

Mit dieser Auffassung haben wir den historischen Gesichtspunkt in den Mittelpunkt gestellt. Die Welt, in der wir leben, ist vor mehr als zehn Milliarden Jahren aus einer sehr heißen, dichten, und völlig unstrukturierten Urmaterie entstanden. Diese Urmaterie war in einem Zustande, der dem absoluten Chaos der alten Griechen oder dem Tohuwabuhu der alten Juden sehr nahe kam. Die Dynamik der Evolution wurde im Frühstadium ausschließlich durch fundamentale Gesetze bestimmt, denn es gab ja noch keine komplexen Systeme. Aber unsere Welt war von Anfang an "kreativ", sie war auf der Basis der vorliegenden Anfangs- und Randbedingungen und der gültigen fundamentalen Gesetzmäßigkeiten in der Lage, Komplexität zu erschaffen. Sie besaß die Fähigkeit zur Selbststrukturierung und Selbstorganisation. In diesem Prozess entstehen Werte als emergente Ordnungsparameter einer neuen Qualität (Feistel 1990, 1991; Ebeling 2006; Feistel/Ebeling 2011). Selektionsprozesse spielen dabei eine wichtige Rolle (Eigen 1971; Haken 1983). Das betrifft besonders die Evolution des Lebens und die damit verbundenen komplexen Systeme auf unserem Planeten. Selektion in Evolutionssystemen ist immer mit Bewertung und Konkurrenz verbunden. Selektion ist die Auslese positiv bewerteter Spezies im Prozess der Konkurrenz zwischen verschiedenen Spezies. Wir definieren Konkurrenz ganz allgemein als einen in dynamischen Systemen mit mehreren Spezies ablaufenden kollektiven Prozeß (Ebeling/Feistel 1982, 1986). Wenn diese Spezies (Subsysteme) alle unter den gegebenen Bedingungen prinzipiell existenzfähig sind und ein gemeinsames Ziel verfolgen, das nicht durch alle

in gleicher Weise erreichbar ist, so liegt eine Konkurrenzsituation vor. Ein kohärenter Prozess führt unter solchen Bedingungen zum Verschwinden einer oder mehrerer Spezies (Subsysteme) aus dem Gesamtsystem. Auch in der Physik kennt man Konkurrenz, wenn z.B. Lasermoden oder hydrodynamische Strömungsmoden im Wettbewerb um vorhandene energetische Ressourcen stehen (Haken 1983). In der Ökologie spricht man von Konkurrenz, wenn ein für das Überleben der Spezies notwendiger, beschränkt gegebener Faktor durch zwei oder mehrere Spezies genutzt wird. Konkurrenz führt zur Selektion, aber erst nach einem Prozess der Bewertung. Nach Charles Darwin überlebt im Konkurrenzkampf die am besten angepasste Spezies. Hierfür wurde der Ausdruck "survival of the fittest" geprägt. Diese treffende Formulierung soll übrigens nicht von Darwin selbst, sondern aus der Feder von Spencer stammen. Es hat einen langen Streit darüber gegeben, ob "survival of the fittest" nicht eine tautologische Aussage darstellt. Wir geben hier der Überzeugung Ausdruck, dass dem nicht so ist und dass die Existenz einer "Synergetik der Evolution" wesentlich daran geknüpft ist, dass Darwins Aussage keine Tautologie, sondern ein Grundgesetz der Evolution ausdrückt. Im Zusammenhang damit steht die Auffassung, dass die "Fitness" eine objektivierbare Bewertung im Evolutionsprozess darstellt. Das wichtigste neue Konzept in der Theorie von Wettbewerb und Selektion ist somit offenbar der Überlebens-Wert bzw. die Fitness im Sinne von Darwin. Eine zentrale Rolle spielt in der Biologie auch die Morphogenese. Ein wichtiger Aspekt der Morphogenese ist, dass jede Zelle nur nach eigenen Regeln arbeitet, und trotzdem entsteht ein großer Organismus, dessen Gesamtplan nirgends geschrieben steht.

4. Über Werte

Die Grundthese einer synergetischen Auffassung von Werten lautet: Werte bezeichnen emergente Eigenschaften komplexer Systeme. Früher haben wir vom Wertbegriff hauptsächlich im Kontext der Malthus'schen, Darwinschen und Marxschen Systeme aus dem 19ten Jahrhundert kennen gelernt. Heute spielt der Wertbegriff auch in vielen Naturwissenschaften eine immer wichtigere Rolle. Allerdings liegt seine Herkunft wohl eher in der Philosophie, der Ethik und in der Nationalökonomie. Bei Immanuel Kant ist bereits die Rede vom absoluten Wert des guten Willens. Die Wertlehre, d.h. eine allgemeine philosophische Lehre von den Werten (im Englischen "Value") ist im 18./19. Jahrhundert entstanden (Schroeder). Ihre Vertreter wie Immanuel Kant und Oskar Kraus, berufen sich auf die Ethik der griechischen

76 Werner Ebeling

Philosophen. Karl Marx beruft sich auf die Ökonomen Adam Smith und David Ricardo. Als weitere Begründer einer Wertphilosophie gelten Hermann Lotze, Friedrich Nietzsche, Max Scheler und Eduard von Hartmann...

Eine zentrale Rolle spielte der Wertbegriff schon immer in der Ökonomie. Er wurde hier zuerst im 18. Jahrhundert von Adam Smith eingeführt und von David Ricardo als zentrales Konzept der ökonomischen Theorie diskutiert. Das Wertkonzept mit verschiedenen Formen wie Tauschwert und Mehrwert ist bekanntlich auch ein zentraler Bestandteil der marxistischen Theorie (Koshimura 1956, 1975, 1978). Die fundamentalen Ideen von Adam Smith, Ricardo und Marx wurden auch von Schumpeter (1912), weitergeführt. Zur mathematischen Modellierung des Marxschen Wertgesetzes haben eine Reihe von Autoren beigetragen u.a. Koshimura (1956, 1975, 1978), Morishima und Catephores (1982). Besonders relevant in unserem Kontext sind auch die Beiträge von Feistel (1990, 1991) und die Arbeiten aus dem Umkreis der evolutionären Ökonomie (Dosi et al. 1988). In einem anderen Kontext wurde die Idee einer Bewertung auch schon durch Malthus benutzt. Wie bereits ausgeführt wurde, ist das Wertkonzept parallel zu den Entwicklungen in den sozio-ökonomischen Wissenschaften bzw. mit einiger Verzögerung seit der Mitte des 19. Jahrhunderts durch Darwin, Wallace, Haeckel, Spencer u.a. in die biologischen Wissenschaften eingeführt worden. In unserem Kontext sind Werte als emergente Eigenschaften komplexer Systeme zu verstehen. Wahrscheinlich funktioniert die soziale Evolution nach ähnlichen Prinzipien (synergetische Prinzipien) wie die Morphogenese. Niemand hat die Schaffung unserer Gesellschaft in dieser Form geplant oder auch nur vorhergesehen. Es reichte vielmehr, dass durch die Jahrtausende, genau wie heute, jeder Einzelne egoistischen Interessen folgt, die durch andere gesellschaftliche Interessen eingeschränkt werden. So entstand ohne die Existenz eines Generalplans ein imposantes komplexes Gebilde, das zumindest im Großen und Ganzen sinnvoll und zweckmäßig ist. Wir erinnern in diesem Zusammenhang auch an das Konzept der "unsichtbaren Hand" von Adam Smith und die von Marx formulierten Gesetze.

Der Biomathematiker Sewell Wright entwickelte in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts die fruchtbare Idee der Wertlandschaft, "fitness landscape", die später durch viele andere Autoren wie Fisher (1930), Conrad (1983) weiterentwickelt wurde. Die Wertlandschaft ist eine Art Gebirge, das durch skalare Werte über dem Raum der Phänotypen gebildet wird. Unter dem Phänotypraum versteht man einen Vektorraum, dessen Achsen einzelne phänotypische Eigenschaften bezeichnen. Als Beispiele für solche quantifizierbare Eigenschaften kann man das Gewicht, die Größe, die Höhe,

die maximale Geschwindigkeit usw. betrachten, aber es gibt auch Anwendungen auf das Kompetenzproblem (Erpenbeck 2006). Die Abstraktheit dieser Konzepte führte naturgemäß zu größeren Schwierigkeiten bei ihrer mathematischen Modellierung (Feistel/Ebeling 1989, 2011; Ebeling et al. 1999; Erpenbeck 2006).

Unser Standpunkt ist, dass Werte abstrakte nichtphysikalische Eigenschaften von Spezies (Subsystemen) in einem dynamischen Kontext sind. Werte drücken das Wesen von biologischen, ökologischen, ökonomischen oder sozialen Wechselwirkungen und Relationen in Bezug auf die Dynamik des Gesamtsystems aus.

Die Prozesse der Bewertung und Optimierung waren für die Entstehung

des Lebens und der damit verbundenen Informationsverarbeitung von zentraler Bedeutung. Dafür gibt es eine Reihe von Modellbetrachtungen, unter denen die Untersuchung der Schule von Manfred Eigen eine zentrale Rolle spielt (Eigen 1971). Die Eigenschen Untersuchungen und ihre Weiterentwicklung durch eine ganze Reihe von Forschern haben uns - ungeachtet der unzähligen offenen Probleme – auf jeden Fall zu einem neuen Ansatz zum Verständnis der Komplexität unserer Welt geführt. Gegründet auf naturwissenschaftliche Untersuchungen ist damit auch klar geworden, dass Selbstorganisation zu Bewertung, Optimierung und Komplexität führen kann. Solche Prozesse erfordern selbstverständlich auch eine gewisse Steuerung. Gestaltung einer lebenswerten Zukunft heißt eingeschränkte Selbstorganisation und kontrollierte Instabilität, das heißt Diversität der Arten und Bewegungsformen, Denk- und Lebensweisen auf dem Hintergrund einer Selbstbeschränkung der thermodynamischen Kosten und der Belastung der natürlichen Umwelt, heißt Kreativität und Toleranz, heißt Einhaltung neuer moralischer Gebote und staatlicher bzw. globaler Gesetze (Ebeling/Feistel 1994). Zu den zentralen Ordnungsparametern an denen Steuermechanismen angreifen können, gehören nach wie vor die Werte. Auch wenn positive Werte im modernen finanzkapitalistisch determiniertem System weitgehend verloren gegangen sind, so gehören sie doch nach wie vor zu den entscheidenden Orientierungsgrößen einer lebenswerten zukünftigen gesellschaftlichen Entwicklung.

5. Zusammenfassung

Das Prinzip "Einfachheit" betrachten wir als das Kernstück der Theorienbildung und folgen damit Leibniz. Die Methode der Formulierung von Naturgesetzen als Wirkprinzipien ist in entscheidender Weise diesem Prinzip

"Einfachheit" verpflichtet, womit wir den Ideen von Planck folgen. Was die Formulierung von Evolutionsprinzipien für den zeitlichen Ablauf von Naturprozessen betrifft, so haben wir im Vortrag die Auffassung entwickelt, dass es neben dem zweiten Hauptsatz mehrere Prinzipien gibt, die offenbar aber alle speziellen Charakter tragen, d.h. für eine eingegrenzte Menge von Naturprozessen gelten. Die Suche nach globalen Evolutionsprinzipien, wie sie noch unser Mitglied Prigogine verfolgt hat, brachte bisher nur Teilerfolge. Erfolgreich war besonders die Suche nach Evolutionskriterien z.B. für Markovprozesse. Nach einer verbreiteten Auffassung, der wir uns anschließen, ist die Suche nach weiteren globalen Evolutionskriterien nicht erfolgversprechend. Wie Beispiele zeigen, ist auch "maximale Komplexität" mit Sicherheit kein Evolutionsziel. Komplexe Systeme verfolgen zwar auch Evolutionskriterien, aber diese sind nicht einfach mathematisch oder physikalisch quantifizierbare Ziele, sondern betreffen emergente Eigenschaften komplexer Systeme wie Fitness, Nutzen und Werte, Größen, die sich einer physikalischen Erfassung entziehen. Was die Physik zu ihrem Verständnis beitragen kann, ist die Untersuchung der Selbstorganisation komplexer Systeme, wie etwa die Studien von Manfred Eigen zur Evolution von Biomolekülen in der Ursuppe und besonders die Evolution der Informationsverarbeitung. Abschließend muss die Frage im Titel des Vortrages mit nein beantwortet werden. Evolution ist weder auf Maximierung von Einfachheit oder Komplexität im Sinne algorithmischer und struktureller Definitionen, sondern vielmehr auf emergente Eigenschaften, auf Werte gerichtet. Wie emergente Eigenschaften aus elementaren entstehen, ist Gegenstand der aktuellen Forschung und nur für einfache Systeme in Ansätzen verstanden.

Literatur

- G. J. Chaitin, On the length of programs for computing finite binary sequences, Statistical considerations, Journal of ACM 16, 145–159 (1969)
- G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, L. Soete, Technical Change and Economic Theory, Pinter Publ., London, 1988.
- W. Ebeling, Values in physics and self-organization, Nature, Society and Thought 19, 133–143 (2006)
- W. Ebeling and R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, Akademie-Verlag, Berlin, 1982, 1986.
- W. Ebeling und R. Feistel, Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution. Spektrum-Verlag, Heidelberg, Berlin, 1994.

1991.

- W. Ebeling, J. Freund, F. Schweitzer, Komplexe Strukturen: Entropie und Information, Teubner-Verlag, Stuttgart, Leipzig, 1996.
- W. Ebeling, A. Scharnhorst, M. A. Jimenez-Montano, Karmeshu, Evolution and innovation dynamics as search processes in complex adaptive landscapes. In K. Mainzer (Hg.) Kom-
- plexe Prozesse in Natur und Gesellschaft, Springer, Berlin, 1999.
 M. Eigen, The selforganization of matter and the evolution of biological macromolecules, Naturwissenschaften 58, 465 – 533 (1971)
- $\label{eq:continuous} J.\ Erpenbeck,\ Metakompetenz\ und\ Kompetenzentwicklung,\ QUEM-Report,\ Berlin,\ 2006.$
- M. Faber, H. Niemes and G. Stephan, Entropy, Environment and Ressources: An Essay on Physico-Economics, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- R. Feistel, Ritualisation und die Selbstorganisation der Information, In: Selbstorganisation und Determination, Jahrbuch für Komplexität, 1, 83–93. (1990), Duncker & Humblot Berlin
- Determination, Jahrbuch für Komplexität, 1, 83–93. (1990), Duncker & Humblot Berlin R. Feistel, On the Value Concept in Economy, in W. Ebeling, M. Peschel, W. Weidlich (eds.) Proc. Conf. Selforganization in Complex systems (MOSES), Akademie-Verlag, Berlin,
- R. Feistel and W. Ebeling, Evolution of Complex Systems, Selforganization, Entropy and Development, Verlag d. Wiss. Berlin & Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 1989.
- R. Feistel and W. Ebeling, Physics of Self-Organization and Evolution, Wiley-VCH, Verlag Weinheim 2011.
- R. A. Fisher, The Genetical Theory of Natural Selection, Clarendon Press, Oxford, 1930.
- R. Günther, B. Schapiro, P. Wagner, Complex systems, complexity measures, grammars and model-infering, Chaos, Solitons & Fractals 4 (1994) 635–651.
- H. Haken, Advanced Synergetics, Springer-Verlag, Berlin, 1983.

 M. Hutter, Universal artificial intelligence: Sequential decisions based on algorithmic prob-
- ability, Springer Berlin 2005; Algorithmic information theory, Scholarpedia 2(3): 2519 (2007)

 F. Klix (Hg.), Organismische Informationsverarbeitung, Akademie-Verlag, Berlin 1974.
- S. Koshimura, Theory of capital reproduction and accumulation. in Japanisch Yokohama 1956,
- in Engl. 1975, in Russ. Progress, Moskau 1978.

 A.N. Kolmogorov, Three approaches to the quantitative definition of information, Problems of
- information and transmission, 1, 1–7 (1965).

 R. März, Schöne Einfachheit als (Ver)führung in der Mathematik, Beitrag im Arbeitskreis Prinzip Einfachheit 24.03.2011, Leibniz Online 09 (2011)
- M. Morishima and G. Catephores, Value, Exploitation and Growth, Mc Graw Hill, New York, 1978.
- H. Moritz, Über G. Chaitin von Metamathematik zur Metabiologie, Vortrag 13.11.2011, Leibniz-Sozietät
- M. Planck, Akademieansprachen, Akademie-Verlag Berlin 1948
- B. Schapiro, An approach to the physics of complexity, Chaos, Solitons & Fractals 4 (1994) 115-123
- M. Schroeder: Value Theory. In: Stanford Encyclopedia of Philosophy.

- J. A. Schumpeter, Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, Duncker & Humblot, Berlin, 1912.
- R. J. Solomonoff, A formal theory of inductive inference, Information and Control 7, 1–22, 224–254 (1964)
- E. Sommerfeld, H. Hörz, W. Krause (Hg.), Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis und Gestaltungsprinzip, Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät Bd. 108 (2010).
- R. Wackerbauer, A. Witt, H. Atmanspacher, J. Kurths, H. Scheingraber, Quantification of structural and dynamical complexity, Chaos, Solitons & Fractals 4 (1994) 133
- A. K. Zvonkin, L. A. Levin, The complexity of finite objects and the development of the concepts of information and randomness by means of the theory of algorithms (in Russ.), Usp. Math. Nauk 25, 83–124 (1970)

Ist Feminismus Reduktionismus?

Feminismus ist eine Gesellschaftstheorie, die den Kampf um die Gleichberechtigung der Frauen und gegen Sexismus historisch und systematisch begründet. Er ist zugleich politische Bewegung mit vielen öffentlichkeitswirksamen Aktivitäten. Sein Eintreten für die Rechte der Frauen wird manchmal als Affront gegen Männer verstanden. Vereinfacht der Feminismus also das Menschenbild? Entsprechend dem Anliegen des Arbeitskreises ist dazu die Frage zu beantworten: Geht es bei Vereinfachungen für die theoretische Erkenntnis und für Losungen in der politischen Auseinandersetzung um wissenschaftlich berechtigte Reduktionen oder handelt es sich um philosophischen Reduktionismus? Reduktionen sind in ihrer Berechtigung abhängig von der Zielstellung und unterliegen bestimmten Kriterien:

"Dazu gehören sowohl Anforderungen an die wissenschaftliche Exaktheit, als auch Rechtsnormen und moralische Implikationen. Philosophischer Reduktionismus umfasst Vereinfachungen, die wesentliche Zusammenhänge nicht beachten, das Erkennen und Handeln einseitig orientieren und bereits erreichte Erkenntnisse ignorieren." (Hörz 2010, S. 13)

Um die Titelfrage beantworten zu können, ist es wichtig, auf die Vielzahl feministischer Strömungen, Theorien und politisch-programmatischer Orientierungen zu verweisen und sie zu analysieren. Feminismus umfasst eben unterschiedliche soziale und politische Strömungen, theoretische Konzeptionen und mehr oder weniger organisierte Bewegungen von Frauen. Dabei klaffen Theorie und Praxis nicht selten auseinander. Das führt zu dem erkenntnistheoretischen Problem berechtigter oder unzulässiger Vereinfachungen. Was ist also beim Feminismus wissenschaftlich berechtigt und welche Thesen führen zum philosophischen Reduktionismus? Beide Aspekte spielen eine Rolle. Insofern wird die Antwort auf die Titelfrage, die sich aus der Analyse ergibt, lauten: ja und nein.

Ich werde so vorgehen: 1. Zuerst ist zu klären, was unter Feminismus zu verstehen ist. 2. Die theoretische und praktische Problematik ist an Beispielen aus der jahrzehntelangen Tätigkeit in verschiedenen nationalen und

internationalen ehrenamtlichen Funktionen zu zeigen. 3. Nach den Erfahrungen in der UNO-Arbeit ist die Kritik am Patriarchat zu betrachten. 4. Daraus sind Konsequenzen für Gender-Mainstreaming und die Gender-Studies abzuleiten. 5. Ein kurzes Fazit schließt sich an.

1. Was verstehen wir unter Feminismus?

Schon bei der Bestimmung des Begriffs Feminismus differieren die Meinungen derer, die sich theoretisch damit beschäftigen, politische Aktionen organisieren und die Öffentlichkeitsarbeit betreiben, sehr stark. Wegen der eigenen Erfahrungswelt als Feministin, als Gemobbte, als Frau, die eine eigene Ansicht theoretisch begründen will, pochen viele auf ihr Insiderwissen. Diese Gemengelage ist zu überprüfen, ob Erklärungen bestimmter feministischer Richtungen wissenschaftlichen Standards entsprechen oder nicht.

Feminismus wird vom lat. Wort "femina" hergeleitet. Es bedeutet Weib, Frau, was auf felare = saugen zurückgeht und damit auf die Grundbedeutung die "Säugende". Feminismus wurde und wird von Feministinnen auf die Französische Revolution zurückgeführt. Als Vater des Begriffs wird der utopische Sozialist Charles Fourier (1772–1837) angegeben. In der Wikipedia heißt es dazu:

"Fourier ist der Vater des Begriffs Feminismus. Er beschäftigte sich intensiv mit der Gleichberechtigung von Mann und Frau. In seinem Werk *Aus der Neuen Liebeswelt* schrieb er: "Die Harmonie entsteht nicht, wenn wir die Dummheit begehen, die Frauen auf Küche und Kochtopf zu beschränken. Die Natur hat beide Geschlechter gleichermaßen mit der Fähigkeit zu Wissenschaft und Kunst ausgestattet". (Wikipedia 2015)

Fourier beschäftigte sich intensiv mit der Gleichberechtigung von Mann und Frau. Die Befreiung der Arbeit ist nach ihm ohne Befreiung der Sexualität nicht möglich. Er bediente sich des Wortes "Freilassung" (Emancipatio), das aus dem römischen Recht stammt. 1835 übersetzte man dieses Wort mit Emanzipation der Frau. Im Verlauf der historischen Entwicklung wurde dann unter Feminismus Freiheits- und Gleichheitsbestrebungen von Frauen, das Vertreten ihrer Interessen und Rechte, verstanden. (Weiberlexikon 1985, S. 141ff.)

Feminismus ist gegenwärtig ein Sammelbegriff für politische Bewegungen und theoretische Überlegungen, etwa zu einer feministischen Wissenschaft. Dazu gibt es eine umfangreiche, breit gefächerte, Literatur.

Wir haben es beim Feminismus mit der Wechselwirkung von Theorie und Praxis zu tun. Die Theorie wirkt auf die Praxis und praktische Erfahrungen sind theoretisch zu verarbeiten. Dabei gibt es Probleme. In theoretischen Arbeiten gibt es etwa auf der einen Seite Deutungen des Begriffsinhalts, die zu unterschiedlichen politischen Orientierungen führen und in einigen Frauenbewegungen in praktische Zielstellungen umgesetzt werden. Nicht selten werden jedoch dabei in theoretischen Arbeiten real existierende Probleme von Frauen nicht beachtet und bereits gewonnene Erfahrungen ignoriert. Dazu gehören die der sozialistischen Länder, besonders der DDR, mit ihrer Gesetzgebung und deren praktischer Umsetzung. Auf der anderen Seite nehmen viele Frauenorganisationen theoretische Erkenntnisse nicht wahr und stützen sich ungenügend oder gar nicht auf Dokumente der UNO, die ihnen helfen würden, Rechte in ihren Heimatländern einzuklagen. Hier liegen bereits unberechtigte Reduktionen vor, worauf noch einzugehen ist.

Bei dem Versuch wenigstens ein grob einigendes Band für feministische Strömungen zu finden, kann hervorgehoben werden, dass die Reproduktionsfunktion der Frau und damit die Möglichkeit ihrer Unterdrückung durch den einzelnen Mann oder durch patriarchalische Institutionen als Hauptgrund ihrer Diskriminierung angesehen wird. Patriarchalische Kultur und Gesellschaft wurden und werden damit zum Mittelpunkt der Kritik in theoretischen Arbeiten und in vielen Frauenbewegungen.

Nehmen wir dazu einige Beispiele, in welcher Gestalt die Kritik an patriarchalischer Kultur und Gesellschaft auftritt. In der Frauenbewegung existiert neben radikal feministischen Ansätzen, die Patriarchat durch das Matriarchat ersetzen wollen, eine Vielzahl weiterer Deutungen des Patriarchats. Gemeinsam ist allen, eine bestimmte Herrschaftsstruktur in der menschlichen Gesellschaft damit zu kennzeichnen. So wird einmal hervorgehoben, dass das Patriarchat ein Herrschaftsverhältnis jeder Gesellschaft ist, in dem die sexuelle Unterdrückung der Frau und der Familie durch den Mann in jeder Generation wieder neu hergestellt werde. Die Lösung wird in der sexuellen Befreiung der Frau und der Überwindung der Institution Ehe und Familie gesehen. Zum anderen wird eine Rückkehr zum Matriarchat gefordert. Dahinter verbirgt sich die Illusion, dass Frauen bessere Herrscherinnen seien. Erfahrungen mit Frauen in führenden Positionen bestätigen das nicht.

Hier seien einige Beispiele für weitere unberechtigte Reduktionen genannt:

Shulamith Firestone hebt die Benachteiligung der Frauen hervor, die durch ihre biologische Reproduktionsfunktion entstehen. Sie sucht darin einen grundlegenden Widerspruch für die Spaltung der Gesellschaft in ökonomische und Geschlechterklassen. Hier wird auf die Befreiung der Frau von Schwangerschaft durch Retortengeburten, die Überwindung geschlechtsspezi-

fischer Arbeitsteilung durch Automatisierung und sich selbst regulierende Produktionssysteme orientiert. Konsequent betont sie deshalb, dass künstliche Befruchtung erst dann ein Mittel der Befreiung der Frau ist, wenn die kapitalistisch-patriarchalischen Verhältnisse überwunden sind. Sie orientiert auf einen kybernetischen Feminismus in dem es keine Ausbeutung menschlicher Arbeitskraft, keine Geschlechterunterschiede und keine biologische Familie mehr gibt. (Firestone 1987)

Die Orientierung auf die Veränderung der gesellschaftlichen Verhältnisse durch eine andere Produktionsweise ist sicher berechtigt, doch nicht Gegenstand dieses Themas. Die Zukunft der Menschheit auf Retortenbabys aufzubauen ist eine Reduktion, die für die Entfaltung menschlicher Wesenskräfte unakzeptabel ist. Das Wesen der Menschen wird nicht in seiner Gesamtheit erfasst. So sind Menschen auch Genuss- und Sinneswesen. Die Rolle der Frau in der Gesellschaft darf deshalb nicht auf ihre Reproduktionsfunktion reduziert werden. In der heutigen Gesellschaft, in der die Medizin Möglichkeiten hat, den Kinderwunsch zu erfüllen, auch social freezing propagiert, Frauen durch Einfrosten ihrer Eizellen den Zeitpunkt ihrer Schwangerschaft nach Karrierevorstellungen planen lässt, hat sich an den kapitalistisch-patriarchalischen Verhältnissen wenig geändert. Die Diskussion über Möglichkeiten und ethische Grenzen bei der Ausschöpfung der Gentechnologie ist noch im Fluss, aber hier sei schon gesagt, nicht alles , was technisch möglich ist, kann ohne moralische Bedenken realisiert werden. Es muss auch human vertretbar sein. Es ist der gesellschaftliche und der persönliche Nutzen zu beachten, das Risiko zu minimieren, die Entscheidungsfreiheit der Betroffenen und das Verantwortungsbewusstsein der Beteiligten zu berücksichtigen. Eben das heißt, die Integrität der Persönlichkeit zu achten (Hörz, H. E./Hörz, H. 2013).

Simone de Beauvoir vertritt einen humanen Feminismus. Sie betrachtet die Unterdrückung der Frau als Beeinträchtigung und Einschränkung ihrer Möglichkeiten durch eine Gesellschaft, die nur die Selbstverwirklichung von Männern erlaube. Dazu heißt es bei ihr:

"Ein Mann fängt niemals damit an, sich erst einmal als Individuum eines bestimmten Geschlecht vorzustellen, daß er ein Mann ist, versteht sich von selbst … Der Mann ist so sehr der positive Pol und das Ganze, daß im französischen das Wort 'homme (Mann)' den Menschen schlechthin bezeichnet …" (Beauvoir 1951, S. 9)

In den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts stritten Feministinnen auf der Grundlage der Überlegungen von Beauvoir um wirtschaftliche und politi-

sche Rechte. Sie traten für eine autonome Sexualität, den Zugang zu Verhütungsmitteln und zum Schwangerschaftsabbruch ein, sowie für die Befreiung von den Zwängen der Ehe. In "Das Schwarzbuch zur Lage der Frauen" wird dazu festgestellt:

"Simone de Beauvoir verkündete damals die Ehe sei eine Form der Gefangenschaft, während die Prostitution für Freiheit stehe. ... Die Prostituierte wurde zur Symbolgestalt der Frau, die die reaktionäre bürgerliche Moral herausfordere. Jede grundsätzliche Kritik an der Prostitution, der Sexindustrie der Zuhälterei und den Konsumenten von käuflichem Sex wurde aus der Diskussion verbannt. Fortan drehte sich alles um das Trugbild der absoluten Freiheit verkörpernden Prostituierten, die von jeder gefühlsmäßigen Bindung frei war und dank ihrer "Macht' über die Männer, die für den Zugriff auf ihren Körper bezahlten, die Herrschaftsbeziehung zwischen den Geschlechtern auf den Kopf stelle. Im Namen der "sexuellen Freiheit' trat das "Recht auf Prostitution' an die Stelle des "Rechts, keiner Form der sexuellen Ausbeutung unterworfen zu sein' und sich nicht prostituieren zu müssen." (Ockrent 2007, S. 354)

Problematisch ist es, wenn die befreite Frau auf die Prostituierte reduziert wird. Damit werden die Gewaltexzesse im Rotlichtmilieu beschönigt.

Wir können diese politische Bewegung nicht einfach ignorieren. So nutzten und nutzen Zuhälter, Mädchenhändler und generell die Sexindustrie die Losung "Mein Körper gehört mir" für ihre Zwecke. Sie erhoben sie nicht als lukrative Unternehmer, sondern nutzten ein Frauenrecht, um sie ausbeuten zu können. Ins Extrem getrieben wird das in den USA, wenn die Auffassung dominiert: Es bestehe keinerlei Unterschied zwischen den Frauen zu Hause und den Prostituierten. Prostitution und Arbeit werden gleichgesetzt, denn Prostituierte seien Sexarbeiterinnen. Internationale Organisationen sind sich nicht einig. Es gibt Befürworter und Gegner der Gleichsetzung von Prostitution und Arbeit. In den Niederlanden geht es dabei um 5% des Bruttosozialprodukts. Deshalb sei der "unter Zwang erfolgende Frauenhandel" von freiwilliger Prostitution zu unterscheiden. Jede Diskussion über die Prostitution unter dem Thema Menschenhandel wurde durch Zensur unterdrückt. Auf UNO-Weltfrauenkonferenzen gab es workshops, die sich für und wider die Prostitution als Arbeit aussprachen. Ich erfuhr selbst, wie Beauftragte des Hochkommissariats für Menschenrechte meinten: "Aktivitäten der Sexindustrie sind noch keine sexuelle Ausbeutung. Das ist nur der Fall, wenn Sexarbeit unter sklaverei-ähnlichen Bedingungen stattfindet." Im Jahr 2000, auf der Tagung "Peking plus 5" wurde der Begriff der Zwangsprostitution abgelehnt. Das ist letzten Endes eine Aufweichung der in der UNO geltenden Definitionen von "Gewalt" und "Menschenhandel". Ge-

rechtfertigt wird jede Sexpraxis, ob sie zum Schaden für Prostituierte ausgeübt wird oder nicht. Die Reduktion der sexuell befreiten Frau auf die Prostituierte hat auch ökonomische Gründe. Neue Mitgliedsstaaten der Europäischen Union, wie Ungarn, Tschechien, die baltischen Staaten, verdanken der Sexindustrie ihren wirtschaftlichen Aufschwung. Natürlich gab es auch Gegenreaktionen. So haben 2002 nordische Länder gemeinsam mit baltischen Staaten Projekte gegen Menschenhandel finanziert.

In den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts formierte sich der *gynozentrische Feminismus*. Die Vertreterinnen ziehen generell gegen Männer ins Feld, weil sie in ihnen die Verantwortlichen einer für die Menschheit lebensbedrohlichen Situation sehen. Männer hätten, so ihre Auffassung, durch ihre Herrschaft und die darauf basierende Politik die Menschheit an den Abgrund geführt. Vertiefung und Zuspitzung globaler Probleme durch Zerstörung lebensnotwendiger Ökosysteme, Zuspitzung des Nord-Süd-Konflikts und Fortsetzung der Hochrüstung waren der Hintergrund für ihre Auseinandersetzung mit männlicher Politik. Sie forderten eine Umkehrung der Werte, weg von den "männlichen" und eine Orientierung an "weiblichen Werten". "Weiblichkeit" und "weibliche Werte", so ihre Auffassung, dienten der Lebenserhaltung und Lebensgenerierung, der Fürsorge, dem Mitgefühl, der Verständigung und Toleranz. Darin sahen und sehen sie ein wesentliches und unverzichtbares moralisches, geistiges und praktisches Potenzial für die Rettung der Menschheit.

Die Kritik an der Vertiefung und Zuspitzung globaler Probleme ist sicher berechtigt, doch die Schlussfolgerungen sind unberechtigte und unhaltbare Reduktionen. Das Menschenbild des gynozentristischen Feminismus entspricht nicht der Realität. So wird das Möglichkeitsfeld menschlicher Verhaltensweisen von Männern und Frauen nicht berücksichtigt. Dafür werden alte Rollenklischees von den "weiblichen Werten" bedient, die wissenschaftlich nicht nachweisbar sind. (Hörz, H. E. 2010) Dennoch griffen Philosophen, Futurologen und Naturwissenschaftler diese Gedanken auf.

Herbert Marcuse schrieb 1978, zwei Jahre vor seinem Tod, dass die gesellschaftlich bedingten "weiblichen Eigenschaften der Gewaltlosigkeit, Empfänglichkeit und Zärtlichkeit die Gesellschaft verändern könnten." (Marcuse 1978, S. 171) Der Futurologe James Robertson begrüßte im englischen Fernsehen das Jahr 1984 mit der Version einer She-Zukunft, die vernünftig, humanistisch und ökologisch-weiblich sei. (Segal 1989, S. 62) Robin Morgan zitierte in ihren Schriften gern den Physiker Fritjof Capra mit der Auffassung, dass "die feministische Bewegung eine der stärksten kulturellen Strömungen unserer Zeit ist und eine tiefgreifende Wirkung auf un-

sere Evolution haben wird." (Segal 1989, S. 62) Georg Knepler hat in den Aufzeichnungen zu "Macht ohne Herrschaft. Die Realisierung einer Möglichkeit" diesen Vorstellungen über eine She-Zukunft berechtigt eine Absage erteilt.

"Die historisch älteste Aneignungsform – die Aneignung von Lebenszeit, Arbeitskraft, Kreativität der körperlich Schwächeren, vor allem die der Frauen in den männerdominierten Gruppen haben Kapitalisten nicht abgeschafft, sie haben sie modernisiert. Frauen am ehesten im oberen Segment der Pyramide gleichberechtigt, Frauen als Herrscherinnen-Thatchertyp, der es positiv angerechnet wurde, dass sie im sogenannten Falklandkrieg hunderte Seeleute, darunter auch "eigene" in den Tod schickte, dem englischen Mob galt sie als der einzige Mann der Regierung. Frauen gleichberechtigt als Herrscher oder als Menschen? Für die überwältigende Mehrheit der Menschheit galt nach wie vor, dass Frauen die doppelte Last der Weltplünderung tragen."(Knepler 2004, S. 36)

Hier liegen Vereinfachungen vor, die wissenschaftlich nicht gerechtfertigt sind, weil von wesentlichen Zusammenhängen zwischen Frau und Mann abstrahiert wird. Beide sind Gattungswesen. In den Eigenschaften, die den Menschen als Gattungswesen auszeichnen, wie die bewusste gegenständliche Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit nach eigenen Zielen und die Einsicht in Gesetze ihres eigenen Erkennens und Verhaltens stimmen sie überein. Trotz aller individuellen, doch nicht auf Frau- und Mann-Sein festzulegenden Verhaltensweisen, gibt es allgemein übergreifende Merkmale, die Frau und Mann als Menschen verbinden. Berücksichtigt man diese Gemeinsamkeiten, die trotz spezifischer Unterschiede existieren, nicht, dann liegt philosophischer Reduktionismus vor. Natürlich wird nicht bestritten, dass Frauen und Männer sich in anatomisch-physiologischen Merkmalen unterscheiden, woraus auch psychische Unterschiede resultieren können. Mit der Betonung der Gemeinsamkeit werden einseitig zugeordnete Verhaltensweisen zurückgewiesen, weil im Verhalten von Frauen und Männern ein Möglichkeitsfeld existiert, das etwa "männliche Eigenschaften" bei Frauen und "weibliche Eigenschaften" bei Männern enthält, wie jeder aus Geschichte, Gegenwart und eigner Erfahrung weiß. Es unterliegt gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, also dem Einfluss soziokultureller Gegebenheiten, wie ökonomische Interessen, Ideologie, Tradition, Religion, Wert- und Normsetzung, Recht, Philosophie, Psychologie. (Hörz. H. E. 1968, 1977, 2006, 2010, 2015)

Die Theoretikerin des Feminismus *Kate Millet* polemisierte gegen sogenannte traditionelle Konzepte der Emanzipation der Frau, so gegen die Einbeziehung in alle Lebensbereiche, da sie darin nur den Nützlichkeitsaspekt

sah, jedoch keine Gerechtigkeit für Frauen. (Millet 1985) Interessant ist, dass bei Befragungen von Frauen aus der DDR nach 1990, ob sie ihre Arbeit außerhalb des Hauses nur als durch die Gesellschaft erzwungen ansahen, diese das in der Mehrheit zurückwiesen. Sie betonten die persönlichkeitsfördernden Auswirkungen sinnvoller Tätigkeit im Kollektiv. Die gewünschte Reduktion auf den Aspekt ökonomischen oder gar staatlich-politischen Zwangs bei der Arbeitstätigkeit von Frauen in der DDR war nicht zu belegen (Hörz, H. E. 2010).

Aus psychoanalytischer Sicht setzte sich *Nancy Chodorow* 1985 mit patriarchalischen Machtstrukturen auseinander, indem sie Mütterlichkeit untersuchte. Sie zeigte, dass die geschlechtsspezifische Tätigkeit in einer arbeitsteilig organisierten Gesellschaft nicht direkt und unvermittelt die Ausbildung und Reproduktion spezifischer Eigenschaften, Verhaltensweisen und Beziehungen von Frauen und Männern bedingt und bestimmt, sondern dass dieser Zusammenhang durch die gesamte Individualentwicklung vermittelt ist. (Chodorow 1985) Ihre Darlegungen haben unter feministischen Theoretikerinnen eine breite Resonanz gefunden.

So untersuchte Carol Gilligan 1988, gestützt auf diese Arbeit, speziell die Moralentwicklung von Frauen und Männern. Ihre Grundaussage ist mit dem Nachweis verbunden, dass bei Psychologen, speziell führt sie Jean Piaget und Lawrence Kohlberg an, die Fähigkeit zu autonomem Denken, zu klaren Entscheidungen und zu verantwortlichem Handeln mit Männlichkeit assoziiert werden und als Attribute des weiblichen Selbst nicht als wünschenswert gelten. Sie sah die moralische Unterdrückung der Frau darin, dass ihr moralisches Urteil, das sie aus Anteilnahme und Verantwortung fälle, an universellen Standards gemessen werde und so die weibliche Stimme zum Schweigen verurteilt sei. Um ein Umdenken zu erreichen forderte sie eine Ethik der Fürsorge und Verantwortung. (Gilligan 1988) Die Frau (Betonung auf die) existiert in keiner Gesellschaft. Immer bestimmen konkrete Individuen den gesellschaftlichen Entwicklungsprozess. Dem abstrakten Menschenbild bei Gilligan liegt jedoch die Sorge um die Zukunft der Menschen zugrunde. Auf Übernahme von Verantwortung in diesem Zusammenhang zu orientieren, ist berechtigt.

Es zeigt sich also als Fazit der Analyse, dass sich im Feminismus in seinen vielfältigen Ausprägungen wichtige Einsichten in die Unterdrückung der Frau und ihren berechtigten Kampf um die Gleichberechtigung finden. Doch es gibt auch unberechtigte Vereinfachungen, die das Wesen der Menschen, ob männlich oder weiblich, als Ensemble gesellschaftlicher Verhältnisse in individueller Ausprägung, die bewusst ihre Existenzbedingungen

effektiv und human gestalten, nicht berücksichtigen. (Hörz, H. E. 2010; Hörz, H. 1976, 2015)

2. Erfahrungen in der UNO-Arbeit

Die Hervorhebung von Einfachheit als Gestaltungsprinzip im Sinne der Effektivität ist von besonderem Interesse. (Hörz, H. 2010) Es geht dabei, entsprechend unserem Thema, um praktische Konsequenzen für die Ausarbeitung internationaler und nationaler Dokumente zu Frauenrechten als Menschenrechten. Durch Abstraktion von den lokalen und regionalen Bedingungen ist eine übergreifende Orientierung durch UNO und Staaten im Sinne der Vereinfachung zu erreichen, die den Rahmen für die Ausgestaltung unter den konkreten komplexen Bedingungen ergibt. Frauenbewegungen nutzen und kritisieren die gegebenen Möglichkeiten. Es ist also konkret für die UNO, die Länder und ihre Rechtsprechung zu untersuchen, ob bei Gesetzen, Resolutionen, Deklarationen und Konventionen der UNO hinter der Einfachheit auch die Komplexität von Strukturen, Prozessen und Erscheinungen, u.a. auch die Rolle des Zufalls, mit bedacht wird. Ein interessantes Beispiel für Letzteres ist die Unterschriftensammlung gegen atomare Gefahr. Sie wurde von zwei Frauen erdacht und initiiert. Am Ende erreichte sie Millionen Unterschriften, was Reaktionen herausforderte.

Bei der Ausarbeitung von UNO-Dokumenten war Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip insofern zu erkennen, als sonst das angestrebte Ziel nicht realisierbar gewesen wäre.

Das zu erkennen und durchzusetzen, war für mich in der praktischen UNO-Arbeit in der Kommission "Zum Status der Frau" nicht leicht. (Hörz, H. E. 2009) In den Sitzungen stießen nicht nur unterschiedliche Staatsinteressen aufeinander, sondern zusätzlich waren auch noch die verschiedenartigen individuellen Interessen der Staatenvertreterinnen und Staatenvertreter zu berücksichtigen. In langwierigen Diskussionen war Konsens herzustellen, damit UNO-Dokumente von den Entscheidungsgremien angenommen werden konnten. Ein Beispiel dafür liefert die UNO-Konvention "Über die Beseitigung aller Formen der Diskriminierung der Frau", an deren Ausarbeitung ich aktiv beteiligt war. Sie ist inzwischen von 183 Staaten ratifiziert. Solche Konventionen sind in nationales Recht umzusetzen. Sie fordert, dass jeder Staat, ohne Ausnahme, konkrete Beiträge zur Überwindung der jahrhundertealten politischen, ökonomischen, ideologischen und anderen Hindernissen zu leisten hat, die der Gleichstellung der Frau im jeweiligen Land entgegenstehen.

"Das Übereinkommen definiert in Art. 1 den Begriff 'Diskriminierung der Frau' als jede mit dem Geschlecht begründete Unterscheidung, Ausschließung oder Beschränkung, die zur Folge oder zum Ziel hat, dass die auf die Gleichberechtigung von Mann und Frau gegründete Anerkennung, Inanspruchnahme oder Ausübung der Menschenrechte und Grundfreiheiten durch die Frau – ungeachtet ihres Familienstandes – im politischen, wirtschaftlichen, sozialen, kulturellen, staatsbürgerlichen oder jedem sonstigen Bereich beeinträchtigt oder vereitelt wird. Der Begriff der Diskriminierung erfasst neben unmittelbaren und gewollten auch mittelbare und ungewollte Ungleichbehandlungen." (Übereinkommen 1979, S. 11)

Doch die geforderte Umsetzung in nationale Gesetze ist eine Aufgabe, die schon nicht einfach zu erfüllen ist. Die Realisierung, d.h. das Schließen der Kluft zwischen rechtlichem Anspruch und wirklichem Zustand erfolgt meist nur schleppend oder gar nicht.

Der weltweiten Ausschaltung von Frauen aus Friedensinitiativen liegen auf jeden Fall patriarchalische Herrschaftsansprüche und ökonomische Interessen zugrunde. Sie werden ideologisch in angeblicher Fürsorge für Frauen und Kinder gekleidet. Dabei wird jedoch ausgeblendet, dass gerade dieser Personenkreis am meisten unter Kriegen zu leiden hat. Zwar stand schon die UNO-Frauendekade 1975–1985 unter der Losung: Gleichberechtigung–Entwicklung–Frieden, doch es gab stets einen harten Kampf, um dieses Motto in UNO-Dokumenten weiter aufrecht zu erhalten. So initiierte ich im Auftrag der DDR in unserer Kommission eine Deklaration über die stärkere Einbeziehung der Frau in den Friedenskampf, die nach Auseinandersetzungen angenommen wurde (Hörz, H. E. 2009).

Selbst die Friedensproblematik traf auf Vorbehalte auch in den westlichen Ländern. Die Abschaffung aller Formen der Diskriminierung von Frauen ist ein langwieriger Prozess, der auf viele Vorbehalte stößt. Mancher Wertekanon einer soziokulturellen Identität schreibt die Unterdrückung der Frauen sogar fest. Vorurteile und Rollenklischees sind deshalb ebenso zu überwinden, wie die Ignoranz wissenschaftlicher Erkenntnisse über das Wesen der Menschen (Hörz, H. E. 2010).

3. Zur Kritik am Patriarchat

Zuerst soll geklärt werden, was aus meiner Sicht unter Männerschaft oder Patriarchat zu verstehen ist. Das Wort Patriarchat hängt mit der Existenz eines männlichen Oberhaupts der Familie zusammen, dem Patriarchen. Ihm ist bedingungslos zu gehorchen (Weber 1992). Jahrhundertelang haben Frauen in Gesellschaft und Familie ein dem Mann untergeordnetes Dasein geführt.

In manchen Ländern der Welt hat sich daran bis heute nichts geändert. Sie waren rechtlos, ohne eigene Stimme, der Macht von Vätern oder Ehemännern ausgesetzt. Dabei hatten sie ihre männlichen Nachkommen, ebenso wie die weiblichen, erst geboren und aufgezogen, ihnen eigene Lebensvorstellungen vermittelt und damit ihren Weg ins gesellschaftliche Leben vorbereitet. Wodurch und warum erfolgte eine Degradierung von Frauen, die sie einseitig auf die Mutterrolle einengte? Diese Frage hat ab einem bestimmten Zeitpunkt der gesellschaftlichen Entwicklung immer wieder Frauen und Männer theoretisch und praktisch beschäftigt. Verschiedene Antworten wurden gegeben. Die umfangreiche wissenschaftliche Debatte zu den verschiedenen Herrschaftsformen in der Geschichte ist an anderer Stelle erläutert. (Hörz, H. E. 2006) Es gibt unberechtigte Vereinfachungen und philosophischen Reduktionismus auch in diesen Debatten.

Aus meinen internationalen Erfahrungen heraus wehre ich mich gegen eine undifferenzierte Verwendung des Begriffs Patriarchat, weil das für die Durchsetzung von Frauenrechten als Menschenrechte wenig hilfreich ist. Dabei erfolgt eine Reduktion auf das Allgemeine. Sowohl die historische als auch die regionale Komponente wird vernachlässigt. Um dem Fehlschluss zu entgehen, unterscheide ich zwischen der *vollständig* patriarchalischen Herrschaft, einer *gemäßigten, überwiegenden* patriarchalischen Herrschaftsform und der *Überwindung oder Auflösung* des Patriarchats. (Hörz, H. E. 2006, 2010)

Im vollständigen Patriarchat wird Frauen nicht nur der Zugang zur Bildung verwehrt, sondern auch das Wahlrecht verweigert. In vollständig patriarchalischen Gesellschaften können Töchter, Schwestern, Ehefrauen und Mütter verkauft, gekauft, eingetauscht, misshandelt oder getötet werden, wenn das Familienoberhaupt, der Patriarch, es für angebracht erachtet, und es von den anderen Familienmitgliedern fordert. Ehrenverbrechen gelten strafrechtlich nicht als Verbrechen, sondern als angemessene Vergeltung. So gab es z.B. 2002 in Pakistan 450 Ehrenmorde und Vergewaltigungen. 2005 wurde dort jede Stunde eine Frau misshandelt, geschlagen, durch Säure entstellt. Weitere Verbrechen gegen Frauen wurden begangen (Mai/Cuny 2006).

Im gemäßigten Patriarchat wurde in harten Kämpfen Bildung für Mädchen erreicht und das Wahlrecht durchgesetzt. Frauen arbeiteten, erhielten jedoch keinen gleichen Lohn wie die Männer für die gleiche Arbeit. Als kurioses Beispiel ist zu erwähnen, dass Margaret Thatcher, damals Premierministerin in Groß-Britannien, 1988 als verheiratete Frau ihre eigene Steuererklärung nicht unterschreiben durfte, da sie als "Habe des Ehemannes" galt.

Bei der Überwindung des Patriarchats ist das soziale System keineswegs frei von Resten patriarchalischer Machtstrukturen, aber sie können nicht ungehindert wirken. Die DDR befand sich beispielsweise in dieser Phase der Überwindung. Sie hatte Erfolge, kämpfte mit Schwierigkeiten, setzte sich mit überholten Rollenklischees auseinander und analysierte die Mängel bei der Durchsetzung der Gleichberechtigung zwischen den Geschlechtern. Die Kritik an patriarchalischen Strukturen in der DDR sollte jedoch nicht so überhöht werden, dass die Erfolge, für die mir oft auf Sitzungen der Kommission internationales Lob von hochrangigen UNO-Funktionären und Ländervertretern ausgesprochen wurde, untergehen (Hörz, H. E. 2010).

Gehen wir auf dieser Grundlage auf weitere Auseinandersetzungen um den Feminismus ein.

Herta Nagl-Docecal diagnostizierte in ihrem Buch "Feministische Philosophie" von 1990 eine wachsende Bedeutung egalitärer Konzepte, die auf die Aufklärung zurückgehen. Dabei geht es keineswegs um eine Kehrtwendung, nicht um die Forderung nach Angleichung der Geschlechter, sondern um Gerechtigkeit als einer formalen Bedingung der Freiheit. Sie betonte:

"Wie dies geschehen soll, darüber gehen freilich die Meinungen noch weit auseinander …Weniger kontrovers scheint hingegen das eigentliche Desiderat zu sein, gesucht wird eine Antwort auf die Frage: wie ist eine Gesellschaft zu denken, in der alle die gleichen Rechte und die gleichen Chancen haben, damit sie befreit sind zur Entfaltung ihrer jeweiligen Besonderheiten. Und weiter: Was bedeutet es unter diesen Bedingungen Frau und Mann zu sein? Doch dies sind Fragen nicht nur für die künftige Theorie, sondern auch für die Praxis als experimentelle Anthropologie."(Nagl-Docecal 1990, S. 39)

Auf dieser Grundlage weist sie z.B. die Konzeption der gynozentrischen Feministinnen zurück.

Die New Yorker Philosophieprofessorin *Nancy Fraser* diskutierte mit Axel Honneth, dem Direktor des Instituts für Sozialforschung in Frankfurt/Main, über Anerkennung und Gerechtigkeit. Beide sind Vertreter der kritischen Theorie der Frankfurter Schule. Honneth baut eine moderne Theorie der Gerechtigkeit auf dem Schlüsselbegriff "Anerkennung" auf. Das umfasse die Forderung von ethnischen Gruppierungen, den Streit um das muslimische Kopftuch, die homosexuelle Ehe und die Bewertung weiblicher Hausarbeit. Fraser setzt dagegen auf eine zweidimensionale Konzeption. Dazu stellte sie fest: "Meine allgemeine These lautet, dass Gerechtigkeit sowohl nach Umverteilung als auch nach Anerkennung verlangt." (Fraser/Honneth 2003, S. 17) Ihre zweidimensionale Konzeption soll legitime

Forderungen nach Anerkennung von Unterschieden in Einklang bringen. "Umverteilung" kommt aus der analytischen Philosophie John Rawls, "Anerkennung" aus der Philosophie Hegels. Fraser meinte, marxistische Denker könnten ihr vorwerfen, dass man mit der Distribution keineswegs die kapitalistische Ungerechtigkeit voll erfassen könne, "weil sie den Produktionszusammenhang vernachlässigt und Ausbeutung Herrschaft und Warenförmigkeit nicht problematisieren kann." (Fraser/Honneth 2003, S. 20) Auf Grundlage ihrer Konzeption untersuchte sie soziale Bewegungen und erkannte dabei, dass ökonomischer Benachteiligung und mangelnder Anerkennung ein eigenständiges Gewicht zukomme.

Die Diskussionen um Frauenrechte als Menschenrechte gehen also weiter. Das hat meines Erachtens Konsequenzen für "Gender-Mainstreaming" und die umfangreich betriebenen "Gender-Studies", also die Geschlechterforschung.

4. Konsequenzen für "Gender-Mainstreaming" und "Gender Studies"

Nehmen wir die wichtige Forderung nach "Gender-Mainstreaming". In der noch gültigen "Pekinger Plattform" von der Weltfrauenkonferenz in Peking 1995 durchzieht die Forderung nach Gender-Mainstreaming wie ein roter Faden das gesamte Dokument. Darunter ist zu verstehen, dass eine Geschlechterperspektive in alle Gesetzesvorhaben und in gesetzliche Projekte einzubeziehen ist, d.h. bei allen gesellschaftlichen Vorhaben die Lebenssituationen und Interessen von Frauen und Männern von Anfang an zu berücksichtigen sind, mit dem Ziel, Ungleichbehandlung gar nicht entstehen zu lassen.

In Deutschland wurde Gender-Mainstreaming 2000 in die Gemeinsame Geschäftsordnung der Bundesministerien aufgenommen. NGOs stellten 2004 jedoch dazu fest, dass die Strategie des Gender-Mainstreaming in bürokratischen Verwaltungsmaßnahmen zu versanden drohe und damit das Ziel der Geschlechtergerechtigkeit seine politische Bedeutung und Wirkung verliere. (Peking + 10 2005) Verwiesen wurde dabei auf die Reformgesetze der letzten zwei Jahre davor, die zwar Auswirkungen auf Frauen und Männer hatten, doch keiner gründlichen Gender-Prüfung unterzogen wurden. Dazu benannte man konkrete Bereiche, wie Erwerbstätigkeit, Teilzeitarbeit, Bezahlung, Gesundheitswesen u.a.

In Tagungen der UNO-Kommission "Zum Status der Frau" wurde eingeschätzt, dass die nationale und internationale Bereitschaft, sich für die Menschenrechte von Frauen stark zu machen, abgenommen hat und manche

den Stand, der erreicht wurde, sogar zurückschrauben möchten. In einem Aufruf zu Peking + 10 wurde im Zusammenhang mit der Prüfung dessen, was von der 4. UNO-Weltfrauenkonferenz angeregt und umgesetzt wurde, festgestellt, dass weder in der Bundesrepublik, noch in der Europäischen Union, noch in außereuropäischen Ländern oder in internationalen Institutionen die Aktionsplattform befriedigend umgesetzt wurde. Zehn Jahre nach Peking sei der richtige Zeitpunkt, mit neuer Energie und neuen Strategien auf allen politischen Ebenen Geschlechterdemokratie einzufordern. (Peking + 10 2005)

Bei der Frauenforschung sind im Zusammenhang mit unserem Thema meines Erachtens zwei Extreme zu vermeiden: Einerseits werden oft nur allgemeine theoretische Debatten ohne fundiertes Detailmaterial geführt, was Spekulationen mit sich bringt. Das ist philosophischer Reduktionismus, da das Besondere im Allgemeinen nicht mehr als berechtige Vereinfachung zum Ausdruck kommt. Damit wird die praktische Umsetzung verhindert und es werden Illusionen erzeugt. Außerdem gibt es unzulässige Verallgemeinerungen disziplinärer Einsichten zu generellen Aussagen durch selektive Auswahl von Thesen, zu deren Bestätigung dann allein Material gesucht wird. So helfen, bezogen auf dieses erste Extrem, abstrakte elitäre Diskussionen bestimmter Gruppen um Gleichstellung, Feminismus, Gerechtigkeit und Menschenrechte dann nicht weiter, wenn die Probleme nicht in das gesellschaftliche Beziehungsgefüge der Auseinandersetzungen zwischen Frauen und Männern sowie ihres Kampfes um Gleichstellung und Gerechtigkeit für alle Glieder der Gesellschaft einbezogen werden. Solange Menschen nicht als biopsychosoziale Einheit begriffen werden, entstehen einseitige Menschenbilder, die entweder genetisch-biotische Merkmale, psychische Verhaltensweisen oder soziokulturelle Determinanten favorisieren, statt die Zusammenhänge zu einem Gesamtbild zu fügen, aus dem eine langfristig und kurzfristig abzuarbeitende Programmatik abgeleitet werden kann.

Andererseits werden undifferenziert verallgemeinerte Thesen auf andere Situationen angewandt, wie die Betrachtung zum Patriarchalismus zeigt, was zu unberechtigten Vereinfachungen führt. Ein Vergleich patriarchalischer Herrschaftsstrukturen in islamischen Ländern mit dem aufgeklärten Europa zeigt beträchtliche Unterschiede. Auch die Hervorhebung eines zukünftigen Matriarchats mit humanen Folgen ist eine unberechtigte Reduktion.

Generell gelten für die Vermeidung von philosophischem Reduktionismus unter Beachtung wissenschaftlich berechtigter Reduktionen für unser Thema folgende Überlegungen:

Erstens: Es geht um das *allgemeine Mensch-Sein*, wenn Frauenrechte als Menschenrechte eingefordert werden. Menschen sind ihrem Wesen nach Ensemble konkret-historischer gesellschaftlicher Verhältnisse und globaler natürlicher Bedingungen in individueller Ausprägung, die sich als Einheit von natürlichen und gesellschaftlichen, materiellen und ideellen, rationalen und emotionalen, bewussten, unterbewussten und unbewussten Faktoren erweist, wobei sie ihre Existenzbedingungen bewusst immer effektiver und humaner gestalten wollen. Das gilt für beide Geschlechter und ihren gemeinsamen Kampf um Gleichstellung. In den Eigenschaften, die Menschen als Gattungswesen auszeichnen, wie die gegenständlich-bewusste Auseinandersetzung nach bestimmten Zielvorstellungen und die Einsicht in Gesetze ihres eigenen Erkennens und Verhaltens stimmen sie überein. Trotz aller individuellen, jedoch nicht allein auf das Frau- und Mann-Sein festzulegenden Verhaltensweisen, gibt es diese allgemeinen übergreifenden Merkmale, die Frau und Mann als Menschen verbinden.

Zweitens: Die *Geschlechterdifferenz* ist dabei ebenfalls zu beachten. Frauen und Männer unterscheiden sich in anatomisch-physiologischen Merkmalen, woraus psychische Unterschiede resultieren können. Das erfordert entsprechende Berufsprofile, Förderungen wegen der jahrhundertelangen Benachteiligung, Verbindung von Berufstätigkeit und Mutterschaft usw.

Drittens: Dabei ist eine internationale Sicht auf Frauenprobleme unabdingbarer Bestandteil jeder Forschung, wenn man sich der Verpflichtung bewusst ist, durch Thematisierung, Problematisierung und das Sichtbarmachen von Verstößen dagegen, Menschenrechte für Frauen durchsetzen zu helfen. Die praktische Umsetzung ist schwer, stößt oft auf erbitterten Widerstand, weil sie Privilegien mancher Männer zerstören muss oder Staatsinteressen angreift. Interdisziplinäres Herangehen kann helfen, denn Frauenrechte als Menschenrechte müssen theoretisch weiter begründet werden. Es geht dabei um realisierbare Programme für Arbeit und Bildung, um die Überwindung der Frauenarmut, die weltweit schon enorm zugenommen hat und immer noch anwächst, um die Überwindung des Hungers in der Welt als Zivilisationsproblem, für eine spezifische Gesundheitsfürsorge für Frauen und Kinder u.a. mehr. Neue Bedingungen erfordern spezifische Aufgabenstellungen. Gender Studies sollten beispielsweise Globalisierungsund Transnationalisierungsprozesse, dabei auch Finanzkrisen, in ihren Auswirkungen auf weibliche Lebenszusammenhänge untersuchen.

Viertens: Das Selbstbestimmungsrecht von Frauen ist generell zu achten, wenn es etwa um Schwangerschaftsabbruch, PID u.a. geht. Es hat in verschiedenen Fundamentalismen, zu denen christliche und muslimische

gehören, wobei das Sektenwesen nicht zu vergessen ist, unterschiedliche Ausprägungen, die zu untersuchen sind. Gewachsene Gewalt gegen Frauen innerhalb und außerhalb der Familie, Ehrenmorde und Zwang zur Prostitution, Menschenhandel, ethnische Vertreibungen, Genitalverstümmelungen, Folterungen, Witwenverbrennungen widersprechen den Menschenrechten von Frauen. In den Strategiepapieren und anderen UNO-Dokumenten wird sehr nachdrücklich auf alle diese Probleme aufmerksam gemacht und Aktionen weltweit angemahnt.

5. Fazit

- 1. Um philosophischen Reduktionismus bei der Ungleichbehandlung von Frau und Mann im gesellschaftlichen Leben zu überwinden muss Frauenbefreiung als eine globale Aufgabe für alle Kulturkreise begriffen werden. Ihre Lösung ist durch Humanisten, Frauen und Männer voranzutreiben.
- 2. Philosophischer Reduktionismus liegt dann vor, wenn Geschlechterrollen einseitig aus einem abstrakten Wesen des Menschen abgeleitet werden. Geschlechterrollen sind das Produkt von historisch entstandenen Wertvorstellungen, Traditionen, Religionen, Sitten und Gebräuchen, also konkrethistorischer gesellschaftlicher und kultureller Lebensbedingungen. Auf dieser Grundlage hat sich auch das mit der natürlichen Rolle der Frauen begründete Ehe- und Familienmodell inzwischen mit der Bildung neuer Partnerschaften modifiziert.
- 3. Erst auf der Grundlage durchgesetzten Menschenrechts für Frauen ist festzustellen, ob Frau und Mann sich in psychisch bedingten Verhaltensweisen unterscheiden. Wenn ja, dann könnte das von Nutzen für beide Geschlechter sein.
- 4. Philosophischer Reduktionismus ist es ebenfalls, wenn Frauen eine stärkere gefühlsbetonte Haltung zugesprochen wird oder in der Erziehung vorausgesetzt wird. Der Gefühlsreichtum aller Menschen, unabhängig vom Geschlecht, ist zu fördern.
- 5. Massenmedien sollten in ihren Ehrenkodex aufnehmen, diffamierende Rollenklischees nicht zu verbreiten. Es sollten nur solche Leitbilder, also auf die Gegenwart bezogene veranschaulichte Ideale, die motiv- und willensbildend wirken und konkret-historischen Gruppen spezifische Orientierungen für das Handeln vermitteln, angeboten werden, die Frauen nicht diskriminieren, sondern in ihrer Auseinandersetzung um eine gleichberechtigte Stellung in der Gesellschaft unterstützen.

Literatur

Beauvoir, Simone de (1951), Das andere Geschlecht, Sitte und Sexus der Frau, Hamburg: Rowohlt

Chodorow, Nancy (1986), Das Erbe der Mütter. Psychoanalyse und Soziologie der Geschlechter, München: Verlag Frauenoffensive

Firestone, Shulamith (1987), Frauenbefreiung und sexuelle Revolution, Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuchverlag

Frazer, Nancy, Honneth, Axel (2003), Umverteilung oder Anerkennung? Eine politisch-philo-

sophische Kontroverse, Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag Gilligan, Carol (1988), Die andere Stimme: Lebenskonflikte und Moral der Frau, Zürich: Piper Hörz, Helga E. (1968, 2015), Die Frau als Persönlichkeit, Berlin: Verlag der Wissenschaften.

Digitalisiert mit aktuellem Vorwort: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/hoerz-Frau_als_Persoenlichkeit.pdf

Hörz, Helga E. (1977, 2015), Blickpunkt Persönlichkeit. Ein Beitrag der Ethik zu Theorie und

örz, Helga E. (1977, 2015), Blickpunkt Persönlichkeit. Ein Beitrag der Ethik zu Theorie und Praxis der Persönlichkeitsentwicklung, Berlin: Verlag der Wissenschaften. Digitalisiert mit aktuellem Vorwort: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/hoerz-Blickpunkt_ Persoenlichkeit.pdf

Hörz, Helga E. (2006), Patriarchalische Machtstrukturen in philosophischer und psychologi-

scher Auseinandersetzung, Forschungsinstitut der Internationalen Wissenschaftlichen Vereinigung Weltwirtschaft und Weltpolitik Berichte, Berichte, 16 (2006) 163, S. 7–27 Hörz, Helga E. (2009), Zwischen Uni und UNO. Erfahrungen einer Ethikerin, Berlin: trafo

Verlag Hörz, Helga E. (2010), Der lange Weg zur Gleichberechtigung. Die DDR und ihre Frauen.

Berlin: trafo Verlag Hörz, Helga E., Hörz, Herbert, (2005) Ist der Mensch am Ende? Philosophisch-ethische Fragen

zur Autonomie des Individuums, in: Philosophie und Politik, Festschrift für Robert Steigerwald, Essen: Neue Impulse Verlag, S.181–197

Hörz, Helga E., Hörz, Herbert (2013), Ist Egoismus unmoralisch? Grundzüge einer neomodernen Ethik. Berlin: trafo Wissenschaftsverlag

Hörz, Herbert (1976, 2015), Mensch contra Materie? Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften. Digitalisiert mit aktuellem Vorwort: http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/Hoerz_Mensch_contra_Materie.pdf

dokumente/Hoerz_Mensch_contra_Materie.pdf

Hörz, Herbert (2010) Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich berechtigte
Reduktionen? Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit. In:
Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 108 (2010), S. 11–36

Knepler, Georg (2004) Macht ohne Herrschaft. Die Realisierung einer Möglichkeit. Hrsg. von Stefan Huth, Berlin: Kai Homilius Verlag

Mai, Mukhtar, Cuny, Marie-Therese (2006) Die Schuld, eine Frau zu sein. München: Droemer Verlag

Marcuse, Herbert (1978), On the Need for an Open Marxist mind, in: The Listener vom 9.2. 1978

Millet, Kate (1985), Sexus und Herrschaft. Die Tyrannei des Mannes in unserer Gesellschaft, Reinbek: Rowohlt Verlag

Nagl-Docekal, Herta (1990), Feministische Philosophie, hrsg., V. Herta Nagl-Docekal, Wien, München: Oldenbourg

Ockrent, Christine (2007) (Hg.), Das Schwarzbuch zur Lage der Frauen. Eine Bestandsaufnahme. München, Zürich: Pendo Verlag GmbH & Co. KG

Peking + 10 (2005), Schon abgehakt? Zehn Jahre Pekinger Aktionsplattform, Berlin: Deutscher Frauenrat für das Bündnis Peking + 10 (http://www.frauenrat.de/fileadmin/user_upload/frauenrat/infomaterial/Aktionshandbuch-neu.pdf)

Segal, Lynne (1989), Ist die Zukunft weiblich? Probleme des Feminismus heute. Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag GmbH

Übereinkommen (1979), Übereinkommen der Vereinten Nationen zur Beseitigung von jeder Form der Diskriminierung der Frau. (CEDAW) vom 18. Dezember 1979. http://www.bmfsfj.de/RedaktionBMFSFJ/Broschuerenstelle/Pdf-Anlagen/beseitigung-diskriminierung-der-frau-cedaw-brosch_C3_BCre,property=pdf,bereich=bmfsfj,sprache=de,rwb=true.pdf (Zugriff am 03.06.2015)

UNO-Weltfrauenkonferenz (1995), Beijing, 4.–15.September 1995, auszugsweise Übersetzung des Documents A/ Conf. 177/20 vom 17. Oktober 1995, Deutscher Übersetzungsdienst der Vereinten Nationen, Anlage II, Aktionsplattform

Weber, Max (1992), Soziologie, Universalgeschichtliche Analysen, Politik, Stuttgart: Alfred Kröner Verlag

Weiberlexikon (1985), Kleines Weiberlexikon, hrsg. von Florence Hervé, Elly Steinmann, Renate Wurms, Dortmund: Weltkreis Verlag

Wikipedia (2015), Charles Fourier. http://de.wikipedia.org/wiki/Charles_Fourier (Zugriff am 23.05.2015)

Hermann Klenner

Einfachheit in der Jurisprudenz?

Einfachheit ist von unendlicher Deutbarkeit. Einfachheit ist die Gestalt des Wahren. Simplifikation ist die Gewaltsamkeit, die an die Stelle verlorener Einfachheit tritt. Unser Zeitalter ist das der Simplifikationen. Karl Jaspers

1

Dem im März 2011 innerhalb des Einfachheits-Arbeitskreises unserer Leibniz-Sozietät gehaltenen Diskussionsbeitrag "Schöne Einfachheit als (VER) FÜHRUNG in der Mathematik" war die eher überraschende Behauptung vorangestellt worden, dass Mathematik die *einfachste* unter allen Wissenschaften sei, denn sie berge den geringsten Anlass zum Streit darüber, "ob etwas richtig ist".² Goethes Nebenbeibemerkung, dass sich die mathematische Methode von der Argumentationsweise anderer Wissenschaften insofern unterscheidet, als sie infolge ihrer Reinheit jeden Sprung in der Assertion gleich offenbare, so dass man in der Folge "unter allen Bedingungen" Richtiges und Unumstößliches sehe,³ dürfte auf Ähnliches hinauswollen. Reinheit wie Einfachheit zielen hier auf die Unbestreitbarkeit der mit mathematischen Methoden erzielten, also jeweils folgerichtigen Ergebnisse unter logisch Denkenden.

Da der Jurist als mit überdurchschnittlich logischem Denkvermögen gesegnet und die Rechtswissenschaft als "Mathematik der Geisteswissenschaft" gilt, ⁴ könnte man meinen, dass die Jurisprudenz für sich beanspruchen kann,

¹ Karl Jaspers, Vom Ursprung und Ziel der Geschichte [1949], München 1963, S. 171.

² Roswitha März, Leibniz Online, 09/2011, in: http://www.leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2011/12/Maerz.pdf.

³ Goethe, Werke (Hamburger Ausgabe), Bd. 13, München 2002, S. 18f.; Immanuel Kant, Werkausgabe, Bd. 2, Frankfurt 1991, S. 751: "Das Objekt der Mathematik ist leicht und einfältig, der Philosophie aber schwer und verwickelt".

⁴ Hermann Cohen, Ethik des reinen Willens, Berlin 1921, S. 67, 625.

100 Hermann Klenner

zu den eher einfachen Disziplinen zu zählen; der Juristen Können bestehe doch schließlich darin, mittels einer (wenigstens ihnen) verständlichen Geheimtechnik die vom Gesetzgeber und Gerichten vorherbestimmte Entscheidung aus den ihnen bekannten Gesetzbüchern und Gerichtsurteilen mit absoluter Exaktheit abzuleiten. Eine Unterstellung. Es trifft eher die Kontrastaussage zu: die Jurisprudenz ist zumindest teilweise die am wenigsten einfache unter allen Wissenschaften, denn sie birgt unvermeidlich den höchsten Anlass zum Streit darüber, ob und was von ihren Erkenntnissen richtig ist.

Die Ursache dafür liegt nicht etwa bei den Juristen selbst, besonders den Rechtsanwälten, da diese von den Streitigkeiten zwischen den rechtsunkundigen Bürgern profitieren. In einem Traktat aus dem 14. Jahrhundert über die Liebe zu den Büchern gibt es ein böses 11. Kapitel, in dem der Autor sogar dringend abriet, juristische Bücher zu kaufen, denn juristisches Wissen verursache ungezügelte Begierden. Im 16. Jahrhundert verunglimpfte Martin Luther die Juristen allesamt als "böse Christen" (und das war noch seine harmlosere Ehrabschneidung!). Und im 17. Jahrhundert schlug James Harrington vor, Juristen von allen öffentlichen Ämtern auszuschließen, denn sie lägen stets unerbittlich miteinander im Streit.

In Wirklichkeit liegt jedoch die Ursache dafür, dass Theorie und Praxis der Juristen unvermeidlich und in Permanenz mit von ihnen nicht auszuräumenden Streitigkeiten über die Richtigkeit menschlichen Verhaltens verbunden sind, im Recht selbst und dessen gesellschaftlichem Eingebundensein. Der Mensch sei ohne Recht und Gesetz das gefährlichste Lebewesen, heißt es bei Aristoteles (*Politik* I, 1253a), aber wie die Erfahrungen von völkerrechtsgemäßen Kriegen und innerstaatlich legalisierten Ausrottungen lehren, sind die Menschen mit Recht und Gesetz nicht weniger gefährlich als sie es ohne Recht und Gesetz zuvor waren. Das Miteinander der Menschen ist ohne ihr Gegeneinander nicht zu haben. Solange es Menschen gibt, gibt es Konflikte zwischen ihnen, zwischen den einzelnen Menschen wie zwischen den Gesellschaften, in denen diese Menschen leben. Anlässe zum Streit darüber, "ob etwas richtig ist", bleiben nicht aus, weil dessen Ursachen unvermeidbar sind. Unter allen Bedingungen unumstößlich richtige gemeinsame Nenner – die Voraussetzung von wirklicher Einfachheit – gibt es selten, und wenn, dann kurzzeitig, als Kompromiss oder als Täuschung und Selbsttäuschung. Das reflektierende Begreifen juristischer Sach-

⁵ Richard de Bury, Philobiblon [ca. 1344 u.Z.], Leipzig 1989, S. 73.

⁶ Vgl. Martin Luther, Kritische Gesamtausgabe. Tischreden, Bd. 6, Weimar 1921, S. 325–364: Über Juristen.

⁷ James Harrington, The Political Works, Cambridge 1977, S. 309, 660.

verhalte und Kategorien, deren Entstehungs-, Entwicklungs- und Verwirklichungsbedingungen einschließend, vollzieht sich notwendigerweise in einem historischen Prozess sich voneinander abstoßender und sich auch gegeneinander entwickelnder Auffassungen.

Recht ist Streitbeilegung, nicht Streitausmerzung. Mit Hilfe von Konfliktentscheidungsregeln werden Fehden auf juristisch-politische Weise beendet, ohne indes deren soziale Ursachen aufzudecken, geschweige denn auszurotten. Wenn die Würfel gefallen sind, herrscht Ruhe; als Waffenstillstand, nicht als Friedensvertrag auf Ewigkeit. Zwar resultiert das Recht einer Gesellschaft aus einer interessengesteuerten, von Vorverständnissen geprägten Ordnungsstrategie seiner Akteure, breitet sich aber auch als Mantel des Vergessens über nur vorübergehend geschlichtete, weiterschwelende Konflikte, über die Wurzeln künftiger Unordnung aus. Recht ist weniger eine Friedens- denn eine Befriedungsstrategie.

Insoweit das Recht als Ordnungsreglement herrschaftsförmig organisierter Gesellschaften deren innere Gegensätzlichkeiten reflektiert und konstituiert, sind die in die jeweilige Macht/Ohnmacht-Struktur der Gesellschaft von Herrschenden und Beherrschten Integrierten – sei es als Teilhaber, als Mittäter, als Nutznießer oder als Opfer – an unterschiedlichen, auch gegensätzlichen Konfliktreglements durch Gesetze sowie an deren unterschiedlichen Auslegungen durch die Gerichte interessiert. Die zu allen Zeiten nachweisbaren Widerstandshandlungen gegenüber auch dem am meisten anerkannten Ordnungsreglement lassen allerdings ebenso wie dessen notfalls nur mit staatlichem Zwang durchsetzbare Befolgung vermuten, dass jedes Recht die innergesellschaftlichen Antagonismen höchstens zu domestizieren, nicht aber zu liquidieren imstande ist. Auch wo, wie in der Moderne, der Staat als Rechtsstaat agiert, indem er das Unrecht rechtlich geregelt unterdrückt, vermögen Rechtsnormen die Regelverstöße, vermag Recht das Unrecht nicht zu verhindern, höchstens einzudämmen. Wo kann da Einfachheit gedeihen?

Die objektiv vorhandenen Widersprüchlichkeiten innerhalb der Gesellschaft lassen zwar eine Reduktion ihrer Komplexitäten, also eine *Vereinfachung*, zu, nicht aber eine *Einfachheit* im Sinne einer von jedem Denkenden nachvollziehbaren Einsicht, dass diese oder jene Entscheidung absolut richtig ist, also *einfach*, weil keinen Streit in sich bergend, ob es auch so ist. Absolute *Einfachheit* gibt es nur in der Abstraktion eines schönen Scheins, als Illusion, als Utopie. Es bleiben die fundamentalen Gegensätze in der Gesellschaft, die der sprichwörtlichen Redensart: "Allen Leuten recht getan / ist eine Kunst, die niemand kann" (ins Juristische übersetzt: Allen Leuten

102 Hermann Klenner

Recht getan / ist eine Kunst, die niemand kann!) Wahrheitswert verleiht, ebenso wie der resignativen Sentenz: "Es muss der Rechtsgelehrte wählen eins von beiden / Entweder Unrecht sprechen oder Unrecht leiden".⁸

Bereits Heraklit (um 500 v.u.Z.) erkannte in der inneren Gegensätzlichkeit der Gesellschaft, ihrem Selbstwiderspruch, das Wesen des Rechts, und er hielt zugleich den Meinungswiderspruch von Menschen über das, was gerecht ist und was ungerecht, für unabwendbar: Alles Geschehen erfolge im Kampf; er sei das Gemeinsame, und das Recht (dikê) wie das Denken über das Recht erfolge im Konflikt, sei Streit (eris). 4 Karl Marx, Dialektiker wie Heraklit und überdies Materialist, entwickelte die Auffassung, dass Rechtsverhältnisse wie Staatsformen, da sie in den Produktionsverhältnissen wurzeln, die gesellschaftlichen Widersprüche und Konflikte nicht konstituieren, sondern reflektieren; sie können sie zwar manipulieren, aber nicht eliminieren; jede Gesellschaft mit einem privatisierten Produktionsmitteleigentum bestehe aus Ausbeutungs- und Herrschaftsverhältnisse, in denen es im Interesse des dominierenden Teils dieser Gesellschaft – nicht aber, oder nur bedingt, ihrer anderen Teile – liege, das Bestehende als Gesetz zu fixieren; der Inhalt dieser allgemeinverbindlichen, erforderlichenfalls erzwingbaren Rechtsordnung ergebe sich aus den materiellen Lebensbedingungen der jeweils herrschenden Klasse; diese sei zudem daran interessiert, dass ihr zum Gesetz erhobener Wille als den Bedürfnissen aller Klassen und Schichten der Gesellschaft gerecht werdend anerkannt und gegen diejenigen mittels staatlichen Zwanges auch durchgesetzt wird, die seinen Befolgungsanspruch nicht respektieren.

Unter diesen empirisch nachweisbaren und rational begründbaren Bedingungen ist an eine für alle Mitglieder der Gesellschaft gleichermaßen einleuchtende *Einfachheit* der Rechtsordnung (im Sinne eines keinen Anlass zum Streit, "ob etwas richtig ist", in sich bergenden Systems) nicht zu denken, wohl aber an *Vereinfachungen*, deren Kriterien freilich in vielen Fällen für Autoren und Adressaten des Rechts unterschiedlich sind, aber auch gegensätzlich sein können. Häufig kontrastiert formale *Einfachheit* mit materialer Nicht-*Einfachheit*. Wenn es in den Institutionen des Gaius (2. Jh. u.Z.) heißt, dass die Eigentümer von Sklaven die Gewalt über deren Leben und

³ Christian Wernicke (1661–1725), Schifffahrt des Lebens, Berlin 1984, S. 21.

⁹ Heraklit, fr. 8, 80 u. 102, in: Wilhelm Capelle (ed.), Die Vorsokratiker (Fragmente und Quellenberichte), Berlin 1958, S. 133–142.

¹⁰ Vgl. das von mir zusammengestellte Zitatenmaterial einer "Marx/Engels-Anthologie zur Natur des Staates", in: Marxistische Blätter, Jg. 52, 2014, Nr. 6, S. 32–54, sowie in meiner Monographie: Vom Recht der Natur zur Natur des Rechts", Berlin 1984, S. 79–138: "Marx/Engels-Anthologie zur Natur des Rechts".

Tod haben (Art. I, 52: "dominis in servos vitae necisque potestatem esse"), oder in der Gesetzessammlung des oströmischen Kaisers Justinian (533 u.Z.), dass der Kaiser von den Gesetzen befreit ist (Digesten 1. 3. 31: "princeps legibus solutus est"), oder in der Verfassungsurkunde für das Königreich Bayern von 1818 (Titel II, § 1), dass die Person des Königs heilig und unverletzlich ist, dann handelt es sich hier um so eindeutige wie *einfache* Regelungen, an deren Existenz allerdings die verschiedenen Klassen und Schichten der Gesellschaft unterschiedlich interessiert waren, und deren juristische Richtigkeit zu einem gewissen Zeitpunkt in eine historische Unrichtigkeit umschlug. Um ein Gegenwartsbeispiel anzufügen: wenn das Brandenburger Landes-Verfassungsgericht darüber zu richten hat, ob die Entscheidung der Landesregierung, den weiteren Braunkohleabbau und damit die Zwangsumsiedlung ganzer Dörfer zuzulassen, verfassungskonform ist oder nicht, dann bleiben entweder die Arbeitsplätze oder aber der Umweltschutz auf der Strecke.

Wenn, wie behauptet wurde, ¹¹ Effektivität die ontologische Grundlage für Einfachheit ist, dann ist die Einfachheit von Steuergesetzen völlig anders zu beurteilen vom Standspunkt der die Steuern eintreibenden Behörden, der die entsprechenden Formulare ausfüllenden Steuerpflichtigen und derjenigen, denen komplizierte, verschachtelte Steuergesetze mit Hilfe von Steuerberatern entgegenkommen, weshalb alles in allem eine "Bierdeckel"-Vereinfachung des Steuerrechts Illusion bleiben muss: die Gegensatz-Interessen innerhalb einer kapitalistischen Gesellschaft lassen höchstens eine Vereinfachung (für diesen oder für jenen Interessierten), jedenfalls aber keine Einfachheit des Steuerrechts zu. Die Kodifikation eines ganzen Rechtszweiges macht die Arbeit für Juristen einfacher, Laien hingegen erschwert sie das Verständnis des sie betreffenden Rechts; so hat die Einbeziehung der Europäischen Verbraucherrichtlinien in das neue Zivilgesetzbuch Ungarns von 2013 der Kodifikationsidee auf Kosten des Transparenzgebots den Vorzug gegeben, also für die einen Einfachheit, für die anderen Kompliziertheit gebracht. 12

Um sich über den Objektbereich einer möglichen Vereinfachung mit dem Grenzwert einer Einfachheit auf dem Felde des Rechts ein zahlenbestücktes Bild machen zu können: Die Politiker entscheiden und die Parla-

¹¹ Erdmute Sommerfeld, Herbert Hörz, Werner Krause (ed.), "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip", in: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 108, Berlin 2011, S. 15.

¹² Vgl. Lajos Vékás, "Europäische Verbraucherrichtlinien und das neue ungarische Zivilgesetzbuch", in: Helena Baranková (ed.), Rechtsschutz des schwächeren Subjekts, Frankfurt 2014, S. 33.

mentarier beschließen über die Annahme oder die Ablehnung von Gesetzentwürfen, die sie selbst nur zu einem Teil verstehen. Das Ausmaß der wie ein Alp auf der Gesellschaft lastenden Rechtsmaschinerie überschreitet das Vorstellungsvermögen jedes Normalbürgers. Konkret: die Karlsruher Juristische Bibliographie allein des Jahrgangs 2012 bietet Literaturangaben auf knapp tausend Seiten; das Bundesgesetzblatt, Teil I, von 2013 hat 4.388 Seiten; in Deutschland gibt es gegenwärtig 655 Amtsgerichte, 116 Landgerichte, 24 Oberlandesgerichte, 112 Arbeitsgerichte, 51 Verwaltungsgerichte, 68 Sozialgerichte und 18 Finanzgerichte; 2013 gab es vor Zivilgerichten 1.487414 erledigte erstinstanzliche Verfahren, vor Strafgerichten: 736.029, vor Familiengerichten: 668.713, vor Arbeitsgerichten: 403.457, vor Sozialgerichten: 392.252; in Deutschland waren am 1. Januar 2015 mehr als 163.600 Rechtsanwälte zugelassen (gegenwärtig arbeiten in unserem Land mehr als 365.000 Ärzte); der Münchener Kommentar zum BGB von 2012 hat elf Bände im Lexikonformat; von Fachjuristen gut Beratene und dito Betuchte vermögen die Stolperfallen des deutschen Steuerrechts der Gegenwart mit seinen mehr als einhundert einschlägigen, sich Jahr für Jahr mehrfach ändernden Gesetzen nebst vierzigtausend höchstrichterlichen Entscheidungen immer wieder zu umgehen und sich "kreative Gestaltungsmöglichkeiten" zu erschließen, die einen geschätzten Schaden von 70 Milliarden € pro Jahr verursachen; am 31. März 2014 befanden sich 65.710 Strafgefangene (darunter weniger als 4.000 Frauen) in den deutschen vor 1970 Zuchthäuser und Gefängnissen genannten Justizvollzugsanstalten; Anzahl der Strafgefangenen pro 100.000 Einwohner: USA: 751, Ukraine: 336, Israel: 209, China: 119, BRD: 91, Frankreich: 85, Schweden: 64, Indien: 30; die Loseblattsammlung zum 1950 begonnenen Bonner Kommentar zu den 146 Artikeln des BRD-Grundgesetzes füllt mittlerweile 20 Ordner; die detailliert begründeten Entscheidungen des deutschen Bundesverfassungsgerichts von 1951-2015 liegen in 135 stattlichen Bänden vor; das 2015 in fünfter Auflage erschienene Handlexikon der Europäischen Union bietet auf nicht weniger als 1.750 Seiten eintausend europarechtliche Stichworte. Und, um alle Hoffnungen auf die Vereinfachungen von Rechtsordnungen einer vollentwickelten kapitalistischen Gesellschaft bis hin zu ihrer Einfachheit fahren zu lassen: die Anzahl der im Gegenwarts-Deutschland geltenden Rechtsnormen lässt sich nicht einmal ergoogeln.

2

Der Juristen Gedankenarbeit ist zunächst ein Denken innerhalb einer ihnen durch Gesetze und Gerichtsurteile vorgegebenen Rechtsordnung. Indem sie im Rahmen eines Entscheidungsverfahrens aus den allgemeinverbindlichen Normen eine individuellverbindliche, für den Einzelfall zutreffende Berechtigung oder Verpflichtung schlussfolgern, beweisen (oder bestreiten) sie die Legalität (oder Illegalität) menschlichen Verhaltens. Insofern Juristen als Anwälte oder Richter sich genau darauf beschränken, bleiben sie "denkende Diener" der in den jeweiligen Gesellschaftsverhältnissen auch mittels des Rechts Herrschenden. Ändern sich die Gesetze, ändert sich ihr Rat wie ihr Urteil. "Drei berichtigende Worte des Gesetzgebers und ganze Bibliotheken werden zu Makulatur", lautet ein berühmt gewordener Satz aus dem Berliner Vortrag eines königlich-preußischen Staatsanwalts, der dann auch noch die ganze Jurisprudenz als Wissenschaft für wertlos erklärte. 13 Ergibt sich jedoch aus Vorwürfen dieser Art, wonach der Inhalt von Gesetzen Willkür sei, die Justiz bloßes Glücksspiel und die Jurisprudenz fremdbestimmt, dass der Juristen Tätigkeit einfach ist, da doch bloß zu exekutiere sie berufen sind?

Die Sprache der Wahrheit sei *einfach*, heißt es bei Seneca. ¹⁴ Kann aber die Sprache des Rechts im Sinne Senecas überhaupt *einfach* sein, da doch seit Aristoteles Wahrheit als Eigenschaft von Aussagen definiert wird (*Metaphysik* 1011b: *adaequatio rei et intellectus*, Übereinstimmung einer Erkenntnis mit deren Objekt), und die Elemente des Rechts nun einmal keine Aussagen sind: sie sind Verhaltensregeln, Normen. Das gilt natürlich auch, wenn sie von einem Gesetzgeber in einen Aussagesatz verpackt wurden, etwa, wie im Fall von § 242 StGB, als Voraussage, dass derjenige, der eine fremde bewegliche Sache sich rechtswidrig zueignet, wegen Diebstahl bestraft wird – syntaktische Identität bei semantischer Disparität. Eine Rechtsnorm ist eine verbindliche *Vorschrift* für ein Verhalten, aber keine richtige oder falsche *Beschreibung* eines Verhaltens, sie ist also weder verifikations- noch falsifikationsfähig: "authoritas, non veritas facit legem", lautet ein klassischer Satz von Hobbes. ¹⁵ Normen sind pragmatischer Natur; sie haben keinen aussa-

¹³ Julius H. Kirchmann, Die Wertlosigkeit der Jurisprudenz als Wissenschaft [1847], Freiburg 1990, S. 23; weniger bekannt ist seine Charakterisierung der englischen Justiz als "Luxus-Artikel für Reiche" und von römischen Juristen als "gehorsame Diener der Tyrannei" (S. 40, 42).

¹⁴ Seneca, Philosophische Schriften, Bd. 3, Hamburg 1993, S. 170 (Epistolae moralis, 49,12: "Veritatis simplex est oratio").

¹⁵ Thomas Hobbes, Leviathan, Amsterdam 1670, S. 133 (dt. Hamburg 2004, S. XXXV, 234).

106 Hermann Klenner

genden, sondern einen wertenden, motivierenden, organisierenden, auffordernden, verpflichtenden, berechtigenden Charakter; sie gehören im weitesten Sinn zu den Algorithmen. Recht ist Richtschnur, ist Maßstab für vergangene und künftige Handlungen. Mit ihm wird ein Tun oder ein Unterlassen entweder geboten oder verboten oder (explizit oder implizit) erlaubt. Rechtsnormen können als zweckmäßig oder unzweckmäßig, als gerecht oder ungerecht, als fortschrittlich oder reaktionär evaluiert werden, aber ihre Verbindlichkeit hängt nicht von ihrer Bewertung ab. Sie werden auch nicht dadurch widerlegt, dass gegen sie massenhaft verstoßen wird. Eine Rechtsverletzung falsifiziert keine Rechtsnorm: das tatsächliche Foltern, in Guantánamo und anderswo, vermag das Folterverbot des Völkerrechts ("no exceptional circumstances whatsoever ... may be invoked as a justification of torture" lautet Art.2 II der UN-Convention against Torture von 1984) nicht zu widerlegen; es widerlegt nur die Annahme, dass dieses Verbot überall verwirklicht wird und klassifiziert die Folternden als Verbrecher. Sofern sich später herausstellt, dass ein in höchster Instanz gefälltes Gerichtsurteil auf der Falschaussage eines Zeugen beruht, kann das "eigentlich" beendete Verfahren wiederaufgenommen werden, denn ein den Strafgesetzen gemäß rechtskräftig Verurteilter gilt eben nur als Täter, ist es aber in diesem Fall nicht. 16

Wie zu den Verstehens-, Verwirklichungs- und Entwicklungsbedingungen des Rechts einer Gesellschaft viel Wissen über sein Gewordensein gehört, so kann auch ein Jurist nur dann ein guter Jurist sein, wenn er sein Denken unter dem Gesichtspunkt des geltenden Rechts (de lege lata) mit seinem Nachdenken über ein zu veränderndes Recht (de lege ferenda) zu paaren vermag. Dabei handelt es sich zunächst um eine mögliche Verbesserung von gegenwärtig geltenden Rechtsnormen innerhalb der Rechtsordnung, um eine Perfektionierung der vorhandenen Legalität. Schließlich führt aber jedes Nachdenken dieser Art zu einem Nachdenken über das Begründetsein der existenten Herrschaftsgewalt, also ob und inwieweit deren Ordnungsreglement gerechtfertigt, legitimiert ist. Während Legalität die Übereinstimmung zwischen dem tatsächlichen Tun und Unterlassen von Menschen und Institutionen mit dem ihnen durch das geltende Recht vorgeschriebene Verhalten bedeutet, besagt die Legitimität einer Rechtsordnung, dass sie mit Hilfe von religiösen, moralischen oder soziologischen Argumente

Bereits Ulpian: eine rechtskräftig entschiedene Sache gilt als richtig entschieden (Digesten 1,5,25; 50,17,207, in: Corpus Iuris Civilis, lat./dt., Bd. II, Heidelberg 1995, S. 122: "res iudicata pro veritate accipitur").

gerechtfertigt wird. ¹⁷ Eine Jurisprudenz, die sich darauf beschränkt, das jeweils geltende Recht als in sich geschlossene Normenordnung systemgerecht zu interpretieren, statt es wenigstens zur intellektuellen Disposition zu stellen, macht es sich zu *einfach*; ihr methodenbewusster Verzicht, die Einbettung des Rechts in gesamtgesellschaftliche Zusammenhänge zu ergründen, bedeutet eine unverantwortliche *Simplifikation*. In vergleichbare Reduktionismen verfallen diejenigen, die das Recht *lediglich* als Mittel von (z.B. ökonomischer, politischer und/oder ideologischer) Macht begreifen und nicht auch als Maß von Macht für die Macht von Menschen über Menschen.

Die Unterscheidung zwischen Legalität und Legitimität wird von Gesetzgebern immer wieder unterlaufen, indem sie eine Selbstlegitimierung ihrer Gesetze vornehmen und dadurch intellektuelle Widersprüche im Interesse ihrer eigenen Machtverstärkung nivellieren. Statt zu vereinfachen, wird dann simplifiziert. Wissenschaftsverzicht durch Glorifikation. So, wenn etwa gleich zu Beginn der einfluss- und umfangreichsten Gesetzessammlung, die wir kennen, die Staatsgewalt theologisch verbrämt wird, indem die Gesetzgeber und die Richter als "Priester der Gerechtigkeit" firmieren (Digesten 1.1.1.1: "sacerdotes"). So, wenn auf der Krone des Heiligen Römischen Reiches Deutscher Nation von ca. 1.000 u.Z. eine Inschrift "per me reges regnant" lautet, womit auf einen Satz aus den Sprüchen Salomos (VIII, 15: durch mich herrschen die Könige) verwiesen und damit die irdische Staatsgewalt durch ihre angeblich göttliche Herkunft pauschal legitimiert wird. So, wenn in der Präambel des BRD-Grundgesetzes wahrheitswidrig behauptet wird, dass sich "das Deutsche Volk im Bewusstsein seiner Verantwortung vor Gott [...] dieses Grundgesetz gegeben hat", womit ein demokratischer Ursprung der Verfassung und die Gottgläubigkeit aller Deutschen suggeriert wird.

3

Im Bereich von Verhaltenslegalitäten beziehen sich Überlegungen zur *Einfachheit* auf die Entscheidungsverfahren *innerhalb* einer Rechtsordnung. Dabei geht es vorrangig um das Verhältnis von Gesetz und Gericht. Um gleich den Jahrtausende alten Kerngedanken für dieses Verhältnis ins Spiel zu bringen: Die Gerichte sollen nach Gesetzen und nicht nach Beispielen urteilen, denn nur dies sei der wahre Weg zur Gerechtigkeit – so in seinem

¹⁷ Vgl. H. Klenner, "Legalität/Legitimität", in: Historisch-kritisches Wörterbuch des Marxismus, Bd. 8, Hamburg 2012, S. 800–840; Maria Dammayr (ed.), Legitimität, Bielefeld 2015.

108 Hermann Klenner

Codex von 529 u.Z. der sich selbst als frommer Imperator und Triumphator bezeichnende Kaiser des oströmischen Reiches Justinian. ¹⁸

Um seine Fundamentalidee: die weltumspannende Einheit des *Imperium* Romanum, nunmehr christlich geprägt, zu verwirklichen, veranlasste der 482 u.Z. in einem Dorf bei Skopje, gelegen im makedonischen Bergland der römischen Provinz Illyrien, geborene Bauernsohn die wirkungsreichste Gesetzgebung der Weltgeschichte. Die am 30. Dezember 533 u.Z. in Kraft gesetzten Digesten waren unter der Leitung seines Justizministers Tribonian von einer Kommission erarbeitet worden, an der maßgebend Professoren aus Konstantinopel (dem heutigen Istanbul) und Berytos (der heutigen Hauptstadt Libanons Beirut) beteiligt waren. Diese hatten das Schrifttum der klassischen Juristen Roms aus dem zweiten nachchristlichen Jahrhundert, besonders das von Ulpian und Papinian (der eine von einer Prätorianergarde der andere von Caracalla ermordet!), ausgewertet und systematisiert. Als geltendes Recht erlebte die sechs Jahrhundert scheintot gewesene Gesetzessammlung eine europaweite Renaissance ohne Beispiel und Vergleich. Überliefert in nur einer einzigen (!) aus dem 6. Jahrhundert stammenden, aber erst im 11. Jahrhundert in Pisa aufgefundenen und zu Beginn des 15. Jahrhunderts nach Florenz entführten Abschrift des Originals wurden die Digesten seit dem elften Jahrhundert von Gelehrten glossiert und kommentiert, von Juristenprofessoren in Bologna, Padua, Perugia, Paris, Oxford, Cambridge, Salamanca doziert, von kirchlichen und staatlichen Gerichten praktiziert, durch § 3 der Reichskammergerichtsordnung von 1495 endlich für das Heilige Römische Reich (deutscher Nation) als verbindlich dekretiert und galten in Deutschland bis zum 31. Dezember 1899 subsidiär als Gemeines Recht. Nahezu alle heutigen Rechtsordnungen, voran die kontinentaleuropäischen und die lateinamerikanischen, sind von diesem Thesaurus, dem meistzitierten Rechtsnormenmaterial der juristischen Weltliteratur, begrifflich, vor allem aber strukturell beeinflusst, und das wirkte sich auf das Einfachheitsproblem aus.

Als allererstes Recht war nämlich das der Römer mittels Gedankenarbeit praktizierender Juristen aus einer *Summe* von Rechtsnormen zu einer *Gesamtheit* von Rechtsnormen verarbeitet worden, zu einem System, und zwar zu einem in sich *geschlossenen* System. In seiner *Constitutio Tanta* von 533 verpflichtete Justinian ausdrücklich alle Richter aller Gerichte, ihrer Ge-

¹⁸ Codex Iustinianus, Berlin 1895, S. 316 (7.45.13: "cum non exemplis, sed legibus iudicandum est"); Codex Justinianus (deutsche Auswahl-Edition), Leipzig 1991, S. 159. – Zum Nachfolgenden vgl. Mario Bretone, Geschichte des römischen Rechts, München 1992.

richtsbarkeit die Gesetze seiner Gesetzessammlung zugrunde legen, und verbot gleichzeitig unter Strafandrohung deren Kommentierung, weil durch sich eventuell widersprechende Interpretationen das doch eindeutige Recht in Verwirrung gerate und "durch Geschwätzigkeit entehrt" werde. 1 verbindliche Vollständigkeitsanspruch eines systematisierten Gesetzeswerkes hatte gegensätzliche Folgen für das Einfachheitsproblem: einerseits machte er die Tätigkeit der Juristen insofern einfach, als sie eindeutig auf das Gesetz als Quelle des Rechts (nicht als dessen Ursache!) wie als Grundlage für Gerichtsurteile verwiesen waren, weshalb sie sich am Corpus Iuris abzuarbeiten hatten und sich daran ihre Sachkunde entfalten konnte: andererseits erschwerte dieser bindende Verweis auf ein unhandliches, umfangreiches Gesetzeswerk komplexen Inhalts und mit einer komplizierten Struktur – erst am Ende des 50. Buches der Digesten waren 246 zu berücksichtigenden Definitionen und 211 alte Rechtsregeln zusammengestellt worden den Nichtjuristen jegliches konkretes Kennenlernen des Rechts: es war für sie nicht einfach, sondern extrem kompliziert, eigentlich nahezu unmöglich, sich in einem Recht zurechtzufinden, das mit des Volkes ihr eigenes Verhalten regulieren sollte. Der Preis dafür, dass es für die Juristen einfach geworden war, die jeweils anzuwendende Rechtsnorm zu finden und mit höchster Evidenz die Unrichtigkeit eines menschlichen Verhaltens wie die Richtigkeit eines Gerichtsurteils nachzuweisen, war die Rechtsfremdheit des Volkes wegen der Volksfremdheit des Rechts. Entfremdung für die einen als Folge von Einfachheit für die anderen.

Die im Voranstehenden dargelegten Ansprüche römischen Juristendenkens, einen *einfachen*, zu einem eindeutigen Ergebnis führenden Weg in das geltende Recht zu bieten, machten auch methodisch Schule, als Mitteleuropa daran ging, eigenständige Kodifikationen auf den Weg zu bringen. Bei Friedrich II., dem sogenannten Großen, hieß es in seinem Akademievortrag von 1749 "Über die Gründe, Gesetze einzuführen oder abzuschaffen":

"Ein vollkommenes Gesetz wäre das Meisterstück des menschlichen Verstandes im Bereich der Regierungskunst. Man müsste darin so genaue und angemessene Bestimmungen finden, dass ein nach ihnen regierter Staat einem Uhrwerke gliche. Die einzelnen Bestimmungen müssten so klar und genau sein, dass jeder Streit um die Auslegung ausgeschlossen wäre."

^{19 &}quot;Constitutio Tanta"(21, 24), in: Corpus Iuris Civilis, lat./dt., Bd. 2, Heidelberg 1995, S 87ff

²⁰ Gustav B. Volz (ed.), Die Werke Friedrichs des Großen in deutscher Übersetzung, Berlin 1913, Bd. VIII, S. 22ff.

110 Hermann Klenner

Klar und genau, folglich kein Streit mehr möglich, ob etwas richtig oder falsch ist, mit einem Wort: einfach! Als Friedrichs Nachfolger im Amt das Allgemeine Landrecht für die Preußischen Staaten 1794 in Kraft setzte, da stellte er dem vierbändigen Werk mit seinen nahezu zwanzigtausend Paragraphen ein Publikationspatent voran, in dessen Art. XVIII es hieß, dass "bey Vermeidung Unserer höchsten Ungnade und schwerer Ahndung" niemand sich eine eigenmächtige Abweichung "von den klaren und deutlichen Vorschriften der Gesetze auf den Grund eines vermeinten philosophischen Raisonnements" erlauben möge. Klar und deutlich, folglich kein Streit mehr möglich, ob etwas richtig oder falsch ist, mit einem Wort: einfach! Allerdings war in § 47 der Einleitung des Gesetzes die Notbremse gezogen worden: wenn ihnen der Inhalt des ALR zweifel- oder lückenhaft erscheint, seien die preußischen Richter verpflichtet, sich an die Gesetzkommission zu wenden. Der Preis, den Preußens Gesetzgeber für ihren Versuch, ein vollständiges Gesetzbuch zu bieten, zu zahlen bereit waren, bestand in Detailregelungen ohne Ende, von denen wenigstens "Von den rechtlichen Folgen des unehelichen Beischlafs" genannt seien, die in mehr als einhundert Paragraphen nebst Anhangsbestimmumgen geregelt worden waren (II, 1, §§ 1015-1199). Wenn auch auf einem ganz anderen Niveau, so bestanden doch auch die Verfasser des Code Civil des Français von 1804 darauf, in einem in sich geschlossenen System von 2.281 Paragraphen das ganze Zivilrecht so geregelt zu haben, dass die Gerichte in allen künftig vorkommenden Streitfällen ihre Urteile über Recht und Unrecht aus dieser Kodifikation und nur aus ihr zu deduzieren vermögen; weshalb sich auch kein Richter unter dem Vorwand des Schweigens, der Dunkelheit oder anderer angeblicher Unzulänglichkeiten des Gesetzes weigern dürfe, prozessentscheidend zu urteilen (so: Art. 4 Code civil). Also: alles Zivilrecht ist einfach im Code zu finden. Wesentlich realistischer Österreichs Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch von 1812, § 7:

"Lässt sich ein Rechtsfall weder aus den Worten, noch aus dem natürlichen Sinne eines Gesetzes entscheiden, so muss auf ähnliche, in den Gesetzen bestimmt entschiedene Fälle, und auf die Gründe anderer damit verwandten Gesetze Rücksicht genommen werden. Bleibt der Rechtsfall noch zweifelhaft; so muss solcher mit Hinsicht auf die sorgfältig gesammelten und reiflich erwogenen Umstände nach den natürlichen Rechtsgrundsätzen entschieden werden."

Als einzige Kodifikation souverän das Schweizerische Zivilgesetzbuch von 1907, so Art. 1:

"Das Gesetz findet auf alle Rechtsfragen Anwendung, für die es nach Wortlaut oder Auslegung eine Bestimmung enthält. Kann dem Gesetz keine Vorschrift entnommen werden, so soll der Richter nach Gewohnheitsrecht und, wenn auch ein solches fehlt, nach der Regel entscheiden, die er als Gesetzgeber aufstellen würde. Er folgt dabei bewährter Lehre und Überlieferung."

Der Dominanzanspruch der Gesetze gegenüber den Gerichten ist in der Rechtsordnung der deutschen Gegenwart legalisiert und legitimiert, was sich aus den Grundgesetz-Artikeln 20 III und 97 II: "Die Richter sind unabhängig und nur dem Gesetz unterworfen", sowie aus dem Gerichtsverfassungsgesetz (§ 1), der Strafprozessordnung (§ 60) und der Zivilprozessordnung (§ 300) ergibt). Dieser Anspruch hat dazu geführt, dass sich der allergrößte Teil des modernen rechtswissenschaftlichen Schrifttums mit der Auslegung der jeweils geltenden Gesetze befasst. Gesetze bewegen sich nun einmal in abstrakten Ausdrücken und bieten für eine unübersehbare Menge von innergesellschaftlichen Streitfällen Entscheidungsnormen, mit deren Hilfe zunächst die Ansprüche des einen Rechtsadressaten an einen anderen Rechtsadressaten begründet werden, um schließlich dann den Gerichten als Grundlage für ihre Urteile zu dienen. Das judicium ist als richterliches zugleich ein (formal-)logisches Urteil. Dieser sogenannte Justizsyllogismus, die Subsumtion eines konkreten Sachverhalts des Lebens unter den generellen Tatbestand eines Gesetzes ist seinem logischen Status nach ein Schluss vom Allgemeinen auf das Besondere.²¹

Leibniz, von Haus aus Jurist, hielt es für möglich, dass mit den Mitteln eines mathematischen Denkens auch in anderen Wissensgebieten – ausdrücklich nennt er die Jurisprudenz! – "ein gut Teil der Streitigkeiten" beendet werden könne, und den römischen Rechtsgelehrten bescheinigte er gar, dass sie uns "einige schöne Proben beweisender Schlussfolgerungen gegeben haben". ²² Leibnizens Vision zielte auf eine für alle Wissensgebiete gültige, nicht bloß Evidenz, sondern Irrtumslosigkeit(!) ermöglichende Arbeitsweise – also allerhöchste *Einfachheit* – in Gestalt eines Rechnens auch außerhalb der Mathematik der Mathematiker. ²³ Diese Zielstellung erforderte seiner Meinung nach, auch die *ars judicandi* bei Juristen nach Art der Mathematiker in Kettenschlüssen zu betreiben, dabei weder einen undefi-

²¹ Vgl. die Analyse aller gültigen Justizsyllogismen bei Ota Weinberger, Rechtslogik, Wien 1970, S. 160ff.; Ulrich Klug, Juristische Logik, Berlin 1982, S. 48ff.

²² G. W. Leibniz, Fragmente zur Logik, Berlin 1960, S. 14–17, 90–91, 492; ders., Philosophische Schriften und Briefe, Berlin 1992, S. 90.

²³ Vgl. die in den Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften Bd. 110, Jg. 2011, S. 43, von mir zusammengestellten Belege.

112 Hermann Klenner

nierten Ausdruck, noch eine unbewiesene Aussage zu akzeptieren. Immanuel Kant hielt die tatsächlich vorgebrachte Idee, Vertragsformeln zu entwerfen, die keiner verschiedenartigen Auslegung fähig wären, so dass infolge ihrer Eindeutigkeit keine Rechtsstreitigkeiten über den Vertragsinhalt mehr entstehen könnten, an die Voraussetzung, einer "der mathematischen ähnlichen Formel als einzigen ächten Probierstein einer konsequent bleibenden Gesetzgebung" gebunden, aber das sei nur "ein frommer Wunsch". 24 Hingegen verglich Friedrich Carl von Savigny die Sicherheit, mit der die Juristen des antiken Rom vorgegangen seien, mit derjenigen der Mathematiker, weshalb man ohne Übertreibung sagen könne, dass sie mit ihren Begriffen gerechnet haben, 25 und unter Berufung auf Leibniz hatte schon Savignys Vorläufer, Gustav Ritter von Hugo, behauptet, dass es keine Klasse von Schriftstellern gebe, "die im konsequenten Schließen aus Prinzipien so sehr verdienten, den größten Mathematikern an die Seite gesetzt zu werden, als grade die Juristen", ²⁶ was damals allerdings Hegel veranlasste, diesem Hugo (nicht aber Leibniz!) vorzuwerfen, Verstand und Vernunft verwechselt zu haben 1

4

Träfe es zu, dass man die in Rechtswissenschaft und Rechtspraxis erforderlichen Beweisführungen nach Leibnizens Anregung kalkülisieren, sie also mit Hilfe eines *calculus ratiocinators* als Moment einer *characteristica universalis* so umformulieren könne, dass man bei ihrer Benutzung nicht mehr an die inhaltliche Bedeutung der Ausdrücke zu denken braucht, dann würde die Rechtswissenschaft ähnlich der Mathematik zu einer *einfachen*, weil keinerlei Anlass zum Streit darüber bergenden Disziplin werden, ob etwas richtig sei.

Ließe sich die gerichtliche Urteilfindung unter rechtsstaatlichen Verhältnissen auf Subsumtionsschlüsse aus dem jeweils geltenden Rechtssystem, auf Justizsyllogismen also, reduzieren, gäbe es zwar Klassen-, aber

²⁴ Kant, Rechtslehre. Schriften zur Rechtsphilosophie, Berlin 1988, S. 296, 511; vgl. auch die vielzitierte Behauptung aus der Vorrede zu seinen Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft von 1786 (A IX), "dass in jeder besonderen Naturlehre nur soviel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist".

²⁵ Savigny, Vom Beruf unsrer Zeit für Gesetzgebung und Rechtswissenschaft, Heidelberg 1814, S. 29.

²⁶ Gustav Ritter von Hugo, Lehrbuch der Geschichte des Römischen Rechts, Berlin 1818, § 289.

²⁷ G. W. F. Hegel, Grundlinien der Philosophie des Rechts, Berlin 1981, S. 38, 410 (Hamburg 2013, S. 30).

keine Willkürjustiz. Schließlich liefert die Logik absolute Wahrheiten. Anders als die Legislative und die Exekutive wäre dann die Judikative keine Ausübung eigener Macht, sondern eine bloß "logische Funktion". ²⁸ Dann wäre es auch einfach, Feuchtwangers Romanfigur Landgerichtsdirektor Dr. Hartl, der sich mit seiner "gut bayrisch konservativen Überzeugung juristisch hinreichend souverän fühlte, mit Hilfe der zur Verfügung stehenden biegsamen Paragraphen jeden Spruch, der ihm beliebte, formal überzeugend zu begründen", ²⁹ wegen Rechtsbeugung (StGB § 339) zu belangen. Der Richter, hieß es bei Fichte, habe lediglich zu entscheiden, was geschehen ist und das dazu passende Gesetz anzuführen, denn der Urteilsspruch müsse schon im Gesetz enthalten sein, wenn die Gesetzgebung eindeutig und vollständig ist, wie sie sein solle. ³⁰ Kann aber eine Gesetzgebung überhaupt "eindeutig und vollständig" also einfach zu durchforsten sein, ob es einschlägige Rechtsnormen gibt? Kann die Rechtsordnung einer Gesellschaft die Gestalt eines vollständigen Rechtssystems eindeutiger Elemente annehmen und dadurch keinerlei Anlass zum Streit darüber, "ob etwas richtig ist", in sich bergen, also *Einfachheit* garantieren?

Wäre das Rechtssystem einer Gesellschaft wirklich eine vollständige und widerspruchsfreie Menge von unterschiedlich abstrakten Rechtsnormen, aus der ohne Zuhilfenahme von Empirie mit ausschließlich logischen Mitteln wie aus einem entscheidungsdefiniten Handlungsprogramm lückenloser Regeln, alle als rechtmäßig zu charakterisierenden Gerichtsurteile und Verwaltungsentscheidungen über Recht und Unrecht abgeleitet werden können, stünde einer vollständigen Axiomatisier- und Automatisierbarkeit der Verwaltungs- und Gerichtstätigkeit nichts Grundsätzliches im Wege. In diese Richtung weisende Theorien liegen vor: Das Rechtssystem jeder Gesellschaft sei als Stufenbau einer in sich geschlossenen, von allem Soziologischen, Historischen, Politischem und Ideologischen abschließbaren Normenordnung, eben als "reines Recht", angemessen zu begreifen. Oder, in hochgestochener, geradezu dialektisch anmutender Form: die Rechtsordnung einer Gesellschaft in Gestalt ihrer Normen, Institutionen und Dogma-

²⁸ So tatsächlich Carl von Rotteck (1775–1840), "Konstitutionelles Prinzip" [1836], in: Rechtsphilosophie bei Rotteck/Welcker. Texte aus dem Staats-Lexikon, Freiburg 1994, S. 353.

²⁹ Lion Feuchtwanger, Erfolg [1929], Berlin 1950, S. 21; vgl. die umfassende Analyse von Reiner Scheel, Literarische Justizkritik bei Feuchtwanger [...], Essen 2008, S. 124–160: "Feuchtwanger oder die Instrumentalisierung der Justiz durch die Politik".

³⁰ Fichte, Grundlage des Naturrechts [1796], Hamburg 1991, S. 103.

³¹ Vgl. Hans Kelsen, Reine Rechtslehre [1934/1960], Wien 1976; ders., Werke, Bd. 1, Tübingen 2007, S. 20ff.

114 Hermann Klenner

tiken sei ein sich selbstprogrammierendes "autopoietisches System", das sich in Reaktion auf seine eigenen Impulse, auch Außerrechtliches verarbeitend, selbstreferenziell weiterentwickeln könne.³²

Ohne die in allen Ländern und zu allen Zeiten nachweisbaren Rechtsbrüche durch Gerichte bagatellisieren oder den Verdacht nähren zu wollen, dass diese Gerichte unter rechtsstaatlichen Bedingungen entscheiden können, nicht wie es die Gesetze vorschreiben, sondern wie sie selbst Recht von Unrecht zu unterscheiden für richtig halten, wäre die Annahme doch grundverkehrt, dass die richterliche Tätigkeit ausschließlich in angewandter Subsumtionslogik bestehen könnte. Was die im Strafverfahren erforderliche Einschätzung des empirisch wahrnehmbaren Sachverhalts anlangt, so entscheidet das Gericht im Ergebnis der Beweisaufnahme ohnehin nach seiner "freien, aus dem Inbegriff der Verhandlung geschöpften Überzeugung" (§ 261 StPO). US-Amerikanischem Vorbild (des sogenannten "bargainings") gemäß können seit einigen Jahren auch deutsche Strafrichter mit den Verfahrensbeteiligten das Strafmaß "unter freier Würdigung aller Umstände" aushandeln (StPO § 257 c). Selbst ein eindeutig scheinender Gesetzeswortlaut bietet bloß eine Bandbreite rechtlich zulässigen Argumentierens und Entscheidens. Im besten Fall sind Gesetze korrekte Momentaufnahmen einer sich schließlich weder in ihrer Makro- und Mikrostruktur noch in ihrer künftigen Entwicklung vollständig reflektierbaren Wirklichkeit. Sogar an banalen Beispielen lässt sich demonstrieren, dass das Recht einer Gesellschaft zu keinem abgeschlossenen System lückenloser Regeln dergestalt perfektioniert werden kann, dass die Gerichte, um zu stringenten Urteilen zu gelangen, sich damit begnügen könnten, ausschließlich deduktivlogisch zu operieren:

Erstens: In nahezu jedem Gesetz finden sich Worte mit umfangreichen Bedeutungszonen und außerdem umstrittenen Inhalts, deren Auslegungsbreite durch Gesetzgebung und Gerichtsurteile zwar eingeengt, aber nicht unmissverständlich gemacht werden kann, und Unmissverständlichkeit ist nun einmal eine Vorbedingung von streitvermeidender Einfachheit. Die in den BRD-Grundgesetz-Artikeln 1, 56, 64 sowie in der Präambel der Europäischen Konvention zum Schutze der Menschenrechte und Grundfreiheiten von 1950 hervorgehobene "Gerechtigkeit" ist ein Streitobjekt ohnegleichen, was ihren Sinn ausmacht, und es ist chancenlos, wenn es darum geht, etwas zu finden, was keinen Anlass zum Streit darüber bietet, ob etwas gerecht,

³² Vgl. Niklas Luhmann, Ausdifferenzierung des Rechts, Frankfurt 1981; Gunther Teubner, Recht als autopoietisches System, Frankfurt 1989.

also einfach weil richtig ist.³³ Gleiches gilt für die in den Artikeln 2 und 3 des seit dem 1. Dezember 2009 verbindlichen "Vertrages über die Europäische Union" (EUV) beschworene Wertegemeinschaft, "auf die sich die Union gründet", und die sie zu fördern verpflichtet ist. Laut Grundgesetz-Artikel Art 14 II soll der Gebrauch des Eigentums "dem Wohle der Allgemeinheit dienen", und der in den GG-Artikeln 20, 23 und 28 genannte "soziale Rechtsstaat" wird als ein am "Gemeinwohl" orientierter Staat charakterisiert.³⁴ Doch wie von Schumpeter zutreffend festgestellt worden ist. , there is no such thing as a uniquely determined common good that all people could agree on or be made to agree on by the force of rational argument". 35 Selbst begnadete Hermeneutiker würden versagen, wenn sie rational zwingend definieren sollten, was mit "seelischen Verletzungen" von Kindern im Rahmen ihrer gewaltfreien Erziehung gemeint ist, die von § 1631 BGB für unzulässig erklärt worden sind. Die Kommentierung der sogenannten königlichen BGB-Paragraphen 138 ("Ein Rechtsgeschäft, das gegen die guten Sitten verstößt, ist nichtig") und 242 ("Der Schuldner ist verpflichtet, die Leistung so zu bewirken, wie Treu und Glauben mit Rücksicht auf die Verkehrssitte es erfordern") ist inzwischen auf mehr als eintausend Seiten im Lexikonformat angewachsen, ohne dass auch nur die geringste Chance bestünde, "Treu und Glauben" oder "gute Sitten" so zu definieren, dass eine logisch zwingende Ableitung für künftige Zivilprozesse zu erhoffen wäre. Dass von den jährlich 25.000 erfolgten Anzeigen wegen unbefugten Nachstellens nur 500 vor Gericht landen, könnte gewiss nicht durch eine noch wortreichere Charakterisierung von Stalking im Gesetz (StGB § 238, Abs. I–IV) verändert werden. Die Erweiterung des allseits bekannten Schwangerschaftsabbruchs-Paragraphen 218 durch die §§ 218a, 218b, 218c, 219, 219a, 219b hat die Rechtslage keineswegs eindeutiger gemacht, was wohl die Illusion der Parlamentarier war. Nicht durch längere Gesetze oder ausufernde Durchführungsbestimmungen lässt sich deren Vagheitsgrad auf einen Nullwert reduzieren. Eher im Gegenteil. Heißt es doch bei Hobbes: "All words are subject to ambiguity; and therefore multiplication of words in the body of the law, is multiplication of ambiguity."36

³³ Vgl. H. Klenner, Historisierende Rechtsphilosophie, Freiburg 2009, S. 649–697: "Juristenaufklärung über Gerechtigkeit".

³⁴ Benda/Maihofer/Vogel (ed.), Handbuch des Verfassungsrechts, Berlin 1994, S. 796.

³⁵ Joseph A. Schumpeter, Capitalism, Socialism and Democracy [1943], London 2010, S. 226 (Tübingen 1987, S. 399: "es gibt kein solches Ding wie ein eindeutig bestimmtes Gemeinwohl, über das sich das ganze Volk kraft rationaler Argumentation einig wäre oder zur Einigkeit gebracht werden könnte").

³⁶ Hobbes, Leviathan, Cambridge 1994, S. 240 (deutsch: Hamburg 2004, S. 295).

116 Hermann Klenner

Zweitens: Gerade im Strafrecht, jenem Rechtsgebiet, dem man im Interesse der Rechtssicherheit der Bürger die präzisesten Ermessens-Limitierungen zu wünschen versucht ist, sind die Sanktionen für rechtswidriges Verhalten im Allgemeinen nur durch einen Strafrahmen vorgegeben, der vom Gericht in einem zu begründenden Urteil auf den konkreten Fall zugeschnitten werden darf und muss. So können laut gegenwärtigem deutschen Strafrecht der Hochverräter gegen ein Bundesland wie der Terrorist mit einer Freiheitsstrafe von sechs Monaten bis zu zehn Jahren rechnen (StGB §§ 82, 129a), der Volksverhetzer (§ 130) mit Geldstrafe oder Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren; auch wenn bei den Straftaten gegen die körperliche Unversehrtheit in den §§ 223–231 zwischen Körperverletzung, Gefährlicher Körperverletzung, Misshandlung von Schutzbefohlenen, Schwerer Körperverletzung, Körperverletzung mit Todesfolge, Eingewilligter Körperverletzung, Fahrlässiger Körperverletzung sowie Beteiligung an einer Schlägerei (mit jeweils anderem Strafrahmen von einer geringen Geldstrafe bis zu 15 Jahren Freiheitsstrafe) unterschieden wird, lässt sich keine noch weitergehende Differenzierung ausdenken, die eine eindeutige Zuordnung einer exakt bestimmten Strafe auf jede denkbare Form von Körperverletzungen erlauben würde.

Drittens: In allen vor Gericht anstehenden Fällen, die der Gesetzgeber versehentlich oder absichtlich ungeregelt gelassen oder jedenfalls nicht direkt geregelt hat, bieten sich häufig sowohl der Umkehrschluss als auch der Analogieschluss zur Lückenschließung an. Allerdings sind das argumentum e contrario und das argumentum a simile logische Mittel mit entgegen gesetztem Ergebnis, woraus sich ergibt, dass deren Verwendung nicht oder jedenfalls nicht ausschließlich durch logisch zwingende Verfahren definiert werden kann. 37 Lässt sich aus der vom Bundesverfassungsgericht (BVerfGE 93, 1-25, Kruzifix) festgestellten Grundgesetzwidrigkeit der bayerischen Schulordnung von 1983, insoweit diese alle Volksschulen verpflichtet hatte, in jedem Klassenzimmer ein Kreuz anzubringen, mittels Analogie schlussfolgern, dass damit auch eine landesrechtliche Anordnung für verfassungswidrig gehalten wird, die das Anbringen eines Kreuzes (oder eines jüdischen oder islamischen Religionssymbols) in einem Gerichtssaal vorschreibt, oder müsste man mittels Umkehrschluss folgern, dass solch ein Gebot gestattet sei?

³⁷ Vgl. Ulrich Klug, Juristische Logik, Berlin 1982, S. 109, 137.

5

Als Beispielsmaterial für *Einfachheits*theoretiker sollen nachfolgend ohne Systematisierungs- oder Bedeutungsanspruch unterschiedliche Problemlagen im Gesetzgebungsprozess, bei der Interpretation des Rechts sowie bei dessen Rechtfertigung lediglich dargestellt, also bloß angeboten werden:

A) Je kürzer die Gesetze desto *einfacher* ihre Erfassung und effektiver ihre Folgen? Immer schon wird über die Länge von Gesetzen geklagt und die Quantität der jeweils geltenden Rechtsnormen als ein von ihrer Qualität unterscheidbares Bewertungskriterium betrachtet. Die Rechtsordnung eines Staates zu vereinfachen, hieß stets, auch die Zahl der Rechtsnormen zu reduzieren und diese selbst kurz und bündig zu halten. Plurimae leges corruptissima res publica, warnte aus Erfahrung Tacitus. 38 James Harrington war der Meinung, dass Anzahl der Gesetze die Anzahl der Gerichtsprozesse determiniere.³⁹ Swifts Gulliver wusste von einem Land zu berichten, in dem kein Gesetz in der Zahl seiner Worte über die Zahl der Buchstaben seines Alphabets hinausgehen darf (und die belaufe sich auf zweiundzwanzig!). 40 Und Rousseau hielt jeden Staat, in dem es mehr Gesetze gibt, als das Gedächtnis seiner Bürger fassen kann, für schlecht eingerichtet. ⁴¹ Aber es war nicht die nur knappe Zwölftafel-Kodifikation aus dem fünften vorchristlichen Jahrhundert, 42 sondern Kaiser Justinians in fünfzig Bücher gegliederte Gesetzessammlung von 533 u.Z., die mit ihren einhundertfünfzigtausend Zeilen Text im anderthalbfachen Umfang der Bibel eine europaweite Renaissance erlebte. Andererseits war Preußens Allgemeines Landrecht von 1794 mit seinen 19.187 (nicht durchgezählten, sondern kompliziert strukturierten) Paragraphen selbst von ihren Autoren für viel zu lang gehalten worden, weshalb einer von ihnen eine radikal komprimierte Version des Ganzen schon vorab als Unterrichtung für gebildete Bürger publizierte, nachdem er davor in einer Zeitschrift geäußert hatte, "dass wir ein doppeltes Gesetzbuch nötig haben, eines für den Richter und die Rechtsgelehrten; und das andere für das Volk". Also Koexistenz von *Einfachheit*

³⁸ Tacitus (ca. 55–120 u.Z.), Annalen, München 1992, S. 232 (III, 27).

³⁹ James Harrington, Oceana [1656], Cambridge 1992, S. 41 (deutsch: Leipzig 1991, S. 59).

⁴⁰ Jonathan Swift, Gulliver's Travels, Oxford 1959, S. 136 (deutsch: Berlin 1961, S. 157).

⁴¹ Jean-Jacques Rousseau, Kulturkritische und politische Schriften, Bd. 1, Berlin 1989, S. 528.

⁴² Vgl. Dieter Flach, Die Gesetze der frühen Römischen Republik. Text und Kommentar, Darmstadt 1994, S. 109–207: "Lex duodecim tabularum" (lat./dt.).

⁴³ C. G. S. [Carl Gottlieb Suarez], Unterricht über die Gesetze für die Einwohner der Preussischen Staaten, Berlin 1793, mit gutem Sachregister; vgl. auch vom selben Autor: "In wie fern können und müssen Gesetze kurz sein?", in: Berlinische Monatsschrift, Bd. 12, Au-

118 Hermann Klenner

und Kompliziertheit aus Resignation oder in wohlbegründeter Absicht? Jedenfalls hängen weder Effektivität des Rechts noch Rechtsfremdheit des Volkes einfach von der Kürze der Gesetze ab, deren komplizierter Struktur oder dem Jargon der Juristen.

- *B)* Digitalisierung versus *Einfachheit*: Ungeachtet ihrer sprachlichen Ausdrucksvielfalt als Gebot, Verbot und Erlaubnis von menschlichem Tun und Unterlassen eignet Rechtsnormen eine logische Standardstruktur. Deontisch gleichbedeutend sind nämlich:
- ein gebotenes Tun, ein verbotenes Unterlassen und ein nichterlaubtes Unterlassen;
- ein verbotenes Tun, ein gebotenes Unterlassen und ein nichterlaubtes Tun:
- ein erlaubtes Tun, ein nichtgebotenes Unterlassen und ein nichtverbotenes Tun:
- ein nichtgebotenes Tun, ein nichtverbotenes Unterlassen und ein erlaubtes Unterlassen.

Demzufolge ließe sich mit Hilfe eines einzigen binären Normativoperators (... ist geboten/ist nicht geboten...) ein das Tun und Unterlassen von Menschen regelndes Normensystem darstellen, was eine automatisierbare Beantwortung der in jedem Gesetzgebungsverfahren unumgänglichen Frage ermöglichen würde, zu welchen Widersprüchen und Überschneidungen ein vorgesehenes Gesetz innerhalb einer bereits geltenden Rechtsordnung führen würde. Gleichzeitig aber würde diese Reduktion der sprachlichen Ausdrucksweise von Rechtsnormen das Verstehen des Rechts bei seinen Adressaten nicht *erleichtern*, sondern bis hin zu seiner Unverständlichkeit *komplizieren*.

C) Vereinfachung versus Grundgesetz: Der grundgesetzgemäße Gang der BRD-Gesetzgebung a) Gesetzesinitiative beim Bundestag (eine Fraktion oder mindestens 5% der Abgeordneten können unmittelbar Gesetzentwürfe einbringen), beim Bundesrat (die der Bundesregierung zuzustellenden Gesetzentwürfe sind samt einer Stellungnahme binnen sechs Wochen an den Bundestag weiterzuleiten) und bei der Bundesregierung (deren Gesetzent-

gust 1788, S. 99–112, wobei er, S. 100, erwähnt, dass der Hochselige König (das war Friedrich II.), als ihm der ALR-Entwurf vorgelegt wurde, unter den Bericht geschrieben hatte: "Gut, aber es ist ja so dikke. Gesetze müssen kurz sein".

⁴⁴ Georg Henrik von Wright, Norm and Action, London 1963; Karl A. Mollnau (ed.), Probleme einer Strukturtheorie des Rechts, Berlin 1985.

würfe samt einer Stellungnahme des Bundesrates als Gesetzesvorlage an den Bundestag gehen); b) die beim Bundestag eingebrachten Gesetzentwürfe werden gedruckt an die Mitglieder verteilt; c) der ersten Beratung im Plenum des Bundestages folgt eine Beratung in Ausschüssen des Bundestages, danach zweite und dritte. Beratung nebst Schlussabstimmung im Plenum, danach d) über den Bundesrat, e) zur Bundesregierung, die durch Gegenzeichnung des zuständigen Bundesministers und der Bundeskanzlerin die politische Verantwortung für das Gesetz übernimmt; f) Vorlage des Gesetzes an den Bundespräsidenten, der, sofern keine verfassungsrechtlichen Bedenken bestehen, das Gesetz unterzeichnet, wonach es g) im Bundesgesetzblatt verkündet wird und damit in Kraft tritt. - Gewiss ließe sich dieser komplizierte Gang der BRD-Gesetzgebung vereinfachen, aber nur auf Kosten des Demokratie- und besonders des Föderalismusprinzips, die beide durch das Ewigkeitsgebotes von Grundgesetz-Artikel 79 III festgeschrieben sind. Generell: Einfachheitsüberlegungen sind wie die Rationalitätsanforderungen an ein demokratisches Gesetzgebungsverfahren nur systemimmanent zu begreifen. 45

D) Kompetenz-Vereinfachung chancenlos? Wie auch immer die Kompetenzverteilung geregelt wird, so bleibt doch im folgenden Fall die Verpflichtung zu einer Versorgung mit erneuerbarer Energie zwischen gemeindlicher Selbstverwaltung, Bundesgesetzgebung und globalem Klimaschutz einfach auf der Strecke: Die Stadtverordnetenversammlung der Stadt Marburg hat auf dem Weg zur Energieautonomie im Juni 2008 eine Solarsatzung beschlossen, die von der Kommunalaufsicht des Regierungspräsidiums in Gießen beanstandet wurde, wogegen wiederum Marburg beim Verwaltungsgericht geklagt hat, welches die Klage der Stadt Marburg im Mai 2010 mit der Begründung abwies, dass a) der Satzungsgeber keine Kompetenz zu Regelung einer Solarpflicht hat, dass b) die Satzungsregelungen unverhältnismäßig seien, dass c) Gebäude von bis zu 50 m² Nutzfläche zu begünstigen seien, dass d) die vorgesehen Ausnahmebestimmungen gegen das grundgesetzliche Gleichheitsgebot verstießen, weshalb e) die Satzung insgesamt unwirksam sei, es sei denn, dass in einem Berufungsverfahren der Hessische Verwaltungsgerichtshof anders entscheide. 46

⁴⁵ Vgl. Georg Lienbacher, "Rationalitätsanforderungen an die parlamentarische Rechtsetzung", in: Veröffentlichungen der Vereinigung der Deutschen Staatsrechtslehrer, Bd. 71, Köln 2012, S. 45.

⁴⁶ Dokumentation der juristischen Auseinandersetzung in: Solarzeitalter, Jg.22, 2010, Nr. 2, S. 44–47.

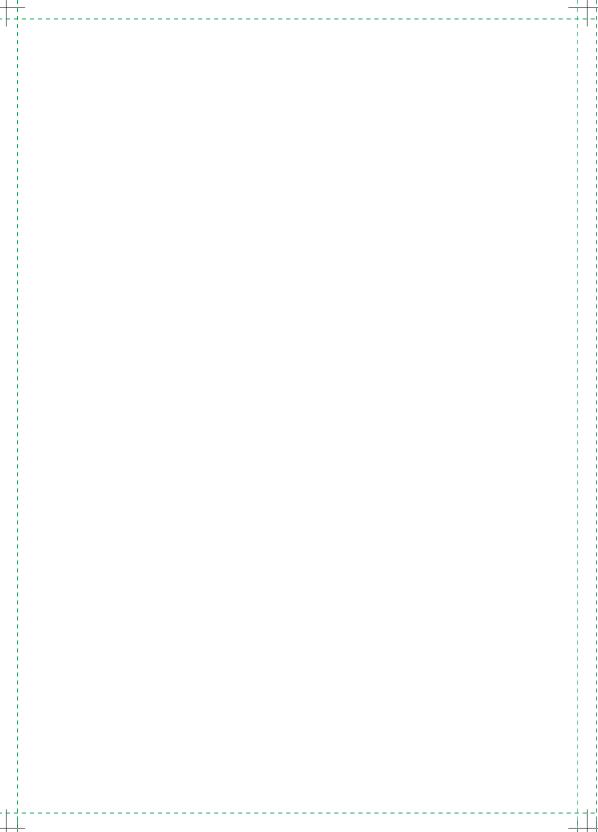
E) Streitvermeidung als Einfachheits- und Effektivitätskriterium? Haben Art. 7 der DDR-Verfassung von 1949 ("Mann und Frau sind gleichberechtigt. Alle Gesetze und Bestimmungen, die der Gleichberechtigung der Frau entgegenstehen, sind aufgehoben") und das bundesdeutsche "Gesetz über die Gleichberechtigung von Mann und Frau auf dem Gebiete des bürgerlichen Rechts" vom 18. Juni 1957 die vorherige Rechtslage vereinfacht oder kompliziert? Zuvor hatte nämlich das am 1. Januar 1900 in Kraft getretene deutsche BGB durch seine §§ 1354 und 1363 ("Dem Manne steht die Entscheidung in allen das gemeinschaftliche eheliche Leben betreffenden Angelegenheiten zu ... Das Vermögen der Frau wird durch die Eheschließung der Verwaltung und Nutznießung des Mannes unterworfen") Regelungen enthalten, mit deren Hilfe die möglichen Streitigkeiten zwischen Ehepartnern vor Gericht ganz einfach zu entscheiden waren. Also: Widerspruch zwischen formaler und materialer Rationalität mit Bezug auf Einfachheit?

F) Gegensatzinteressen von Autor und Adressat des Rechts in Bezug auf Einfachheit? In allen entwickelteren Gesellschaften ist das Recht keine bloße Summe, sondern eine Gesamtheit verbindlicher Verhaltensregeln, keine Normenkompilation, sondern ein mehr bis minder wohlstrukturiertes System von Rechtsnormen. Eine erschöpfend gedachte Zusammenfassung der Rechtsnormen eines ganzen Rechtsgebietes in einem einheitlichen Gesetzeswerk, einer Kodifikation (BGB, StGB, ZPO etc.), führt zu einem komplizierten Verflochtensein unterschiedlich abstrakter Verhaltensregeln und schließlich dazu, dass die einzelne Rechtsnorm ohne eine gleichzeitige Berücksichtigung einer unbestimmten Anzahl anderer Rechtsnormen disparater Regelungsbereiche und unterschiedlichen Abstraktionsgrades weder verstanden noch den Intentionen des Gesetzgebers und der Gerichte gemäß angewandt werden können. Auch ein geschulter Jurist braucht Stunden, um den Regelungsgehalt der BGB-Paragraphen 309 oder § 2013 auszuloten oder die normative Verweisungskette der §§ 581/535/582–584b/543/536b/ 536d/539/536a/677 zu begreifen, obwohl es sich dabei um Allgemeine Geschäftsbedingungen, um Erbschafts- und um Pachtprobleme handelt, also um Jedermanns-Angelegenheiten. Die Systemstruktur des BGB operiert bei dem scheinbar simplen, tagtäglich erlebbaren Vorgang des Kaufens und Verkaufens mit Normen auf mindestens viererlei Abstraktionsstufen: Den Einzelnen Schuldverhältnissen, zu deren Untertypen (neben dem Tausch-, dem Miet-, dem Pacht-, dem Darlehens-, dem Arbeits- und dem Werkvertrag) auch der Kaufvertrag gehört, sind die allgemeinen Schuldverhältnisse und innerhalb dieser noch Schuldverhältnisse aus Verträgen vorgegliedert, und

allen diesen Regelungen wiederum ein Allgemeiner Teil des ganzen Gesetzes; um die Unübersichtlichkeit (für Laien) zu komplettieren: das eigentliche Ziel eines Kaufvertrages, der Eigentumsübergang der verkauften Sache, findet sich im BGB erst fast fünfhundert Paragraphen später geregelt. Außerdem führt die nachträgliche Aufnahme neuer Regelungen in ein kodifiziertes Rechtsgebiet häufig zu noch schwerer zu verstehenden Paragraphentexten: In seiner auf Grund einer Vorgabe von EU-Recht erweiterten Fassung des StGB von 2002 verweist sein monströser § 129 a, der die Bildung terroristischer Vereinigungen (§ 129b: auch die im Ausland!) mit Freiheitsstrafe bis zu zehn Jahren bedroht, auf nicht weniger als 42 andere Strafrechtsparagraphen, die aufzudröseln einem Nichtjuristen nahezu unmöglich ist. Wenn man in dem die Überwachung der Telekommunikation regelnden § 100 a der Strafprozessordnung alle erwähnten anderen Paragraphen im vollen Wortlaut wiedergeben würde, ohne deren Verständnis aber dieser § 100a nicht verstanden werden kann, wäre das Ergebnis eine kleinere Broschüre, deren Inhalt sich einzuprägen ein tagelanges Studium voraussetzen wiirde

Einfachheit in der Jurisprudenz? Goethes "Alles ist einfacher, als man denken kann, zugleich verschränkter, als zu begreifen ist", ⁴⁷ kann man auch als Aufgabe verstehen, Licht ins Dunkle zu bringen. In einer seiner meistzitierten Entscheidungen hat das deutsche Bundesverfassungsgericht festgelegt, dass "die Aufgabe der Rechtsprechung es insbesondere erfordern kann, Wertvorstellungen, die der verfassungsmäßigen Rechtsordnung immanent, aber in den Texten der geschriebenen Gesetze nicht oder nur unvollkommen zum Ausdruck gelangt sind, in einem Akt des bewertenden Erkennens, dem auch willenhafte Elemente nicht fehlen, ans Licht zu bringen und in Entscheidungen zu realisieren" (BVerfGE 34/269, 287). Von diesem "Licht" zu erwarten, dass es keinen Anlass zum Streit darüber in sich birgt, "ob etwas richtig ist", also jedermann zu einer Einsicht *einfach* zwingt, ist noch sehr die Frage. Jedenfalls: Ein *keep it simple!* gehört nicht zu den eingeborenen Tugenden von Juristen und ihrer Jurisprudenz.

⁴⁷ Goethe, Berliner Ausgabe, Bd. 18, Berlin/Weimar 1972, S. 651.



Einfachheit in der Chemie? – "Lasst, die ihr eintretet, alle Hoffnung fahren!" – Oder doch nicht ganz?

1. Vorbemerkungen

Der Beitrag war so erbeten worden, dass Leitlinien der historischen Entwicklung der Chemie als Fachdisziplin aufgezeigt werden, um daraus Belege für die erhoffte "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip in der Chemie" finden zu können. – Nach Albert Einstein die Dinge so einfach wie möglich, aber nicht einfacher darzustellen, das ist ohnehin das Anliegen für die schulische (Lutz 1995) bzw. – in meiner Berufspraxis – universitäre Lehre zu den Grundlagen der Chemie. Im Forschungsalltag, bei mir über Jahrzehnte betreffend die Entwicklung nichtmetallischer anorganischer Glasund Keramik-Werkstoffe, stößt man allerdings bei dem Bemühen um "Einfachheit" bald an Grenzen. Die hohen Anforderungen an Spezialwerkstoffe erfordern Kompromisse bei vielen Eigenschafts-Kennwerten, deren gemeinsame Optimierung im gewünschten Sinne sich manchmal wegen gegenläufiger Abhängigkeiten sogar ausschließt.

Zur "verführerischen Illusion *einfacher* Konzepte" hat unser Mitglied Charles Coutelle treffend Stellung genommen, wenn er in der Kurzfassung zu seinem in diesem Band enthaltenen Beitrag schreibt:

"Durch Vereinfachung reduzieren wir die Ganzheit der objektiven Realität auf den Teil, den wir für den untersuchten Gegenstand … als das Wesentliche zu erkennen meinen. Wir vernachlässigen dabei bewusst die objektiven komplexen Zusammenhänge in neben-, über- und untergeordneten Ebenen." (Coutelle 2014)

Die Geschichte der Chemie gibt zahlreiche Beispiele dafür, wie man sich einerseits im Wesen eines Vorgangs irren kann, wie andererseits solche Misserfolge neue oder erweiterte Ansätze befördern und so das Wesentliche immer klarer hervortreten lassen.

2. Was ist Chemie? Wie steht man zu ihr?

Chemie ist die Lehre von den Stoffen, ihrem Aufbau und ihren Reaktionen mit anderen Stoffen. Im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen dabei seit jeher die reaktionsbedingten *Stoffwandlungen* und die dabei geltenden Gesetzmäßigkeiten. Auch wenn die Chemie in der Öffentlichkeit meist verkannt, wenn nicht gar verteufelt wird, bleibt unbestritten, dass sie als Querschnittsdisziplin nicht nur für andere Naturwissenschaften von großer Bedeutung ist, sondern auch für Wirtschaft und Technik, somit aus unserem Leben kaum weggedacht werden kann.

Dem schlichten Oberbegriff "Chemie" verbunden fühlen sich allein in Deutschland mehrere wissenschaftliche Gesellschaften. Allein in der "Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (GDCh)" mit mehr als 30.000 Mitgliedern arbeiten 28 Fachgruppen und Sektionen, dazu Arbeitsgemeinschaften und gemeinsame Arbeitsgruppen mit anderen Fachgesellschaften, wie der "Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (DECHEMA)" mit über 5.800 Mitgliedern sowie der "Deutschen Bunsengesellschaft für Physikalische Chemie" mit 1.300 Mitgliedern. Zum Beispiel wird die "Arbeitsgemeinschaft Theoretische Chemie" von drei wissenschaftlichen Gesellschaften zugleich getragen, der GDCh, der "Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)" und der Bunsengesellschaft. Schon diese Differenzierung deutet ganz unterschiedliche Zielstellungen und Arbeitsweisen an. Sie sind zwar überwiegend naturwissenschaftlich ausgerichtet, oft aber auch wie die DECHEMA – stark ingenieurmäßig-verfahrenstechnisch orientiert. Manche Syntheseprogramme für Substanzen mit besonderen Strukturen etwa die Nachbildung der hochsymmetrischen Platonischen Körper Tetrahedran, Cuban, Dodecahedran – sind sogar künstlerisch-ästhetisch ambitioniert (Hoffmann 1995). In der Umkehrung finden Künstler in der Chemie Anregungen für ihre Werke, bis hin zu Ausstellungen "Chemie in Skulpturen" (Vízi 1990). Was noch das Ästhetische der Chemie betrifft, geht ein Biochemiker – zugegeben ziemlich euphorisch – sogar soweit, der chemischen Sprache (gemeint ist wohl vor allem die Formelsprache – D.L.) "eine große ästhetische Schönheit" zuzusprechen (Kornberg 1987).² – Jedenfalls haben sich bei aller Zugehörigkeit zur Chemie ihre vielen Richtungen so unterschiedlich entwickelt, dass "Einfachheit" wohl immer nur für Teilgebiete gelten könnte.

Internet-Abruf 15.06.2015.

² Im Original: "Chemical language has great esthetic beauty and links the physical sciences to the biological sciences."

Im allgemeinen steht man der Chemie reserviert gegenüber, verbreitet ist der Wunsch, möglichst "alles ohne Chemie" bekommen zu können. Wer aber erst einmal verinnerlicht hat, dass alles Leben in uns und das meiste Geschehen um uns herum wesentlich durch Chemie bestimmt wird³, sollte einsehen, dass dieser Traum beim besten Willen nicht zu erfüllen ist. Zur Aversion gegen die Chemie trägt bei vielen das Gefühl der Unverständlichkeit der komplizierten Formelsprache bei, bei Schülern und Studienanfängern dazu noch die Abneigung vor den als zu schwer empfundenen Stöchiometrie- und anderen Textaufgaben. Selbige erfordern neben Elementarmathematik allerdings tatsächlich logisches Denken – welche Wissenschaft verlangt das nicht? - und dazu noch das ungewohnte Springen zwischen Stoffmassen (z.B. in Milligramm) und Stoffmengen (z.B. in Millimol), also zwischen der alltäglichen "Makrowelt" und der befremdlichen atomar-molekularen "Mikrowelt" (Vogelezang/Rehm 2011). Hier durchdringen sich zwei Ebenen, die makroskopische der handhabbaren Substanzen und die mikroskopische, die zugrundeliegende Einheiten (Atome, Moleküle/Molekülteile, Elementarteilchen⁴) betrachtet, um die Prozesse besser verstehen zu können. Den der Chemie gegenüber Reservierten muss man allerdings zugestehen, dass chemische Prozesse schon angesichts der bisher bekannten über 100 Millionen Substanzen sehr mannigfaltig sind. Summa summarum: Die Hoffnung auf eine "einfache Chemie" wird bei vielen nur gering sein!

3. Wie steht es um die Philosophie der Chemie?

Schon in der Frühzeit der Quantenmechanik verwies der englische Physiker Paul Adrian Maurice Dirac (1902–1984) darauf, dass zwar nun die gesamte mathematische Theorie der Chemie bekannt wäre, nur die überaus komplizierten Gleichungen nicht gelöst werden könnten (Dirac 1929). Implizit gilt damit damals wie heute, dass die Chemie in ihren Grundlagen nicht einfach auf Physik oder Mathematik zu reduzieren sei, sondern selbst spezifische Aspekte einbringe (Hoffmann 2007; Earley 2008; Brakel 2014). Dass Gebiete wie die theoretische Chemie oder die instrumentelle Analytik sehr stark durch Physik und Mathematik bestimmt werden, bleibt natürlich unbestritten.

³ Auch die GDCh ist hier um Aufklärung bemüht, z.B. durch (Mädefessel-Herrmann, Hammar, Quadbeck-Seeger 2004).

⁴ Bei den Elementarteilchen genügt dem Chemiker meist das klassische Trio "Elektron – Proton – Neutron".

Was allerdings die Philosophie der Chemie betrifft, sind Chemiker über mindestens 150 Jahre weitgehend stumm geblieben; selbst für den größten Teil des 20. Jahrhunderts wird vom "poor cousin" gesprochen, dem armseligen Cousin der Wissenschaftsphilosophie (Bensaude-Vincent 2014). Der US-amerikanische Nobelpreisträger Roald Hoffmann (geb. 1937) sieht einen der Gründe für diese Blässe unserer Zunft im langen Nachwirken der strikten Ablehnung der um 1800 aufgekommenen Naturphilosophie (Hoffmann 1988), wie sie etwa Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1775-1854) oder Henrik Steffens (1773–1845) vertraten. Deren Ansichten waren den deutschen Experimentalchemikern viel zu spekulativ. Bei Justus von Liebig (1803–1873) heißt es, "die Thätigkeit, das Wirken der Naturphilosophen war die Pestilenz, der schwarze Tod des Jahrhunderts" (Liebig 1840). Goethe, geneigt zu philosophischen Naturbetrachtungen, spricht dennoch von der "igelborstigen Metaphysik", die Steffens in seinen "Grundzügen der philosophischen Naturwissenschaft" (1806) ausgebreitet habe (Goethe 1806). Formulierungen wie "der Diamant sei nichts anderes als ein zu sich selbst gekommener Quarz" mussten praktische Chemiker natürlich absto-Ben (Wöhler 1863). In der Sache gleich ablehnend, aber vornehm-akademisch äußerte sich Emil Du Bois-Reymond (1818-96) noch Jahrzehnte später, am 4. Juli 1872, in der Leibniz-Sitzung der Akademie der Wissenschaften, wie es aus einem von unserem Mitglied Siegfried Wollgast edierten Band hervorgeht (Wollgast 1974). Die Zeit war noch nicht reif für die heutige ausgewogene Bewertung (Ruben 1976). Nach Hoffmann führte das Vorbild von "Justus Liebig's Annalen der Chemie" über Deutschland weit hinaus zu einem sehr unpersönlichen Publikations-Stil, beschränkt auf die bloße Mitteilung gesicherter Befunde, ohne persönliche Eindrücke oder gar "Visionen" der Autoren. Die Akzeptanz neuer "Theorien" war nur sehr zurückhaltend; für philosophische Verallgemeinerungen fehlte sie lange ganz. -Solchen noch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts spürbaren Defiziten tritt verdienstvoll die seit gut 20 Jahren erscheinende Zeitschrift HYLE⁵ entgegen. Joachim Schummer (geb. 1963), von Anfang an als Herausgeber fungierend, legte auch eine einschlägige Bibliographie mit etwa 260 Arbeiten von DDR-Autoren vor (Schummer 1996), die einen Beitrag unseres Mitglieds Hubert Laitko (geb. 1935) ergänzt (Laitko 1995).

⁵ Gr. hyle, Materie, Urstoff im Sinne der ionischen Naturphilosophie.

4. Frühe Entwicklungsstufen der Chemie auf ihrem Wege zu einer ernstzunehmenden Disziplin

Károly Simonyi (1916–2001) bringt in seinem Kompendium zur Physikgeschichte ein Beispiel für eine moderne Reifeprüfung in Physik und nennt zu jeder Aufgabe die Jahreszahl zwischen 200 v. d. Zw. und 1850, in dem das jeweils zur Lösung benötigte Gesetz bekannt wurde. Danach hätte ein sehr gebildeter junger Mann schon 1690 etwa 50% der Punkte erreichen und mit Glück zum Studium zugelassen werden können (Simonyi 1995). In der Chemie wäre das undenkbar; vergleichbare Gesetze gab es bis 1690 nicht!

Das folgende Jahrhundert führte immerhin zu Erkenntnissen, die Antoine Laurent Lavoisier (geb. 1743, hingerichtet 1794) im Revolutionsjahr 1789 in seinem wahrlich auch die Chemie revolutionierenden Band "Traité élémentaire de chimie" resümieren ließen:

"Alle Wissenschaften bestehen notwendigerweise aus drei Dingen: Aus der Reihe der Fakten, die die Wissenschaft begründen, aus den Ideen, die sie auslösen, aus den Worten, durch die sie ausgedrückt werden".

Um die Fortschritte in diesen 100 Jahren zu verstehen, sollten dem Dreiklang

Fakten/Ideen/Worte noch mit Alexander von Humboldt (1769–1859) die in Band 2 seines "Kosmos" erwähnten "Ahnungen" vorangestellt werden⁶, etwa die Prinzipien der 5-, 4- und 3-Elementen-Lehren der frühen griechischen Atomistik bzw. der Alchemie. Die Versuche einer Zuordnung neuer realer Stoffe, also Elemente und Verbindungen im heutigen Sinne, zu den tradierten Prinzipien – Erde/Wasser/Feuer/Luft/(Äther) bzw. Quecksilber/Schwefel/Salz – hatten durch Mystizismus und bewusste Geheimniskrämerei zwangsläufig in eine Sackgasse geführt. Schon relativ früh erkannt hatte das Robert Boyle (1627–1691), der Mitbegründer der Royal Society, der in seiner Schrift "Der skeptische Chemiker" (1661) wichtige Fragen stellte, wie sie im Anhang zum Nach-

1. Ist das Feuer der "allgemeine Analysator" aller Körper?

druck seines Werks zusammengefasst sind (Boyle 1983):

- 2. Sind die Erhitzungsprodukte, die man so erhält, wirklich Elemente oder Prinzipien?
- 3. Ist die Zahl der Produkte, die man als Elemente oder Prinzipien ansprach, wirklich drei oder vier oder fünf?
- 4. Gibt es wirklich das, was man Element Salz, Element Schwefel, Element Quecksilber nennen könnte?
- 5. Gibt es überhaupt wirkliche Elemente oder Prinzipien?

^{6 &}quot;Überall geht ein früheres Ahnen dem späteren Wissen voraus."

Zwei Beispiele für die Zeitspanne zwischen dem späten 17. und dem Ende des 18. Jahrhunderts sollen belegen, wie diese "Ahnungen" eine systematische Zusammenstellung und Bewertung von Fakten anregten, auch wenn sie letztlich – mit dem Selbstbewusstsein von heute – nur als "empirische Erfolge unzutreffender theoretischer Ansätze" (Carrier 1992) eingestuft werden. Dass allerdings damit verbundene Hypothesen dennoch wertvoll sind, brachte schon Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799) in seinen Aphorismen in Erinnerung:

"Man muss Hypothesen und Theorien haben, um seine Kenntnisse zu organisieren, sonst bleibt alles bloßer Schutt, und solche Gelehrten gibt es in Menge."

4.1 Die "Phlogistonlehre" zum Thema: Wie erfolgen Verbrennungsvorgänge?

Entsprechend der um 1700 von Georg Ernst Stahl (1659–1734) propagierten Lehre ist das Phlogiston (gr. das Brennliche) in allen brennbaren Stoffen enthalten. Es entweicht bei der Verbrennung. Das führt bei Schwefel zu Phlogiston und dephlogistiertem Schwefel (= Schwefeldioxid SO₂), bei Metallen zu Phlogiston und Metallkalk (= Metalloxid). Umgekehrt war Phlogiston zuzugeben, z.B. in Form von als reich daran geltender Kohle, um aus Metallkalk wieder das Metall zu erhalten. Das aus heutiger Sicht natürlich elementare Metall war in dieser Lehre also zusammengesetzt, das Metalloxid dagegen wurde als Element betrachtet. Quantitativ stand die Phlogistonlehre somit "auf dem Kopf"; sie verhält sich zur Oxidationslehre Lavoisiers wie das Ptolemäische System in der Astronomie zur Kopernikanischen Wende (Tab. 1).

Tab. 1: Vergleich fundamentaler Aussagen der Phlogistonlehre mit denen von Lavoisier zur Verbrennung

Aussagen von Stahl	Aussagen von Lavoisier					
Die Verbrennung beruht auf dem Entweichen von Phlogiston	Die Verbrennung beruht auf einer Verbindung mit Sauerstoff					
Wasser ist ein Element; seine Verbindungen mit der ebenfalls elementaren "Erde" sind Säuren, Basen, Salze	Wasser ist kein Element					
Die "Metallkalke" sind Elemente	Die "Metallkalke" (heute: Metalloxide) sind aus Metallen und Sauerstoff zusammengesetzt					
Die Metalle sind Verbindungen aus den Elementen "Metallkalk" und Phlogiston	Die Metalle sind keine Verbindungen, sondern Elemente					

Mit Hilfe des ominösen, gar mit einer "negativen Masse" behafteten Phlogiston ließen sich die heute Redoxreaktionen genannten Vorgänge als umkehrbare Prozesse formulieren. Diese qualitativ neue Grundlage der Chemie kann als erste chemische Theorie überhaupt gelten (Remane 2010). Ersetzt man heute Phlogiston durch das Elektron als reduzierendes Agens, erscheint alles durchaus plausibel. Auf der Suche nach reinem Phlogiston wurden viele neue Stoffe erschlossen, z.B. auch die Gase Sauerstoff und Wasserstoff entdeckt. So erwies sich eine 100 Jahre wirkende Hypothese zwar als falsch, aber doch als sehr nützlich, was uns an Friedrich Schillers Ausspruch erinnert: "Wir gelangen nur selten anders als durch Extreme zur Wahrheit." -Extrem war auch das 1789 vom Ehepaar Lavoisier inszenierte Gericht: Der alte Mann "Phlogiston" wurde nach Anklage durch den Jüngling "Sauerstoff" zum Feuertod verurteilt, und Madame Lavoisier im Priestergewande verbrannte Schriften des schon 65 Jahre zuvor verstorbenen Angeklagten (Szabadváry 1973). Dessen ungeachtet existierte seine Lehre noch etliche Jahre neben der von Lavoisier (Chang 2010).

4.2 Die "Verwandtschaftstafeln" zum Thema: Welche Stoffe reagieren miteinander?

Étienne-François Geoffroy der Ältere (1672–1731), erläuterte 1718 in Paris, vor der Königlichen Akademie der Wissenschaften, seine "Tables des différents rapports observés en chimie entre différents substances", die sogenannten "Verwandtschaftstafeln". Danach sei die Affinität einer bestimmten Substanz gegenüber einer anderen (d.h. ihre Neigung zur Reaktion, bei ihm umschrieben als "Rapport") eine feststehende Größe:

"Man bemerkt in der Chemie verschiedene Rapports unter den Körpern, welche verursachen, dass sich gewisse Substanzen mit dem einen Körper lieber verbinden als mit dem andern. … Sind zwei Substanzen miteinander gemischt und kommt eine dritte hinzu, welche mit dem einen oder mit dem anderen Bestandteile näheren Rapport hat, so verbindet er sich mit ihm und lässt den anderen Bestandteil fahren. … Dieses Gesetz ist von der äußersten Wichtigkeit in der Chemie: man kann fast keinen Schritt in derselben tun, ohne auf solche Rapporte zu stoßen. …" (Bugge 1961).

Eine solche Tafel (Diderots Enzyklopädie 1995) weist zum Beispiel 19 Spalten für die jeweiligen Stoffe (Elemente und Verbindungen) auf und nennt darunter in bis zu neun Zeilen die betreffenden Partner, und zwar so, dass jeweils der dem oberen Stoff nächststehende auch am meisten mit ihm wahlverwandt sei und die übrigen aus ihrer Verbindung ausscheide. So löst

Salpetersäure (HNO₃) gut das Eisen, schlecht das Silber. Elementares Eisen, als Pulver eingerührt in eine Lösung von Silbernitrat, fällt also elementares Silber aus und geht selbst als Nitrat in Lösung. Man hoffte, über diese Tafeln alle Umsetzungen in ein brauchbares Schema einzuordnen; sie waren bis in das 19. Jahrhundert hinein beliebt, trotz schon früher einsetzender Kritik. Claude Louis Comte Berthollet (1748–1822) teilte um 1800 mit, dass die Wahlverwandtschaft von der Temperatur abhängen müsse und von den Stoff-Konzentrationen, die bei ihm noch als "Massen" benannt wurden.

Leopold Gmelin (1788–1853) nennt in seinem Werk zur "theoretischen" Chemie (Gmelin 1817/19) als Synonyme "Chemische Kraft, Verwandtschaft, Wahlverwandtschaft, Wahlanziehung, affinitas, attractie electiva, affinité, Affinität." Die Affinität, die ja mit präzisierter Bedeutung (siehe 5.1) noch heute für die Triebkraft chemischer Reaktionen steht, wird in seinem Werk zentraler Begriff, so unbestimmt er auch noch war. – Mit dem Blick von heute konnten ohne tiefere Einsichten in Thermodynamik und Kinetik bestenfalls solche Reaktionen in ein Affinitäts-Schema passen, die ohne nennenswerte Aktivierungsenergie ablaufen, z.B. viele Reaktionen in wässriger Lösung (Neutralisations- und Redoxreaktionen). Die "Vereinfachung" zur Erklärung des Reaktionsgeschehens war also viel zu umfassend. Bis zum Affinitätsbegriff der Moderne (1882/84) von Hermann von Helmholtz (1821–1894) und Jacobus Henricus van't Hoff (1852–1911) war noch ein weiter Weg. Danach sollen Umsetzungen zwischen Stoffen immer dann freiwillig verlaufen, wenn - vereinfacht ausgedrückt - die freie molare Reaktionsenthalpie $\Delta_r G$ negative Werte annimmt: $\Delta_r G = \Delta_r H - \Delta_r S < 0$ (mit H = Enthalpie, S = Entropie, r für Reaktion).

Wie die Phlogistonlehre war das Konzept der Wahlverwandtschaft auf Dauer nicht zu halten, dennoch aber anregend, nicht nur für die damals gern als "Scheidekünstler" bezeichneten Chemiker selbst, sondern auch in literarischer und philosophischer Hinsicht, so 1809 bei Goethes Gesellschaftsroman "Wahlverwandtschaften" (Adler 1987) und fast zeitgleich bei Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770–1831), wenn er ausführt,

"... bei dem chemischen Objekt gehört die ... Beziehung auf anderes und die Art und Weise dieser Beziehung seiner Natur an. ... Im Lebendigen steht das Geschlechtsverhältnis unter diesem Schema, so wie es auch für die geistigen Verhältnisse der Liebe, Freundschaft usw. die formale Grundlage ausmacht." (Hegel 1812)

⁷ So hatte Lavoisier 1789 den Ansatz in seinem "Traité" als zwar sehr wichtig bewertet, aber als noch allzu unausgereift.

4.3 Zurück zu den Fakten/Ideen/Worten

Oft zitiert wird die – damals schon nicht mehr ganz zutreffende – Meinung von Immanuel Kant (1724–1804), dass die Chemie wegen ihres Verzichts auf Mathematik "eher systematische Kunst, als Wissenschaft heißen" sollte (Kant 1786). Einer seiner Hörer, Jeremias Benjamin Richter (1762–1807), war motiviert, das in Ansätzen vorhandene quantitative chemische Experimentieren durch stärkeres Einbeziehen der Mathematik zu befördern. Bald nach seiner Habilitation "De uso matheseos in chymia" (1789) erschien ein dreibändiges Werk (Richter 1792), dessen Wirkung aber nicht überschätzt werden sollte. Ferenc Szabadváry (1923–2006) vermerkt, wie mühsam es schon im 1. Band war, die verworrenen Rechnungen zu verstehen. Band 2 und 3 lagen gar noch unaufgeschnitten in der Budapester Universitätsbibliothek (Szabadváry 1966). Ein Durchbruch im Sinne Kants war das Werk wohl nicht.

Dennoch drängte das stürmische Anwachsen der experimentellen *Fakten* der "antiphlogistischen" Chemie auf neue Ideen der Verallgemeinerung, und zwar auch auf Grundlage neuer *Worte*, d.h. Begriffe und Systeme, etwa durch

- verbindliche Nomenklaturregeln, 1787 ausgearbeitet durch eine Viererkommission
- die Neufassung des Elementbegriffs und die Vorlage einer Element-Tabelle 1789 (A. L. Lavoisier),
- das Gesetz der konstanten Proportionen 1794/99 (Joseph Louis Proust, 1754–1826),
- eine erste Tabelle von Atomgewichten¹⁰ 1805 (John Dalton, 1766–1844),
- die Atomhypothese und das Gesetz der multiplen Proportionen 1808/09
 (J. Dalton).
- die Avogadro-Hypothese 1811 (Amadeo Avogadro, 1776–1856),
- den Übergang zu weitgehend modernen Elementsymbolen 1813 (Jöns Jacob Berzelius, 1779–1848).

Damit gab es zwar gute Bedingungen, um neue Probleme anzugehen, die Entwicklung war aber nicht so folgerichtig, wie es die Reihe der Jahreszah-

⁸ Immerhin informierte Berthollet 1803 die Fachwelt über Richters Ergebnisse.

C. L. C. Berthollet, Antoine François de Fourcroy (1755–1809), A. L. Lavoisier, Guyton de Morveau (1737–1816).

¹⁰ Heute ist an sich statt "Atomgewicht" der Begriff "relative Atommasse" verbindlich, worauf hier verzichtet wird.

len erwarten ließe. Besonders störten die Kontroversen über die Atomgewichte und die daraus zu ermittelnden Molekular- und Äquivalentgewichte.

Tab. 2: Atomgewicht des Calciums (heute: 40,078 g/mol) zwischen 1808 und 1860 (Daten nach Kippenhahn 1998)

Jahr	1808	1810	1810	1814	1815	1827	1827	1828	1828	1835	1843	1845	1860
Arel	35	35	38	37,2	156	78	39,2	78,5	78	78,5	39	78	39

Um hierbei weiterzukommen, fand 1860 in Karlsruhe der 1. Internationale Chemikerkongress statt. Dort rückte die Verteilung einer 1858 entstandenen Schrift von Stanislao Cannizaro (1826–1910), "Sunto di un corso di Filosofia Chimica"¹¹, endlich den heuristischen Wert der Avogadro-Hypothese ins rechte Licht und befruchtete das spätere Wirken von Kongressteilnehmern wie Dmitrij Ivanovič Mendeleev (1834–1907) und Julius Lothar Meyer (1830–1895). Dennoch ging Jakob Volhard (1834–1910), ein bekannter Liebig-Schüler, hart ins Gericht mit dem um 1860 erreichten Stand:

"Man hat sich in der Chemie daran gewöhnt, jede Anschauungsweise, die eine nur einigermaßen klare Vorstellung von chemischen Erscheinungen gibt, Theorie zu nennen. Über das Wesen der chemischen Kraft, über die Natur der Verwandtschaft gibt uns keine der neueren Theorien irgend welchen Aufschluss, von einer Theorie im wahren Sinne des Wortes kann also eigentlich nicht die Rede sein. ..." (Volhard 1863)

5. Auswahl "wesentlicher" Problemstellungen der Chemie im 19. und dem 1. Drittel des 20. Jahrhunderts

5.1 Warum reagieren Stoffe miteinander, warum mal mehr, mal weniger?

Affinität und klassische Thermodynamik wurden zwar in 4.2 erwähnt, das Volhard-Zitat nötigt uns aber, darauf zurückzukommen. Schließlich findet man selten derart gravierende Gegensätze zwischen Erwartung und Realität wie bei dem Begriff der chemischen Affinität. Heute wissen wir, dass viele Reaktionen unterbleiben, die eigentlich wegen $\Delta_r G < 0$ freiwillig ablaufen sollten. Ihrem tatsächlichen Ablauf stehen aber oft beträchtliche Aktivie-

^{11 &}quot;Abriss aus einem Lehrgang der philosophischen Chemie"; Italienisch war damals eine der gängigen Chemikersprachen.

rungsenergien entgegen, die von den Partnern allein nicht aufgebracht werden können. ¹²

Stark gehemmt ist die Knallgas-Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser: Ohne äußere Beeinflussung findet bei Raumtemperatur über nahezu unendlich lange Zeit keine Umsetzung statt. Umso größer war das Aufsehen, als Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849) berichtete, dass sich ein Luft-Wasserstoff-Gemisch im Kontakt mit feinverteiltem Platin augenblicklich entzündet (Döbereiner 1823). Diese nach den Worten des damaligen "Chemiepapstes" J. J. Berzelius "in jeder Hinsicht wichtigste und, wenn ich mich des Ausdrucks bedienen darf, brillanteste Entdeckung im Laufe des vergangenen Jahres" (Berzelius 1824/25) wurde auch chemiefernen Kreisen geläufig. Zehntausende Feuerzeuge (Abb. 1) zogen in die Haushalte ein, die es sich leisten konnten und nicht Angst hatten vor Schwefelsäure und Wasserstoff im Wohnzimmer.

Für dieses Beispiel einer reaktionsfördernden Wirkung und ähnliche spätere Belege prägte 1835 J. J. Berzelius den Ausdruck "Katalysis"; die



Abb. 1: Döbereiner-Feuerzeug in Funktion

Der aus Zink und verdünnter Schwefelsäure entwickelte Wasserstoffstrom mischt sich auf dem kurzen Weg zum Platinkontakt mit Luft; das Gemisch entzündet sich dort. Die sonst kaum sichtbare Wasserstoffflamme wurde durch etwas Kochsalz an der Austrittsdüse angefärbt (Foto D. Linke. 1964).

¹² Zum Glück für uns ist das so, sonst würde organisch gebundener Kohlenstoff, also wir selbst wie auch Fauna und Flora insgesamt, durch Luftsauerstoff letztlich gemäß C + O₂ → CO₂ in Kohlenstoffdioxid überführt!

zum Absenken der Aktivierungsenergie(n) führenden Stoffe wurden als *Katalysatoren* bekannt. Wie sie allerdings wirkten, blieb noch lange im Dunkeln. Heute verlaufen großtechnische Verfahren überwiegend katalytisch. Für die Ammoniak-Synthese nach Haber-Bosch (ab 1913), die für Düngemittel und somit für die menschliche Ernährung unverzichtbar wurde, testeten Alwin Mittasch (1869–1953) und Mitarbeiter etwa 3.000 Stoffgemische in knapp 20.000 (!) Prüfversuchen. Schließlich wurden "Mehrstoff-Schmelzkatalysatoren auf Basis Eisen" ausgewählt. Erst fast 100 Jahre später war dann das Vielstufen-Reaktionsdiagramm dieser Synthese durch Gerhard Ertl (geb. 1936) und seinen Arbeitskreis aufgeklärt und 2007 mit dem Nobelpreis gewürdigt worden (Ertl 2008). Welch multidisziplinäre Zusammenarbeit und welch erheblicher apparativer Aufwand dafür notwendig war, belegt der Jubiläumsband über "100 Jahre Fritz-Haber-Institut" (Steinhauser, James, Hoffmann, Friedrich 2011)!

Zur Frage der "Einfachheit" bei dieser anscheinend simplen Reaktion, N₂ + 3 H₂ → 2 NH₃: Zum Problem, von der Brutto*gleichung* zum Reaktionsmechanismus vorzudringen, zitiert Hoffmann (1995) den schwedischen Chemiker Sture Forsén (geb. 1932), der einem Theaterbesucher die Aufgabe stellt, die "Hamlet"-Handlung zu erläutern, nachdem man ihm nur die Eröffnungs-Szene des ersten und die Schluss-Szene des letzten Akts zeigte. Kaum sind die Hauptpersonen eingeführt, fällt der Vorhang; hebt er sich wieder, sieht man "Leichen" und Überlebende. Was mag inzwischen geschehen sein? - Da die Kompliziertheit des Ertl-Diagramms erst durch Einsatz modernster Methoden aufgeklärt werden konnte, sollte man frühere Interpretationsversuche für diesen Prozess und für andere Katalysen nachsichtig bewerten. Das "Ockham razor", den scharfen Verstand als Erkenntnisprinzip (Hörz 2010), setzte man sicherlich ein im guten Glauben an nicht allzu komplizierte Verhältnisse. - Generell sollte man auch heute in der Chemie nicht zu früh "rasieren"; weiterführende Studien könnten neue Aspekte aufzeigen für den beschwerlichen Weg hin zum Wesentlichen (Hoffmann, Minkin, Carpenter 1997).

5.2 Welches ist das wahre Ordnungsprinzip für die wachsende Zahl der als chemische Elemente erkannten Stoffe?

Heute ist die Antwort natürlich trivial; die gewünschte Ordnung schafft das als Einstieg in die Welt der Chemie "einfache" und gut verstandene Periodensystem der Elemente (PSE). Mühsam war aber der Weg zu ihm. Die Elemente nach ihrem Atomgewicht aufzureihen, war durch das Durchein-

ander der Atomgewichts-Skalen erschwert. - Hier kommt noch einmal Döbereiner ins Spiel, der zu Recht in der Garde der gut 200 "Fackelträger der Chemie" figuriert (Smith 1949) und auch vom Deutschen Museum München in eine kleine Auswahl deutscher Forscher und Erfinder aufgenommen wurde (Anonym 1985). Die von Johann Wolfgang Goethe, dem Amts-Vorgesetzten Döbereiners, erbetene Analyse des in Dornburg/Saale anstehenden Coelestin (Strontiumsulfat SrSO₄) ergab 1816 das erste Beispiel für eine später so genannte Döbereinersche Triade, nämlich bei den Erdalkalimetallen Calcium - Strontium - Barium. Hier wächst das Atomgewicht so, dass der Wert für Strontium gerade das arithmetische Mittel der Werte für Calcium und Barium ist (Döbereiner 1816a). 13 Die bis 1829 hinzugekommenen Triaden, Lithium - Natrium - Kalium, Schwefel - Selen -Tellur sowie Chlor - Brom - Iod, ließen erahnen, dass sich über Element-Ähnlichkeiten die Reihe der Atomgewichte weiter strukturieren ließe. ¹⁴ Es vergingen aber noch 40 Jahre mit anderen Entwürfen, bis 1869 die Urform des heutigen PSE durch D. I. Mendeleev und kurz darauf durch J. L. Meyer vorgestellt wurde (Seubert 1895). Man schien dem Wesentlichen der Element-Systematisierung äußerst nahe gekommen zu sein! Mitnichten!! – Alle PSE-Varianten beruhten auf der Annahme, die Elemente nach ihrem steigenden Atomgewicht richtig anordnen zu können. Das war wiederum ein heuristisch sehr wertvoller, aber letztlich doch "unzureichender empirischer Ansatz". Einige Elementpaare, wie Kalium/Argon, Iod/Tellur, Nickel/Cobalt, bekamen nämlich Plätze im System zugewiesen, die sich mit denen ihrer Nachbarn nicht vertrugen. Diese Diskrepanzen wurden erst im 20. Jahrhundert durch die Fortschritte der Atomphysik ausgeräumt. Danach "beschert" gelegentlich die elementspezifische Isotopenverteilung dem Element mit der niedrigeren Ordnungszahl ein höheres Atomgewicht als dem Folge-Element, dann nämlich, wenn sein Anteil schwererer Isotope relativ hoch ist. Auch andere Probleme lösten sich mit

- dem Wirkungsquantum h (1899/1900) von Max Planck (1858–1947),
- den Atommodellen (1913/16) von Niels Henrik David Bohr (1885– 1962) und Arnold Sommerfeld (1868–1951),

¹³ Relativ konsistente Atomgewichte konnte Döbereiner übrigens seiner großen (40 x 240 cm!), als Leporello gestalteten Tabelle mit eigenen Analysenwerten und Literaturangaben entnehmen (Döbereiner 1816b).

¹⁴ Zur zeitbedingten Begrenztheit des Triadenkonzepts sei verwiesen auf (Meyer 1895) und (Linke 1981).

dem Nachweis und der Charakterisierung der "chemisch relevanten"
 Elementarteilchen e, p, n (1897–1932)¹⁵

- dem Ausschließungsprinzip 1924/25 von Wolfgang Pauli (1900–1958),
- den Vorstellungen von Werner Heisenberg (1901–1976), Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887–1961) und P. A. M. Dirac zur Quanten-bzw. Wellenmechanik 1925/27,

auf erstaunliche, keineswegs immer leichtverständliche Weise. Mit dem Moseleyschen Gesetz 16 (1913) gelang auch die eindeutige Ermittlung der Kernladungs-, also Ordnungszahlen der Elemente aus der jeweiligen Wellenlänge ihrer K_{α} -Röntgenlinie. Nun konnte man gezielt darangehen, bestehende Lücken im PSE zu schließen. – Für manche Naturwissenschaftler, wie zum Beispiel für den Zoologen und Naturphilosophen Max Hartmann (1876–1962), war durch diese Erfolge der Quantenmechanik "die Chemie in Physik aufgegangen" (Hartmann 1948). Manch andere folgten dieser reduktionistischen Auffassung nicht, wie sie ja eigentlich schon 1929 Dirac verworfen hatte (siehe 3.). Ergänzend zu den dort gegebenen Beispielen für die relative Eigenständigkeit der Chemie sei im Zusammenhang mit dem PSE noch verwiesen auf Scerri (2007). Nach ihm hatte Bohr 1913 für sein Modell selbst auch schon chemische Argumente genutzt.

6. Ist denn nun die heutige Chemie "einfach"?

Diese Frage ist auch deshalb nicht leicht zu beantworten, da "Einfachheit" selbst viele Aspekte hat (Sommerfeld et al. 2010), mithin ähnlich unbestimmt ist wie manche der chemieüblichen Begriffe – Energie, Stabilität, Reaktivität, Bindung, Wertigkeit, Ladung –, die überhaupt erst nach Präzisierung einen heuristischen Wert bekommen.

Zunächst, nachdem wesentliches Rüstzeug durch Physik, Mathematik und durch die Chemiker selbst bereitgestellt worden war, ließ die "neue" Chemie auch Quantensprünge erwarten, im übertragenen Sinne natürlich! Das quantenmechanisch begründete PSE hatte ja über die richtige Anordnung der Elemente hinaus auch neue Zugänge zum qualitativen Verständnis der Eigenschaftsverläufe innerhalb der Perioden bzw. der Haupt- und Nebengruppen gebracht. Wie chemische Bindungen durch Überlappung der kombinierenden Elektronenzustände zustande kommen, also zum näheren

¹⁵ Elektron (e) 1897 durch Joseph John Thomson (1856–1949), Proton (p) 1917 durch Ernest Rutherford (1871–1937), Neutron (n) 1932 durch James Chadwick (1891–1974).

¹⁶ Henry Gwyn Jeffreys Moseley (geb. 1887, gefallen 1915), britischer Physiker.

Verständnis der "Mikrowelt" des Reaktionsablaufs, dazu hat die Quantenchemie sehr viel geleistet. Dennoch bleibt man für tiefere Einblicke in die Mannigfaltigkeit der Bindungs- und Strukturtypen einerseits, in die Reaktionsabläufe der Chemie andererseits, in der Regel auf mehr oder weniger weitgehende Näherungen angewiesen. Schon bei Nobelpreisträger Ilja Prigogine (1917–2003) heißt es verallgemeinernd:

"Seit den Anfängen der abendländischen Wissenschaft haben wir in dem Glauben an die 'Einfachheit' des Mikroskopischen gelebt, was immer diese mikroskopische Beschreibung besagen mag: Moleküle, Atome, Elementarteilchen. … Wenn es in der Physik und Chemie irgendwo Einfachheit gibt, dann nicht in den mikroskopischen Modellen. Eher liegt sie in den idealisierten makroskopischen Darstellungen …" (Prigogine 1979/80)

Nach Schummer (2012) erfordert die Komplexität der Verhältnisse bei der "mathematischen Chemie" – im Unterschied zur "mathematischen Physik" – das enge Zusammenwirken der Theoretiker mit den Experimentalchemikern, wobei er ausdrücklich verweist auf den heuristischen Wert von Symmetriebetrachtungen, wie sie schon seit jeher Kristallographie bzw. Mineralogie heförderten.

6.1 Wie verinnerlicht der "normale" Chemiker die Quantenmechanik? Wer hilft ihm dabei?

Der "normale" Chemiker nutzt die Erkenntnisse der Quanten- bzw. Wellenmechanik mit einem gewissen Pragmatismus! Der Festkörperchemiker Hans Georg von Schnering (1931–2010) rechtfertigte das wie folgt:

"Der Bauer, der zu Lebzeiten ernten will, kann nicht auf die ab-initio-Theorie des Wetters warten, Chemiker, wie Bauern, glauben an Regeln, verstehen aber diese listig nach Bedarf zu deuten." (Schnering 1981)

In der anorganischen Chemie kennt man z.B.: Mehrfachbindungsregel, Oktettregel, (8-N)-Regel nach Hume-Rothery, Radienquotientenregel, Schrägbeziehung. Dutzende weitere lassen sich nennen (Hardt 1987). Natürlich nimmt der Chemiker außer solchen Regeln auch das aus neuen Theorien auf, was ihm förderlich erscheint. Hilfestellung gaben ihm dabei seit über 70 Jahren begnadete, gleichermaßen in Chemie, Physik und Mathematik bewanderte Persönlichkeiten, indem sie versuchten, durch die Quantenmechanik die ausufernde Vielfalt und Komplexität der empirisch-experimentell erschlossenen stofflichen Welt zu "bändigen".

Eine besondere Rolle kam und kommt hier dem US-amerikanischem Chemie- und Friedens-Nobelpreisträger Linus Carl Pauling (1901–1994) zu, und das vor allem durch seine in viele Sprachen übersetzten und in mehreren Auflagen seit 1939 bzw. 1947 erschienenen Bücher (Pauling 1962a, b) 17. – Pauling, nach Promotion "summa cum laude" als Guggenheim-Stipendiat 1926 für zwei Jahre nach Europa gekommen, um seine Studien bei A. Sommerfeld in München, N. Bohr in Kopenhagen und E. Schrödinger in Wien fortzusetzen, war bald vertraut mit der Quantenmechanik und darüber hinaus sehr motiviert, sie stärker auf die Chemie anzuwenden. Ihm war bewusst, dass die Darstellung des für Chemiker komplizierten Stoffes ein unkonventionelles Herangehen erfordere. 1939 heißt es im Vorwort zu seiner "Nature...":

"Obwohl nun viele der neueren Fortschritte der Strukturchemie der Quantenmechanik zu verdanken waren, reifte in mir der Gedanke, dass es gelingen müsste, die neueren Entwicklungen auch ohne höhere Mathematik gründlich und befriedigend darzustellen. … Nur in ganz wenigen Fällen kam man z.B. durch exakte Lösung der Schrödinger-Gleichung zu chemisch bedeutungsvollen Ergebnissen. Vielmehr hat man die bisherigen Fortschritte in der Hauptsache durch weitgehend chemische Überlegungen erzielt – durch ein einfaches Postulat, das durch den Vergleich mit empirischen Befunden geprüft und dann zu Voraussagen verwandt wurde … Beim Schreiben über ein so kompliziertes Gebiet fühlte ich mich in erster Linie verpflichtet, die Theorie der chemischen Bindung, so wie ich sie sehe, so einfach wie möglich darzustellen."

Der Buchtext nennt bei aller Vereinfachung aber klar die dadurch bedingten Einschränkungen. Bei vielen Nutzern wurde und wird das oft nicht bedacht, z.B., wenn man etwa bei Eisen in den Oxidationsstufen Eisen(II) oder Eisen(III) glaubt, dass tatsächlich zwei- bzw. dreifach geladene Teilchen Fe²⁺ und Fe³⁺ in den Verbindungen existieren und dabei vergisst, dass nach der Elektroneutralitätsregel gemäß Pauling ein Ladungsausgleich zu deutlich kleineren effektiven Ladungen der vorliegenden Atome erfolgt. ¹⁸ – Im Vorwort späterer Auflagen wird die zunehmende Rolle der Quantenmechanik in der Chemie vermerkt, wenn auch weiterhin mit Einschränkungen. So heißt es 1959:

¹⁷ Dass im September 2014 auf der Tagung der "European Society for the History of Science" in Lissabon eine Sektion speziell die Rolle der "Natur der chemischen Bindung" behandelte, spricht für den überragenden Einfluss dieses Werkes!

¹⁸ Das bestätigen folgerichtig röntgenspektroskopische Bestimmungen der effektiven Ladungen.

"Die meisten der hier aufgezeigten Gesetzmäßigkeiten sind recht unzureichende Näherungen und lassen nur selten quantitative Voraussagen zu. Doch haben wir bislang nichts Besseres …"

Dementsprechend heißt es bei Hoffmann (1988) zur Gedankenwelt der Chemiker:

"Die meisten nützlichen Konzepte in der Chemie sind unpräzise, z.B. die Aromatizität, die funktionelle Gruppe, der sterische Effekt und die Molekülspannung; reduziert auf Physik, verflüchtigen sie sich. Aber sie waren und sind der Ouell wunderbarer Chemie."

Und an anderer Stelle (Hoffmann/Laszlo 1991):

"Wir [die Chemiker – D. L.] tendieren dazu, Moleküle so darzustellen, als seien sie normale Objekte des täglichen Lebens: Mit einer gewissen Größe, einer Härte oder Weichheit, mit messbaren Affinitäten zu anderen Atomen oder Elektronen und so weiter. Das ist etwas naiv, unvermeidbar und liebenswert – dem Glauben an Engel in vergangenen Jahrhunderten nicht unähnlich..."

Nehmen wir zur Illustration der Probleme der Chemie, Sachverhalte möglichst gut widerzuspiegeln, als Beispiel die Bindungspolarität bei Siliciumdioxid, einem der – in verschiedenen Modifikationen vorkommenden – häufigsten Stoffe der Erdkruste: Nach den Elektronegativitäts-Werten für Silicium und Sauerstoff kommt SiO2 ein Bindungstyp zu mit etwa 50% Ionenbeziehungs- und 50% Atombindungs-Anteil. Die Zwickmühle wird offenbar: Soll man sich zur Beschreibung für ein Ionenmodell "Si $^{4+}/O^2$ -" entscheiden, für ein Kovalenzmodell "Si $^{\pm 0}O_2$ der für die zutreffendere, aber vage Aussage "weder/noch"? Beide Extreme sind jedenfalls gleichermaßen "weltfremd", da die effektive Ladung für Sauerstoff in SiO₂ zu etwa -0,8 ermittelt wurde, für Silicium zu ungefähr +1,7. Ähnlich diffus vollzieht sich in der Fachliteratur auch die Aufteilung der hochgenau messbaren Bindungslängen (Atomkernabstände) auf Atom- oder Ionenradien, wobei man sich auf einen einmal festgelegten Radius für ein Bezugs-Ion oder -Atom bezieht, der dann die Ermittlung des anderen "Radius" ermöglicht. Wilhelm Ockham würde ein solches Verfahren sicher energisch ablehnen und die Methode der Festkörperphysiker empfehlen, gleich nur mit den gemessenen Abständen zu arbeiten! Da aber für eine erste Einführung in die geometrische Kristallchemie und für die Stoffsystematisierung konstante Radien und fiktive Teilchenladungen beguem sind, verfährt man oft genug so. -Hier haben wir eines der zahlreichen Beispiele dafür, dass man sich zugunsten einer angestrebten "Einfachheit" bewusst von der Wahrheit entfernt, im

Sinne einer Simplifizierung der komplexen Sachverhalte. Vielleicht sollte man als "Pragmatismus" benennen, was die Chemie nicht selten wissentlich auf an sich überholten oder aus Sicht der Physik unzulässigen Prämissen ruhen lässt. – Zumindest für die Lehre wie auch für die Anwendbarkeit chemischer Kenntnisse in Nachbardisziplinen ist das eine Erleichterung, obwohl sie für den Erkenntnisfortschritt nicht gerade förderlich ist.

Oft wird also das "chemische Gefühl" ("Wenn ihr's nicht fühlt, ihr werdet's nicht erjagen"!) der Leitstern. Wie man dieses Jonglieren zwischen logischem Denken und Intuition entwickelt, steht auf einem anderen Blatt. Die sehr umfangreichen Laborpraktika, die früher unseren Studienalltag ausfüllten, waren auf jeden Fall hilfreich, die Theorien der Lehrbücher an den praktischen Erfahrungen zu erproben. Mir selbst, 1958 an der Jenaer Universität immatrikuliert, ist der Übergang von der naturgemäß noch klassisch-stofforientierten Anfänger-Vorlesung für Haupt- und Nebenfächler zu einer auch quantenmechanischen Fundierung des Lehrstoffs noch gut in Erinnerung. Zu dem eindringlichen Rat des Assistenten, in den Semesterferien die Paulingsche "Chemie – Eine Einführung" zu exzerpieren, kamen die neuartigen Vorlesungen, die uns geboten wurden durch den 1959 nach Jena berufenen Anorganiker, unser Mitglied Lothar Kolditz (geb. 1929), durch seinen Physikochemiker-Kollegen Heinz Dunken (1912–1974), ab 1963 auch durch Roland Paetzold (1931-1982). Im Diplomjahr 1963 war ich dann sehr beeindruckt, wie treffend sich Christa Wolf (1929-2011) in ihrer bekannten Erzählung "Der geteilte Himmel" zur Wissenschaftlichkeit der Chemie äußerte. Den Chemiker Manfred lässt sie wie folgt zu Wort kommen: "Überhaupt hat mir seitdem nichts richtigen Spaß gemacht. Bloß mein Beruf, der ist gut. Gerade genug Exaktheit, gerade genug Phantasie." (Wolf 1963) – Die "normalen" Chemiker haben trotz der ihnen damit bescheinigten Exaktheits-Defizite keine Minderwertigkeitskomplexe. Man kann ihnen jedenfalls auch nicht nachsagen, wie weiland Karl Marx den Philosophen, sie hätten die Welt nicht verändert, wenn auch die Losung der DDR-Chemiekonferenz (1958), "Chemie bringt Brot, Wohlstand, Schönheit!"19. einfacher formuliert als realisiert war und Schadensfälle in der chemischen Industrie und in Laboratorien oft genug zu Negativ-Schlagzeilen führten.

¹⁹ Vielleicht sollte man "Gesundheit" ergänzen, angesichts der durch die Chemie erheblich gestiegenen Lebenserwartung!

6.2 Wie einfach kann man die räumliche Struktur chemischer Elemente und Verbindungen darstellen?

Ein wesentliches Stück "Einfachheit" reklamiert die Chemie für sich durch ihre international verbindliche Nomenklatur und die zugehörige Formelsprache. Einfach ist es auch seit langem, durch verschiedene Verfahren der Elementaranalyse die Bruttoformeln der Stoffe zu bestimmen, etwa $C_6H_{12}O_6$ für das Monosaccharid Glucose (Traubenzucker) oder $C_{12}H_{22}O_{11}$ für das Disaccharid Saccharose (Rohr- oder Rübenzucker). Wesentlich schwieriger war es dagegen, die oft komplizierten Strukturen der Stoffe zu ermitteln und darüber hinaus, sie anschaulich bildlich darzustellen. Heute sind Strukturaufklärungen instrumentell meist eindeutig möglich, sofern die teuren Geräte und die zugehörigen Spezialisten verfügbar sind.

Nun zu der Darstellung der Strukturen der jeweiligen Stoffe: Sie wird - besonders in der organischen und Biochemie - umso komplizierter, je besser sie für die jeweilige Substanz die tatsächliche Elektronendichte und deren Verteilung um die verknüpften Atomkerne widerzuspiegeln versucht. Da somit "Einfachheit" und "Wahrheit" gegenläufig zueinander stehen, sind offensichtlich Kompromisse nötig. Jede der verschiedenen Struktur-Visualisierungen ist weder ganz richtig noch ist sie völlig falsch. Das klingt paradox, muss also begründet werden: Übliche Chemielehrbücher zeigen Strukturformeln zweidimensional in der Papierebene oder deuten in perspektivischer Zeichnung die dreidimensionale Verknüpfung der Atome im Raum an. Auch findet man schon in älteren Werken stereoskopische Darstellungen, die allerdings Übung erfordern, um die für das linke bzw. rechte Auge gezeichneten Bilder zusammenzuführen. Sehr erleichtert wurde das durch Zweifarben-Anaglyphen-Raumbilder, die mit entsprechender Brille zu betrachten sind. Wesentlich weiter gehen heute Computer-Programme, die am Bildschirm Molekülstrukturen und Kristallgitter in beliebigen Richtungen zeigen.

Unschlagbar für das "Begreifen" im wörtlichen Sinne sind natürlich Baukästen zum Zusammenstecken der jeweiligen Anordnungen. Einfach zu gestalten sind Kugel-Stab-Modelle mit Kugeln, die entsprechend der Anzahl ihrer Nachbarn Bohrungen enthalten; über die Stablänge können auch die gemessenen Kernabstände repräsentiert werden. Noch anschaulicher sind Kalotten-(Kugelkappen-)Modelle insofern, als sie veranschaulichen, wie sich die Elektronenhüllen benachbarter Atome durchdringen (Abb. 2). Über die näherungsweise festgelegten Wirkradien wird immerhin ein "Gefühl" für Gestalt und Raumbedarf der Moleküle vermittelt. So kann man

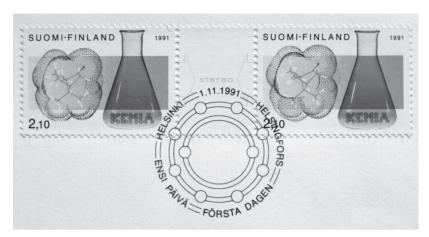


Abb. 2: Kalottenmodell des Camphers (s. Text)

sich am Modell Klarheit verschaffen über mögliche Isomere oder Konformere. Da die Elektronendichten um die Atome nicht abrupt auf Null abfallen, wie es durch die Kalotten impliziert wird, wären Modelle aber erst dann "wahr", wenn sie nur die Kernabstände im Raum andeuteten und durch Punktwolken unterschiedlicher Dichte die Elektronen-Aufenthaltswahrscheinlichkeiten um sie herum. Mit solchen "Punkthaufen" auf den Lehrbuchseiten ist dann allerdings jede Anschaulichkeit verlorengegangen, der Sinn des Modells hat sich in Widersinn verkehrt. Somit bleiben Kalottenmodelle sowie Kugel-Stab-Modelle, die auch für den Aufbau von Kristallgitter-Modellen günstig sind, wohl der beste Kompromiss.

Die Anschaulichkeit der einzelnen Strukturmodelle wird bei Hoffmann (1997²¹) am Beispiel von Campher diskutiert. Dass dieser seit langem bekannte Stoff trotz der einfachen Summenformel C₁₀H₁₆O des Moleküls strukturell nicht ganz leicht zu erschließen ist, ergibt sich schon aus seiner nomenklaturgerechten Bezeichnung als 1,7,7-Trimethyl-bicyclo[2.2.1]heptan-2-on. Von Campher hat sich 1991 auch die finnische Post inspirieren lassen, um des Jahrhundert-Jubiläums der Finnischen Chemischen Gesellschaft zu gedenken (Abb. 2). Auf der stereoskopisch zu betrachtenden Dop-

²⁰ Isomere: Unterschiedliche Verknüpfung der Atome bei gleicher Summenformel; Konformere: Bei gleicher Atomverknüpfung mögliche unterschiedliche Anordnung von Molekülteilen durch Drehen um Einfachbindungen.

²¹ Das viel hochwertiger gedruckte US-amerikanische Original "The same and not the same" erschien 1995.

pel-Briefmarke ist ein Kalottenmodell des Camphers abgebildet, durch "Kemia" und einen Erlenmeyer-Kolben immerhin ein Bezug zur Chemie angedeutet. Auf Marke wie Ersttagsbrief fehlt allerdings jeder Hinweis, dass es sich um Campher handle!

6.3 Nur manches an der Chemie ist einfach, aber nützlich wären Grundkenntnisse schon!

Die Chemie ist insofern "einfach", als es mit Motivation und Ausdauer möglich ist, ihre wesentlichen Grundlagen und Zusammenhänge zu erkennen und anzuwenden. Das betrifft zum Beispiel

- als Einstieg in die stoffliche Vielfalt der Welt das Periodensystem der Elemente mit den implizit enthaltenen Eigenschafts-Variationen,
- ihre Nomenklatur, besonders bei nicht allzu komplizierten Verbindungen,
- ihre Neigung, durch geeignete Modelle die Strukturen und Symmetriemerkmale von Molekülen und Kristallgittern möglichst anschaulich wiederzugeben, auch Mess-Ergebnisse zu Eigenschaftsänderungen, Reaktionsverläufen möglichst übersichtlich graphisch darzustellen.

Einer meiner Kommilitonen aus alter Zeit antwortete mir unlängst auf meine Anfrage zur "Einfachheit in der Chemie" in aller Kürze: "Einfach ist für mich alles, was ich verstanden habe!" Das gefiel mir als Kriterium! Für ihn als Biochemiker ist folglich der Beitrag unseres Mitglieds Sabine Müller in Band 108 der "Sitzungsberichte" angenehm-leichte Kost (Müller 2010), für mich, als Anorganiker fern der Biochemie angesiedelt, leider nicht! – Für eine breite Öffentlichkeit wäre unsere generelle Fragestellung dann vielleicht einzuengen auf: "Was ist für den mündigen Bürger so wichtig in der Chemie, dass es ihm unbedingt verständlich gemacht werden müsste?" – Derzeit hat man leider schon den Eindruck, dass es für viele Eltern und Schüler hier nur wenig Wichtiges geben könne. Sobald in den höheren Schuljahren das Fach Chemie "abgewählt" werden kann²³, geschieht das bei über 90% der deutschen Gymnasiasten. Auch an zuständigen Stellen – deren es wegen der weitgehenden Kultur- und Bildungshoheit der einzelnen Bundesländer in Deutschland bekanntlich viele gibt! – sinkt der Stellenwert des Faches. Hierzu heißt es im "Grußwort zum Jahreswechsel 2014/15" des

²² Ein Fachvortrag in der Chemie ist ohne entsprechende Gleichungen, Formelbilder und Diagramme schwer vorstellbar.

²³ Mancherorts wohl sogar muss!

144 Dietmar Linke

Vorsitzenden der GDCh-Fachgruppe Chemieunterricht: Man darf "als deutscher Chemiker befürchten, dass das Fach Chemie in immer mehr Bundesländern in einer Modulbox namens NaWi (Naturwissenschaften) verschwindet und vielleicht niemals wiederauferstehen wird" (Schleid 2015).

Dass es trotz alledem notwendig und lohnend erscheint, zu wichtigen Fragen der Gegenwart Chemiekenntnisse zu erwerben, dazu abschließend zwei Meinungen von prominenten Fachkollegen:

Heinzwerner Preuß (geb. 1925) vertritt in seinem Buch zur Quantenchemie deren große Bedeutung für unser Denken und Handeln (Preuß 1997):

"Je mehr ich in den Jahren über die Konsequenzen unseres Naturverständnisses im Rahmen der Wellenmechanik nachdachte, desto mehr wurde mir bewusst, wie vielschichtig die Erkenntnisse sind und wie weitreichend sie unser Leben beeinflussen."

Die Darstellung des Autors basiert – äußerst verknappt ausgedrückt – auf der Feststellung, dass selbst die komplexesten Strukturen, etwa die des menschlichen Gehirns, aus Atomkernen und Elektronen bestehen und damit aus demselben "Substrat" wie Moleküle, Viren, Bakterien, Pflanzen und Tiere. Da die Heisenbergsche Unschärferelation im Mikrokosmos ein nicht streng kausales Verhalten in Raum und Zeit konstatiert, ergeben sich Spielräume für Mutationen und eine Weiterentwicklung im Sinne der Evolution:

"So kann naturwissenschaftliches Wissen – wenn verstanden und zur Einsicht geführt – schon die Grundlage einer Moral und einer Ethik sein. … Ich bin mir sicher, dass sich auch schon hier der Anfang für eine Sinngebung unserer Existenz finden lässt, soweit es überhaupt möglich ist."

Zur wünschenswerten Mitentscheidung der Bürger bei chemierelevanten Vorhaben (Hoffmann 1997):

"... Meine Besorgnis über das chemische Analphabetentum, einem Fehler unseres Bildungssystems, hat zwei andere Ursachen. Erstens: Wenn wir die Funktionsprinzipien unserer Umwelt – insbesondere der Teile dieser Umwelt, die wir selbst hinzugefügt haben – nicht kennen, werden wir entfremdet. Die Entfremdung aus Mangel an Wissen lässt uns verarmen. Sie führt dazu, dass wir uns impotent, handlungsunfähig fühlen. ... Meine zweite Befürchtung bezüglich der chemischen Unwissenheit führt mich zurück zur Demokratie. Die Unkenntnis chemischer Zusammenhänge hemmt den demokratischen Prozess. Ich glaube zutiefst, ... dass die 'gewöhnlichen Leute' befähigt werden müssen, Entscheidungen zu treffen, – über Gentechnik oder Mülldeponien, gefährliche oder sichere Fabriken oder darüber, welche Suchtmittel unter Kontrolle behalten werden sollten und welche nicht. Über Vorteile und Nachteile, Möglichkeiten, Nutzen und

Risiken können sich die Bürger von Experten beraten lassen. Aber nicht die Fachleute haben die Vollmacht, sondern das Volk und seine Vertreter."

Im Klappentext zur deutschen Ausgabe dieses Buches wird ein Rezensent, R. M. Baum. zitiert:

"Welcher Chemiker hat nicht schon vergeblich versucht, Familie oder Freunden seine Wissenschaft zu erklären? Aus diesem Dilemma erlöst ihn Hoffmanns Buch."

Gibt das nicht doch etwas Hoffnung zurück, dem Dante-Verdikt im Titel nicht unbedingt folgen zu müssen? – Wer die dennoch erforderliche Mühe scheut, auch dem gibt Hoffmann zu bedenken, dass selbst befähigte

"neue Chemiker, brillante Verwandler unserer Natur, … nicht das verwirklichen können, dessen sie fähig sind, wenn wir ihren Freunden und Nachbarn – den 99,9 Prozent der Leute, die keine Chemiker sind – nicht beibringen, was die Chemiker da eigentlich tun."

7. Nachbemerkung: Ein wenig eigene Hoffnung

Es gelang mir nicht, den Herausgebern des Vorläuferbandes zur "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip" (Sommerfeld, et al. 2010) mit einer entsprechend systematischen Dreiteilung dieses Beitrags für klare Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien der Chemie entgegenzukommen. Mir erscheint meine Disziplin zwar durchaus als zielgerichtetsystematisch, aber eben auch als kompromissbereit-pragmatisch. – So bleibt mir nur die Hoffnung, dass einige Aspekte des Beitrags doch nützlich für weitere Diskussionen sein können.

Literatur

Adler, Jeremy (1987), Eine fast magische Anziehungskraft, Goethes "Wahlverwandtschaften" und die Chemie seiner Zeit, 260 S. München: Verlag Beck

Anonym (1985), Forscher und Erfinder aus Naturwissenschaft und Technik im Deutschen Museum, S. 48–49. Bonn: Verlag Inter Nationes

Bensaude-Vincent, Bernadette (2014), Philosophy of Chemistry or Philosophy with Chemistry. HYLE – Int. J. for Philosophy of Chemistry, Jg. 20, 1, S. 58–76

Berzelius, Jacob (1825), Jahresbericht [für 1823 – D.L.] über die Fortschritte der physischen Wissenschaften, 4. Jahrgang, aus dem Schwedischen übersetzt von Friedrich Wöhler, S. 60f. Tübingen: Verlag Heinrich Laupp

146 Dietmar Linke

Boyle, Robert (1983), Der skeptische Chemiker, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 229, Reprint der 1. Ausgabe von 1929, S. 103–105. Leipzig: Akad. Verl.-ges. Geest & Portig

Brakel, Jaap van (2014), Philosophy of Science and Philosophy of Chemistry. HYLE – Int. J. for Philosophy of Chemistry, Jg. 20, 1, S. 11-57

Bugge, Günther (1961), Das Buch der großen Chemiker, Erster Band, S. 221. Weinheim: Verlag Chemie

Carrier, Martin (1992), Cavendishs Version der Phlogistonchemie oder: Über den empirischen Erfolg unzutreffender theoretischer Ansätze, in: Mittelstraß, Jürgen; Stock, Günter (Hg.), Chemie und Geisteswissenschaften, Versuch einer Annäherung, S. 35–52. Berlin: Akademie-Verlag

Chang, Hasok (2010), The Hidden History of Phlogiston, How Philosophical Failure Can Generate Historiographical Refinement. HYLE – Int. J. for Philosophy of Chemistry, Jg. 16, 2, S, 47–79

Coutelle, Charles (2014), Die verführerische Illusion einfacher Konzepte – Kritische Betrachtungen zum Prinzip Einfachheit an Hand von Beispielen aus Molekularbiologie und Medizin, Kurzfassung des Vortrags am 20.11., Leibniz-Sozietät der Wissenschaften

Diderots Enzyklopädie (1995), Die Bildtafeln 1762–77, Erster Band, Tafel 538/539 Laboratoire et table des rapports. Augsburg: Weltbild-Verlag

Dirac, Paul Adrian Maurice (1929), Quantum Mechanics of Many-Electron Systems. Proc. of the Royal Society A 123, S. 714–33, hier S. 714

Döbereiner, Johann Wolfgang (1816 a), Brief an Johann Wolfgang von Goethe vom 30.09. 1816

Döbereiner, Johann Wolfgang (1816 b), Darstellung der Verhältniszahlen der irdischen Elemente zu chemischen Verbindungen (erweiterte Neufassung 1823). Jena: Crökersche Buchhandlung

Döbereiner, Johann Wolfgang (1823), Ueber neu entdeckte höchst merkwürdige Eigenschaften des Platins und die pneumatisch-capillare Thätigkeit gesprungener Gläser, ein Beitrag zur Corpuscularphilosophie. Jena: Verlag A. Schmid

Earley, Joseph E. (2008), How Philosophy of Mind needs Philosophy of Chemistry. HYLE – Int. J. for Philosophy of Chemistry, Jg. 14, 2, S. 1–26

Ertl, Gerhard (2008), Reaktionen an Oberflächen, Vom Atomaren zum Komplexen (Nobelvortrag), Angewandte Chemie Ig. 120, S. 3578, 90

trag). Angewandte Chemie Jg. 120, S. 3578–90 Gmelin, Leopold (1967), Handbuch der theoretischen Chemie, werkgetreuer Nachdruck der

1. Auflage (1817/19), 3 Bände, 1588 Seiten. Weinheim/Bergstr.: Verlag Chemie

Goethe, Johann Wolfgang von (1806), Brief vom 22.08. an Wilhelm von Humboldt in Rom

Hardt, Horst-Dietrich (1987), Die periodischen Eigenschaften der chemischen Elemente (2. Aufl.), 313 S. Stuttgart/New York: Georg Thieme Verlag

Hartmann, Max (1948), Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften, Erkenntnistheorie und Methodologie, 240 S., hier S. 171. Jena: Verlag G. Fischer

Hegel, Georg Friedrich Wilhelm (1965), Wissenschaft der Logik (1812/16), 2. Band: Die subjektive Logik, 3. Buch: Die Lehre vom Begriff, S. 215. Leipzig: Reclam-Verlag

- Hörz, Herbert (2010), Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich berechtigte Reduktionen? Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit, in: Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 108, S. 11–36
- Hoffmann, Roald (1988), Die chemische Veröffentlichung Entwicklung oder Erstarrung im Rituellen? Angewandte Chemie, Jg. 100, S. 1653–1663
- Hoffmann, Roald; Laszlo, Pierre (1991), Darstellungen in der Chemie die Sprache der Chemiker. Angewandte Chemie, Jg. 103, S. 1–16
- Hoffmann, Roald (1995), Die Chemie zwischen Natur und Ideal. Spektrum der Wissenschaft, Digest Moderne Chemie, S. 8–17
- Hoffmann, Roald (1997), Sein und Schein Reflexionen über die Chemie, S. 226 f. Weinheim: VCH Verl.-ges.
- Hoffmann, Roald; Minkin, Vladimier I.; Carpenter, Barry K. (1997), Ockham's Razor and Chemistry, HYLE Int. J. for the Philosophy of Chemistry, Jg. 3, S. 3–28
- Hoffmann, Roald (2007), What might philosophy of science look like if chemists built it? Synthese 155, S. 321-336
- Kant, Immanuel (1786), Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, S, 4. Riga: J. F. Hartknoch
- Kippenhahn, Rudolf (1998), Atom Forschung zwischen Faszination und Schrecken, S. 51. München: Verlag Piper
- Kornberg, Arthur (1987), The Two Cultures, Chemistry and Biology. Biochemistry, Bd. 26, S. 6888
- Laitko, Hubert (1996), Chemie und Philosophie: Anmerkungen zur Entwicklung des Gebietes in der Geschichte der DDR, in: Psarros, N.; Ruthenberg, K.; Schummer, J. (Hg.), Philosophie der Chemie. Bestandsaufnahme und Ausblick, S. 32–58. Würzburg: Verlag Königs-
- hausen & Neumann
 Liebig, Justus von (1840), Ueber das Studium der Naturwissenschaften und über den Zustand der Chemie in Preußen, S. 29. Braunschweig
- Linke, Dietmar (1981), Johann Wolfgang Döbereiner und sein Beitrag zur Chemie des 19. Jahrhunderts, Zeitschrift für Chemie, Jg. 21, S. 309–319
- Lutz, Bernd (1996), Chemie lehren Balanceakt zwischen Vereinfachung und Komplexität, Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, Jg. 7, Nr. 36, S. 4–8
- Mädefessel-Herrmann, Kristin; Hammar, Friederike; Quadbeck-Seeger, Hans-Jürgen (2004), Chemie rund um die Uhr, 231 S., Weinheim: Verlag Wiley-VCH
- Meyer, Lothar {Hg.} (1895), Johann Wolfgang Döbereiner, Max Pettenkofer, Die Anfänge des natürlichen Systems der chemischen Elemente, in: Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Leipzig: Verl. W. Engelmann (Reprint Leipzig 1983: Akad. Verl.-ges. Geest & Portig)
- Müller, Sabine (2010), Einfachheit biochemischer Komplexität ein Widerspruch? In: Sommerfeld, Erdmute; Hörz, Herbert; Krause, Werner (Hg.) (2010), Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip, Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 108, S. 57–65
- Pauling, Linus (1962 a), Die Natur der chemischen Bindung. Weinheim: Verlag Chemie (dt. Übersetzung der 3. Aufl. von: The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals, 1960 Cornell Univ. Press [1. Aufl. 1939])

148 Dietmar Linke

Pauling, Linus (1962 b), Chemie – Eine Einführung (4. Aufl.), Weinheim: Verlag Chemie (dt. Übersetzung der 2. Aufl. von: General Chemistry, 1953; 1. US-amer. Aufl. 1947, 1. dt. Aufl. 1956)

- Preuß, Heinzwerner (1997), Materie ist nicht materiell, Die Bedeutung der Quantenchemie für unser Denken und Handeln, 239 S., Braunschweig/Wiesbaden: Verlag Vieweg (Zitate im Text S. VI, S. 206 f.)
- Prigogine, Ilja (1979/80), Vom Sein zum Werden Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften (Vorwort). München: Verlag Piper
- Remane, Horst (2010), Die Phlogistontheorie von Georg Ernst Stahl, Katalysator für die Herausbildung der modernen wissenschaftlichen Chemie? CHEMKON Chemie konkret, Forum f. Unterricht u. Didaktik, Jg. 17, S. 75–78
- Richter, Jeremias Benjamin (1792), Anfangsgründe der Stöchyometrie oder Meßkunst chymischer Elemente. Breslau/Hirschberg: Verlag J. F. Korn der Ältere
- Ruben, Peter (1976), Zur Kritik der romantischen Naturphilosophie F. W. J. Schellings, Wiss. Z. d. FSU Jena, Jg. 25, 1, Ges. u. Sprachw. R., S. 83–89
- Scerri, Eric S. (2007), The Periodic Table: Its Story and Its Significance, 368 S., Oxford: Oxford Univ. Press
- Schleid, Thomas (2015), Grußwort zum Jahreswechsel 2014/15, CHEMKON Chemie konkret, Forum f. Unterricht u. Didaktik, Jg. 22, S. 5–6
- Schnering, Hans Georg von (1981), Homonucleare Bindungen bei Hauptgruppenelementen.
- Angewandte Chemie, Jg. 93, S. 44–63 Schummer, Joachim (1996), Bibliographie chemiephilosophischer Literatur der DDR. HYLE,
- Mitt.-blatt des Arbeitskreises "Philosophie und Chemie" 2, S. 3–11 Schummer, Joachim (2012), Why Mathematical Chemistry Cannot Copy Mathematical Phys-
- ics and How to Avoid the Imminent Epistemological Pitfalls. HYLE Int. J. for the Philosophy of Chemistry, Jg. 18, 1, S. 71–89
- Seubert, Karl {Hg.}(1895), Lothar Meyer, D. Mendelejeff, Das natürliche Systems der chemischen Elemente, in: Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Leipzig: Verl. W.
- Engelmann (Reprint Leipzig 1983: Akad. Verl.-ges. Geest & Portig)

 Simonyi, Károly (1995): Kulturgeschichte der Physik, von den Anfängen bis 1990 (2. Aufl.),
- S. 71. Thun/Frankfurt am Main: Verlag H. Deutsch Smith, Henry Monmouth (1949), Torchbearers of Chemistry, Portraits and Brief Biographies
- of Scientists Who Have Contributed to the Making of Modern Chemistry, S. 77. New York: Academic Press

 Sommerfeld, Erdmute; Hörz, Herbert; Krause, Werner {Hg.}(2010), Einfachheit als Wirk-,
- Sommerfeld, Erdmute; Hörz, Herbert; Krause, Werner {Hg.}(2010), Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip, 166 S. Sitzungsberichte Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Band 108
- Steinhauser, Thomas; James, Jeremias; Hoffmann, Dieter; Friedrich, Bretislav (2011), Hundert Jahre an der Schnittstelle von Chemie und Physik, Das Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft zwischen 1911 und 2011, S. 229–233. Berlin/Boston: Verlag De Gruyter
- Szabadváry, Ferenc (1966), Geschichte der analytischen Chemie, S. 116. Budapest: Akadémiai Kiadó

Szabadváry, Ferenc (1973), Antoine Laurent Lavoisier, S. 120 f. Budapest: Akadémiai Kiadó Vízi, Béla (1990), Kémia szobrokban – Chemistry in Sculptures, S. 1–71, Budapest: ISBN 963

8192 305

Vogelezang, Michiel; Rehm, Markus (2011), Zwei Erkenntnisbereiche, die zu einander gehören – Wie das Verhältnis zwischen der Makro- und der Mikrowelt in der Schule themati-

ren – Wie das Verhältnis zwischen der Makro- und der Mikrowelt in der Schule thematisiert werden kann CHEMKON Chemie konkret – Forum f. Unterricht u. Didaktik. Jg. 18

siert werden kann. CHEMKON, Chemie konkret – Forum f. Unterricht u. Didaktik, Jg. 18, S. 173–178

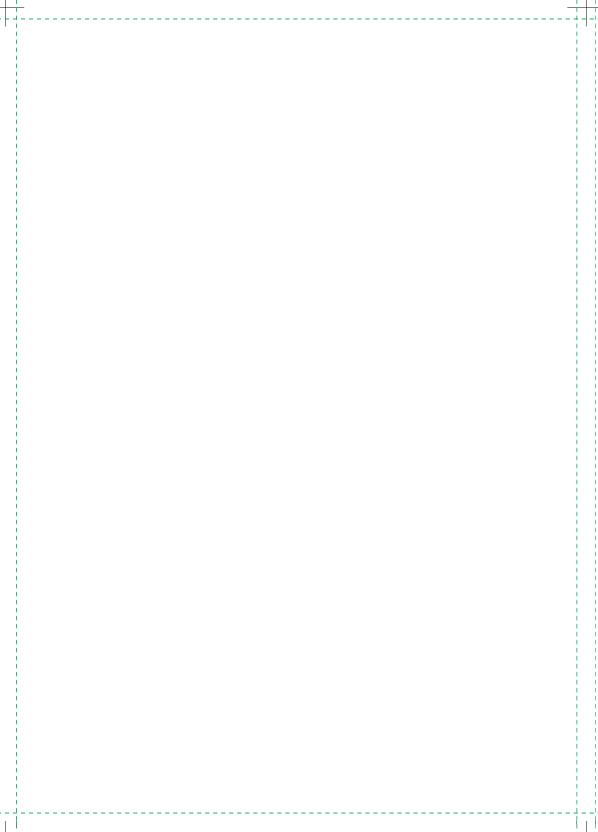
Volhard, Jakob (1863), Die chemische Theorie, geschrieben pro facultate legendi, München 1863, S. 39. Braunschweig: Verlag Vieweg

Wöhler, Friedrich (1863), Brief vom 12.11. an Justus von Liebig, in: Wilhelm Lewicki (Hg.) (1982), Wöhler und Liebig, Briefe von 1829–1873 (2. Aufl., 2. Halbband), S. 150f., Göt-

tingen: Verlag Jürgen Cromm Wolf, Christa (1963), Der geteilte Himmel – Erzählung (6. Aufl.), S. 70. Halle (Saale): Mittel-

olf, Christa (1963), Der geteilte Himmel – Erzählung (6. Aufl.), S. 70. Halle (Saale): Mitteldeutscher Verlag

Wollgast, Siegfried {Hg.} (1974): Du Bois-Reymond, Emil – Über die Geschichte der Wissenschaft, in: Vorträge über Philosophie und Gesellschaft, S. 45–53. Berlin: Akademie-Verlag



Die verführerische Illusion "einfacher" Konzepte

Kritische Betrachtungen zum Prinzip Einfachheit anhand von Beispielen aus Molekularbiologie und Medizin*

Einfachheit - eine Begriffsbestimmung

In einem früheren Vortrag [1] habe ich einmal gesagt, dass das Konzept der Gentherapie genetischer Erkrankungen eigentlich 'ganz einfach' sei: "Da genetische Erkrankungen durch defekte Gene hervorgerufen werden, sollten diese Krankheiten durch das Einbringen der normalen Gene heilbar sein." Diese Äußerung hat wohl dazu geführt, mich einzuladen, zur zentralen Fragestellung dieser Arbeitsgruppe, ob Einfachheit ein "universelles Prinzip in Natur und Gesellschaft" sei [2], etwas beizutragen. Allerdings hatte ich mit meiner Formulierung lediglich ausdrücken wollen, dass das Konzept der Gentherapie wohl auch für Außenstehende verständlich und einleuchtend sein sollte. Bei näherer Überlegung meine ich aber, dass es eher gefährlich ist, von der Verständlichkeit eines Konzeptes auf eine Einfachheit in der objektiven Realität, also der Natur, rückschließen zu wollen.

Ich verstehe die Begriffe "einfach" und "Einfachheit" im Sinne von Verständlichkeit, innerer Logik, Übersichtlichkeit, Gestaltung, Machbarkeit u.Ä., als primär subjektive, kognitive Beschreibungen eines Gegenstandes, (einer Struktur), einer Funktion oder eines Prozesses. Inwieweit wir etwas als "einfach" betrachten, hängt also von sehr individuellen Bedingungen wie Erfahrung, Bildung, Intellekt u.Ä. ab. Ich bezweifle daher sehr, dass Einfachheit ein objektives "universelles Wirkprinzip in Natur und Gesellschaft" ist.

Ich sehe auch die von unserem Mitglied Herbert Hörz postulierte Beziehung von Einfachheit und Effektivität als objektives Wirkprinzip und seine Schlussfolgerung "Das Weltgeschehen ist einfach weil effektiv" [3] als pro-

^{*} Die Vortragsversion dieses Artikels und die dazugehörigen Abbildungen als dynamische PDF sind bei "Leibniz Online" abrufbar unter: http://www.leibnizsozietaet.de/wp-content/ uploads/2015/04/coutelle.pdf.

blematisch an. Das beginnt schon bei der Terminologie: Gewöhnlich wird "Effektivität" als Wirksamkeit, gemessen an der Erreichung eines vorgegebenen Ziels, definiert und das nachfolgend von Kollegen Hörz benutzte Kriterium des geringsten Aufwands zur Erreichung dieses Ziels wird als "Effizienz" bezeichnet. Wie auch immer: Was ist im "Weltgeschehen", der Natur, ein vorgegebenes Ziel und was ist "geringster Aufwand"? "Geringster Aufwand" ist ja ein Vergleich. Also was wird hier womit verglichen? Mir erscheint diese Formulierung als eine subjektive, post hoc-Interpretation des in der Natur Vorgefundenen als das Effektivste/Effizienteste das daher als das Einfachste angesehen wird. Und stimmt denn dieser Schluss "effektiv/effizient – ergo – einfach" wirklich? Nehmen wir z.B. die grundlegende Eigenschaft lebender Organismen zur Reproduktion: Sie verläuft zwar in den meisten Fällen effektiv: – die Art wird so erhalten! – Das "Ziel" wird erreicht.

Wenn man aber an die aufwendigen, ja oft äußerst komplexen Methoden und bizarren Riten der Fortpflanzung im Pflanzen- und Tierreich denkt muss man wohl feststellen, dass zumindest dieser wichtige Teil des Weltgeschehens weder als "einfach" noch als effizient bezeichnet werden kann.

Die Notwendigkeit zur Vereinfachung

Ich stimme mit Kollegen Hörz und anderen Kollegen, die in diesem Kreis vorgetragen haben, völlig darin überein, dass Einfachheit oder besser Vereinfachung eine Methode darstellt, die wir Menschen anwenden, um uns die Welt zu erschließen. Wenn wir, wie es Stephen Hawking metaphorisch ausdrückte, "wie Gott denken könnten" ("know the mind of god") [4] brauchten wir keine Vereinfachung, da wir die unendliche Vielfältigkeit der objektiven Realität in toto erfassen könnten.

Da wir das natürlich nicht können, ergibt sich das menschliche Bestreben nach Vereinfachung. Unser Bestreben zur Vereinfachung drückt sowohl die Grenzen unserer jeweiligen Erkenntnismöglichkeit wie auch unsere prinzipielle Erkenntnisfähigkeit aus. Als menschliches Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip ist Vereinfachung wichtig und notwendig, ja unverzichtbar.

Zum Erkennen von Wirkprinzipien benutzen wir Vereinfachungen durch Reduktion der Ganzheit der objektiven Realität auf den Teil, den wir für den untersuchten Gegenstand oder Vorgang, entsprechend unserem subjektiven Vermögen, als das Wesentliche zu erkennen meinen. Dabei werden die objektiven, vielfältigen Zusammenhänge in neben-, über- und untergeordneten Ebenen bewusst oder unbewusst vernachlässigt. Diese Reduktion setzt aber der Gültigkeit des erkannten Wirkprinzips entsprechende Gren-

zen: Es ist eben nur in diesen Grenzen gültig und für den 'Eingeweihten' "einfach". Von Kollegen Schimming [5] ist das am Beispiel der Geschichte der physikalischen Erkenntnisse von Newton bis nach Einstein und von Kollegen Linke [6] aus der Betrachtung der Geschichte der Chemie sehr schön dargelegt worden.

Wir müssen uns also im Klaren sein, dass eine durch Reduktion erarbeitete Erkenntnisstufe die objektive Realität nur begrenzt darstellt. Sie birgt daher auch die Gefahr von Erkenntnisfehlern infolge ungerechtfertigter Vereinfachung oder Extrapolation in sich. Also das, was Kollege Hörz wohl als Philosophischen Reduktionismus bezeichnet [3].

Ich meine also erstens, dass Einfachheit eine subjektive Kategorie ist und kein universelles Prinzip der objektiven Realität, und zweitens, dass die Missdeutung einer durch Vereinfachung gewonnenen und durch sie begrenzten Erkenntnis als objektiv existierende Einfachheit der Natur zu erheblichen Fehlern, sowohl hinsichtlich des daraus abgeleiteten Wirkprinzips wie auch bei seiner Nutzung als Gestaltungsprinzip, führen kann.

Ich werde im Folgenden auf beide Thesen näher eingehen:

Zur Subjektivität eines "einfachen" Konzepts

Zunächst will ich darstellen, wie sehr die Beurteilung von Einfachheit von subjektiven Gegebenheiten abhängt:

Betrachten wir die von unseren Physikerkollegen oft als Beispiel der Einfachheit genannte Formel $E=m\ c^2$. Auch mir erscheint sie auf ersten Blick als formal einfach. So etwa, als wollte ich den Inhalt einer Kiste mit quadratischem Boden berechnen: Da ist das Volumen V gleich der Höhe multipliziert mit dem Quadrat einer Seite der Grundfläche: $V=h\ b^2$. Das ist für mich tatsächlich eine einfache Formel, da ich alle ihre Komponenten begreife und die Rechenoperationen verstehe. Aber schon jemand, der die Grundlagen der Geometrie und Algebra nicht gelernt hat, wird mit dieser Formel nichts anfangen können.

Bei der formal ähnlich einfachen Formel $E = m c^2$ gilt dieselbe Rechenoperation und da ich weiß, dass Lichtgeschwindigkeit eine sehr hohe Zahl ist, kann ich der Formel entnehmen, dass sich aus sehr wenig Masse sehr viel Energie gewinnen lässt. Aber das hilft mir überhaupt nicht zu begreifen, wie man zu dieser Formel kommt, also wie Masse und Energie sich ineinander umwandeln können, und wie und warum das mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit zusammenhängt. – Und, dass das so ist, hängt sicher mit meiner Ausbildung und wohl auch mit meiner Intelligenz zusammen.

Soviel zur Illustration der Subjektivität der Einfachheit. Ich werde also nachfolgend besser bei biologischen Beispielen bleiben, die mir von der Ausbildung und Erfahrung wesentlich näher liegen.

Das nicht so einfache Laktose-Operon...

Zunächst möchte ich auf das im Beitrag von Kollegin Müller [7] bereits vorgestellte Laktose-Operon-Modell zurückkommen (Abb. 1A).

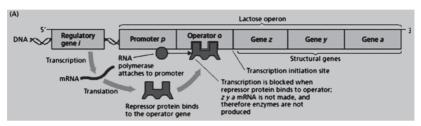


Abb. 1A: Laktose-Operon (Lac-Operon) bei Abschaltung (Repression) der Genexpression (Transkription/Translation) durch Lac-Repressor

Entsprechend diesem Model, wird die bakterielle Verwertung des Milchzuckers, Laktose, durch das Zusammenwirken mehrerer Enzyme gesteuert. Die hierfür kodierenden Struktur-Gene sind auf einem zusammenhängenden DNA-Abschnitt, dem Laktose-Operon (Lac-Operon), gelegen. Ebenfalls auf diesem DNA-Abschnitt befindet sich der Promotor, die Bindungsstelle der RNA-Polymerase, und der Lac-Operator. Der Lac-Operator wirkt wie eine Schranke, an der der Durchgang der RNA-Polymerase zur Ablesung der Struktur-Gene geregelt wird. Diese Regelung der Genexpression erfolgt durch einen genetischen Ab- und Anschalt-Mechanismus, den wir Repression und Induktion nennen: Ein außerhalb des Operons gelegenes Regulator-Gen kodiert ein für das Lac-Operon spezifisches Repressoreiweiß. Der Lac-Repressor bindet sich an die DNA des Lac-Operators und blockiert die Ablesung der Gene des Laktose-Operons, durch die mRNA-synthetisierende RNA-Polymerase, so dass keine Synthese der kodierten Enzyme stattfinden kann.

Wenn Laktose in die Zelle eindringt (Abb. 1B), bindet sie sich in umgewandelter Form (Allolaktose-Induktor) an den Repressor, der dadurch seine molekulare Struktur ändert, sich von der DNA ablöst und die Expression des Lac-Operons freigibt, also die Synthese von mRNA induziert. Diese mRNA steuert die Synthese von drei Enzymen, unter ihnen die β-Galaktosi-

dase, die den Laktose-Abbau zu Galaktose und Glukose katalysiert. Aus dem weiteren Abbau der Glukose gewinnt dann das Bakterium Energie.

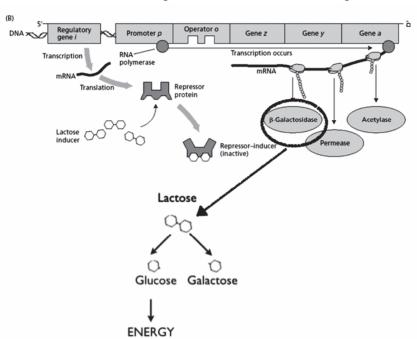


Abb. 1B: Laktose-Operon (Lac-Operon) bei Anschaltung (Induktion der Genexpression (Transkription/Translation) durch Laktose-Induktor (Allolaktose) und enzymatische Spaltung der Laktose und Verwertung der Glukose zur Energiegewinnung

(Schemata modifiziert nach Google Website images for lac operon)

Bei dieser verallgemeinernden Vereinfachung und "Minimalisierung" auf drei Strukturelemente, DNA, Repressor und Induktor, scheint die durch den Lac-Repressor negativ wirkende genetische Kontrolle des Lac-Operons primär der schnellen und kurzfristigen Ökonomie des Bakteriums zu dienen: Bei Fehlen von Laktose werden keine Enzyme für ihren Abbau produziert.

Diese Darstellung entspricht dem von Jacob, Monod und Pardee am Darmbakterium E. Coli erarbeiteten und 1959/61 publizierten Prinzip der Repression und Induktion funktionell zusammenwirkender Gene als grundlegendem Mechanismus der selektiven genetischen Regulation der Gen-

expression in Bakterien [8, 9]. Heute wissen wir aber, dass die Lac-Operon-Regulation vor allem auch eine mehr strategische evolutionäre Wirkung hat: Sie erzwingt die Wahl der energetisch günstigsten der zur Verfügung stehenden Energiequellen, die dem Bakterium das schnellste Wachstum und damit einen Selektionsvorteil bietet [10].

Um das zu verstehen, muss mindestens noch eine weitere Stellgröße, nämlich Glukose, berücksichtigt werden (Abb. 2A).

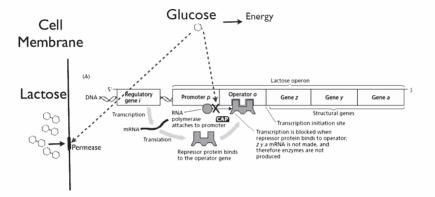


Abb. 2A: Glukose-Hemmung der Laktose-Induktion durch 1. Hemmung der β-Galaktosid Permease: Verhindert Transport der Laktose in die Bakterienzelle. 2. Hemmung des Catabolic Activator Protein (CAP): Aktivierung der RNA-Polymerase wird gehemmt und dadurch Unterdrückung der Expression des Lac-Operon verstärkt.

(Schemata modifiziert nach Google Website images for lac operon)

In Anwesenheit von Glukose, dem energetisch günstigeren Energieträger, (Laktose muss ja erst enzymatisch aufgespalten werden, um Glukose bereitzustellen) kommt es auch in Gegenwart von Laktose nicht zur Induktion des Lac-Operons. Die Anwesenheit von Glukose, nicht das Fehlen von Laktose, ist daher der übergeordnete Regulator. Erstens wirkt sie indirekt, über mehrere Stoffwechselschritte, hemmend auf die Aktivität der β-Galaktosid-Permease. Da die Permease den Transport der Laktose durch die Zellmembran reguliert, gelangt in Gegenwart von Glukose die Laktose gar nicht erst in die Zelle, um als Induktor wirksam zu werden. Zweitens wirkt die Glukose einer "Undichtigkeit" des Repressor-Mechanismus entgegen. Hierbei hemmt sie, wiederum indirekt, das Catabolic-Activator-Protein (CAP), das eine

vom Repressor unabhängige, positive, aktivierende genetische Kontrolle auf die RNA-Polymerase ausübt.

Erst wenn alle Glukose aufgebraucht ist (Abb. 2B), wird die Polymerase durch das CAP aktiviert und die Hemmung der Permease aufgehoben. Und erst dann kann Laktose in die Zelle transportiert und zum Induktor umgewandelt werden. Die dann exprimierten Enzyme Permease und β-Galaktosidase katalysieren einen verstärkten Einstrom von Laktose – bzw. deren Spaltung in Glukose und Galaktose, der die energetische Verwertung der Glukose folgt.

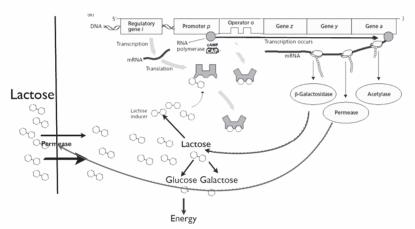


Abb. 2B: Verbrauch der Glukose führt zur Aufhebung der Glukose-Hemmeffekte. CAP aktiviert RNA-Polymerase. Hemmung der β-Galaktosid-Permease aufgehoben: Erlaubt Transport der Laktose in die Bakterienzelle. β-Galaktosidase wandelt einströmende Laktose in Allolaktose-Induktor um, der die Repressorhemmung aufhebt. Die folgende Genexpression von Permease und β-Galaktosidase katalysiert den vermehrten Laktose-Einstrom und die Verwertung der Laktose als Energiequelle.

(Schemata modifiziert nach Google Website images for lac operon)

Auch das ist noch eine sehr reduzierte Darstellung der natürlichen Prozesse, die ich auch mit biochemischer Vorbildung nicht als "einfach" bezeichnen würde. Wir wissen dabei nicht einmal, welche Rolle die Azetylase, das dritte im Lac-Operon kodierte Protein, spielt; und wie die Glukose das CAP hemmt, ist ebenfalls nicht völlig aufgeklärt. Wir haben unsere Betrachtun-

gen hier auf die subzelluläre Ebene der Makromoleküle reduziert, aber erwähnen die für diese Abläufe essentiellen Prozesse der Genexpression, also RNA und Eiweißsynthese, die ihrerseits wieder aus einer Vielzahl von Interaktionen bestehen, nur so nebenbei. Die auf der intramolekularen Ebene stattfindenden Strukturänderungen, die z.B. bei den DNA-Repressor-Induktor-Interaktionen und Enzymreaktionen stattfinden, werden hierbei überhaupt nicht berücksichtigt. Und noch wichtiger: Die komplexen Abläufe auf den Ebenen der Gesamtzelle und Zellpopulationen, auf denen die bereits erwähnte evolutionäre Wirkung des beschriebenen Regulationsmechanismus durch Selektion wirksam wird, werden ebenfalls überhaupt nicht betrachtet.

Dieses Beispiel zeigt, wie Reduktion und Vereinfachung der objektiven Realität als Erkenntnisprinzip wirken. Es zeigt aber auch wie subjektiv – in diesem Fall zum Teil historisch bedingt – sowohl die Auswahl der Kriterien der Vereinfachung und des Grades der Komplexität als auch die daraus gezogenen Schlussfolgerungen des erarbeiteten Wirkprinzips sein können. Also strukturell: DNA/Repressor/Induktor versus Einbeziehung der übergeordneten Regulation von Glukose auf CAP/Permease; bzw. funktionell: ökonomisches Feedback versus evolutionär wirkende Nahrungsselektion.

Was aber daraus nicht abgeleitet werden kann, ist, dass die natürlichen Prozesse "einfach" seien. Weder in Bezug auf die Anzahl der wirkenden Faktoren noch hinsichtlich ihrer allgemeinen Verständlichkeit.

Nein, die Natur ist nicht "einfach"! Oder eben nur so einfach, wie wir sie uns machen oder zu machen glauben. Und die Arbeiten von Jacob, Monod und Pardee zeigen wie schwer jeder kleine Schritt der Erkenntnis war, der zum Operon-Modell geführt hat.

Nun ist natürlich der Nobelpreis an Monod, Jacob und Lwoff nicht für die Aufklärung der Lieblingsmahlzeit unserer Darmbakterien vergeben worden, sondern, außer für die Entdeckung der Rolle der mRNA im Genexpressionsprozess, insbesondere für die Erkenntnis eines aus dem Repressormodell abgeleiteten verallgemeinernden Prinzips, nämlich des Prinzips der genetischen Kontrolle zusammenwirkender Stoffwechselprozesse durch das Genprodukt einer von den Strukturgenen unabhängigen genetischen Einheit, im betrachteten Fall des Repressors. Diese Erkenntnis ist, wie Jacob und Monod besonders betonten, ein grundsätzlicher Unterschied zu der bis dahin nur bekannten enzymkinetischen Feedback-Inhibition.

Vor allem aber bietet dieses Modell, wie es die Autoren bereits 1961 weitschauend formulierten, einen ersten Schritt zum Verständnis eines Grundproblems der Biochemie und Embryologie an:

,,....why tissue cells do not all express, all the time, all the potentialities inherent in their genome. [9]

Also das Prinzip der Differentiellen Genexpression als Grundlage der Zelldifferenzierung bei höheren Organismen. Solche verallgemeinernden Erkenntnissprünge können einen ungeheuer stimulierenden Effekt auf die Wissenschaftsentwicklung haben. Und so wurde das Lac-Operon-Modell zu einer der Gründungstheorien der Molekularbiologie.

Aber diese Geschichte ist noch nicht zu Ende:

Problematisch kann es werden, wenn man das durch Vereinfachung gewonnene Wirkprinzip ohne Berücksichtigung der durch die Vereinfachung gesetzten Grenzen als allgemein gültiges Gesetz ansieht. Und auch Nobelpreisträger sind nicht dagegen gefeit: So spekulieren Pardee, Jacob und Monod, dass die ihnen zwar bekannte, aber von ihnen nicht weiter untersuchte Glukose-Hemmung des Lac-Operons durch "Umwandlung der Glukose in einen spezifischen Galaktosidase-Repressor" erzielt werde [8]. Hier wirkt wohl, nachdem sie den Wirkmechanismus der negativen spezifischen Genrepression in Bakterien entdeckt hatten, die Psychologie der "einfachen" Erklärung, nämlich dass dieses Prinzip – negative genetische Regulation – universell sein müsste.

Wie schon gesagt, wissen wir heute, dass der Glukoseeffekt zu einem wesentlichen Teil in der Aufhebung einer *positiv* wirkenden genetischen Kontrolle der Genexpression durch das Catabolic Activator Protein (CAP) besteht[10]. Das verführerisch "einfache" Konzept des Lac-Operon-Modells führte Monod dazu, in späteren wissenschaftlichen Streitgesprächen, fast dogmatisch, nur die "einfache" negative Repressor-Regulation für richtig zu halten und komplexere Regulationsmechanismen einer positive Genregulation nicht zu akzeptieren, weil diese, "weniger einfach", zwei genetisch determinierte Komponenten, einen Repressor und einen Aktivator, erfordern würden [11]. Ironischer Weise ist aber die positive Genregulation durch spezifische, aktivierende Transkriptionsfaktoren und nicht die, durch das Operon-Modell implizierte negative spezifische Kontrolle, genau das wesentliche Wirkprinzip des von Jacob und Monod genial vorausgeahnten Mechanismus der differentiellen Genregulation bei Eukaryonten (aus kernhaltigen Zellen bestehende Lebewesen).

...und die unerwartete Komplexität der Eukaryonten

Von Monod stammt bekanntlich das Bonmot: "Anything found to be true of E. coli must also be true of elephants" (nach [11]). Das stimmt zwar, was

die Kodierung der genetischen Information in der DNA und ihre Expression durch Transkription und Translation betrifft und dass die Genexpression genetisch reguliert werden kann.

Aber wir wissen heute, dass für Eukaryonten das bakterielle Operon-Modell der negativen spezifischen Regulation der Bakterien nicht gültig ist (Tab. 1). Hier besteht eine weitgehende, unspezifische Abschaltung der Genexpression des gesamten Genoms durch Kernproteine, vor allem Histone, und Chromatinstrukturen. Und die Gene zusammenwirkender Enzymketten werden nicht gemeinsam durch einen spezifischen Repressor reguliert, sondern die genetische Regulation einzelner Gene erfolgt überwiegend individuell, durch spezifische genetische Regulationsmechanismen auf verschiedenen genetischen Ebenen, hauptsächlich durch die Wirkung von aktivierenden, promotorspezifischen Transkriptionsfaktoren und durch entfernt wirkende DNA-Sequenzen, die mit positiv und negativ wirkenden Proteinfaktoren interagieren [12]. Also ein sehr komplexes, aus vielen Komponenten

Tab. 1: Unterschiede in Genstruktur und -expression bei Pround Eukaryonten

E. Coli	Elefant
DNA nicht kompartimentiert	DNA in Zellkern von Zytoplasma getrennt
- RNA- und Protein-Synthese nicht getrennt	RNA-Synthese erfolgt im Zellkern, Proteinsynthese nach RNA-Transport im Zytoplasma
Operon Modell:	
Genom konstitutiv aktiv und spezifisch reprimiert	Genom überwiegend im Chromatin unspezifisch inaktiviert (Histone) und
Mehrere Gene einer Stoffwechselkette häufig gemeinsam spezifisch negativ reguliert (Operon-Repressor/Induktor)	individuell durch Transkriptionsfaktoren spezifisch aktiviert sowie durch fernwirkende, meist aktivierende Chromatin/Faktor-Interaktionen genetisch reguliert (Enhancer, Locus Control Regions, Silencer, Insulator)

und Interaktionen bestehendes System (Abb. 3). Und selbst diese Darstellung ist eine extreme Vereinfachung: So hat sich durch die genomweite Analyse der funktionellen DNA-Sequenzen (ENCODE) gezeigt, dass die regulatorischen Elemente, die die Expression einzelner Gene kontrollieren, in einem dreidimensionalen Netzwerk von Interaktionen, mit anderen Regulatoren und Strukturgenen zusammenwirken [13].

Wenn Sie wollen, können Sie das philosophisch als Negation der Negation betrachten. Die Operon-Struktur der gemeinsamen Regulation zusammenwirkender Gene ist in Eukaryonten aufgehoben, aber mittels prinzipiell anderer Wirkprinzipien werden wiederum funktionell zusammenwirkende biologische Einheiten miteinander koordiniert.

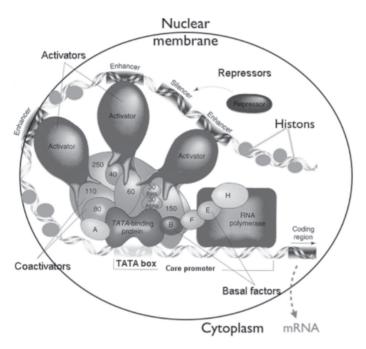


Abb. 3: Transkriptionsregulation im Eukaryonten Zellkern

(Schema modifiziert nach Google images for euraryotic transcription)

Zwar gilt das allgemeine, abstrakte Wirkprinzip der genetischen Regulation der Genexpressionen im Prinzip bei Elefanten und bei E. Coli. Aber diese Gleichsetzung gilt in dieser "Einfachheit" eben nicht im eigentlichen biologischen Prozess, dessen genaue Kenntnis am Ende entscheidend ist, wenn daraus ein anwendbares Gestaltungsprinzip erarbeitet werden soll: Wirkprinzipien, die auf einer Ebene geringerer Komplexität erkannt worden sind, können nicht ohne weiteres auf die Ebene höherer Komplexität übertragen werden.

In einer 2011 geschriebenen Würdigung und Wertung der bahnbrechenden Rolle des Operon-Modells bemerkt einer der bekanntesten Schüler von Jacob und Monod, Jon Beckwith [11]:

"Es war eine wunderschöne Theorie, die auf neuen Ansätzen beruhte und die Möglichkeiten zur Untersuchung biologischer Probleme realistischer erscheinen ließ. Sie gab den Biologen die Überzeugung, dass sie nun das Modell und die Werkzeuge hätten, um herauszufinden, wie Zellen ihre Gene steuern.

Die Biologen ignorierten skeptische Einwände ... und suchten "mit ganzer Hingabe' Beweise für eine Repressor-Steuerung...... und wenn diese nicht ganz dem paradigmatischen Lac-Operon-Modell entsprachen, hielten sie zunächst weiterhin an diesem Paradigma fest. Schließlich, als sich mehr und mehr widersprüchliche Ergebnisse ansammelten, sahen sie sich gezwungen, alternative Erklärungen zu suchen, die sie zur Entdeckung einer unerwarteten Vielfalt von Regulationsmechanismen führten...

Neue Theorien, die erfolgreiche Paradigmen ihres Gebietes werden, liefern, zumindest in ihrer ursprünglichen Form, keine richtige Erklärung für alle Phänomene, die für dieses Gebiet wichtig sind...

Die normale Wissenschaft, die dem wunderbar einfachen Operon-Modell folgte, führte schließlich zu einem besseren Verständnis biologischer Komplexität..."

Das verführerisch-einfache Konzept der Gentherapie

Etwas Ähnliches haben wir auch in der Entwicklung der Gentherapie erlebt:

Nach der Aufklärung der DNA-Struktur (1953) und dem ersten Verständnis der Regulation der Genexpression (1959/60) wurden in einem relativ kurzen Zeitraum Ende der 1960er bis Mitte der 1970er Jahre Methoden zum sequenzspezifischen Schneiden und Zusammenfügen von DNA-Molekülen, zum Transfer dieser Rekombinanten-DNA zwischen Bakterien, zur DNA-Auftrennung und DNA-Sequenzierung sowie Verfahren zur Isolierung von Eukaryonten- messenger- RNA, ihre *in vitro* Translation in Eiweiße und ihre Umschreibung in komplementäre DNA entwickelt. Dieser neuartige Methodenkomplex der Gentechnik eröffnete eine neue der Ära der Molekularbiologie.

Erstmalig wurde es möglich, reine Gensequenzen, auch menschliche, zu isolieren, anzureichern und in Bakterien und bald darauf auch in Zellkultur zur Expression der von ihnen kodierten Eiweiße zu bringen. Die Nutzbarkeit dieser Gensequenzen z.B. für die Diagnostik und vielleicht auch Behandlung genetischer Erkrankungen, zur Produktion therapeutischer Eiweiße in Bakterienkultur oder zur Herstellung genetisch veränderter Pflanzen und

Tiere war so offensichtlich, dass der Gentechnik sofort sowohl mit großer Begeisterung wie auch mit heftiger Ablehnung begegnet wurde. Auf berechtigte Befürchtungen möglicher Gefahren dieser Verfahren durch Unachtsamkeit oder Missbrauch reagierte die Wissenschaftlergemeinschaft mit einem beispielhaften Moratorium experimenteller Arbeiten, einer systematischen Analyse potentieller Gefahrenquellen und der Erarbeitung bindender methodischer und legaler Arbeitsvorschriften [14]. Hier wurde nämlich erkannt, dass man die Grenzen der Gültigkeit des "einfachen" Konzepts nicht wirklich kannte und daher prüfen müsse, um Unheil zu vermeiden.

Es zeigte sich bald, dass der Optimismus der Befürworter berechtigt war. Mit Hilfe von in E. Coli klonierten menschlichen Gensequenzen wurden Ende der 70er Jahre bereits die ersten DNA-Diagnosen in Familien mit der schweren genetischen Erkrankung Thalassämie (Mittelmeeranämie) gestellt und 1985 brachte die erste USA- Gentechnikfirma GENENTECH in E. Coli produziertes Rekombinanten-Humaninsulin auf den Markt.

Das war alles nicht einfach. Im Gegenteil, es war eine sehr schwere und aufreibende Arbeit. Aber das Konzept der Gentechnologie bewahrheitete sich in der Praxis.

Es entsprach dem damaligen Erkenntnisstand der Molekularbiologie und einmal erarbeitet und reproduzierbar ergab dieses Konzept, für Fachleute ein einfach verständliches Wirkprinzip und Gestaltungsprinzip, das in E. Coli vielfach und für verschiedenste Gensequenzen anwendbar war und sogar in Zellkultur funktionierte

Verführerische Einfachheit: Anything that is true of E. coli...

Die daraus geschlossene Universalität des Gentransferkonzepts führte rasch zu seiner Akzeptanz als eine potentielle Therapiestrategie für viele bisher nicht-behandelbare schwere Erkrankungen und seine scheinbare Einfachheit führte zur Voraussage einer breiten klinischen Anwendung innerhalb von nur wenigen Jahren.

Viele molekularbiologische, virologische und klinische Arbeitsgruppen wandten sich mit großem Enthusiasmus dieser Aufgabe zu.

Ende der 1980er Jahre begannen die ersten, durch das National Institute of Health (NIH) der USA genehmigten, Klinischen Gentherapie- Studien an Kindern mit der Immundefizienz-Krankheit Adenosine Desaminiase Deficiency (ADA-SCID). Diesen Kindern wurden genmanipulierte eigene Knochenmarkzellen transplantiert [15]. Die therapeutische Wirksamkeit dieser Studie wurde aus berechtigten ethischen Gründen, nie durch Absetzten der

lebenserhaltenden Enzymsubstitutionstherapie, eindeutig verifiziert. Jedoch führte die scheinbare Einfachheit des Konzepts sowie die begleitende Medienpublizität und Öffnung von Geldhähnen dazu, dass neben vielen gut durchdachten und kontrollierten Grundlagenstudien und klinischen Untersuchungen auch ein "Goldrausch" nach schnellem Ruhm und leichtem Geld einsetzte [16]. Es wurden vielfach große unrealistische Versprechungen für einfache und schnelle Heilungen gemacht und auf dieser Welle sogar nicht vor gezielten Fälschungen von Forschungsergebnissen zurückgeschreckt (Hermann Horstkotte http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/forschungs betrug-daten-trickser-behaelt-professorentitel-a-287690.html).

Vor allem wurde weitgehend nicht berücksichtigt, dass das im Prinzip richtige Konzept des Gentransfers in einem so komplexen Organismus wie dem Menschen eben nicht auf der Basis von Wirkprinzipien, wie sie an weniger komplexen Bakterien und in Zellkultur-Modellen erarbeitet worden waren, realisierbar ist.

1995 hatte das derartige Ausmaße angenommen, dass der damalige Direktor des NIH, Harold Vamus, eine Untersuchung in Auftrag gab, die als Orkin/Motulsky Report bekannt wurde [17]. Hierin wird zwar das "außerordentliche Potential der Gentherapie für die … Behandlung von Krankheiten" hervorgehoben, aber gleichzeitig festgestellt:

"Die Erwartungen, die an die gegenwärtigen Gentherapieprotokolle geknüpft werden, sind stark überzogen. Die überoptimistische Darstellung der klinischen Gentherapie hat die experimentelle Natur der ersten Studien vertuscht, zu einer geschönten Beschreibung ihrer Erkenntnisse in der Fachpresse und Öffentlichkeit geführt und zur weit verbreiteten, aber falschen Vorstellung geführt, dass die klinische Gentherapie bereits sehr erfolgreich ist.

Solche Falschdarstellung droht das Vertrauen in das Gebiet zu untergraben und wird unweigerlich zu schweren Enttäuschungen, sowohl innerhalb der Medizin als auch bei Laiengemeinschaften, führen.

Grund zu noch größerer Besorgnis ist die Möglichkeit, dass Patienten, ihre Familien und das medizinische Personal, in der falschen Annahme, dass eine heilende Behandlungsmethode unmittelbar bevorstehe, unkluge Entscheidungen bezüglich alternativer Behandlungen treffen könnten."

Als Ursache für diese Situation wurden Mängel im grundlegenden Wissen auf den unterschiedlichen Ebenen des Gentransfers benannt: bei Vektoren, Genexpression, Tiermodellen sowie bei der Analyse der Krankheitspathogenese und bei der rigorosen wissenschaftlichen Planung, Durchführung und Auswertung vieler klinischer Versuche. Im Gefolge des Orkin/Motulski-Papiers begann eine verstärkte Besinnung auf die Komplexität des zu errei-

chenden Ziels und der dafür notwendigen strengen wissenschaftlichen Analyse von Grundlagenproblemen.

Im Folgenden soll vereinfacht kurz dargestellt werden, welchen langen Weg das "einfache" Konzept "Gentherapie" zu gehen hatte und noch zu gehen hat, um das vorgegebene Ziel einer auf Gentransfer beruhenden Behandlung menschlicher Erkrankungen zu erreichen. Dabei gehen wir davon aus, dass die Zielkrankheit exakt diagnostiziert und Gentherapie hierfür eine sinnvolle Behandlungsstrategie ist, sowie dass das potentiell therapeutische Genkonstrukt zur Verfügung steht.

Zuerst muss dieses Genkonstrukt in die zu behandelnden Zellen eingeführt werden. Während Bakterien oft relativ bereitwillig fremde DNA aufnehmen und unmittelbar durch Selektion auf ihren Überlebensvorteil testen, haben multizelluläre Organismen in ihrer Evolution hierarchische Systeme der Abwehr von Fremdorganismen, Bakterien, Viren oder DNA entwickelt. Die Fremd-DNA muss die mechanischen, und immunologischen Barrieren überwinden und bis in den Zellkern vordringen, um expremiert zu werden. Parallel zur Evolution unserer Abwehrmechanismen gegen Fremd-DNA haben Bakterien, und vor allem Viren, Strategien entwickelt, um diese Abwehr zu umgehen. Sie nutzen dabei oft spezifische zelluläre Strukturen wie Rezeptoren, die unsere Zellen zur selektiven Aufnahme von Nährstoffen oder Signalmolekülen tragen, um sich und ihre DNA, wie trojanische Pferde, in die Zelle zu bringen. Es lag also nahe – wieder ein "einfaches" Konzept – Viren als Transportvektoren in die Zelle einzusetzen.

Viren sind tatsächlich für den Gentransfer sehr effektiv. Allerdings sind die meisten Viren Pathogene und können daher nicht ohne Modifikation für diesen Zweck verwendet werden. Man kann entweder von den Viren "abgeguckte" Eigenschaften, wie die Verpackung der DNA und Rezeptorbindung, für die Konstruktion synthetischer Vektoren nutzen oder man kann die Viren selbst hinsichtlich ihrer Vermehrungsfähigkeit und Toxizität inaktivieren (Abb. 4). Mit gentechnischen Methoden kann das Virusgenom, durch Ausschneiden pathogener und Einfügen therapeutischer DNA-Sequenzen und geeigneter Promotoren, für unser Ziel der therapeutischen Genexpression manipuliert werden (Abb. 5). Sie verlieren aber dabei auch an Gentransferaktivität und da sie sich nicht selbst vermehren können, benötigen wir auch spezielle Zellkulturen, um sie zu vermehren.

Reduktion und Modifikation des natürlich vorkommenden Virus wird als Gestaltungsprinzip verwandt, um das zu erreichen, was für uns wesentlich ist: Effektiver Transfer und Expression des therapeutischen Gens unter weitestgehendem Ausschluss pathogener Virusfunktionen. Beides gelingt

allerdings nach wie vor nur unvollständig und die Unterschätzung der Grenzen des Erreichten hat zu schweren, ja tödlichen Fehlern geführt.

Wildtyp Virus

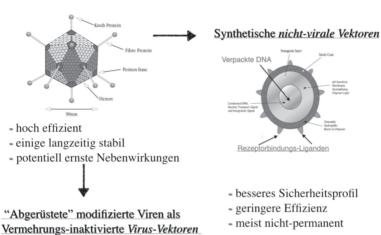


Abb. 4: Strategien zur Vektorentwicklung

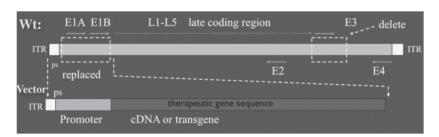


Abb. 5: Modifikation des Adenovirus-Genoms zur Nutzung als viraler Gentransfer-Vektor

Im Ergebnis dieser Reduktion und Modifikation erhalten wir ein neu gestaltetes Virus und obwohl das Prinzip einleuchtend ist, kann weder der Prozess noch das Produkt oder seine klinische Anwendung als einfach bezeichnet werden. Und so bleibt Entwicklung möglichst sicherer und effektiver Vektoren, einschließlich der Adaptation viraler Wirkprinzipien zur Konstruktion

synthetischer Gentransfer-Vektoren, weiterhin eines der wichtigsten und schwierigsten Forschungsgebiete der Gentherapie [18].

Reduktion ist auch ein Gestaltungsprinzip bei der Wahl der Modelle zur präklinischen Erprobung der Gentherapie. Modelle sind unerlässlich für die Erarbeitung geeigneter Vektoren, die Testung ihrer Effektivität, ihrer Toxizität und für das Erkennen unerwarteter Probleme. Wichtig dabei ist, sich immer bewusst zu sein, wo die Grenzen der Aussagefähigkeit dieser Modelle sind.

Das einfachste und billigste Modell ist die Zellkultur. Sie erlaubt Testung von Vektoren auf ihre prinzipielle Fähigkeit zu Gentransfer und Expression der therapeutischen Gensequenz mit hohem Durchsatz von Konstrukt-Variationen, aber ermöglicht nur sehr begrenzte Aussagen zu Wirkung und Nebenwirkungen in Tiermodellen und dem Menschen.

Tiermodelle erlauben Testung von Vektor-Applikation, Sicherheit und Funktion therapeutischer Eiweiße in Zellen/Organen/Organismus. Allerdings sind sie teuer, erlauben weniger Durchsatz und Variationen. Unter ihnen sind Mäuse, vor allem Mausmodelle menschlicher Erkrankungen, sehr günstig für relativ kurzzeitige Untersuchungen zur organ-/zellspezifischen Expression der therapeutischen Gene, die Beobachtung von Krankheitskorrektur- und für Sicherheitsstudien. Aber es bestehen große anatomische und physiologische Unterschiede zum Menschen und daher sind murine Krankheitsmodelle sind nicht immer verlässlich für Voraussagen von Wirkungen am Menschen. Größere Tiere eigenen sich zur Erprobung von Applikationsmethoden der Humanmedizin für die Gentherapie und sie erlauben Langzeituntersuchungen zur therapeutischen Genexpression und für Sicherheitsstudien. Aber nur wenige dienen als gute Krankheitsmodelle und sie sind kostenaufwendig.

Eine wesentliche Erfahrung aus diesen Untersuchungen, ist, dass alle diese Modelle keine "einfache" Voraussage auf den Erfolg beim Menschen zulassen. Das hat sich in zahlreichen erfolgreichen Gentherapie-Experimenten bei Mäusen, die als Anzeichen unmittelbar bevorstehender therapeutischer Durchbrüche gefeiert wurden, es aber dann nie in die Klinik geschafft haben, gezeigt. Selbst der Schritt vom Nicht-Human-Primaten zum Menschen ist nicht ohne Probleme.

Die Schaffung effektiverer Vektorsysteme brachte die ersten therapeutischen Erfolge in Tiermodellen und bald darauf auch in klinischen Versuchen. Mit den Erfolgen kamen aber auch die ersten schwerwiegenden Nebenwirkungen: Eine völlig unnötig übereilte Dosissteigerung bei einer freiwilligen Versuchsperson führte zum ersten Todesfall der Gentherapie durch eine unkontrollierte Immunreaktion [19] und auch bei ihrem bisher größten

Erfolg, der Heilung von Kindern mit der schweren und ohne Therapie tödlichen X-SCID-Immunkrankheit (Severe Combined Immune Deficiency), verstarb ein Kind nach erfolgreicher Therapie an einer durch den Vektor ausgelösten Leukämie. In der Folgezeit sind nach intensiver Forschung sicherere Vektorsysteme entwickelt worden.

Bis heute wurden etwa 2.000 klinische Studien durchgeführt [20]. Viele vorhersehbare und noch mehr unerwartete Probleme mussten überwunden werden, um mit harter und systematischer Arbeit zu ersten eindeutigen Erfolgen der Gentherapie zu kommen. Im Jahre 2000 wurden die ersten Kinder mit der tödlichen X-SCID-Immundefizienz klinisch geheilt [21]. Für diese Krankheit ist Gentherapie, neben der äußerst selten möglichen kompatiblen Knochenmarktransplantation, die einzige Chance zur Lebensrettung dieser Kinder. Wie bereits erwähnt, erkrankten drei Jahre später fünf von insgesamt zwanzig in Paris und London behandelten Kindern an Leukämie, die zum Tode eines der Patienten führte. Bei den anderen vier Kindern konnte die Leukämie erfolgreich behandelt werden [22]. Bald danach wurde dieser Therapieerfolg bei einer zweiten Immundefizienz-Krankheit ADA-SCID ohne Auftreten von Nebenwirkungen wiederholt [22]. Hoffnungsvolle klinische Ergebnisse sind für einen weiteren Immundefekt (Wiskott Aldrich Syndrom – WAS), für die Hämophilie B, bestimmte Retinopathien, einige metabolische Erkrankungen und in jüngster Zeit für AIDS erzielt worden. Aber das sind alles noch experimentelle klinische Studien und die verwendeten Vektoren sind keine zugelassenen Medikamente.

Ein endgültiger Erfolg eines Therapiekonzepts ist sicher erst erreicht, wenn ein in seiner Wirksamkeit anerkanntes und offiziell genehmigtes Therapeutikum vorliegt. Das erfordert nach den präklinischen und klinischen Studien zur Testung auf Effektivität und Toxizität, zumindest in Europa und den USA, einen sehr aufwendigen und teuren Prozess von Patentierung, Finanzierung, Genehmigung und Produktion nach Medikamentenstandards (GMP)[23].

2004 wurde ein Vektorsystem Gendicin als Krebstherapeutikum in China zugelassen [24] und 2013 erhielt Glybera die EU-Zulassung als Therapeutikum für die seltene familiäre Lipoprotein-Lipase-Defizienz [23]. Beide sind allerdings nur beschränkt wirksam.

Die Verführbarkeit des Menschen durch "einfache" Konzepte liegt wohl in unserer Natur und das sicher nicht nur in den Naturwissenschaften, wie in den beschriebenen Beispielen dargestellt, sondern wohl auch, und dann mit breiteren Konsequenzen, in Gesellschaftskonzepten.

Fortschritt braucht sowohl visionäres Denken als auch wissenschaftlichen Realismus. Die verführerische Illusion des einfachen Konzepts kann, wie wir an zwei Beispielen gesehen haben, ungeheuer stimulierend wirken, aber auch auf Abwege führen. Am Ende wird die Praxis korrigierend einwirken, aber manchmal unter großen Kosten. Es lohnt sich also den Hinweis von Jon Beckwith am Ende seines bereits zitierten Artikels in Erinnerung zu behalten.

"Wir werden uns wohl weiterhin auf die 'einfachste' Erklärung für unsere Ergebnisse konzentrieren, aber dahinter lauert immer die potenziell frustrierende Erkenntnis, dass nichts so einfach ist, wie wir uns das vorstellen."

Referenzen

- Coutelle, C., Von der klassischen Biochemie zur pränatalen Gentherapie. Die Entwicklung der molekularen Humangenetik im Rückblick eines beteiligten Zeitzeugen. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 2013. 115: p. 157–170
- Sommerfeld, E., Einführung zu "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip". Wissenschaftliche Plenarveranstaltung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 8. April 2010. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 2010. 108: p. 7–9
- Hörz, H., Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich begründete Reduktionen?
 Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit. In "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip". Wissenschaftliche Plenarveranstaltung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 8. April 2010. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 2010. 108: p. 11–36
- Hawking, S., A brief history of time. Kindel Edition, 1987
 Schimming, R., Optimierung von Erkenntnis: Einfachhe
- Schimming, R., Optimierung von Erkenntnis: Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit. In "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip". Wissenschaftliche Plenarveranstaltung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 8. April 2010. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 2010. 108: p. 67–77
- Linke, D., Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 2015, dieser Band
- Müller, S., Einfachheit biochemischer Komplexität ein Widerspruch? In "Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip". Wissenschaftliche Plenarveranstaltung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin am 8. April 2010. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 2010. 108: p. 57–66
- Pardee, A.B., Jacob, F. and Monod, J., The Genetic Control and Cytoplasmic Expression of "Inducibility" in the Synthesis of β-galacosidase by E. Coli. J. Mol. Biol., 1959. 1: p. 165–178
- Jacob, F. and Monod, J., Genetic Regulatory Mechanisms in the Synthesis of Proteins. J. Mol. Biol., 1961. 3: p. 318–356
- 10. Gorke, B. and Stulke, J., Carbon catabolite repression in bacteria: many ways to make the most out of nutrients. Nat Rev Microbiol, 2008. 6(8): p. 613–24

11. Beckwith, J., The operon as paradigm: normal science and the beginning of biological complexity. J Mol Biol, 2011. 409(1): p. 7–13

- Latchman, D.S., Transcriptional Gene Regulation in Eukaryotes". In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0002322.pub2, 2011: p. 1–7
- Sons, Ltd: Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0002322.pub2, 2011: p. 1–7

 13. Coulon, A., et al., Eukaryotic transcriptional dynamics: from single molecules to cell
- populations. Nat Rev Genet, 2013. 14(8): p. 572–84

 14. Berg, P. and Singer, M., The recombinant DNA controversy: Twenty years later. Proc.
- Natl. Acad. Sci. USA, 1995. 92: p. 9011–9013
 15. Blaese, R.M., et al., T Lymphocyte directed gene therapy for ADA-SCID: Initial trial results after 4 years. Science, 1995. 270: p. 475–479
- 16. Annonymus, Den Tumor Fressen. Der Spiegel 1994 Mertelsmann: Wittich.pdf>, 1994(19): p. 222–228
 17. Orkin, S.H. and Motulski, A., Therapy, Report and Recommendations of the Panel to
- Assess the NIH Investment in Research on Gene Therapy. December 7, 1995. USA: Federal Registry, 1996
 Coutelle, C. and Waddington, S.N., Vector systems for prenatal gene therapy: choosing vectors for different applications. Methods in molecular biology. Springer Protocols, 2012.
- 891: p. 41–53
 19. Raper, S.E., et al., Fatal systemic inflammatory response syndrome in a ornithine transcarbamylase deficient patient following adenoviral gene transfer. Mol Genet Metab, 2003. 80(1–2): p. 148–58
- Ginn, S.L., et al., Gene therapy clinical trials worldwide to 2012 an update. J Gene Med, 2013. 15(2): p. 65–77
- Cavazzana-Calvo, M., et al., Gene therapy of human severe combined immunodeficiency (SCID)-X1 disease. Science, 2000. 288(5466): p. 669–72
- 22. Zhang, L., Thrasher, A.J. and Gaspar, H.B., Current progress on gene therapy for primary immunodeficiencies. Gene Ther, 2013. 20(10): p. 963–9
- 23. Bryant, L.M., et al., Lessons learned from the clinical development and market authorization of Glybera. Hum Gene Ther Clin Dev, 2013. 24(2): p. 55–64
- Wilson, J., Gendicine: The First Commercial Gene Therapy Product (editorial). Hum Gene Therapy, 2005 16(12): p. 1014

Dieter B. Herrmann

Sind die Standardmodelle der Kosmologie und Elementarteilchenphysik falsch, weil sie zu kompliziert sind?

Anmerkungen aus wissenschaftshistorischer Sicht

Seit längerem beschreiben wir die Makro- und Mikrowelt durch zwei detailliert ausgearbeitete Standardmodelle, die von der überwiegenden Mehrheit der wissenschaftlichen Community als eine zutreffende Annäherung an die Realität betrachtet werden. In der Kosmologie handelt es sich um das Urknall-Szenario demzufolge der gegenwärtig beobachtete Zustand des Universums aus einem superdichten Urzustand vor 13,82 Milliarden Jahren hervorgegangen ist (Abb. 1). In der Elementarteilchenphysik ist es die Zurückführung aller Materiezustände und ihrer Wechselwirkungen auf Fermionen und Bosonen, wobei sechs Sorten von Quarks und sechs Sorten von Leptonen den Materieaufbau beschreiben und vier Sorten von Bosonen die starke und die schwache Kernkraft sowie die elektromagnetische Kraft. Hinzu kommt das lange postulierte und 2012 entdeckte Higgs-Boson als Austauschteilchen des skalaren Higgs-Feldes, das den Teilchen seine Massen verleiht (Abb. 2). Das Austauschteilchen der für die Kosmologie so entscheidenden, wenn auch ungleich schwächeren Gravitationskraft, das sogenannte Graviton, konnte allerdings noch nicht nachgewiesen werden. Somit enthält das gegenwärtige Standardmodell unter Einbeziehung der entsprechenden Antiteilchen insgesamt 61 Elementarteilchen.

Die stärksten Argumente zugunsten des Standardmodells der Kosmologie sind die kosmische Hintergrundstrahlung als Relikt des heißen Urzustandes sowie das Verhältnis von Wasserstoff zu Helium in der gemessenen Häufigkeit der chemischen Elemente im Universum. Gerade erst 2013 haben die Ergebnisse der Planck-Mission der ESA mit der bisher detailliertesten Kartographie des Mikrowellenhintergrundes aus der Zeit 380.000 Jahre nach dem Urknall, als der Kosmos erstmals durchsichtig wurde, die Standardtheorie erneut gestützt. Das bezieht sich auch auf den Anschluss an Beobachtungen über die Elementhäufigkeit im frühen Universum. Das Verhältnis, in dem diese Elemente nach der Interpretation der Mikrowellenkarte vorkamen, stimmt

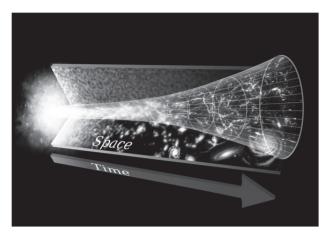


Abb. 1: Bildliche Veranschaulichung der Expansion von Raum und Zeit

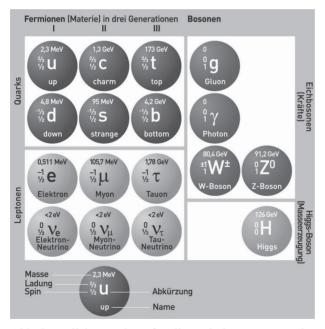


Abb. 2: Teilchen und Kräfte, die nach dem gegenwärtigen Standardmodell die Welt im "Innersten zusammenhalten"

(Aus Dieter B. Herrmann, Das Urknall-Experiment. Die Suche nach dem Anfang der Welt, Stuttgart 2014. Mit freundl. Genehmigung des Kosmos-Verlages)

weitgehend mit Messungen überein, die an extrem alten Objekten gemacht wurden, in denen die ursprüngliche Elementverteilung noch besteht (Abb. 3).

Auch das Standardmodell der Teilchenphysik gilt als sehr erfolgreich, da es die Teilchen und deren Wechselwirkungen zutreffend beschreibt und die meisten Vorhersagen der Theorie durch Messungen bestätigt werden konnten. Selbst Fakten und Teilchen, deren Existenz aus dem Modell überhaupt erst vorausgesagt wurden, sind nachgewiesen worden, wie z.B. Beispiel zuletzt das Higgs-Boson oder der sogenannte g-Faktor des Elektrons, das gemessene magnetische Moment im Verhältnis zu dem beim vorliegenden Drehimpuls nach der klassischen Physik zu erwartenden magnetischen Moment, auch genannt Landé-Faktor.



Abb. 3: Die bislang präziseste Karte des Mikrowellenhintergrundes (ESA-Planck-Mission 2013)

Dessen ungeachtet gibt es bei beiden Standardmodellen zahlreiche ungeklärte Probleme, die deren Anhängern und Verfechtern auch durchaus bewusst sind. Soweit handelt es sich durchaus um den bekannten Weg der Wissenschaft, deren Modelle immer nur bestimmte Aspekte der Realität unter bestimmten Bedingungen widerspiegeln und in einem ständigen Prozess von Experimenten, Theorien und Meinungsstreit immer weiter vervollkommnet werden müssen.

Aufsehen erregte ein 2010 erschienenes Buch des studierten Physikers, Rechts- und Neurowissenschaftlers Alexander Unzicker, der in München als Gymnasiallehrer tätig ist. Das Buch trägt den provokanten Titel "Vom Urknall 174 Dieter B. Herrmann

zum Durchknall" und wurde von der Zeitschrift "Bild der Wissenschaft" als "Wissenschaftsbuch des Jahres" in der Rubrik "Zündstoff" ausgezeichnet.

Unzickers Kritik ist von grundsätzlicher Art. Er vertritt die Ansicht, die moderne Physik habe sich verlaufen und einige der Grundprinzipien vergessen oder aufgegeben, denen einst Forscher wie Einstein, Dirac oder Schrödinger ihre großen Erfolge zu verdanken hatten. Diese hätten nach einfachen Lösungen gesucht und wären von dem Gedanken beseelt gewesen, die Welt mit wenigen strengen Regeln und wenigen freien Parametern zu verstehen. Die heutige Physik hingegen führe immer neue frei wählbare Parameter ein – in der Elementarteilchenphysik sind es inzwischen Dutzende –, für die es keine physikalische Erklärung gäbe und womit man letztlich alles (und nichts) beweisen könne:

"... wir haben heute zu viele Forscher, die für alles, was sie nicht verstehen, leichtfertig neue Teilchen und Felder erfinden. Zu Einsteins Zeit galt dies als ein Eingeständnis des Versagens. Heute gibt es dafür Wissenschaftspreise."

Unzicker führt seine Leser über weite Strecken durch die Geschichte physikalischer Ideen und kommt zu der Überzeugung, dass viele von ihnen viel zu früh abgetan wurden, die einer weiteren ernsthaften Verfolgung wert wären.

Unzicker fragt in pointierten Formulierungen, ob nicht die so genannten Standardmodelle der Kosmologie und der Teilchenphysik in ihrer Komplizierung einen ähnlichen Irrweg darstellen wie die antiken und mittelalterlichen Epizyklen, die erst mit dem heliozentrischen System des Copernicus einer neuen Einfachheit und Wahrheit wichen.

Unzickers kontroverseste These, die natürlich bei den Vertretern der Standardmodelle auf heftigen Widerspruch stößt, besagt, das gesamte Quark-Modell einschließlich der W- und Z-Bosonen sowie auch das Higgs-Teilchen seien überhaupt erst entstanden durch extensive Filterung von Daten und willkürliche Interpretation immer winzigerer Effekte.

Dabei stützen sich seine Ansichten im wesentlichen auf das Buch "Constructing Quarks" (1999) des Physikers Andrew Pickering. Allerdings räumt Unzicker ein, dass erst die Geschichte zeigen wird, ob die kritischen Argumente sich als tragfähig erweisen werden.

Unzicker ist natürlich nicht der einzige Skeptiker gegenüber etablierten Vorstellungen.

Alexander Unzicker, Vom Urknall zum Durchknall, Heidelberg, Dordrecht, London, New York 2012

² Alexander Unzicker im Interview mit der Zeitschrift P.M., Juli 2010, www.vom-urknallzum-durchknall.de/PM.html (Zugriff: 02.03.2015).

Bücher wie "Der Urknall kommt zu Fall" von Hans-Jörg Fahr oder "Das Reale des Universums" von Karl-Ernst Eiermann sind nur zwei Titel von zahlreichen weiteren, die gegen das Standardmodell der Kosmologie Sturm laufen. Auch ein bereits im Jahre 2004 im "New Scientist" veröffentlichter "Open letter to the scientific community"³, in dem Hunderte zum Teil sehr angesehene Wissenschaftler ihr Unbehagen an den zahlreichen unbewiesenen Annahmen zum Ausdruck bringen, die dem jetzigen Standardmodell einverleibt wurden, hat die "soziale Übereinkunft" über das Modell nicht aufbrechen können.

Wohlgemerkt, die Bücher von Unzicker enthalten viel Nachdenkenswertes und ich habe durchaus Sympathie für seinen von manchen als ketzerisch empfundenen Diskurs. Interessant – besonders für die im Arbeitskreis "Einfachheit" unserer Sozietät behandelten Probleme – ist nun aber die Argumentation Unzickers, dass die gegenwärtig akzeptierten Modelle zu kompliziert seien, um als wahr angesehen werden zu können. So heißt es z.B. in Unzickers zweitem Buch "Auf dem Holzweg durchs Universum":

"Und doch bilden diese vielgestaltigen Konzepte, genannt 'Standardmodell', einen augenfälligen Kontrast zu dem Streben nach Einfachheit, mit der zum Beispiel Einstein die damals bekannten Teilchen, Proton und Elektron, als Lösungen seiner Feldgleichungen beschreiben wollte."⁵

Oder – mit Bezug auf das kosmologische Standardmodell:

"Bei der metaphorischen Formulierung 'Ockhams Rasiermesser' denkt man … an eine scharfe Klinge, der zu komplizierte Modelle zum Opfer fallen. In Ermangelung eines einfachen Modells beschloss die Kosmologie jedoch vor einiger Zeit, sich nicht mehr zu rasieren." (Ebd., S. 24)

Insgesamt sei die Wissenschaftsentwicklung bis 1930 ein großes Experiment, "in dem komplizierte Modelle noch nie Bestand hatten" (ebd., S. 26). Dabei beruft sich Unzicker immer wieder auf Einstein als Kronzeugen und auf die antike Epizykeltheorie der Planetenbewegung. Vor allem diesem Aspekt von Unzickers Kritik möchte ich mich im Folgenden aus der Sicht der Wissenschaftsgeschichte widmen.

Was die Komplizierung des antiken Weltsystems durch die Einführung der Epizykel angeht, könnte man die Betrachtungsweise nämlich ohne weiteres auch umkehren und behaupten, gerade die Forderung nach größter

³ www.s8int.com/bigbang2.html (Zugriff: 20.03.2015).

⁴ Vgl. Dieter B. Herrmann, Das Urknall-Experiment. Die Suche nach dem Anfang der Welt, Stuttgart 2014, S. 310ff.

⁵ Alexander Unzicker, Auf dem Holzweg durchs Universum, München 2012, S. 23.

176 Dieter B. Herrmann

Harmonie und Einfachheit hat die Komplizierung überhaupt erst verursacht. Einfachheit nämlich aus dem Blickwinkel von Plato. Es ging um ein von Plato herstammendes Dogma – anders kann man es nicht bezeichnen – demzufolge alle Bewegungen von Himmelskörpern auf gleichförmig durchlaufene reine Kreisbewegungen zurückzuführen seien. Die Planeten waren für Plato Lichter, die das Denken der "Weltseele" zum Ausdruck bringen. Ihre Bewegungen sollten daher mit ihren Eigenschaften übereinstimmen, die wiederum aus dem vermeintlichen Wesen der Gestirne abgeleitet waren. Weil der Kreis die vollkommenste und einfachste aller geometrischen Formen darstelle, mussten es für die Himmelkörper Kreisbahnen sein. Da die beobachteten Bewegungen infolge der zwei Ungleichheiten der Planetenbewegungen dem aber nicht entsprachen, mussten die "Erscheinungen gerettet" werden, wie man das nannte. Das geschah durch die Epizykel- und Deferentenkonstruktionen. In Wirklichkeit wurde das Kreisbahndogma gerettet, – höchste Einfachheit, die sich später als falsch erwies (Abb. 4).

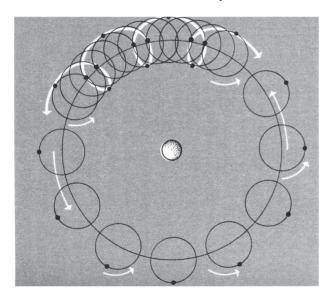


Abb. 4: Bewegung der Planeten nach Ptolemaios

Nach Ptolemaios bewegen sich die Planeten gleichförmig auf kreisförmigen Epizykeln, deren Mittelpunkte ebenfalls gleichförmig auf kreisförmigen Deferenten umlaufen

(Aus: Dieter B. Herrmann, Entdecker des Himmels, Leipzig 1990)

Immerhin war die Ptolemäische Epizykeltheorie auch durchaus ein Erfolg. Denn im Rahmen der damaligen Beobachtungsgenauigkeit war sie in der Lage, zutreffende Vorhersagen über künftige Planetenpositionen zu liefern, allerdings erst, nachdem Ptolemaios zur finalen "Rettung der Erscheinungen" noch einen Ausgleichspunkt (punctum aequans) eingeführt und die Erde damit aus dem geometrischen Zentrum der Welt herausgenommen hatte. Obschon die kunstvollen geozentrischen kinematischen Konstruktionen die Realität nicht widerspiegeln, waren sie doch gleichsam die wissenschaftliche Wahrheit einer vergangenen Epoche.

Die reale historische Entwicklung hat aber die Epizykel nicht abgeschafft, um einer größeren Einfachheit zum Durchbruch zu verhelfen, wenngleich größere Einfachheit das Resultat gewesen ist. Die inzwischen vergangenen langen Zeiträume und die verbesserten und genaueren Beobachtungen ließen vielmehr in der Renaissance keine hinreichende Übereinstimmung mit den Ptolemaiosschen Prognosen mehr erkennen. Die Epizykel verschwanden im Prozess der Erkenntnis und in der Absicht, Übereinstimmung von Theorie und Beobachtung wieder herzustellen. Bei den reformatorischen Bestrebungen von König Alfons XIII von Kastilien um 1250 wurde die Zahl der Epizykel in zunächst sogar noch größer. Auch Copernicus in seinem "De revolutionibus orbium coelestium" (1543) musste Epizykel verwenden, weil er an der Kreisform der Planetenbahnen festhielt und daher die beobachteten Bewegungen nicht ohne Epizykel darstellen konnte. Erst die Erkenntnis Keplers auf der Grundlage der hervorragenden Beobachtungen Tycho Brahes, dass die wahre geometrische Form der Planetenbahnen die Ellipse ist, ließ die Epizykel aus der Theorie verschwinden. Es lässt sich nicht vorstellen, wie durch einen bloßen Hinweis auf die Kompliziertheit des Epizykelsystems um 1250 (als Alfons XIII agierte) auf irgendeine Weise die 400 Jahre Forschung und die sich dadurch verstärkenden grundsätzlichen Zweifel am geozentrischen System hätten ersetzt werden können durch die Forderung nach mehr Einfachheit. Das wäre meines Erachtens schon deshalb nicht möglich gewesen, weil Wissenschaft auch von Konventionen abhängt und eine so genannte wissenschaftliche Tatsache auch stets so etwas wie eine soziale Übereinkunft unter Wissenschaftlern darstellt. Gerade in der Renaissance wurde diese "soziale Übereinkunft" nicht zuletzt durch den Machtapparat der Kirche zementiert. Selbst wenn wir also dem Gedanken von Unzicker folgen, die Kompliziertheit der gegenwärtigen Stan-

⁶ Harald Walach, Wa(h)re Skepsis. Wa(h)re Wissenschaft, Zeitschrift für Anomalistik 13 (2013), Nr. 3, S. 327.

178 Dieter B. Herrmann

dardmodelle sei ein Indiz dafür, dass sie unzutreffend seien, bleibt wohl kein anderer Weg, als durch Forschung (d.h. Experimente und Theorien) sich mühsam vorwärts zu tasten zu einem Resultat, das heute niemand voraussehen kann. Dass dieses Resultat unbedingt einfacher sein muss als das gegenwärtige Standardmodell, scheint mir ebenfalls keineswegs ausgemacht. So könnte etwa bei der von manchen Physikern für möglich gehaltenen Entdeckung von Substrukturen des Elektrons und der Quarks die Zahl elementarer Teilchen durchaus auch zunehmen, weil nur dann die sehr verschiedenartigen Eigenschaften der bekannten Elementarteilchen beschreibbar wären. Historische Beispiele zeigen uns stets nur, welche Wege die Wissenschaft früherer Zeiten (mit oder ohne Erfolg) gegangen ist. Sie gestatten aber keine induktiven Schlüsse auf künftige Forschungswege und Resultate, es sei denn, ein imaginärer Weltgeist hätte uns verraten, dass Einfachheit ein durchgängiges Konstruktionsprinzip der Natur sei.

In diesem Sinne folge ich den Ausführungen unseres Mitgliedes Coutelle bei seinem Vortrag in unserem Arbeitskreis 2014, der auf die Gefahr hinwies, dass eine durch Vereinfachung gewonnene und durch sie begrenzte Erkenntnis als objektiv existierende Einfachheit der Natur betrachtet werden könnte, die so gar nicht besteht (siehe auch *Coutelle* in diesem Band).

Auch die Kritik Unzickers, dass zu leichtfertig neue Teilchen und Felder erfunden werden, wenn beobachtete Fakten unverstanden bleiben, ist zumindest kritisch zu hinterfragen. Gerade hier mangelt es nicht an historischen Beispielen, die uns zeigen, dass genau auf diesem Wege große Erkenntnisfortschritte erzielt wurden. Ich erinnere an Wolfgang Paulis "Erfindung" des Neutrinos im Jahre 1933. Beim radioaktiven Beta-Minus-Zerfall⁸ hatte man ein kontinuierliches Spektrum der Elektronen-Energien beobachtet. Das deutete auf eine Verletzung des Energieerhaltungssatzes hin. Pauli nahm nun an, dass neben den Elektronen noch ein anderes unbeobachtetes Teilchen den Kern des jeweiligen Atoms verlässt und einen Teil der Energie auf sich vereint, so dass die Elektronen unterschiedliche Energien haben können, ohne dass der Energieerhaltungssatz verletzt wird. Um etwas zu erklären, was man nicht verstand, hatte Pauli etwas angenommen, was man nicht nachweisen konnte, wie er selbst gesagt haben soll. Doch 23 Jahre später wurde die Existenz des Neutrinos, das heute ein fester Bestandteil der Stan-

⁷ Charles Coutelle, Die verführerische Illusion "einfacher" Konzepte. Kritische Betrachtungen zum Prinzip Einfachheit an Hand von Beispielen aus Molekularbiologie und Medizin. Vortrag in der Leibniz-Sozietät am 20. November 2014, Ms. S. 2

⁸ Hierbei wandelt sich ein Neutron des Kerns eines Atoms mit Neutronenüberschuss in ein Proton um, wobei ein Elektron und ein Elektron-Antineutrino emittiert werden.

dard-Theorie ist, experimentell bestätigt. In ganz ähnlicher Weise war Paul Dirac auf die Existenz des Positrons gekommen. Bei der Ausarbeitung der relativistischen Elektronentheorie ergaben sich die Elektronenenergien sowohl positiv wie auch negativ. Man freute sich über die relativistische Theorie und tat das negative Vorzeichen im Ergebnis zunächst als "Plus-Minus-Schwierigkeit" ab. Dirac aber nahm das unverstandene negative Vorzeichen der Elektronenenergie ernst und postulierte 1928 die Existenz des Positrons, des positiv geladenen Antiteilchens zum Elektron. Es wurde 1932 in der kosmischen Strahlung entdeckt. Nicht minder "verrückt" waren die Postulate von Niels Bohr. Entgegen allen gesicherten Erkenntnissen aus der klassischen Physik entwarf er ein Atommodell, in dem die Elektronen ganz bestimmte, durch ihre Energie gekennzeichnete Bahnen durchlaufen konnten, ohne dass es zur Abstrahlung elektromagnetischer Wellen kam. Sein Chef und Lehrmeister Rutherford soll die Idee mit den Worten kommentiert haben "Sind Sie verrückt geworden?". Aber er sorgte glücklicherweise trotzdem für die rasche Publikation der Arbeit (Abb. 5). Von allen Dreien – Dirac, Pauli und Bohr – könnte man mit Unzicker sagen, sie hätten leichtfertig für etwas Unverstandenes neue, nicht nachweisbare Dinge eingeführt. Aber genau auf diese Weise hatten sie Erfolg. Weshalb will man das dann den jetzigen Forschern zum Vorwurf machen? Dass dabei manchmal etwas Wegweisendes herauskommt und manchmal auch nicht, hat Rainer Schimming in seinem Beitrag "Optimierung von Erkenntnis: Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit" gezeigt. Für mich geht daraus hervor, dass man die Vorgehensweise nicht a priori als absurd betrachten kann, sondern die experimentellen Ergebnisse abwarten muss, die gegebenenfalls noch folgen.

Lassen Sie mich ein anderes Beispiel aus der Zeit von Hegel und Gauss berichten. Damals beschäftigten sich viele Astronomen mit der auffallend großen Abstandslücke zwischen den Planeten Mars und Jupiter, die schon Kepler aufgefallen war. In der Überzeugung, dass die Abstände der Planeten einem einfachen Gesetz folgen, versuchte man, eine Zahlenreihe zu finden, die dieses Gesetz beschrieb. Im Ergebnis fand man die bekannte Titius-Bodesche Reihe, derzufolge sich der Abstand eines Planeten von der Sonne aus der Formel

$$a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$$

berechnen lässt.

⁹ Rainer Schimming, Optimierung der Erkenntnis: Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 108 (2010) 67–77. http://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/11/05_schimming.pdf (Zugriff: 04.03.2015)

180 Dieter B. Herrmann

a bedeutet den mittleren Abstand eines Planeten von der Sonne in Astronomischen Einheiten (AE), n durchläuft für die damals bekannten Planeten von Merkur bis Uranua die Zahlenreihe $-\infty$, 0, 1, 2, 3, 4, 5.

Die bereits erwähnte Lücke macht sich in der Reihe dadurch bemerkbar, dass man für n = 3 keinen Planeten kannte.

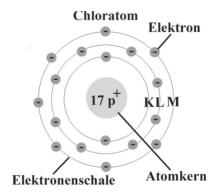


Abb. 5: Bohrs Schalenmodell des Atoms

In dem Modell können Elektronen strahlungsfrei auf bestimmten, durch ihre Energie gekennzeichneten Bahnen umlaufen.

Von der Gültigkeit der Reihe fest überzeugt, folgerten die Astronomen daraus die Existenz eines Planeten zwischen Mars und Jupiter, der nur noch nicht entdeckt sei. Bei der planmäßigen Suche nach dem Planeten fand der italienische Astronom Giuseppe Piazzi in der Neujahrsnacht des Jahres 1801 im gesuchten Abstand ein Objekt, von dem wir heute wissen, dass es der erste Vertreter der zwischen Mars und Jupiter umlaufenden sogenannten Asteroiden (Kleinplaneten) war. Speziell das gefundene Objekt namens Ceres zählt nach heutiger Terminologie zu den Zwergplaneten.

Just um dieselbe Zeit befasste sich auch Hegel in seiner Dissertation mit den Abstandsgesetzen im Sonnensystem. Ihn leitete die Überzeugung der Einfachheit, was er in der "Dissertatio" mit folgenden Worten umschrieb:

"... die Erfahrung und Erkenntnis der Naturgesetze stützt sich ja auf nichts anderes als darauf, dass wir glauben, die Natur sei aus der Vernunft gebildet, und darauf, dass wir von der Identität aller Naturgesetze überzeugt sind. Diejenigen, die anhand von Erfahrung und Induktion nach Gesetzen forschen, nehmen jene Identität der Vernunft und der Natur dann in folgender Weise wahr: Sobald sie endgültig auf die Gestalt eines Gesetzes stoßen, freuen sie sich an dem Gefunde-

nen, und wenn andere Erscheinungen damit schlecht zu vereinbaren sind, zweifeln sie ein wenig an den (bisherigen) Experimenten und bemühen sich auf jede Art, eine Harmonie zwischen beidem herzustellen. Dafür bietet das Verhältnis der Planetenbahnen, über das wir (hier) sprechen, ein Beispiel: Weil nämlich die Entfernungen der Planeten ein Verhältnis einer arithmetischen Entwicklung nahe legen, wobei dem fünften Glied der Entwicklung aber in der Natur kein Planet entspricht, wird vermutet, dass zwischen Mars und Jupiter tatsächlich ein gewisser (Planet) existiert, der – uns zwar unbekannt – durch den Raum zieht, und eifrig wird geforscht.

Weil diese Entwicklung arithmetisch ist und nicht einmal einer Zahlenreihe folgt, die die Zahlen aus sich selbst schafft, also Potenzen, hat sie für die Philosophie keinerlei Bedeutung. Es ist bekannt, wie viel die Pythagoräer über Verhältnisse philosophischer Zahlen gearbeitet haben: Daher stünde frei, die überlieferte und in beiden Timaios-Schriften (von Plato, DBH) behandelte Zahlenreihe heranzuziehen, wo sich Timaios zwar nicht auf die Planeten bezieht, aber urteilt, dass nach diesem Verhältnis der Demiurg das Universum gebildet habe. Die Zahlenreihe heißt 1, 2, 3, 4, 9, 16, 27: Es mag nämlich erlaubt sein, die 16 statt der 8 zu setzen, die wir (im Timaios-Text) lesen. Falls diese Reihe die wahrhaftere Ordnung der Natur angibt als die arithmetische Reihe, dann ist klar, dass zwischen dem vierten und fünften Ort ein großer Raum liegt und dort kein Planet vermisst wird."

Hegels Kritik an der Titius-Bodeschen Reihe folgt insofern dem Prinzip Einfachheit, als er statt einer arithmetischen Reihe, die übrigens genau betrachtet sogar eine Mischung aus arithmetischer und geometrischer Reihe darstellt 11, eine solche für sinnvoller hält, die die Zahlen "aus sich selbst schafft". Tatsächlich ergibt sich die Zahlenreihe aus dem "Timaios" als Potenzreihe $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 3^0, 3^1, 3^2, 3^3$.

Allerdings hat Hegel diese Folge dann doch manipulieren müssen, um auf die Zahlenverhältnisse der Abstände im Sonnensystem zu kommen – er hat also, um mit Unzicker zu sprechen, frei gewählte Parameter eingeführt, die 8 durch die 16 ersetzt und die sich dann ergebende Reihe der Operation 3. Wurzel aus x⁴ unterzogen. Die mittlere Abweichung, mit der die tatsächlichen Zahlenverhältnisse wiedergegeben wurden, entsprach bei der Titius-Bodeschen Reihe 2,5% und bei der Hegelschen 5,2%. Der wesentlichere

Zitiert nach Georg Wilhelm Friedrich Hegel, Dissertatio Philosophica de Orbitis Planetarum, Übersetzt, eingeleitet und kommentiert von Wolfgang Neuser (Bd. 2 der Schriften zur Naturphilosophie, hgg. v. R. Löw), Weinheim 1986, S. 137/139.

Vgl. Johann Franz Encke, Gedächtnisrede auf Johann Elert Bode, Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin – Aus dem Jahre 1827 –, Berlin 1830, S. XIX.

Unterschied lag jedoch darin, dass bei Hegel kein Planet zwischen Mars und Jupiter fehlte und sie folglich auch keinen Anlass bot nach einem solchen zu suchen. Man kann sich vorstellen, mit welchem Spott Hegel von den Astronomen überzogen wurde, als die Ceres entdeckt worden war. ¹² Damals entstand der fiktive Hegelsche Dialog: "Es gibt nur sieben Planeten" – "Dem widersprechen aber die Tatsachen" – "Um so schlimmer für die Tatsachen".

Interessant bleibt jedoch der heuristische Wert der Titius-Bodeschen Reihe, die ja die Suche nach dem Planeten in der Lücke eingeleitet hatte. Eine zutreffende Beschreibung der Abstandsverhältnisse im Sonnensystem stellt sie trotzdem nicht dar, denn für den später entdeckten Planeten Neptun gilt sie eben so wenig wie für die massenweise gefundenen Kleinplaneten in der Lücke zwischen Mars und Jupiter, wo eben doch kein einziger großer Planet gefehlt hatte. Warum die Reihe für einen großen Teil der Planeten zutreffende Abstandswerte liefert, ist bis heute unverstanden und spricht vielleicht auch für die Beliebigkeit taxonomischer Zuordnungen. Angesichts der Entdeckung einer immer größer werdenden Zahl von Exoplaneten haben aber viele die Hoffnung noch nicht aufgegeben, hinter dieser Reihe tiefer liegende Gesetze der Herausbildung von Planetensystemen zu entdecken. Bei Hegel aber mündeten seine frühen Überlegungen schließlich in einen entschiedenen erkenntnistheoretischen Monismus, nach dem sich alle Vorgänge der Realität auf ein einziges Grundprinzip zurückführen lassen. Hegels ontologische Frage galt der Grundstruktur der Realität.

Auch in der Mikrowelt hat es Versuche gegeben, Harmonie und Einfachheit von Zusammenhängen zu finden.

In den 60er Jahren des 19. Jhs. war die Spektralanalyse entwickelt worden. Es begann eine Zeit intensiver Erforschung der Spektren verschiedener Stoffe, besonders von Gasen. Der Schwede Angström hatte 1867 die Wellenlängen des Wasserstoffspektrums gemessen und der Schweizer Mathematiker und Physiker Johann Jacob Balmer beschäftigte sich mit diesen Messungen. Dabei beseelte ihn offenbar der Gedanke einer Harmonie, die zwischen den verschiedenen Wellenlängen walten sollte und er versuchte, die Wellenlängen der vier damals bekannten Linien im Bereich des sichtbaren Lichts in einem zahlenmäßigen Zusammenhang zu ordnen. Dabei fand er 1885 die einfache Beziehung:

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$$

¹² Vgl. Dieter B. Herrmann, Über Beobachten, Entdecken und Spekulieren in der Astronomie, In: Mitteilungen der Gauss-Gesellschaft Göttingen 48 (2011) 9–22.

Das erinnert durchaus an die Titius-Bodesche Reihe. R ist eine empirische Konstante.

Als nun aber weitere Linien in anderen Wellenlängenbereichen (z.B. im UV) entdeckt wurden, zeigte sich – und das ist der Unterschied zur Titius-Bodeschen Reihe – dass diese sich ebenfalls sehr gut durch die Balmer-Formel darstellen ließen. Der Schwede Johannes Rydberg verallgemeinerte diese Formeln schließlich und zum großen Erstaunen der Physiker konnte man die empirisch gefundenen Beziehungen auch auf neu entdeckte Serien anwenden.

Die empirische heute sogenannte Rydberg-Konstante ließ sich schließlich aus lauter elementaren Konstanten wie der elektrischen Ladung des Elektrons, der Planckschen Konstanten und der Lichtgeschwindigkeit ableiten.

Die ursprüngliche Überzeugung von obwaltenden harmonischen Beziehungen hatte also in diesem Fall zu einem wichtigen Erkenntnisfortschritt geführt und die Zahlen hatten sich als physikalisch bedeutungsvolle Größen erwiesen. Arnold Sommerfeld schrieb deshalb 1931 in seinem berühmten Buch "Atombau und Spektrallinien" völlig zutreffend:

"Was wir heutzutage aus der Sprache der Spektren heraushören, ist eine wirkliche Sphärenmusik des Atoms, ein Zusammenklingen ganzzahliger Verhältnisse, eine bei aller Mannigfaltigkeit zunehmende Ordnung und Harmonie". ¹³

"Ordnung", "Harmonie" oder auch "Einfachheit" sind Leitideen. Der USamerikanische Forscher Gerald Holton hat solche wie auch immer zustande gekommenen Leitideen unter dem Begriff THEMATA zusammengefasst und in seinem Buch "Themata. Zur Ideengeschichte der Physik"¹⁴ diskutiert. "Jeder hat seine eigene, manchmal starrsinnige "Sammlung" von fundamentalen Leitideen", schreibt er, "die voneinander unabhängig betrachtet werden können …" (ebd., S. 150). An anderer Stelle bezeichnet er die "Themata" sogar als eine "besondere Art von Vorurteilen" (ebd., S. 4).

All diese Themata dienen letztlich dem Zweck, die unübersichtlich erscheinende Realität auf übersichtliche Strukturen zurückzuführen. In diesem Sinne stimme ich auch Herbert Hörz zu, wenn er über die gezielte Suche nach Einfachheit als Erkenntnishilfe ausführt, dass es sich hierbei um ein methodisches Prinzip handelt und schreibt:

¹³ Arnold Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Braunschweig 1919, Vorwort

¹⁴ Gerald Holton, Themata. Zur Ideengeschichte der Physik. Braunschweig, Wiesbaden 1984.

184 Dieter B. Herrmann

"Für die Erkenntnis gilt bei der möglichen Auswahl aus verschiedenen Erklärungen für gleiche Phänomene, man solle die auswählen, die mit der einfachsten bzw. der geringsten Anzahl an Annahmen auskommt."¹⁵

Doch er zitiert auch

"Das Dumme dabei ist nur, dass es keine objektiven Kriterien dafür gibt, wann eine Theorie einfacher oder sparsamer ist als eine andere. Diese Kriterien hängen fundamental von der herrschenden Theorie ab."¹⁶

Und Hörz ergänzt: "Wer die bestehende Theorie halten will, wird das Einfachheitsprinzip verletzen und kompliziertere Zusätze einfügen."¹⁷ Das beste Beispiel für diese Verfahrensweise ist die Einführung einer inflationären Phase in der frühesten Geschichte der Expansion des Universums. Und genau deswegen wird sie von Kritikern auch bemängelt. Doch wer sagt uns denn, dass es eine solche Phase, die mehrere der gegenwärtig beobachteten Eigenschaften des Universums gut zu erklären vermag, die man ohne sie nicht verstehen würde, nicht tatsächlich geben hat, auch wenn der öffentlich viel bejubelte scheinbar gelungene Nachweis mit dem BICEP2-Teleskop im vergangenen Jahr sich inzwischen als Fehlinterpretation heraus gestellt hat?

In welch hohem Maß der Begriff "Einfachheit" durchaus subjektiv ist, habe ich selbst erlebt, als ich Alexander Unzicker mit dem renommierten DESY- und CERN-Mitarbeiter Thomas Naumann zu einer öffentlichen Diskussion in der Berliner Urania zusammenführte, der sogenannten "Unzicker-Naumann-Debatte." Während Unzicker die Kompliziertheit des gegenwärtigen Standardmodells der Elementarteilchenphysik kritisierte, lobte Naumann dessen Einfachheit. Tatsächlich konnte Naumann darauf verweisen, dass der Teilchenzoo bis in die siebziger Jahre immer größer geworden war und man schließlich mehr als 200 verschiedene Teichen gefunden hatte, ohne eine vernünftige Ordnung in das System bringen zu können. Als man dann aber nach Ähnlichkeiten hinsichtlich Masse, Spin, Baryonenzahl oder Ladung zwischen den verschiedenen Teilchen und ganzen Teilchengruppen suchte, gelang es, durch Einführung der Quarks (und ihren späteren experimentellen Nachweis), ein viel einfacheres Schema der Elementarteilchenphysik zu finden, eben das heutige Standardmodell. Unzicker aber sieht die-

¹⁵ Herbert Hörz, Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich berechtigte Reduktionen? Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 108 (2010) S. 18.

¹⁶ Hans-Dieter Radeke, Lorenz Teufel, Was zu bezweifeln war. Die Lüge von der objektiven Wissenschaft, München, 2010, S. 160 (zitiert bei Hörz, siehe Fußnote 15, S. 20).

¹⁷ Siehe Fußnote 15, S. 20.

¹⁸ https://www.youtube.com/watch?v=P-U2nGFqupI (Zugriff: 20.02.2015).

sen Gewinn an Einfachheit als allzu relativ und kommentiert ironisch: "Es mag auch Leute geben, die sofort zugreifen, wenn Schuhe für 1100 Euro um siebzig Prozent billiger werden". ¹⁹ In diesem Punkt stimmt ihm sogar der "Erfinder" der Quarks, Murray Gell-Mann zu, wenn er schreibt dass die gegenwärtig insgesamt 61 Elementarteilchen des Standardmodells immer noch einen "umfangreichen und heterogenen Katalog fundamentaler Objekte" darstellen.²⁰ Er sieht für die Zukunft die "Einbettung des Standardmodells in eine umfassendere, weniger willkürliche Theorie, "... vorzugsweise einer einheitlichen Theorie und all ihrer Wechselwirkungen" (ebd.). Eine solche müsse aber gegenwärtig noch als Spekulation betrachtet werden, da es keinerlei direkte Beweise aus Beobachtungen gebe. Das gegenwärtige Standardmodell – auch jenes der Kosmologie mit seiner unverstandenen Dunklen Materie und Dunklen Energie – ist also gewiss nicht schon der Weisheit letzter Schluss. Nur wird die Forderung nach größerer Einfachheit allein das Problem nicht lösen. Schließlich beruhen die Komplizierungen der Standardmodelle (zumindest teilweise) auf Beobachtungen, die man nicht einfach ignorieren kann. Inwieweit die Interpretationen dieser Beobachtungen stichhaltig sind oder welche anderen Deutungen sich dafür gegebenenfalls anbieten, sei dahin gestellt.

Im übrigen erweist sich auch an dem soeben berichteten Beispiel einer völlig diametralen Beurteilung des Grades an Einfachheit angesichts derselben Fakten, dass es für unseren Arbeitskreis sehr sinnvoll wäre, einen Vorschlag von Erdmute Sommerfeld im Auge zu behalten. Sie forderte die inhaltliche und formale "Beschreibung von Kriterien für Einfachheit". und die nähere Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen Einfachheit und Komplexität sowie zwischen Einfachheit und Kompliziertheit. Dabei könnte man das Augenmerk auf mögliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den verschiedensten Disziplinen lenken und so vielleicht durch Systematisierung zu einem konkreteren Begriff von Einfachheit gelangen, der zumindest Missverständnisse ausschließt, vielleicht aber auch einen vertieften Zugang zu der Frage nach der Rolle von Einfachheit in Theorien und in der Wirklichkeit eröffnet.

Das bisher in diesem Arbeitskreis erarbeitete Material böte meines Erachtens eine ausgezeichnete Grundlage hierfür. Dass auch dies keineswegs

¹⁹ Alexander Unzicker, Auf dem Holzweg durchs Universum, München 2012, S. 28f.

²⁰ Murray Gell-Mann, Das Quark und der Jaguar. Vom Einfachen zum Komplexen, München, Zürich 1996, S. 284.

²¹ Erdmute Sommerfeld, Einfachheit – ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen? Anregungen zur interdisziplinären Diskussion, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 108 (2010) S. 159.

einfach wird (um diesen undefinierten Begriff hier noch einmal zu verwenden), lassen die anregenden diesbezüglichen Überlegungen und Thesen von Lutz-Günter Fleischer erkennen. Er hat vor diesem Arbeitskreis seine Gedanken zu Begriffselementen und Zuordnungsmerkmalen solcher Begriffe wie einfach/kompliziert oder elementar/komplex und ihrer Korrelationen unter systemtheoretischen Aspekten vorgetragen²² (siehe auch *Fleischer* in diesem Band). Daran sollte unbedingt weiter angeknüpft werden.

²² Lutz-Günther Fleischer, Taxonomie dynamischer ontologischer und kognitiver Mehrebenensysteme (unveröff. Ms.)

Heidemarie Salevsky, Ina Müller

Das Sensitivitätsmodell Prof. Vester® – ein einfaches¹ Programm zur Lösung komplexer Probleme (mit Anwendungsbeispielen aus der Translatologie)

1. Einleitung

Nach der Katastrophe von Tschernobyl am 26. April 1986 begannen Diskussionen über die technische Ausstattung von Atomkraftwerken, Sicherheitsstandards etc. In Wirklichkeit jedoch resultierten die Probleme vorrangig aus dem Glauben, ein komplexes System mit einer Art "Reparaturdienstverhalten" in den Griff zu bekommen. Fast eine Million Menschen bezahlte das mit ihrer Gesundheit, nicht wenige mit ihrem Leben.

Auch wenn es in anderen Bereichen meist nicht so gefährlich zugeht, so ähneln sich die Probleme doch mit Blick auf den Umgang mit Komplexität. Die Ursachen sind:

- Die Tendenz zu einem isolierenden Ursache-Wirkungs-Denken ohne Berücksichtigung von Fern- und Nebenwirkungen;
- die Unfähigkeit zum Denken in kausalen Netzen;
- der Glaube der Erhabenheit über den Umgang mit der Zeit und den Prozessen (vgl. Dörner 1996: 54ff.).

Es geht um die Struktur und die Dynamik von Systemen.

Eine Anleitung zu einem neuen Umgang mit Komplexität bietet das Sensitivitätsmodell Prof Vester®

2. Das Sensitivitätsmodell Prof. Vester®

Prof. Dr. Frederic Vester (1925–2003, Biochemiker, Direktor der Studiengruppe Biologie und Umwelt München, ab 1993 Mitglied des Club of Rome) hat das computerbasierte "Sensitivitätsmodell Prof. Vester®" entwickelt – zur Erfassung und Strukturierung komplexer Systeme und ihrer Dy-

¹ Gemeint ist: einfach anwendbar und Komplexität reduzierend auf die wesenhaften Aspekte (im Sinne von Hörz 2010).

namik. Es soll der Planung, der Bewertung und dem Management durch die Entwicklung systemrelevanter Strategien dienen. 1999 stellte Vester das Modell auch in seinem Buch "Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität" vor (Vester 1999, ⁹2013). Mit *Sensitivität* wird eine über Sensibilität hinausgehende Empfindsamkeit eines komplexen Systems mit Blick auf innere und äußere Einflüsse bezeichnet.

"Ein Sensitivitätsmodell gibt nicht nur, wie es die Modelle der System Dynamics tun, die Dynamik wieder, die eine Systementwicklung bestimmen, es ist auch der registrierende Seismograph, der in der Lage ist, die darin herrschende Kybernetik zu beschreiben. Dadurch, daß das Verfahren die Wirkungsflüsse sichtbar werden läßt, ist es dem Anwender möglich, sie durch neue Weichenstellungen zu beeinflussen, die Systemkonstellation durch Selbstregulation zu verbessern und mit Hilfe von Simulationen das entsprechende Verhalten des Systems zu hinterfragen – inklusive der Rückwirkungen, die etwa schon die Kenntnis dieser Beeinflussungsmöglichkeiten auf seine Entwicklung hat." (Vester 2000: 158f.)

Die Vorteile des Sensitivitätsmodells Prof. Vester® bestehen in Folgendem:

- Es bietet die Möglichkeit einer transparenten Beschreibung eines realen Systems und damit eines holistischen Vorgehens bei der Untersuchung eines komplexen Problems und bei der Bewertung einer konkreten Leistung. Es zeigt, dass die Relationen oft wichtiger sind als die Dinge selbst, da vieles vernetzt ist, was häufig getrennt gesehen wird (vgl. Vester 2000: 9).
- 2. Die Rolle jeder Variablen im System kann berechnet, visualisiert und bewertet werden. Damit wird ein Verständnis der speziellen Kybernetik des jeweiligen Systems möglich. Ein Simulationsprogramm erlaubt es (durch den Vergleich verschiedener Simulationsdurchläufe), auf durchschaubare Weise zu prüfen, welche Folgewirkungen die Veränderung einzelner Größen auf das gesamte System bzw. auf ein bestimmtes Teilgefüge hätte (Wenn-dann-Prognosen) (vgl. Vester 2000: 225, 240f.).
- 3. Jeder neue Arbeitsschritt erlaubt eine Überprüfung der aufgestellten Hypothesen, ist offen für Änderungen, Korrekturen und permanente Aktualisierungen, d.h. ein rekursives Arbeiten (vgl. Vester 2000: 240).

2.1 Fuzzy Logic – die Basis für das Programm

"Fuzzy Logic ist ein Konzept, das sich aus dem Zweig der mathematischen Theorie von unscharfen Mengen ableitet. Anders als die grundlegenden Theorie des Aristoteles, die Aussagen nur als "wahr' oder 'falsch' oder als '1' oder '0' zuläßt,

wie sie von digitalen Computern verarbeitet werden, ist die Fuzzy Logic in der Lage, mit [...] Ausdrücken wie "vielleicht falsch' oder "in gewisser Weise wahr' umzugehen. Allgemein erlaubt es die Fuzzy Logic, wenn sie auf Computer angewendet wird, [...] ungenaue Informationen zu quantifizieren, Entscheidungen aufgrund vager und unvollständiger Daten zu treffen und sogar – durch Einschalten eines "Defuzzifizierungsprozesses" – zu definitiven Schlussfolgerungen zu kommen." (U.S Department of Commerce: Fuzzy Logic. A Key Technology for Future Competitiveness, zit. n. Kosko 1995:191).

Ein fuzzy-logisches System kann aufgrund fuzzy-logischer Wenn-dann-Regeln jedes System modellieren bzw. näherungsweise erfassen. Ein fuzzy-logisches System wird in drei Schritten aufgebaut: Zuerst werden die Variablen ausgewählt, danach die fuzzigen Mengen und als Drittes die fuzzy-logischen Regeln. Die grundlegende Idee besteht darin, die Erfahrungen von Menschen, die die Prozesse durchführen, in die Konstruktion des Systems mit einzubauen. Fuzzy-logische Systeme werden u.a. in der Physik, der Kommunikation, der Neurologie und Neurobiologie eingesetzt (vgl. Kosko 1995: 192ff.).

Das Sensitivitätsmodell Prof. Vester® baut auf Fuzzy Logic auf (vgl. P. 2.2).

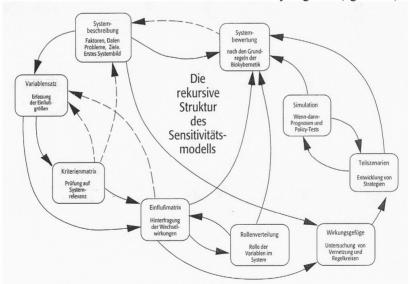


Abb. 1: Die rekursive Struktur des Sensitivitätsmodells

Ouelle: Vester 2000: 169

Die Grundlage des Ansatzes von Vester (erste Ebene) besteht in der Reduktion der Komplexität auf einen überschaubaren, aber doch systemrelevanten Variablensatz, die sogenannten Schlüsselfaktoren (vgl. Vester 2000: 160). Auf der zweiten Ebene werden – mit Hilfe der Einflussmatrix – die Wechselbeziehungen untersucht und die Systemvernetzung graphisch visualisiert, um die unterschiedlichen Rollen der Einflussgrößen innerhalb des Systems erkennbar werden zu lassen. Mit fuzzy Interrelationen werden Risiken und Chancen deutlich (vgl. Vester 2000: 161). Die dritte Ebene ist die biokybernetische Bewertung (Beurteilung des analysierten Systems) mit Blick auf Selbstregulation, Flexibilität und Steuerbarkeit. Damit werden Lösungsstrategien aus dem Systemzusammenhang heraus aufgezeigt (vgl. Vester 2000: 161).

2.2 Die Arbeitsschritte des Programms

Das Sensitivitätsmodell Prof. Vester® ist in neun ineinandergreifende Arbeitsschritte gegliedert (cf. Vester 2000: 162):

- 1. Systembeschreibung (incl. Festlegung der Systemgrenzen)
- 2. Erstellung eines systemrelevanten Variablensatzes
- 3. Kriterienmatrix (Prüfung der Variablen auf Systemrelevanz)
- 4. Einflussmatrix und Einflussindex (Hinterfragung der Wechselwirkungen)
- 5. Rollenverteilung (Bestimmung der Rolle der Variablen im System)
- 6. Wirkungsgefüge (Untersuchung der Gesamtvernetzung)
- 7. Teilszenarien (Kybernetik einzelner Szenarien)
- 8. Simulation (Wenn-dann-Prognosen und Policy-Tests)
- 9. Evaluation (Biokybernetische Systembewertung und Strategie)

Zu 1. Systembeschreibung

Die erste Systemerfassung ist darauf gerichtet, wie das System aussieht, in das das betreffende Problem eingebettet ist (vgl. Vester 2000: 176).

Dafür können folgende Fragen genutzt werden:

- Wo liegen die Probleme?
- Was könnte man dagegen tun?
- Was hängt damit zusammen?
- Wodurch sind dem Grenzen gesetzt?
- Wer ist dagegen und warum?
- Was muss erhalten werden?

- Wodurch trägt sich das System?
- Was sind seine Besonderheiten?

Eine heikle Frage ist die nach der Größe und Begrenzung eines Systems, da jedes komplexe System einerseits Teil eines größeren umfassenderen Systems ist und andererseits selbst aus Subsystemen besteht.

Zu 2. Erstellung eines systemrelevanten Variablensatzes

Als Basis für die Sensitivitätsanalyse ist ein Datensatz von 20–40 Variablen (Systemkomponenten) ausreichend (vgl. Vester 2000: 183f.). Zu jeder Variablen gehört eine Beschreibung der Indikatoren, mit denen sie näher bestimmt wird. Damit man fragen kann, ob eine Variable "abnimmt" oder "zunimmt", muss sie qualitativ ausgerichtet sein (z.B. nicht nur "Management", sondern "Effizienz des Managements"), damit sie quantitativ bewertet werden kann. Eine systemrelevante Beschreibung hängt weniger von der Anzahl der Variablen als von ihrer richtigen Zusammenstellung ab.

Zu 3. Kriterienmatrix (Prüfung auf Systemrelevanz)

Mit Hilfe der Kriterienmatrix wird jede Variable auf ihre Systemrelevanz hin geprüft. Dabei geht Vester (2000: 189ff.) von *sieben Lebensbereichen* aus:

- die Beteiligten (Wer ist alles da?)
- die T\u00e4tigkeiten (Was machen die?)
- der Raum (Was passiert wo?)
- das Befinden (Wie fühlen die sich dabei?)
- die Umweltbeziehung (Wie funktioniert der Ressourcenhaushalt?)
- die inneren Abläufe (Welche Strukturen und Kommunikationswege bestehen?)
- die innere Ordnung (Wie ist das geregelt?)

Hinzu kommen *drei physikalische Kategorien*: Materie (Variable, die vorwiegend materiellen Charakter haben), Energie (Variable, die vorwiegend Energiecharakter haben) und Information (Variable, die vorwiegend Informations- und Kommunikationscharakter haben) und *vier dynamische Kategorien* (Flussgröße, Strukturgröße, zeitliche Dynamik und räumliche Dynamik) sowie *vier Arten der Systembeziehungen* der Variablen:

- öffnet das System durch "Input" (Variable, die das System durch Einwirkungen von außen öffnen),
- öffnet das System durch "Output" (Variable, die in umgebende Systeme hineinwirken),
- von innen steuerbar (Variable, die durch Entscheidungsprozesse steuerbar sind, die innerhalb des betrachteten Systems stattfinden; sie sind ein Maß für die Autarkie des Systems),
- von außen steuerbar (Variable, die Entscheidungsprozessen unterliegen, die außerhalb des betrachteten Systems stattfinden; sie sind ein Maß für die Dependenz des Systems).

Berücksichtigt werden müssen alle 18 Kriterien, da sonst ein falsches Bild entstehen kann.

Zu 4. Einflussmatrix und Einflussindex (Hinterfragung der Wechselwirkungen)

Hiermit erfolgt der erste Schritt zur kybernetischen Beschreibung der Wirkungen im Systemzusammenhang. Das geschieht durch eine Abschätzung des Einflusses jeder Variablen auf jede andere (vgl. Vester 2000: 203).

Die Frage heißt: Wenn sich Variable A verändert, wie stark verändert sich dann in direkter Wirkung Variable B? Die Wirkungsstärken werden von 0 bis 3 bewertet (0 = starke Änderung von A bewirkt keine oder kaum Änderung bei B; 1 = starke Änderung von A bewirkt nur leichte Änderung bei B; 2 = Änderung von A bewirkt gleichstarke Änderung bei B; 3 = schwache Änderung von A bewirkt sehr starke Änderung bei B). Das Ergebnis ist eine Matrix, aus der der Einflussindex jeder Variablen errechnet wird: aktiv, reaktiv, kritisch oder puffernd. Aktive Variable sind als Hebel nutzbar, kritische sind Risikofaktoren, reaktive sind eine Art Messfühler und puffernde sind träge Elemente.

Zu 5. Rollenverteilung (Bestimmung der Rolle der Variablen im System)

Da sich alle Variablen irgendwo auf dem Achsenkreuz zwischen aktiv-reaktiv und kritisch-puffernd befinden, erlaubt erst eine zweidimensionale Darstellung der aus der Einflussmatrix entwickelten Einflussindizes einen umfassenden (wenn auch groben) Gesamtüberblick über die Rollenverteilung der Variablen im System. Im aktiven Bereich finden sich Schalthebel, die nach erfolgter Änderung erneut stabilisieren. Gehört eine aktive Größe

gleichzeitig zu den kritischen, kann ein Eingriff an dieser Variablen destabilisierend wirken. Gehört diese aktive Größe jedoch zu den puffernden Elementen, kann ein Eingriff stabilisierend sein. Im reaktiven Bereich bringen Eingriffe nur Korrekturen kosmetischer Art. Dafür eignen sich die hier liegenden Variablen sehr gut als Indikator, auch zum Experimentieren. Im kritischen Bereich finden sich Katalysatoren, die als Initialzündung geeignet sind, um Dinge in Gang zu bringen. Hier ist allerdings Vorsicht geboten, da es zu unkontrolliertem Aufschaukeln und Umkippen kommen kann. Im puffernden Bereich liegen schwache Schalthebel mit wenig Nebenwirkungen (vgl. Vester 2000: 204ff.).

Die Auswahl und Definition der Variablen kann immer wieder korrigiert werden. Die rekursive Vorgehensweise gehört zu den Charakteristika des Sensitivitätsmodells, d.h., dass mit der Bearbeitung eines Schrittes automatisch die vorangegangenen korrigiert werden (iterative Schleifen).

Zu 6. Wirkungsgefüge (Untersuchung der Gesamtvernetzung)

Durch das Wirkungsgefüge wird die Systemdynamik sichtbar gemacht. Es geht um die aktuell wirkenden Abläufe, Vernetzungen und Kreisprozesse (vgl. Vester 2000: 208). Verschachtelte Regelkreise lassen sich herausfiltern, Analysen der Rückkopplungen vornehmen, Warnungen und Hinweise erkennen, z.B. bei externen Einwirkungen. Die Wirkungspfeile (gestrichelte oder durchgezogene) zeigen die Art und Weise, wie die Wirkung gerichtet ist. Der durchgezogene Pfeil steht für eine gleichsinnige Beziehung (z.B. mehr Autos bewirken mehr Verkehr) und der gestrichelte für eine gegensinnige Wirkung (z.B. je mehr das Auto als Statussymbol genutzt wird, desto geringer ist die Attraktivität der öffentlichen Verkehrsmittel). Unterschieden wird zwischen positiven und negativen Rückkopplungen. Eine positive Rückkopplung bringt die Dinge durch Selbstverstärkung zum Laufen, eine negative sorgt für Stabilität gegen Störungen und Grenzüberschreitungen (vgl. Vester 2000: 128ff.).

Durch Abrufen der automatisch ermittelten Rückkopplungen lässt sich erkennen, ob die negativen Rückkopplungen vorherrschen (und damit Selbstregulation) oder ob das System aufgrund der Dominanz positiver Rückkopplungen gefährdet ist (Aufschaukelungseffekt). Eine geringe Zahl von Rückkopplungen lässt auf ein von äußeren Faktoren abhängiges "Durchflusssystem" schließen, viele Rückkopplungen hingegen auf ein autarkes Verhalten des Systems. Finden sich in einem System viele negative und positive Rückkopplungen, so ist es sehr vielen regulierenden Kräften unter-

worfen. Es lässt sich zudem ausprobieren, was geschieht, wenn einzelne Variable aus dem System herausgenommen werden. Während man bestimmte Variable aus dem System herauslösen kann, ohne dass sich das Netzwerk wesentlich verändert, kann das Entfernen anderer Variablen dazu führen, dass keine stabilisierenden Regelkreise mehr bestehen (Gefährdung des Systems). Auf diese Weise lässt sich viel über die Bedeutung einzelner Variablen für das Zusammenspiel der Wechselwirkungen erfahren (vgl. Vester 2000: 217).

Mit dem Wirkungsgefüge steht erstmals ein zusammenhängendes Modell der sichtbaren Variablenvernetzung zur Verfügung. Vernetzungsgrad, Durchfluss und Abhängigkeit sind grundlegende kybernetische Kenngrößen, die Möglichkeiten für spätere Strategiebildung anzeigen.

Zu 7. Teilszenarien (Kybernetik einzelner Szenarien)

Für Teilszenarien können einige Variablen in Untervariable aufgesplittet und detaillierter beschrieben werden, Hilfsvariablen eingefügt und entsprechend verknüpft werden. Ein Teilszenario sollte zwischen drei und zehn Variablen umfassen. Auf diese Weise wird deutlich, dass der "Organismus" (das System) sich aus einer Reihe von "Organen" unterschiedlicher Funktion zusammensetzt, die ihrerseits aus einzelnen "Zellen" (den Variablen) bestehen, die wiederum aus "Organellen" (den Indikatoren und Quantitäten der Variablenbeschreibung) aufgebaut sind (vgl. Vester 2000: 222). So kann der Blick für die kybernetischen Zusammenhänge in den untersuchten Teilbereichen geöffnet, können neue Problemlösungen und Handlungsstrategien, d.h. real wirksame Ansatzhebel für eine Verbesserung der Systemkonstellation, gefunden werden. Jedes Teilszenario entwickelt sich so gleichzeitig zu einer Art Policy-Test, mit dem unterschiedliche Konstellationen (durch die Veränderung einzelner Variablen) durchgespielt werden können. Damit bilden die Teilszenarien mit ihren Aussagen ein Kernstück des Sensitivitätsmodells (vgl. Vester 2000: 220ff.).

Zu 8. Simulation (Wenn-dann-Prognosen und Policy-Tests)

Der Arbeitsschritt Simulation basiert auf den Teilszenarien und simuliert damit nie das ganze Systemmodell, sondern nur Teile davon. Mit Policy-Tests können sowohl das Systemverhalten als auch die Folgen bestimmter Eingriffe simuliert und es kann bestimmt werden, wie der entsprechende Teil des Systems reagiert (z.B. auf die Entfernung oder Einfügung einer

Variablen) und wie sich Änderungen einer Variablen auf das System auswirken. Durch den Vergleich verschiedener Simulationsläufe können Folgewirkungen erkundet und es kann herausgefunden werden, ob der gewünschte Effekt erreicht wird. So kann die Dynamik des Systems unter verschiedenen Wenn-dann-Bedingungen getestet werden.

Zu 9. Evaluation (Biokybernetische Systembewertung und Strategie)

Die Systembewertung ist eine Kontrollinstanz, die den gesamten Modellaufbau begleitet, um daraus geeignete Strategien für den Umgang mit dem System ableitbar zu machen. Die biokybernetische Systembewertung hinterfragt nicht nur die Strategie, sondern auch noch einmal die anfängliche Systembeschreibung, was erneut zu Korrekturen führen kann. Damit wird das untersuchte System bis zur Erstellung des Modells und noch während der Umsetzung in eine systemverträgliche Strategie immer wieder an sich selbst überprüft. Es ist der Schritt von der Analyse zur Entscheidungsfindung.

Vester betont, dass die Systembewertung dazu dient, die Charakteristik des untersuchten Systems in Analogie zu den Kriterien eines intakten Ökosystems zu überprüfen, um daraus geeignete Strategien für den Umgang mit dem System abzuleiten.

2.3 Zur Anwendbarkeit

Die Organisationsstruktur lebender Systeme bildet somit das Kontrollinstrument zur Analogiebildung, mit dem sich die Überlebensfähigkeit des untersuchten Systems prüfen lässt (vgl. Vester 2000: 255ff.).

Vester geht davon aus, dass wir für funktionierende komplexe Systeme bei der Suche nach Vorbildern als einziges System, das eine vernünftige Garantiezeit des Überlebens aufzuweisen hat, das biologische finden (vgl. Vester 2000: 111). Den Grund für die Allgemeingültigkeit sieht Vester darin, dass alle komplexen Systeme unserer Welt ein Grundmuster besitzen, das sich durch alle Größenordnungen hindurch immer wiederholt (vgl. Vester 2000: 141).

Das zeigt auch die Liste der Lizenznehmer bzw. Anwender, die von solchen Bereichen wie Luft- und Raumfahrt, dem militärischen Bereich, der Energiewirtschaft, der Kernenergie, der Medizintechnik und der Autoindustrie über Unternehmensführung und Qualitätsmanagement, die Stadtentwicklung und Umweltprojekte, den Versicherungsbereich, das Bankwesen, den Sport und die Verwaltung bis zur Lösung von demografischen Pro-

blemen, zum Brandschutz und der Feuerwehr, zur Pädagogik und dem Dienstleistungsbereich bis hin zu einem Modell zur Früherkennung von Suizidalität und zu Sicherheitsproblemen reicht, z.B. bei der Anwendung für GPS.

2.4 Die Bedeutung des Sensitivitätmodells für die Translatologie

In der Translatologie erfuhren Extrembereiche wie das Simultandolmetschen und die Bibelübersetzung lange Zeit nicht die gebührende Beachtung, da sie den reduktionistischen Charakter der sogenannten allgemeinen Modelle und Theorien der Translation verdeutlicht hätten, die entweder auf den Text, den Übersetzer oder die Kommunikationsbedingungen abstellten und diese stets separat betrachteten.

Bei der Erforschung des Simultandolmetschens z.B. wurde deutlich, dass es die operationalen Aspekte sind (vor allem das Zeitproblem, wie z.B. das Sprechtempo des Redners), die den gesamten Prozess dominieren können. Diese sind sprachwissenschaftlich nicht von Interesse. Für den Ausführenden und damit auch für die theoretische Erkundung sind der Zeitdruck, die Intransparenz der Situation und die Unvollständigkeit des Ausgangstextes im Moment der Übertragung Quellen der Unbestimmtheit in den Entscheidungssituationen und damit wichtige Parameter in der translatologischen Forschung. Nötig ist Wissen über die Struktur und die Dynamik des Systems, über die Interaktionen der Variablen und darüber, welche Handlungsalternativen unter dem jeweiligen Zeitaspekt (im Sinne von Hörz' Möglichkeitsfeldern, vgl. Hörz 1989) überhaupt gegeben sind. Experimentelle Untersuchungen (zehn Stunden UNO-Reden als Ausgangstext von fünf professionellen Konferenzdolmetschern aus dem Russischen simultan ins Deutsche übertragen = 50 Stunden aufgezeichnete Dolmetschleistungen) brachten völlig unerwartete Ergebnisse und stellten die allgemeinen Translationstheorien der damaligen Zeit in Frage. Sie brachten die Erkenntnis, dass

"Translation gekennzeichnet werden muß durch die Darstellung und Beschreibung eines dynamischen Systems mit verschiedenen Einflußgrößen" und dass

"die Beschreibung dessen sowie der gesamten Spezifik erst dann gelingen [wird], wenn die Wechselwirkungen der einzelnen Einflussgrößen untereinander voll aufgedeckt sind, ihr Ineinandergreifen und ihre Abhängigkeiten hinlänglich experimentell untersucht sind." (Salevsky 1986: 20f.)

Was in den 1980er Jahren dafür fehlte, war eine entsprechende Methode zur Erfassung der Vielzahl prozessualer Einflussgrößen und ihrer Interaktionen. Das war erst mit der Computersimulation gegeben. Eine neue Perspektive und eine neue Methodologie brachte das Sensitivitätsmodell Prof. Vester®. Die Anwendbarkeit dieses Ansatzes auf den Bereich der Translatologie konnte in den 1990er Jahren in dem interdisziplinären Projekt "Planning, Management and Evaluation of Bible Translation Projects" im Rahmen der United Bible Societies nachgewiesen werden. Die Debatten in der internationalen Projektarbeit begannen bereits bei dem Punkt systemrelevanter Variablensatz, da die Probleme der Bibelübersetzer in Europa andere sind als z.B. in Afrika, wo es u.a. um ein weibliches Gottesbild in Tschad (vgl. Venberg 1984) oder um die Sangbarkeit der übersetzten Bibeltexte in Amharisch (in einem Projekt für Äthiopien) ging.

Die Folgen dieser Einflussgrößen wurden seinerzeit in ihren Auswirkungen auf das gesamte Übersetzungsprojekt (System) und sein Resultat nicht immer rechtzeitig und in vollem Umfang erkannt. Dies war ein Grund für das o.g. internationale Projekt. Das Sensitivitätsmodell bietet dem Management nun die Möglichkeit, die Probleme in einem konkreten Ort-Zeit-Bedingungsgefüge besser und vor allem rechtzeitig lösen zu können. Sinnvolle Eingriffe – berechnet aus dem konkreten System heraus – verhindern sinnlose Vorgehensweisen und "vorprogrammierte" Katastrophen.

Auf den Erfahrungen aus der Anwendung des Sensitivitätsmodells auf die Bereiche Bibelübersetzung, Simultandolmetschen und Fachtextübersetzung beruhen das Interaktionsmodell und die in unserem Buch "Translation as Systemic Interaction. A New Perspective and a New Methodology" (Salevsky/Müller 2011) dargestellte systemische Interaktionstheorie der Translation. Bereits 2008 hatte Ina Müller die Ergebnisse ihrer Dissertation zur Übersetzung von Abstracts (Russisch-Deutsch-Englisch) auf der Basis dieses Ansatzes vorgestellt (vgl. Müller 2008).

3. Die Abstract-Übersetzung – ein Anwendungsbeispiel

Der interkulturelle Wissenstransfer kennt keine Grenzen mehr bei der Überwindung von Kommunikationsbarrieren, aber immer noch Verständnisdefizite. Die Erforschung des interkulturellen Wissenstransfers bedeutet auch die Erforschung nationaler Identitätskonstruktionen, insbesondere wenn es um Ost-West-Kommunikation geht. Für Russland beispielsweise geht es nicht zuletzt um kulturelle Legitimation im westlichen Kontext (USA, Deutschland).

Die Grimmsche Metapher vom Übersetzen als *Über*setzen an das andere Ufer (vgl. Salevsky 2002: 165) wurde u.a. von Heidegger aufgegriffen, der die Möglichkeit der Irrfahrt und des Schiffbruchs erwog (vgl. dazu Mierau 2002: 283). Dazu kann es kommen, wenn Übersetzungen in die Fremdsprache im Land des Ausgangstextes vorgenommen werden und dann den Stempel der Ausgangskultur tragen, d.h. die kulturelle Standortgebundenheit (im Bereich des Ausgangstextes = AT) der "reality culture" (im Sinne Kroebers 1948: 254f.), d.h. der im Bereich des Zieltextes (ZT), widerspricht. Zur "Navigation" braucht es Orientierung in Normen, Werten und Regularitäten. Damit geht es neben dem Regel- auch um das Geltungssystem, das mit äußeren ökonomischen und sozialen Bedingungen (meist mit Zwängen) verknüpft ist. Hier ist der Schnittpunkt: Übersetzung als Form der mediativen interkulturellen Kommunikation ist mit mindestens zwei (bei Englisch als Lingua franca mit weit mehr) Entscheidungsstrukturen verbunden und in ein konkretes Ort-Zeit-Bedingungsgefüge eingebunden.

Warum gerade Abstract-Übersetzung als Beispiel?

Abstracts aus Fachzeitschriften stellen für den einzelnen Wissenschaftler häufig die einzige Möglichkeit dar, sich über aktuelle Publikationen in seinem Fachgebiet auf dem Laufenden zu halten, da:

- a) aufgrund der steigenden Publikationsflut nicht mehr alle primären Informationsquellen rezipiert werden können (vgl. u.a. Kretzenbacher 1991: 49);
- b) Bibliotheken aufgrund leerer Kassen nicht mehr sämtliche Fachzeitschriften und Neuerscheinungen einstellen können (vgl. u.a. McNab 1990: 7) und
- c) aufgrund der ständig fortschreitenden Globalisierung die Notwendigkeit besteht, sich über Forschungsaktivitäten in anderen Ländern zu informieren, was häufig nur mit Hilfe übersetzter Abstracts möglich ist, da die Primärtexte selten übersetzt werden.

Die wachsende Bedeutung von Abstracts steht zum Teil jedoch in krassem Widerspruch zu ihrer Qualität und der Qualität ihrer Übersetzungen (vgl. McNab 1990: 9). Aufgrund dieser unbefriedigenden Situation wurde eine Untersuchung vorgenommen, die das Ziel verfolgte, die Textsorte Abstract mit Blick auf Probleme für die Übersetzung zu untersuchen und am Beispiel des Fachgebiets Schweißtechnik in den Übertragungsrichtungen Russisch-Deutsch und Russisch-Englisch mögliche Ursachen für die Beeinträchtigung

der Brauchbarkeit übersetzter Abstracts aufzudecken, um Empfehlungen zur Verhinderung von "Schiffbrüchen" geben zu können.

Dabei wurde erneut deutlich, dass die bis dahin bestehenden Modelle der Translation nicht geeignet sind, die wesentlichen Einflussgrößen im Übersetzungsprozess zu ermitteln und die zwischen ihnen bestehenden Relationen zu verdeutlichen, weil sie die Dynamik der Prozesse nicht berücksichtigen können (vgl. Müller 2008:75ff.).

Daher sollte versucht werden, den Ursachen mithilfe des Sensitivitätsmodells auf die Spur zu kommen (vgl. ausf. Müller 2008 und Salevsky/Müller 2011).

Als Materialgrundlage dienten 230 Abstracts aus russischen Fachzeitschriften zur Schweißtechnik ("Avtomatičeskaja svarka" und "Svaročnoe proizvodstvo") und ihre Übersetzungen ins Deutsche und/oder Englische. 32 Abstracts und ihre Übersetzungen wurden mit dem Sensitivitätsmodell näher untersucht. Zu Vergleichzwecken wurden Original-Abstracts aus der deutschen Zeitschrift "Schweißen und Schneiden" und aus den in Englisch erscheinenden Zeitschriften "Welding Journal" und "Australasian Welding Journal" hinzugezogen.

Warum Schweißtechnik?

- a) Die Schweißtechnik ist eine Querschnittstechnologie.
- b) Es gibt lange Normungstraditionen in den verschiedenen Kulturen, was zu interkultureller Begriffsinkongruenz, zu Unterschieden in Begriffsumfang und Begriffshierarchien sowie in den Werkstoffbenennungen führt. Für den Übersetzer bedeutet dies, dass er sich mit dem gesamten Begriffs- und Benennungs*system* auseinandersetzen muss.
- c) Es existieren führende Fachzeitschriften in den ausgewählten Kulturen und Sprachen, weshalb die russischen Abstracts ins Englische und Deutsche übersetzt werden.

Aus diesen Gründen ergeben sich für die Fachübersetzung typische Probleme

3.1 Systembeschreibung

In Form von Usability Tests wurden deutsche, russische und amerikanische Fachleute auf dem Gebiet der Schweißtechnik als potenzielle Nutzer der Abstracts befragt (vgl. Müller 2003, 2008). Zu klären war, welche Mängel die Brauchbarkeit der Abstracts aus ihrer Sicht am stärksten beeinflussen.

Während z.B. russische Adressaten die Artikel auch lesen, wenn das Abstract nicht ihren Anforderungen entspricht (weil sie dazu neigen, Normverstöße zu tolerieren), gehen amerikanische Adressaten eher davon aus, dass zu einem schlechten Abstract in der Regel ein schlechter Artikel gehört, und lesen in einem solchen Fall den Beitrag nicht, um so mehr, wenn der betreffende Artikel auch noch übersetzt werden müsste, um überhaupt rezipiert werden zu können.

Ausgewertet wurden insgesamt 112 Fragebögen. Zur Klärung der Entstehungsbedingungen der Abstracts wurden die Redakteure von Fachzeitschriften befragt (zum methodologischen Vorgehen vgl. ausf. Müller 2008: 179ff.). Daraus ergab sich:

- a) Abstracts sind abgeleitete Texte, bei deren Übersetzung in der Regel ein Rückgriff auf den Primärtext erforderlich ist.
- b) Abstracts weisen einen hohen Fachlichkeitsgrad auf, der eine hohe Fachkompetenz des Übersetzers erfordert.
- c) Die Übersetzung der Abstracts findet in der Ausgangskultur statt und wird somit stark von den dort herrschenden Verhaltensmustern bestimmt.
- d) Abstracts in russischen Fachzeitschriften auf der einen und deutschen sowie amerikanischen Fachzeitschriften zur Schweißtechnik auf der anderen Seite weisen große Differenzen hinsichtlich ihrer Länge und Informativität auf, obwohl die Differenzen in den Textsortenkonventionen und in den Erwartungen der Nutzer eher gering ausfallen. Stark ausgeprägt sind demgegenüber die Differenzen zwischen ausgangskulturellen Verhaltensmustern (Russland) und zielkulturellen Verhaltensmustern (Deutschland, USA), derer sich die Beteiligten nicht bewusst sind.
- e) Die Übersetzer der russischen Abstracts übersetzen in die Fremdsprache, wobei ihnen der Primärtext (wie die Befragung der Zeitschriften ergab) nicht zur Verfügung steht und sich die ihnen zugestandene Zeit ausschließlich an der Länge der zu übersetzenden Abstracts orientiert.
- f) Die Brauchbarkeit der Abstracts wird nach Ansicht der Probanden vor allem durch deren unzureichende Informativität beeinträchtigt, störend wirken sich zudem Fehlleistungen im Bereich der Terminologie aus, während sprachliche Defekte eher als nachrangig betrachtet werden (sofern das Abstract noch verständlich ist).

(Vgl. zu den entsprechenden Fragebögen Müller 2008: 97, 183, 369ff.).

3.2 Variablensatz

Auf der Basis der Systembeschreibung konnten die folgenden Variablen als Basis für die weitere Arbeit mit dem Sensitivitätsmodell abgeleitet werden:

- 1. Auftraggeber
- 2. Bedingungen durch den Auftrag
- 3. Objektive Hilfsmittelsituation
- 4. Motivation des Übersetzers
- 5. Informativität des ausgangssprachlichen Abstracts (AS-Abstracts)
- 6. Brauchbarkeit des AS-Abstracts für die Übersetzung
- 7. Fachlichkeit des AS-Abstracts
- 8. Probleme aufgrund der Abgeleitetheit des AS-Abstracts
- 9. Defekte des AS-Abstracts
- 10. Notwendigkeit des Rückgriffs auf den Primärtext
- 11. Schwierigkeitsgrad des Auftrags
- 12. Fachkompetenz des Übersetzers
- 13. Übersetzerische Kompetenz des Übersetzers
- 14. ZT-Produktions-Kompetenz des Übersetzers
- 15. Differenzen im Fachgebiet im AT- und ZT-Bereich
- 16. Differenzen in den Textsortenkonventionen im AT- und ZT-Bereich
- 17. Differenzen in den Verhaltensmustern im AT- und ZT-Bereich
- 18. Informativität des zielsprachlichen Abstracts (ZS-Abstracts)
- 19. Defekte des ZS-Abstracts im Bereich der Terminologie
- 20. Defekte des ZS-Abstracts im sprachlichen Bereich
- 21. Erreichen der Sollgröße (Brauchbarkeit des ZT)

Die Variablen erfassen sowohl den Text, die Differenzen zwischen AT- und ZT-Bereich und die Bedingungen für die Übersetzung als auch den Übersetzer.

Folgende der o.g. Einflussgrößen werden in bisherigen Modellen des Fachübersetzens nicht berücksichtigt, sondern wurden erst durch die Arbeit mit dem Sensitivätsmodell ermittelt:

- die Informativität (des AT und des ZT),
- die Brauchbarkeit des AT für die Übersetzung,
- die Abgeleitetheit des AT,
- die Notwendigkeit des Rückgriffs auf den Primärtext,
- Differenzen in den Verhaltensmustern.
- die Brauchbarkeit des ZT für die anvisierten Nutzer (ermittelt durch Usability Tests).

Dabei den Aspekt der Beweglichkeit der Variablen nicht aus den Augen zu verlieren, hilft die im Arbeitsschritt "Variablensatz" vorgesehene Möglichkeit der freien Skalierung der Variablen. Dabei wird festgelegt, zwischen welchen Extremwerten sich die Stärke einer Variablen bewegen kann, womit bereits eine Vorarbeit für die Simulation geleistet ist.

Nach Überprüfung des Variablensatzes mit Hilfe der Kriterienmatrix wird dann im nächsten Arbeitsschritt die Einflussmatrix ausgefüllt.

3.3 Einflussmatrix

	Wirkung von	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	AS	P	
1	Auftraggeber	X	3	0	2	3	3	2	2	2	0	3	2	2	2	0	0	0	2	2	2	2	34	952	AS= Aktivsumme
2	Bedingungen durch Auftrag	0	X	0	2	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	16	368	(Stärke der Wirkung auf
3	obj. Hilfsmittelsituation	2	2	X	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	1	3	2	2	17	68	System)
4	Motivation Übersetzer	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	2	2	2	2	11	275	für Variable 1: 34 (starke
5	Informativität AS-Abstract	2	2	0	2	X	3	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	20	240	Wirkung auf System)
6	Brauchbark, AS-A. f. Übers.	2	2	0	3	0	X	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	2	1	1	3	20	320	PS = Passivsumme
7	Fachlichkeit AS-Abstract	0	1	2	1	1	1	X	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	13	E2	Empfindlichkeit gegenübe
8	Probl. wg. Abgel. AS-A.	0	1	0	0	1	2	0	X	0	3	2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	14		Veränderungen im System)
9	Defekte AS-Abstract	2	2	0	0	2	2	1	0	X	3	2	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	20		für Variable 1: 28 (relativ groß
10	Notw. Rückgriff Primärtext	2	2	0	2	0	0	0	0	0	X	3	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	16		Empfindlichkeit)
11	Schwierigkeitsgrad d. Auftrags	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	2	2	2	3	15	615	
12	Fachkompetenz	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	3	X	0	2	0	0	0	2	3	1	3	17	68 (Q = AS : PS
13	Übersetzerische Kompetenz	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	1	X	2	0	0	0	2	2	2	3	19	57	(aktiver vs. reaktiver
14	ZT-ProdKompetenz	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	X	0	0	0	2	2	3	3	15	105	Charakter einer Variablen)
15	Diff. Fachgebiet	2	2	2	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	X	0	0	0	3	0	3	17	2	fur Variable 1: 121
16	Diff. Textsortenkonv.	2	2	0	0	2	2	1	0	0	3	3	0	0	0	0	X	0	3	0	0	3	21	42	(Variable verhält sich neutral)
17	Verhaltensdifferenzen	2	2	0	2	3	3	0	0	1	3	3	0	0	0	2	2	X	3	2	2	3	33	0	20.00
18	Informativität ZS-Abstract	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	3	5	170	$P = AS \times PS$
19	Defekte Terminologie ZS-A.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	X	0	2	6		(kritischer vs. puffernder
20	Defekte Sprache ZS-A.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	X	2	6		Charakter einer Variablen) für Variable 1: 952
21	Erreichen der Sollgröße	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	4	200	tur v ariaote 1: 932 (kritischer Charakter)
		28	23	4	25	12	16	4	2	4	26	41	4	3	7	2	2	0	34	30	22	50	PS		MILLIONET CHATAKLET)
		121	70	425	44	167	125	325	700	500	62	37	425	633	214	850	1050	00	15	20	27	8	Qx	100	

Abb. 2: Einflussmatrix

Quelle: Müller 2008: 214

Damit werden die Wechselwirkungen jeder Einflussgröße auf alle anderen hinterfragt, um die Stärke der Wirkung auf das System (Aktivsumme = AS) und die Empfindlichkeit jeder Variablen gegenüber Veränderungen im System (Passivsumme = PS) zu ermitteln. Außerdem wird vom System für jede Variable berechnet, ob sie im System eher etwas zu sagen hat oder eher gehorcht (dem entspricht das Produkt aus Aktiv- und Passivsumme).

Für die Variable 1 Auftraggeber sähe das folgendermaßen aus:

- die Aktivsumme AS beträgt 34, d.h. diese Variable wirkt stark auf das System;
- die Passivsumme PS ist mit 28 relativ hoch, d.h. diese Variable reagiert relativ empfindlich auf Veränderungen im System;

 das Produkt aus Aktiv- und Passivsumme P liegt mit 952 im kritischen Bereich, d.h. diese Variable ist stark am Systemverhalten beteiligt.

3.4 Rollenverteilung

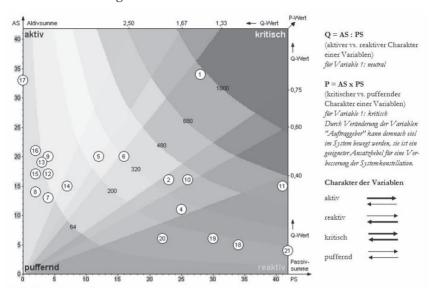


Abb. 3: Rollenverteilung

Quelle: Müller 2008: 215

Deutlich sichtbar wird der kritische Charakter der Variablen (1) "Verhalten des Auftraggebers", d.h., sie ist ein Ansatzhebel zur positiven Veränderung der Systemkonstellation.

3.5 Einflussindex

AKTIV REAKTIV	Q-Wert	KRITISCH -> PUFFERND	P-Wei
HOCHAKTIV		HOCHKRITISCH	
17 Verhaltensdifferenzen	60	-	
16 Diff. Textsortenkonv.	10,50		_
15 Diff. Fachgebiet	8,50	KRITISCH	
8 Probl. wg. Abgel. AS-A.	7,00	1 Auftraggeber	952
13 Übersetzerische Kompetenz	6,33	0.000.000.000.000.000.000	100000
9 Defekte AS-Abstract	5,00	LEICHT KRITISCH	
3 obj. Hilfsmittelsituation	4,25	11 Schwierigkeitsgrad d. Auftrags	615
12 Fachkompetenz	4,25		
7 Fachlichkeit AS-Abstract	3,25	NEUTRAL	
	_	10 Notw. Rückgriff Primärtext	416
AKTIV		2 Bedingungen durch Auftrag	368
14 ZT-ProdKompetenz	2,14	6 Brauchbark, AS-A. f. Übers.	320
5 Informativität AS-Abstract	1,67		
	_	SCHWACH PUFFERND	
LEICHT AKTIV		4 Motivation Übersetzer	275
_		5 Informativität AS-Abstract	240
	$\overline{}$	21 Erreichen der Sollgröße	200
NEUTRAL			
6 Brauchbark, AS-A. f. Übers.	1,25	PUFFERND	
1 Auftraggeber	1,21	19 Defekte Terminologie ZS-A.	180
Property Control of Co		18 Informativität ZS-Abstract	170
LEICHT REAKTIV	0.70	20 Defekte Sprache ZS-A.	132
2 Bedingungen durch Auftrag	0,70	14 ZT-ProdKompetenz	105
10 Notw. Rückgriff Primärtext	0,62	9 Defekte AS-Abstract	80
DE LUXE /		12 Fachkompetenz	68
REAKTIV		3 obj. Hilfsmittelsituation	68
4 Motivation Übersetzer	0,44	STARK PUFFERND	
STARK REAKTIV		13 Übersetzerische Kompetenz	57
11 Schwierigkeitsgrad d. Auftrags	0,37	7 Fachlichkeit AS-Abstract	52
20 Defekte Sprache ZS-A.	0,37	16 Diff. Textsortenkony.	42
19 Defekte Terminologie ZS-A.	0,27	15 Diff. Fachgebiet	34
18 Informativität ZS-Abstract	0,20	8 Probl. wg. Abgel. AS-A.	28
21 Erreichen der Sollgröße		8 Probl. wg. Abgel. AS-A. 17 Verhaltensdifferenzen	28
ZT EFFECTION DEL SONGFORD	0,08	17 vernauensamerenzen	U

	iner Vari	abien)
	ur Variab	le 1: neutral
]	P-Wert =	AS x PS
(kritische:	r vs. puffernder
(Charakter	reiner Variablen)
J	ur Variab	le 1: kritisch
(Charakte	er der Variablen
-	ıktiv	\longrightarrow
1	eaktiv	\longrightarrow
1	critisch	\Longrightarrow
1	ouffernd	\longrightarrow

Abb. 4: Einflussindex

Ouelle: Müller 2008: 216

Aus dem Einflussindex lässt sich ableiten, welche Variablen am stärksten auf das System einwirken, welche am stärksten reagieren und welche unter Umständen beides tun (vgl. Müller 2008: 194).

3.6 Wirkungsgefüge

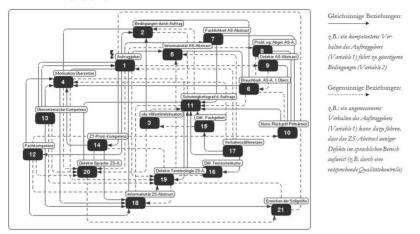


Abb. 5: Wirkungsgefüge

Ouelle: Müller 2008: 217

Hierbei geht es nicht mehr nur um die Stärke, sondern auch um die Richtung des Einflusses. Durchgezogene Linien stehen für gleichsinnige Beziehungen, gestrichelte Linien für gegensinnige. Eine gleichsinnige Beziehung besteht z.B. zwischen der Variablen 7 Fachlichkeitsgrad des Abstracts und der Variablen 10 Notwendigkeit des Rückgriffs auf den Primärtext. Mit der Erhöhung des Fachlichkeitsgrades des Abstracts steigt demnach die Notwendigkeit, den Primärtext beim Übersetzen hinzuzuziehen. Denn dem Abstract allein kann der Übersetzer häufig nicht alle erforderlichen Informationen entnehmen. Um bspw. für die Übersetzung ins Englische entscheiden zu können, ob es sich beim Löten, für das im Russischen ein Oberbegriff existiert, im Englischen jedoch nicht, um Hart- oder Weichlöten handelt, braucht der Übersetzer Informationen, die nur dem Primärtext zu entnehmen sind (übersteigt die Arbeitstemperatur 450°C, spricht man nicht mehr von Weich-, sondern von Hartlöten). Andernfalls sind Fehlentscheidungen vorprogrammiert.

3.7 Teilszenarien

Die Untersuchungen erfolgten an den möglichen Ursachen für die Unbrauchbarkeit der Abstracts (vgl. Müller 2008: 196). Diese betreffen: Diffe-

renzen im Fachgebiet; Differenzen in der Terminologie; die Abgeleitetheit der Abstracts von den Primärtexten; die Hilfsmittelsituation; die Auftragsbedingungen und die Kompetenz des Übersetzers/der Übersetzerin.

Insbesondere die Unterschiede im Fachgebiet können gravierender sein, als dies für den technischen Bereich häufig angenommen wird. Bei der Übersetzung von Texten der fachinternen Kommunikation aus dem Bereich Schweißtechnik aus dem Deutschen oder Russischen ins Englische besteht ein Problem in den großen Differenzen bei der Klassifikation der Schweißverfahren, die ihrerseits nicht zuletzt eine Folge differenter Verhaltensweisen und Bedürfnisse der Fachleute im AT- und ZT-Bereich sind (vgl. dazu Müller 2008: 120–129 u. 98–107).

Bei der im Deutschen und Russischen üblichen Einteilung in die beiden großen Gruppen *Pressschweißen* vs. *Schmelzschweißen* (im Russischen *сварка с применением давления* vs. *сварка плавлением*) wird in erster Linie danach eingeteilt, ob eine äußere Kraft aufgewendet werden muss oder nicht. Schweißprozesse, bei denen keine äußere Kraft aufgewendet werden muss, werden dem *Schmelzschweißen* zugeordnet, Schweißprozesse, bei denen eine äußere Kraft aufgewendet werden muss, dem *Pressschweißen* (auch wenn die Werkstücke an den Fügeflächen erwärmt und teilweise sogar partiell aufgeschmolzen werden, um das Verbinden zu ermöglichen bzw. zu erleichtern).

Bei der Einteilung in *fusion welding* vs. *nonfusion welding* in Publikationen im englischsprachigen Raum steht dagegen im Vordergrund, ob *fusion* auftritt. Tritt es auf bzw. ist es notwendig für das Verbinden, dann handelt es sich um *fusion welding* (bei solchen Verfahren kann durchaus Kraft von außen aufgewendet werden), tritt es nicht auf, handelt es sich um *nonfusion welding processes*.

Stellt man diese beiden Formen der Einteilung gegenüber ist festzustellen, dass *fusion welding* nicht generell mit Schmelzschweißen/сварка плавлением gleichzusetzen ist und nonfusion welding/solid-state welding nicht mit *Pressschweißen/сварка с применением давления* (vgl. dazu auch Müller 2008: 126f.)

3.8 Simulation/Policy-Tests

Durch die Simulation und die Policy-Tests lässt sich der Spielraum erfassen, den der Ausführende realiter hatte und seine Leistung auf objektiverer Basis bewerten. Es geht bei der Arbeit mit dem Sensitivitätsmodell darum, die Variablen und Konstellationen zu erfassen, die entscheidenden Einfluss

auf Prozess und Produkt haben. Lässt man solche Größen aus Angst vor zu viel Komplexität außer Acht, ergibt sich ein Bild, das möglicherweise zwar schön übersichtlich ist, jedoch nichts mehr mit der Realität zu tun hat (vgl. ausführlich dazu Müller 2008: 311–318, 322–328, 329–334).

3.9 Evaluation

Nach der Bewertung des Sensitivitätsmodells halten sich Wirkung und Reaktion der hochkritischen Variable *Auftraggeber* in etwa die Waage. Änderungen dieser Variablen wirken sich stark auf das gesamte System aus. Damit sind Eingriffe hier am effektivsten, denn hier können durch positive Veränderung einer Variablen bei zahlreichen anderen Variablen Verbesserungen erzielt werden. Der Auftraggeber spielt somit eine entscheidende Rolle für die Selbstregulationsfähigkeit des Systems (vgl. zum Prinzip der Selbstregulation ausführlich Vester 2000: 42ff., 128ff.). Damit ist ein System in der Lage, "Störgrößen, die von außen auf einen empfindlichen Systemteil [...] treffen, aufzufangen und diese Störung selbsttätig [...] auszugleichen [...]" (Vester 2000: 43). Das bedeutet, die "negative Rückkopplung' in einem systemverträglichen Bereich zu halten. "Das System wird fehlerfreundlich, robust gegenüber Störungen und immun gegen Schwankungen in seinem Umfeld" (Vester 2000: 43).

4. Zu den Ergebnissen

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchung mit Hilfe des Sensitivitätsmodells konnten den Chefredakteuren der Fachzeitschriften relevante Hinweise gegeben werden, wie sich die *Informativität der ZS-Abstracts* und ihre *Brauchbarkeit* für die anvisierten Nutzer verbessern lässt (zu Ergebnissen und Schlussfolgerungen vgl. ausführlich Müller 2008: 336–348).

Weiß der Auftraggeber um die Übersetzungsprobleme, kann und wird er durch geänderte Vorgaben für die Abstracts und eine konsequentere Kontrolle ihrer Brauchbarkeit die *Informativität der AS-Abstracts* bereits im AT-Bereich erhöhen. Auch die vorgegebene Zeit und die Mitlieferung des Primärtextes sind in seiner Hand. Selbstverständlich ist bei all dem auch die *Kompetenz des Übersetzers* (der vom Auftraggeber ausgewählt wird) relevant.

Die Untersuchung zeigte, dass durch die Aufdeckung der Dynamik des Prozesses als System mit Hilfe des Sensitivitätsmodells Prof. Vester® – ohne spezielle Computerkenntnisse – Strategiefehler vermieden und optimale Lösungen für konkrete komplexe Probleme gefunden werden können, wie sie sich bei der Reduktion auf wenige Einflussgrößen nicht ergeben.

Literatur

- Dörner, Dietrich (1996): Die Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen. Reinbek: Rowohlt
- Hörz, Herbert (1989): Philosophie der Zeit. Zeitverständnis in Geschichte und Gegenwart. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften (Philosophische Probleme der Wissenschaften)
- Hörz, Herbert (2010): Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich berechtigte Reduktionen? Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit. In: Sitzungsbericht der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Bd. 108 (2010), S. 11–36
- Kosko, Bart (1995): fuzzy-logisch. Eine neue Art des Denkens. Düsseldorf: ECON Taschenbuch Verlag
- Kretzenbacher, Heinz L. (1991): Rekapitulation. Analyse einer Textsorte der wissenschaftlichen Fachsprache. In: Zeitschrift für germanistische Linguistik 19 (1991), S. 49–70
- Kroeber, Alfred L. (1948): Anthropology: Race, Language, Culture, Psychology, Prehistory. New York: Burlingame
- McNab, Sheila M. (1990): Writing an abstract: The supreme test, particularly for scientists for whom English is a foreign language. In: European Science Editing (January 1990, Nr. 39), S. 7–9
- Mierau, Fritz (2002): Mein russisches Jahrhundert. Autobiographie. Hamburg: Ed. Nautilus
- Müller, Ina (2003): Auswertung eines Usability Tests in den USA. In: Hochschule Magdeburg-Stendal (Hg.): 4. Tagung der Nachwuchswissenschaftler der Fachhochschulen Sachsen-Anhalts. Hochschule Magdeburg-Stendal
- Müller, Ina (2008): Die Übersetzung von Abstracts aus translationswissenschaftlicher Sicht (Russisch-Deutsch-Englisch). Berlin: Frank & Timme (Ost-West-Express. Kultur und Übersetzung, 5)
- Salevsky, Heidemarie (1986): Probleme des Simultandolmetschens. Eine Studie zur Handlungsspezifik. Berlin: Akademie der Wissenschaften (LS/ZISW/A 154); Volltext auch unter: www.prof-salevsky.de/Schriftenverzeichnis
- Salevsky, Heidemarie (2002): Translationswissenschaft. Ein Kompendium / Müller, Ina; Salevsky, Bernd (Mitarb.). Frankfurt/M. u.a.O.: Lang
- Salevsky, Heidemarie; Müller, Ina (2011): Translation as Systemic Interaction. A New Perspective and a New Methodology. Berlin: Frank & Timme
- Venberg, Rodney (1984): The Problem of a Female Deity in Translation. In: The Bible Translator. Practical Papers 35 (1984), No. 4, pp. 415–417
- Vester, Frederic (1999, ³2000, ⁹2013): Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt

Lutz-Günther Fleischer

Relationale Klassifikation elementarer Organisationsmerkmale emergenter dynamischer Systeme – ein Essay

"Alles ist einfacher, als man denken kann, zugleich verschränkter, als zu begreifen ist" (J. W. v. Goethe)

1 Die Motivation und das Anliegen

Unter verschiedenen disziplinären und transdisziplinären Blickwinkeln befasste sich der Arbeitskreis 'Prinzip Einfachheit' der Leibniz-Sozietät in Vorträgen, Diskussionen und Publikationen mit der namensgebenden Problematik der *Einfachheit* und einigen ihrer prägenden Teilaspekte. Die ursprüngliche Hypothese postuliert, dass das Prinzip Einfachheit ein *universelles Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip* sei. Dazu äußerten Mitglieder und interessierte Gäste gut begründet Meinungen 'für und wider', vertraten konzeptionell anregende Argumente. Sie propagierten übergreifende, auf das ontische, ontologische und kognitive sowie diskursive Ganze, seine Konstituenten und Feinstrukturen gerichteten Erkenntnisse sowie verallgemeinerungsfähige methodologische Einsichten. All das besitzt naturgemäß zahlreiche formende wissenschaftliche und wesentliche weltanschauliche Facetten.

Auch das immanente methodische und besonders bedeutende praktische Problem des kontextuell zielgerichteten Vereinfachens stellte und stellt sich unter strukturellen und funktionellen Aspekten aus den speziellen Perspektiven der einzelnen Wissenschaftsgebiete und grenzüberschreitend: inter- sowie transdisziplinär. Die favorisierten Sujets bilden – übergreifend formuliert – emergente Real- und Theoriensysteme (komplexe Entitäten) mit ihrer Vielzahl und Vielfalt bestenfalls enkaptisch organisierter Elemente (Subsysteme, Spezies, Moden...) und bestimmten Freiheitsgraden, inneren und äußeren Relationen sowie deren gefächerte, verschränkte oder/und verschachtelte (enkaptische) Funktionalitäten, die von angepassten natürlichen oder/und zweckgerecht gestalteten Strukturen der vielschichtigen Systeme getragen und wahrgenommen werden.

In den Disputen war eine in mancher Hinsicht überbordende Redundanz bis zur verständlichen (beinahe natürlichen) Begriffsverwirrung beobachtbar. Ein wesentlicher Grund: Die maßgebend involvierten, problemrelevanten, prädikativ und attributiv gebrauchten, qualitativen Adjektive: komplex, kompliziert, einfach, elementar und deren Nomina werden umgangssprachlich beständig in verschiedenartigen Kontexten und überdies häufig wie Synonyme – auch intuitiv – genutzt. Bedauerlicherweise treten sie – insbesondere die Prädikate (vielleicht treffender: die Relationen) kompliziert und komplex – in einigen Konnotationen nahezu inflationär, zuweilen als modische Attribute, meistens jedoch ohne hinreichende Charakterisierung und auf diese Weise unter Umständen missverständlich, auf. Das erschwert jegliche, auf Klarheit und extrapolationsfähige Erkenntnisse gerichtete Diskussion, mit der empirische Befunde aller Seinsbereiche und Wissenschaftsgebiete in differenzierende und integrierende theoretische Ansätze eingegliedert und objektiviert werden sollen. Andererseits offeriert die wissenschaftliche Literatur speziell für verschiedene Typen der ontischen (das Sein [Dasein] betreffenden), der ontologischen (das Seiende [Sosein] widerspiegelnden) und der kognitiven sowie der diskurisiv (von Begriff zu Begriff methodisch fortschreitenden) Komplexität ziel- bzw. anforderungsabhängig anwendbare ,Definitionen' (zumindest Bedeutungsunterscheidungen und interimistische Verständigungsgrundlagen).

Das Einvernehmen mit bzw. die Bedenken und die kritischen Einwände gegen jene, in den Dialogen unterbreiteten Meinungen und Thesen hängen in erheblichem Maße davon ab, welche semantische Bedeutung den angeführten Wörtern bewusst oder unbewusst zugeordnet wird. Eine gründliche Benennung und Kennzeichnung der erörterten Sachverhalte sowie die möglichst präzise Beschreibung der Termini sind also dringend geboten. Von diesen Einsichten motiviert, werden in dem thesenhaften Essay einige Leitgedanken für einen "offenen" Systematisierungsansatz, zu exponierten Charakteristika und Beziehungen der Konstituenten des relationalen taxonomischen Modells vorgestellt, die für die Interpretation der bewertenden relativen Adjektive bzw. die nominalisierten Abstrakta und deren Dependenzen sowie die Realisierung des Prinzips Einfachheit wesentlich sind. Diese Abhandlung strebt nach definitionsnahe verallgemeinerten Charakterisierungen der Systemeigenschaften und Prozessmerkmale "elementar", "einfach", "komplex", "kompliziert" (Letzteres als Synonym für "unbegrenzt komplex'). Das Essay enthält detaillierte Überlegungen zu taxonomisch bedeutsamen faktischen und logischen Relationen zwischen ihnen und erörtert Wirkzusammenhänge. Dem vollständigeren Verständnis sollen einige eingefügte ontische, ontologische und kognitive Beispiele dienen. Der Systematisierungsansatz möchte als Denkmodell vor allem Anhaltspunkte und Anregungen für die weitere effektive Diskussion im Arbeitskreis liefern. Auch für das vorgeschlagene Klassifikationsschema gilt: Denkmodelle sind meist nicht wahr oder falsch, sondern mehr oder minder angemessen, am Ziel/Zweck sowie der erörterten Problemstruktur orientiert, geeignet und ausreichend, im Großen und Ganzen akzeptabel oder nicht. Perfektion ist also nicht erreichbar und die erwünschte Kritik vorprogrammiert.

Das *nominierte*, erst im Kapitel 8 grafisch dargestellte und dort ausführlich erläuterte, heuristische *Klassifikationsschema*, ist ein konstruktiver Kompromiss zwischen der erheblich facettenreicheren Realität und dem bewussten Streben nach zielabhängiger Einfachheit. In diesem Sinne ist allein schon die vorsätzlich gewählte Zweidimensionalität der Illustration eine gravierende Einschränkung.

Jedes reale oder ideelle, funktionell-strukturelle, d.h. die Prozesse involvierende, typisch strukturierte System soll in einem x, y-Feld liegen, das von verbalen Koordinaten aufgespannt bzw. mit dazu konversen Größen (inversen Relationen) dargestellt werden kann. Angestrebt wird eine sowohl hinreichend exakte als auch plausible Beschreibung mit verbalen Variablen.

Für die approximative graphische Darstellung der qualitativ deutlich unterschiedenen, – einschließlich ihrer ontischen und kognitiven Beziehungen – aber relativ zueinander positionierbaren Systemcharakteristika/Organisationsmerkmale (Taxa R) müssen allgemeingültige Indikatoren der Merkmale und typische Parameter der Merkmalsausprägung sowie deren Korrelationen bestimmt werden. Im Modell repräsentieren sie naturgemäß ein höheres Abstraktionsniveau als jene vier gleichbenannten Strukturtypen, deren Wesen und Ursachen in den entsprechenden Kapiteln differenziert diskutiert werden. Deshalb empfiehlt sich beim Lesen der speziellen Kapitel der gelegentliche vorausblickende Vergleich mit der Abbildung: Relationale Klassifikation fundamentaler Systemcharakteristika/Organisationsmerkmale (Taxa R) im Kapitel 8.

Als Folge der – im Kern des Essays – induktiven Interpretation, wurde das Schema zwangsläufig erst dort eingefügt und detaillierter erläutert. Das Klassifikationsschema fungiert im Essay dennoch als Mittel und ist ex aequo Resultat.

Sein *Grundgerüst* bilden die Koordinaten *Inkohärenz* und *Kompliziertheit* mit zahlreichen Aspekten und prägnanten Umkehrrelationen, wie Kohärenz und Kohäsion. Sie und andere Merkmale weisen überdies gruppierte Achsenbeschriftungen aus. Da derartige "verbale Variablen" lediglich einen oder wenige Aspekte k des Eigenschaftsspektrums erfassen, sind sie eigentlich "reduzierte verbale Variable" (Index r)

Als Hilfskonstruktion enthält das 2-dimensionale Merkmalsfeld unseres Modells zusätzlich einen gestrichelt skizzierten Strahl. Er ist ein Repräsentant des ganzen (nicht eingezeichneten) Strahlenbüschels, dessen Quellpunkt mit dem Ursprung des orthogonalen Koordinatensystems zusammenfällt. Der Pfeil markiert die Richtung zum Ursprung. In dieser vektoriellen Ausrichtung nimmt die Organisiertheit: = f (Kohärenz, Kohäsion) \approx Ordnung der Systeme zu. Mit den vermerkten, zur Ordnung konjugierten Kategorien Disposition sind die räumliche Zuordnung und mit Synchronisation die zeitliche Zuordnung (Koordination) der zum jeweiligen Ordnungszustand gehörenden Prozesse bezeichnet.

Mit der Benennung *Essay* wird keinerlei literarischer Anspruch erhoben, sondern ausschließlich angezeigt, dass die persönliche Auseinandersetzung des Autors mit dem Thema dominiert und Subjektivität obwalten kann. Kaum vermeidbar herrschen in bestimmten Teilen der Abhandlung, trotz der aufgebotenen wissenschaftlichen und literarischen Belege, subjektive Gesichtspunkte vor – freilich bei uneingeschränkter Achtung des empirisch Gesicherten und dem Bemühen um logische Sorgfalt.

2 Das (komplizierte) Problem im Widerschein der Literatur: Maximen und Reflexionen

Die vorangestellte, aus Goethes handschriftlichem naturwissenschaftlichem Nachlass stammende Sentenz "Alles ist einfacher, als man denken kann, zugleich verschränkter, als zu begreifen ist" (Goethe 1836, S. 472), bietet eine ausgezeichnete Möglichkeit, etwas tiefer, zugleich anregend und weiterführend in die zu erörternde Problemstruktur einzudringen. Diese sprachlich fein nuancierte Reflexion enthält zwei, auf "alles" bezogene Entgegensetzungen: einfach und verschränkt sowie denken und begreifen.

Allgemeinsprachlich steht 'alles' als Indefinitpronomen für die faktisch oder denkbar größte, wenn auch nicht genau definierbare Anzahl von Entitäten und als Allquantor zudem logisch für Ausnahmslosigkeit, Vollständigkeit, Totalität, *Universalität*.

Blicken wir – zunächst Goethes Auffassungen folgend – auf die erste diesbezügliche, objektiv Reales ausdrückende semantische Antonymie: $einfach \leftrightarrow verschränkt$. Und versuchen wir dabei, dem Charakter dieser Opposition (\leftrightarrow) beizukommen.

In Goethes Werken und Denken sowie in der Literatur zu seinem Sprachgebrauch gibt es zahlreiche überzeugende Belegstellen dafür, dass in seinen Auffassungen dem Wort *Schranke* und etymologisch verwandten, fein schat-

tierten Ausdrücken, wie *verschränkt* und *beschränkt*, eine besondere Bedeutung zukommt. Die Schranke bringt in das gezielte menschliche Tun – in einer der Goethezeit gemäßen Deutung von "techné" [Altgriechisch – auf Etwas verstehen, Können, Geschick — Kunst im weitesten Wortsinne] und so anders als in der Natur – die Einheit, das Einfache: "Vergebens werden ungebundene Geister/ Nach der Vollendung reiner Höhe streben // Wer Großes will, muss sich zusammenraffen; / In der Beschränkung zeigt sich erst der Meister, / Und das Gesetz nur kann uns Freyheit geben" konstatierte Goethe um 1800 mit dem kursiv angeführten zweiten Terzett, einer allgemeinen Zusammenfassung der Reflexionen des meisterlichen Sonetts "Natur und Kunst", die sich zu fliehen scheinen, "Und haben sich, eh' man es denkt, gefunden" (Goethe 1902ff., S. 235, H.d.V. L.-G. F.) Die (Selbst) Beschränkung über gesicherte Normen, feste Regeln oder in Gesetzesform, ist im Schlussvers integriert.

Programmatisch wurde dieses Sonett in das Vorspiel "Was wir bringen" bey Eröffnung des neuen Schauspielhauses zu Lauchstädt am 26. Juni 1802 aufgenommen.

Wiederum in doppelter Entgegensetzung heißt es kongenial in "Wilhelm Meisters Lehrjahren": "Derjenige, an dem viel zu entwickeln ist, wird später über sich und die Welt aufgeklärt. Es sind nur wenige, die den Sinn haben und zugleich zur Tat fähig sind. *Der Sinn erweitert, aber lähmt; die Tat belebt, aber beschränkt"* (Goethe 1990, Kapitel 110).

Die Unendlichkeit der Gedankenwelt, des Denkens, will alles aufgreifen – das lähmt. Die Endlichkeit der Tat, d.h. sowohl *Tätigkeit/Tun* als auch *Werk* (Prozess und Geschaffenes), bedeutet eine finale Orientierung des Tuns, erzwingt so die zweckgemäße Beschränkung der Tätigkeit: den vernünftigen Gebrauch der Freiheit, das Verbannen der Willkür und die bestmögliche Begrenzung des Zufalls. So generiert die gezielte menschliche Tätigkeit als Prozess das Werk – gebiert Neues.

Die zweite, im Goethe-Zitat auf 'alles' bezogene Antonymie kontrastiert denken \leftrightarrow begreifen. Diese Opposition (\leftrightarrow) zweier objektiv real und semantisch voneinander abhängender Begriffe gehört zu den komplementären (folglich zwar gegensätzlichen, aber sich ergänzenden) Seins-/Bedeutungsbeziehungen.

Als 'Entwicklungspunkt' sei zunächst fixiert: Der Terminus *Kognition* umfasse die Methoden und 'Wege' vom Wahrnehmen und Denken bis zum Wissen und Handeln – emotionale Komponenten eingeschlossen. In den kognitiven Operationen und Prozeduren wird Wahrgenommenes kommuniziert, gedanklich erfasst sowie verarbeitet: erkannt, verstanden, interpretiert

und handelnd genutzt. Diese Begrifflichkeit ist zugleich ein Grundstein und Ansatz für das Bedeutungspostulat , *kognitive Komplexität* ' (vgl. Fleischer 2011).

Die akzentuierte rationale Stufe der Erkenntnis basiert auf den essentiellen, primären, unmittelbaren, aktiv erworbenen sinnlichen Erfahrungen über vielerlei Erscheinungen aus der unendlichen, nach jeder Richtung unbeschränkten, aber in aller Regel verschränkten, Totalität der Dinge und damit übereinstimmenden Vorstellungen. Das menschliche Denken nimmt sie mit modifizierenden, differenzierenden, integrierenden Wahrnehmungsschemata auf. Die zu entfaltende und dynamisch obwaltende Äquilibration bedeutet: Entwicklung neuer Denkstrukturen und -methoden, Erarbeiten erweiterter und vertiefter Erkenntnisse sowie deren Einordnung und Einpassung in bestehende Systemstrukturen, wie Hypothesen, Regeln, Gesetze, Gesetzmä-Bigkeiten, Theorien und Theoriengebäude. Letzten Endes resultieren daraus die steuernden und regelnden Haltungs- und Handlungsmuster. Nach der vorherrschenden wissenschaftlichen Auffassung bedeutet (geistiges) Begreifen: das elementare und höhere Verstehen, Etwas mit dem Verstand grundsätzlich zu erfassen und das Vermögen, Begriffe zu bilden und sie zu Schlüssen sowie Urteilen zu verbinden.

Etwas auf den Begriff zu bringen verlangt, den Bedeutungsinhalt einer Bezeichnung (semantischen Einheit) zu eruieren. "Begriffe und Begriffssysteme erhalten die Berechtigung nur dadurch, daß sie zum Überschauen von Erlebniskomplexen dienen; eine andere Legitimation gibt es für sie nicht" (Einstein 2006, Abs. 4, S. 6)

Auch den Lexemen *Natur*, *natürlich* und etymologisch verwandten Ausdrücken werden zahlreiche, zu den ursprünglichen Bedeutungsunterscheidungen differente und dennoch eng mit ihnen verknüpfte Inhalte beigelegt. Dieses übliche Procedere birgt das Risiko von Missverständnissen, Fehldeutungen und des Missbrauchs. Einstein nennt es "eine der verderblichsten Taten der Philosophen, daß sie gewisse begriffliche Grundlagen der Naturwissenschaft aus dem *der Kontrolle zugänglichen Gebiete des Empirisch-Zweckmäßigen* in die *unangreifbare Höhe des Denknotwendigen (Apriorischen)* versetzt haben". Und er führt als wissenschaftsgeschichtlich bahnbrechendes Beispiel an:

"Dies gilt im besonderen auch von unseren Begriffen über Zeit und Raum, welche die Physiker – von Tatsachen gezwungen – *aus dem Olymp des Apriori herunterholen mußten*, um sie reparieren und wieder in einen brauchbaren Zustand setzen zu können." (Einstein 2006, Abs. 4, S. 6, In originaler Rechtschreibung zitiert. H.d.V. L.-G. F.)

Was verbirgt sich hinter dem *Erlebniskomplex ,Natur'* mit den attestierten dominanten Eigenschaften unbeschränkt und verschränkt? Repräsentativ seien die Sichtweisen, die Weltanschauungen (im ursprünglichen Wortsinn) mit verlautbarten Auffassungen von J. W. v. Goethe, A. v. Humboldt und J. St. Mill nebeneinander gestellt.

In Goethes (1749–1832) Sprachgebrauch wird *Natur* oft im Sinne von *natürlich, ungekünstelt* – keinen von außen herrührenden, vom Menschen geschaffenen Regeln unterliegend, als vom menschlichen Willen und Verstand *völlig unbeeinflusstes Sein* – ausgelegt. Dem steht begreiflicherweise 'künstlich' (kunstvoll, kunstgerecht [griech. – technikos]) als Tätigkeit und Werk des schöpferisch gestaltenden Menschen gegenüber.

Alexander von Humboldt (1769–1859), der Naturforscher, Begründer der physischen Geographie, humanistisch gebildete Generalist und Autor des "Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung" – des über diverse Wissenschaftsdisziplinen hinweg harmonisch geordneten erfahr- und wissbaren Ganzen – schreibt 1845 über die nicht vom Menschen geschaffene physische Welt:

"Die *Natur* ist für die denkende Betrachtung Einheit in der Vielfalt, Verbindung des Mannigfaltigen in Form und Mischung, *Inbegriff der Naturdinge und Natur-kräfte als ein lebendiges Ganzes.*" (Humboldt 1845, S. 5–6, H.d.V. L.-G. F.)

Der englische Philosoph und Ökonom John Stuart Mill (1806–1873) hält in dem Essay "Natur" fest:

"Dem 'ursprünglichen Sinn' nach ist '*Natur' ein Kollektivname für alle wirklichen und möglichen Tatsachen*, oder, um genauer zu reden, ein Name für die uns teilweise bekannte, teilweise unbekannte *Art und Weise, wie alles geschieht.*" (Mill 1984, S. 13, H.d.V. L.-G. F.)

Aus welcher Perspektive, mit welchem Vorsatz und Abstraktionsgrad der Erlebniskomplex 'Natur' von den Zitierten auch immer beschrieben wird, charakteristisch bleibt die – in den drei personalisierten Zeugnissen mehr oder minder differenzierte – umfassende faktische Ganzheit: das vom menschlichen Willen und Verstand völlig unbeeinflusste Sein; die Naturdinge und Naturkräfte als ein lebendiges Ganzes; alle wirklichen und möglichen Tatsachen, die Art und Weise, wie alles geschieht. Die Natur (weit gefasst: der Kosmos, die Welt...) beansprucht die "denkende Betrachtung (ihrer) Einheit in der Vielfalt, (ihrer) Verbindung des Mannigfaltigen in Form und Mischung."

3 Der pragmatisch oder axiomatisch 'geerdete' Olymp des Apriori als 'brauchbarer Zustand'

Unsere *Welt* bildet eine komplizierte dynamische Einheit, deren vielfältige Phänomene nur aus bestimmten Perspektiven und in einzelnen Projektionen der Realität (des 'Daseins'→ Seins, des Ontischen) wahrnehmbar und erfassbar sind. Das Phänomenale (das 'Sosein', das Seiende – Ontologische) als Erscheinungsweise des Seins, ist maßgeblich aus sich selbst bestimmt. Die *integrale Wirklichkeit* bedarf folglich in verschiedenen Bezügen nach Inhalt und Form vervollkommnender *ganzheitlicher Sichten und Strategien* sowie wesensgemäßer, konsistenter, final ordnender und bewertender Prinzipien – mehr oder weniger allgemeiner Gesetze.

In Houston Stewart Chamberlains (1855–1927) Buch "Immanuel Kant. Die Persönlichkeit als Einführung in das Werk" (1905) vertritt der englische Schriftsteller die Ansicht, dass die "künstliche Einfachheit" erst mit der Idee der Verschränktheit plastisch wird und – letztlich so als verständliches Ganzes (der Vf. L.-G. F.) – ins Dasein tritt. Er verweist ergänzend auf den eigentümlichen Unterschied zwischen der Einfachheit, die wir in der Natur entdecken und der "künstlichen Einfachheit" des zweckmäßig beschränkenden, willkürlich systematisierenden Menschen. Diese von Chamberlain apostrophierte Ungleichheit kann als die der ontischen und kognitiven Einfachheit begriffen werden.

Das unbestrittene kognitive Phänomen, dass man begreift, was man überschaut, generiert und rechtfertigt die ausnehmend fruchtbare *architektonische Idee vom* (additiven, multiplikativen, integrativen...) *Ganzen*. Erst der Zusammenhang der Bestandteile bewirkt die funktionstragende Struktur der Ganzheit als etwas Einheitlichem und nicht als etwas bloß aus Teilen Zusammengesetztem.

Bei einer – wie auch immer vollzogenen – Vereinigung unabhängiger Teilsysteme zu einem Gesamtsystem addieren sich deren statistische Entropien. Die Additivität der Boltzmann/Planck- und Shannon-Entropien ist eine maßgebliche Eigenschaft dieser grundlegenden, inzwischen auch jenseits des physikalischen Ursprungsfeldes ähnlich genutzten, systemischen Wertmaße und Prozessindikatoren. Bereits aus der Multiplikation einzelner Zustandsräume resultieren verschränkte physikalische Zustände.

Bei Friedrich Schiller findet sich der richtungweisende Hinweis, dass "Vereinfachung Wissen um das Ganze und seine Grenzen voraus(setzt)" Als Handlungskonzept zum ganzheitlichen Prüfen und Verstehen komplexer dynamischer (insbesondere chaotischer dynamischer) Systeme sowie

deren systemverträglicher und zielführender Beeinflussung mit steuernden und regelnden Maßnahmen wird das sogenannte "vernetzte Denken" ordiniert. Zum Leitfaden dieses mittlerweile rechnergestützten "Handwerks" und einer Kunst gleichermaßen, iterativ die "Wolken" von Unbestimmtheiten und Unwägbarkeiten zu beschreiben, sich schrittweise annähernd in ihnen Lösungen zu finden und die "Gebiete des Empirisch-Zweckmäßigen" allmählich funktionsgerecht zu gestalten, gehören allseitige, möglichst weitgehende, mehrdimensionale Systemanalysen samt der Abhängigkeit momentaner Systemzustände (bzw. interimistisch gewonnener Zwischenresultate) von den Anfangswerten. Dabei wird das Procedere in *Iterationsschleifen* auf die jeweils erreichten sensiblen Ergebnisse so oft angewandt, bis die gewünschte bzw. notwendige Genauigkeit erreicht ist. Ein Beispiel dafür bietet das Sensitivitätsmodell Prof. Vesper^R. Philologische Anwendungen zeigt der Beitrag von *H. Salevsky* und *I. Müller* in dieser Publikation (vgl. S. 187ff.).

Albert Einstein äußerte in seiner Antrittsvorlesung vor der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1914: "Der Forscher muss der Natur allgemeine Prinzipe ablauschen, indem er an größeren Komplexen von Erfahrungstatsachen gewisse allgemeine Züge erschaut. Ist diese Formulierung einmal gelungen, so setzt eine Entwicklung von Folgerungen ein, die oft ungeahnte Zusammenhänge liefert." Dabei spielen erfahrungsgemäß verifizierbare Modelle und Modellvorstellungen (ideelle Modelle, darunter Hypothesen) eine grundlegende und zudem strategisch herausragende praktische und theoretische Rolle. Beide sind intentionale Vereinfachungen, bei denen eine Reihe von Eigenschaften eliminiert wird, die vermutlich (oder gar mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit) im konkret erörterten Problem nicht entscheidend fungiert. Eine derartige Submergenz ist immer zweckbestimmt. Unter naturwissenschaftlichen Perspektiven gilt es dabei einige persistente physikalische Tatbestände (kategorische Dependenzen) zu beachten: besonders die Kausalität, die strikte Gültigkeit von Erhaltungssätzen und des Entropieprinzips, die Universalität von Wechselwirkungen, die zwar reduzible. grundsätzlich aber unerlässliche Enkapsis und Emergenz.

Überall in der – nach jeder Richtung – unbeschränkten Natur wird Einfachheit angetroffen, zugleich ist aber alles, Zeitreihen (unter Umständen mit Brüchen oder gar tipping points) bildend sowie temporäre und permanente vielschichtige Netzwerke formierend, horizontal und vertikal im Raum verzweigt, dynamisch miteinander verhakt, verwickelt, verknüpft, verflochten, verwoben..., im prägnanteren Sinne des Verschränktseins und Verschränktwerdens assoziiert. Das sind wesentliche Merkmale des übergeordneten, demgemäß noch umfassenderen Begriffs Kompliziertheit, in dem die

Verschränkung dialektisch aufgehoben wird. Mit Kompliziertheit (intricacy), wird überdies die kaum limitierte Vielteiligkeit, Vielschichtigkeit, Vielgestaltigkeit (Multiplizität), Vielfalt der Erscheinungsformen und Vielzahl der Entfaltungsmöglichkeiten (Diversität) erfasst sowie subtil gestaltet, schwer zu verstehen, diffizil zu berechnen, kaum zu prognostizieren assoziiert. Der inhaltlich weit umfassendere, erfahrungsgemäß schwer zu analysierende Begriff Kompliziertheit wird zur adäquaten Charakterisierung aktueller Zustände, deren Funktionalitäten und weiteren Fähigkeiten des Natürlichen genutzt. Die prinzipiell, z.B. als Komplexitätsgrad, qualifizierbare (u.U. sogar quantifizierbare) Kompliziertheit erfasst die Ausprägung der Komplexität des Faktischen, des grundsätzlich Möglichen sowie Denkbaren.

Die "Kompliziertheit" des jeweiligen dynamischen Systems/Objektes bzw. Prozesses indiziert generell die Menge und die Wertigkeit der funktionellen/strukturellen Einflussfaktoren/-Einflussgrößen sowie die zwischen den materiellen und immateriellen Erscheinungen und Gegenständen bestehenden Beziehungen: Dependenzen/Interaktionen/Kooperationen.

Der *Terminus Kompliziertheit* reflektiert als Synonym die *unbegrenzte Komplexität* chaotischer dynamischer Systeme und impliziert die Existenz von *Komplexitätsgraden*. Folgerichtig sollte konsequent zwischen der geordneten/organisierten und der ungeordneten/gering oder nur gelegentlich organisierten Komplexität differenziert werden.

Die Prädikate/Relationen kompliziert (Kompliziertheit) und komplex (Komplexität) sind demgemäß keine Synonyme oder gar identisch, sondern erfassen bemerkbar abweichende Sachverhalte und Bewertungen. Sie stehen allerdings in einem *engen Seins- und Wertungszusammenhang*, wobei die ontischen und die kognitiven Komplexitäten tendenziell positiv korreliert sind. Das Adjektiv komplex besitzt einen Komparativ und einen Superlativ. Es gelte: *kompliziert: = am komplexesten*.

Kompliziert ist die auffällig extreme bis exzessive Steigerungsstufe des Komplexen; ein beim Vergleich mit gemeinter, aber selten ausdrücklich artikulierter Komparativ bzw. Superlativ zwischen dem strukturell-funktionell Erstrebenswerten, Willkommenen (vielfach dem Metromorphen) und dem Faktischen – zwischen dem, was man nach Möglichkeit gerne hätte und dem, was man realiter hat: der Wirklichkeit. Da die dialektisch gegensätzlichen Faktoren Möglichkeit und Wirklichkeit eine (zudem zentrale) Aporie bilden, darf festgehalten werden, dass das ebenso für das Komplizierte zutrifft. Zu klärende Sachverhalte oder/und die dabei gebrauchten, zu klärenden (problematischen) Begriffe heißen kompliziert, wenn sie verschiedene, entgegensetzte Ergebnisse hervorbringen. Aporien, wie die Relation ,kompliziert', sind passable ,Denkzeuge', um bei der Problemlösung die

Widersprüchlichkeit, Zweifelhaftigkeit und Ausweglosigkeit dialektisch aufzuheben.

Objektiv (ontisch, ontologisch) ist etwas kompliziert, wenn es eine extreme bis exzessive (unbegrenzte, behindernde, unter Umständen nutzlos hohe) Komplexität aufweist: subtil zu gestalten, schwierig einzuordnen und zu beeinflussen ist. Ein bemerkenswert hoher Komplexitätsgrad kann jedoch unter bestimmten Konstellationen oder/und zeitweilig (interimistisch) durchaus objektiv notwendig – bestmöglich (perfekt) angepasst, "maßgeschneidert", eben metromorph – sein.

Subjektiv (kognitiv) erscheint etwas als kompliziert, wenn der Akteur beim Wahrnehmen, Denken und Erkennen nicht über die Mittel und Methoden: das Wissen, die Fähigkeiten und Fertigkeiten (das Können, die Intelligenz oder die Bereitschaft) verfügt, um es zu erfassen, zu verstehen oder gar zu beherrschen. Das Merkmal des subjektiv (und intersubjektiv) mitnichten Hilfreichen, kognitiv ernstlich Erschwerenden, ist im Urteil "kompliziert" involviert. Demzufolge ist kompliziert (Kompliziertheit) subjektiv überwiegend negativ konnotiert.

4 Problemrelevante Denkanstöße aus der Linguistik

Die Sprache ist ein außergewöhnlich leistungsfähiges, evolutionäres, vom menschlichen Willen gesteuertes und zweckmäßig zu gebrauchendes Werkund Denkzeug. In ihr fungieren Begriffe auch als Metaphern des Denkens und Dichtens. Absolute Metaphern können als fremdbestimmte provisorische Anschauungen für im Allgemeinen schwerverständliche Sachverhalte und abstrakte Ideen zweckdienlich sein. Die Strukturierung des Denkens und jeglicher Sprachgebrauch schließt die Möglichkeit und die (zumindest anthropologische) Notwendigkeit einer "metaphorischen Fremdbestimmung" ein (vgl. Gfrereis 1999, S. 124). Metaphern verlangen, wie jedes Sinnbild, eine präzise definierende (wenigstens aber erfahrungsgestützte) Charakterisierung des Bildspenderbereichs, ihres Tenors. Genauer gesagt, bedienen sich Metaphern eines Rückgriffs auf hinreichend bekanntes Ähnliches mit einleuchtenden Bedeutungen, des Bezugs zu leichter Fasslichem oder in Bedeutungspostulaten präziser Gefasstem.

Im Nexus des Essays sind die Adjektive ,elementar'; ,einfach'; ,komplez'; ,kompliziert'; einzuordnen und korrelativ zu charakterisieren. Eigentlich repräsentieren sie nicht bloß Prädikate, sondern Relationen. Mit den Nominalisierungssuffixen ,-heit' bzw. ,-(i)tät' entstehen daraus inhaltlich mit diesen übereinstimmende Nomina: ,Elementarität'; ,Einfachheit'; ,Komplexität';

"Kompliziertheit" – also Abstrakta, die einer metaphorischen Fremdbestimmung oder/und der akzeptablen Definition bedürfen.

Bei der gedanklichen Konstruktion und Interpretation des angestrebten Klassifikationsschemas, der relationalen Taxonomie als systematisierendem Modell, können sprachtheoretisch Tatbestände und Erkenntnisse nützlich sein. Das einfachste Struktursystem bilden Begriffspaare aus den angeführten vier Adjektiven bzw. Nomina, Gliedern in charakteristischen semantischen und logischen Oppositionen. Beide Gruppen von Lexemen sind sowohl Beschreibungsrelationen, die Phänomene reflektieren, als auch Evaluationsrelationen, die Konzeptionen beurteilen.

Die Nomina Einfachheit und Kompliziertheit sowie Elementarität und Komplexität stehen innerhalb des *quartären Struktursystems* mit seinen insgesamt sechs *Korrelationen* paarweise im polar-konträren Gegensatz. Sie sind die problembestimmenden Antonymien (im engeren Sinn). Diese beiden herausgehobenen, erfahrungsgestützten und verifizierten Gegensatzpaare fungieren als maßgebend fundierende funktionell-strukturelle Kerne der relationalen Taxonomie. Die Gegenpole gehören verschiedenen, ebenenspezifischen linguistischen Formkategorien an. Einfachheit und Elementarität zählen sprachtheoretisch in der phänomenologischen Ebene zu den *merkmalhaften Gliedern* und in der konzeptionellen Ebene zu den *markierten Gliedern*. Ihre Antipoden zählen in den adäquaten Ebenen zu den *merkmallosen bzw. zu den unmarkierten Gliedern*.

Aus diesen sprachtheoretischen Konstellationen ergeben sich einige wertvolle Folgerungen: Einfachheit sowie Elementarität bezeichnen nur Pole (Singularitäten) und sind in der konzeptionellen Ebene (zumindest sprachtheoretisch) nur auf solche anwendbar. Sie lassen sich kaum mit Maßangaben kombinieren und unterliegen (verglichen mit ihren Antipoden) zusätzlichen, systemabhängigen Vorkommensrestriktionen.

Kompliziertheit sowie Komplexität charakterisieren die polar-konträren Korrelate zu den Singularitäten in den beiden nicht symmetrischen Oppositionen. Sie bezeichnen einen, über den singulären Pol hinausreichenden, grundsätzlich skalierbaren Wertebereich der Entitäten – sind mit Maßangaben kombinierbar. Bei der Neutralisation der jeweiligen Opposition vertreten die Kompliziertheit und Komplexität – in logischer Konsequenz – das Ganze. Sie unterliegen weniger Vorkommensrestriktionen, weisen allerdings im Inhalt und besonders im Umfang einen intensiveren Sprachwandel/Bedeutungswandel als die polgebundenen Gegensätze auf. Für die Komplexität bzw. Kompliziertheit lassen sich bisher nur wenige Explikate mit quantifizie-

renden Skalen angeben. Potente konzeptionelle Ansätze bilden die Parameter informationelle und thermodynamische Entropien/Negentropie, Ektropie.

Ohne die morphologischen Kategorien als formale Codierungen und die systematischen sprachtheoretischen Aussagen in der essayistischen Darstellung zu überfordern, sei diskussionswürdig darauf hingewiesen, dass die *Markiertheit* der (merkmalhaften) lexikalisch-semantischen Glieder Einfachheit (einfach) und Elementarität (elementar) beider fundamentaler Antonymien die angeführte Argumentation rechtfertigen. Ebenso stützt der zur morphologischen Kategorie *Markiertheit* inverse, zugleich die Pole bewertende Begriff *Natürlichkeit* (Naturnähe) die Aussagen zum empirischen Primat der unmarkierten Lexeme Kompliziertheit bzw. Komplexität.

Die vier verbleibenden, bisher nicht näher erörterten Korrelationen in der nominierten Taxonomie und deren logisch konjugierte Prädikate: Einfachheit \rightarrow Elementarität sowie Kompliziertheit \rightarrow Komplexität werden sich in nachfolgenden Ausführungen als subkonträr und die oppositionellen Relationen Kompliziertheit \leftrightarrow Elementarität sowie Komplexität \leftrightarrow Einfachheit als kontradiktorisch erweisen.

Die nominalisierten Abstrakta *Kompliziertheit* und *Komplexität* (bzw. deren logisch adäquate relationale Adjektive *,kompliziert'* und *,komplex'*) sind in den essayistischen Erörterungen vorrangig zu behandeln, denn objektiv begründet gebührt ihnen ein faktisches und ursächliches Primat. Für ihren einzigartigen Rang spricht, dass sie sowohl fundamentale Systemcharakteristika/Organisationsmerkmal der größten Klasse holistischer Entitäten (wie Objekte, Eigenschaften, Ereignisse) als auch ein exponierter Bezugspunkt, eine Bezugsnorm des Vergleichs, ein "natürliches" funktionell-strukturelles Etalon der gegenüberstellenden Bewertungen sind.

Allerdings dominiert auch bei diesen Begriffen ein gefühlsmäßiges Selbstverständnis, das es sukzessive zu objektivieren gilt. Beide Lexeme widerspiegeln verschiedene Arten, Formen und *Grade der Komplexität*, die ursprünglich dem nicht beschränkten "Natürlichen" wesenseigen sind. Eines ihrer zentralen Momente ist die *Verschränkung:* ein wechselseitiges räumliches, zeitliches und sachliches Ineinandergreifen der Tatbestände, Strukturen und Prozesse, das gegenseitige Bedingen und Bewirken vieler Teile (Konstituenten), Facetten und Aspekte – die *Interdependenz* – sowie das Bedingtwerden – die kategorische Dependenz – die Kausalität. *Verschränkte* (intricate) *Zustände* sind Spiegelbilder der henadischen (das Eine bezeichnenden) Struktur der Wirklichkeit: das dem Wesen nach diffizil (qualitativ und quantitativ differenziert) miteinander Wechselwirkende, nur schwer Trennbare (Verhakte Verknotete, Verwickelte, Verwobene... [mit

dem Extremfall des idealen Einkristalls]). Verschränkt heißt, das auf eine Einheit (die Ganzheitlichkeit) Zielende, in der einige (im Grenzfall alle) Teile nur näherungsweise eigenschaftsprägend existieren. So wie es z.B. von der Quantenphysik beschrieben wird.

Je natürlicher ein System ist, je umfassender (höhergradiger) es der Natur gerecht wird – seine Naturalität herausbildet – umso verschränkter ist es, und, umso schwerer ist es zu begreifen. Natürlichkeit und Verschränkheit sind in ihrem Wesen graduell verbunden und positiv proportional.

Verschachtelt (enkaptisch) heißen streng hierarchisch gegliederte Systeme, die aus ineinandergefügten Stufenfolgen mit bestimmten Strukturniveaus bestehen (Mehrebenensysteme). Mit der Relation 'verschränkt' verglichen, werden damit die organisatorischen Bedingungen verschärft, 'vollkommenere' Ordnungen ausgedrückt und das Verschachtelte als Spezialfall des Verschränkten ausgewiesen.

Die russischen Matroschkas, die aus mehreren, stufenweise einander umhüllenden, dreidimensionalen Puppen bestehen, sind ein sehr einfaches, anschauliches, freilich nur geometrisches Beispiel und damit nur gegenständliches Modell für komplexere, enkaptisch organisierte Systeme.

Eindrucksvoller und wegweisender sind die exemplarischen Konstellationen in der 'lebenden Natur' bzw. in der Naturbeschreibung.

Als Spitze der enkaptisch organisierten Hierarchie ,lebende Natur' - eines Teils der Natur und zugleich eine typische emergente Gesamtheit fungiert die dynamische, selbstorganisierende, selbstregulierende, selbstreproduzierende Biosphäre. Sie ist das umfassendste, vielschichtig verschachtelte, den essentiellen Prozessen der Evolution und der Speziation (biotische Artbildung) unterliegende, komplexe biotische System. Die selbst emergenten Strukturniveaus: lebende Organismen, biotische Arten und Populationen formieren die Biosphäre in aufstrebender Folge. Solche Biozönosen werden von Lebewesen verschiedener Arten gebildet, die in einem abgrenzbaren (in der Regel zur Mit- und Umwelt offenen), gemeinsam genutzten Lebensraum, dem Biotop, in einer dynamischen, selbstregulierenden... Lebensgemeinschaft mit zahlreichen Wirkungs-Beziehungen (biozönotischer Konnex) stehen. Die Biozönosen und die Biotope konstituieren Ökosysteme, in denen die Lebewesen auch von abiotischen Umweltfaktoren mit Rückkopplungen beeinflusst werden. Die Interdependenzen bewirken in nichtlinearen irreversiblen Prozessen die Herausbildung und den Erhalt sensibler biotischer und ökologischer Fließgleichgewichte.

5 Komplexität – ein Charakterisierungsversuch

Nach den phänomenologischen Darstellungen und den in der verbalen Skizze umrissenen Wesensmerkmalen wird versucht, die Kategorie Komplexität prägnanter zu fassen. Für die zugleich zu klärende gegenseitige Zuordnung der Kompliziertheit und der Komplexität gibt es zwei angemessene Möglichkeiten. Zum einen kann die Komplexität logisch als zur Kompliziertheit subkonträr begriffen werden. Zum anderen lässt sich Kompliziertheit als exzessive Komplexität, als Varietät der, sinnvollerweise auch deswegen primär zu kennzeichnenden, Komplexität auffassen. Verallgemeinert heißt Varietät: abweichende Form und im eingehenderen Sinne der Kybernetik: Entfaltung der Wirk-, Handlungs- und Kommunikationsmöglichkeiten. Mit dem im Essay gewählten Vorgehen wird die Existenz von Komplexitätsgraden postuliert, die zur Kompliziertheit konjugiert sind. Sie erfassen die Ausprägung, das Ausmaß der sich semidefinit entfaltenden (non-restricted) Komplexität, wobei die Anzahl der Freiheitsgrade der Bewegung und der statistischen Beschreibung mit der Vielzahl sowie der Mannigfaltigkeit der Konstituenten und Relationen ,in Form und Mischung' (vgl. A. v. Humboldt), der Mehrteiligkeit, Vielschichtigkeit, dem Beziehungsreichtum, der Mehrdeutigkeit und der Unbestimmtheit etc. wächst.

Hinsichtlich der themenbezogenen Herausforderungen und der objektiven Schwierigkeiten ist anzumerken, dass ein Gutteil davon aus den mehrfachen, das Sein betreffenden und das Seiende widerspiegelnden sowie den begrifflichen Verflechtungen resultieren. Grundlegende – empirisch belegte und theoretisch teilweise erklärte – ursächliche (demzufolge nur didaktisch isolierbare) Abhängigkeiten bestehen zwischen *Struktur und Eigenschaften* sowie innerhalb der *Triade* der wechselseitig verbundenen Realien und Kategorien *Funktionen-Strukturen-Prozesse*. Solche Zusammenhänge aufzuklären und bewusst zu nutzen, gehört zu den fundamentalen Anliegen der Wissenschaft.

Insbesondere die *Strukturbildung, -bewertung* und der *Strukturerhalt* sind wesentliche, arbeitsteilig und koordiniert wahrzunehmende Probleme der Wissenschaft, und sie bedürfen der Komplexität. Angesprochen sind damit ontische und logische Ordnungen von Systemelementen sowie ihre aufeinander bezogenen Wirk-Beziehungen, die Funktionen abbilden, tragen, sichern und/oder in bestimmten Prozessen neue hervorbringen – Funktionalitäten repräsentieren.

Die Komplexität ist – in dieser Beziehung nicht zufällig mit der Information vergleichbar – ein favorisierter Kandidat für das Prädikat ,sui gene-

ris' und eine Aporie. Sie ist schwierig analytisch zu erfassen und angemessen abzubilden. Nicht zuletzt weil sie in höher entwickelten, verkappt – sehr selten transparent – organisierten Systemen aus zahlreichen, qualitativ differenzierten und interagierenden Systemelementen in verwobenen inneren und äußeren Ebenen mit verflochtenen Relationen widersprüchlich komponiert ist.

Das begründet und impliziert mit Überlappungen vornehmlich die Vielheit, Vielfältigkeit, Verschiedenheit, Vielgestaltigkeit, Vielseitigkeit, Vielschichtigkeit, Variabilität.

Der wahrscheinlich *autologische* (≈ *homologische* versus heterologische) Begriff Komplexität – ein Abstraktum – und das gleichfalls klassifizierende, attributiv gebrauchte Adjektiv 'komplex' sollen etwas näher bestimmt und differenzierter mit einem hinreichenden Maß an substantieller und logischer Exaktheit beschrieben werden.

Die merkmalsreiche, im klassischen Verfahren nicht definierbare, Komplexität ist eine funktionell-strukturelle Eigenschaft von Systemen/Objekten, einer übergreifenden dynamischen, multiplen, multirelationalen und vielschichtigen Gesamtheit. Solche Wechselwirkungen von Status und Funktionalität betreffen alle Entitäten (Objekte, Ereignisse und Eigenschaften, wie Systeme, Prozesse, Probleme, Dispositionen, Konzepte, Strategien). Demgemäß sind klassifikatorisch sachliche (gegenstandsbezogene) und kognitive (subjektbezogene, intersubjektive) Komplexitäten zu unterscheiden. Am übergreifenden Ganzen orientiert, ist zudem zwischen der inneren Komplexität des Systems – seinem Status – und der äußeren Komplexität der System-Umgebungs-Wechselwirkung zu differenzieren.

Die Komplexität ist eine plastische *Metapher des Denkens* (dem Gegenstand und – nebst dem Experiment – dem überragenden Mittel der Erkenntnis) *und* offenbar ein *Ingrediens* aller (quasi-)statischen und – in noch höherer Qualität – der dynamischen Systeme. Sie gehört nicht bloß untrennbar zu ihnen, sondern formiert vielmehr sich aktiv abhebende Wesenszüge. Sie hat, bezogen auf das jeweilige reale oder ideelle System und dessen Verhalten, objektive und subjektive, tatsächliche und virtuelle, interne und externe Komponenten und Wirkungsfelder.

Die im Einzelnen zu kennzeichnenden und erörternden Entitäten konstituieren sich aus einer Vielzahl und einer überwiegend heterogenen Vielfalt natürlich oder artifiziell assoziierter Funktions- und Strukturelemente einschließlich der Verhaltensmöglichkeiten und Veränderungsmodalitäten der Konstituenten, der Teile und/oder des Ganzen. Die mehr oder weniger geordnete Ganzheit/Gesamtheit (textum) kombiniert, integriert bzw. inkorporiert die interagierenden (interaction) Konstituenten (parts) großer Anzahl und Eigenart.

Es bilden sich *funktionell-strukturelle* Verbindungen bestimmter Größenordnungen, Niveaus und Wertigkeit – unterschiedlicher Kompliziertheit (intricacy) – heraus. Infolge der Interaktivität auf typischen Niveaus entstehen und erhalten sich dynamisch assoziierte: verknüpfte, vernetzte, häufig verschränkte, verschachtelte,..., *natürliche* bzw. *artifizielle* (*ideelle*, synthetische, technisch-konstruktive) Gefüge. Zu deren substantiellen, räumlichen und zeitlichen Ordnungen gehören bezeichnende Dependenzrelationen. Auf den konsekutiv ansteigenden Organisationsniveaus der Rangfolgen werden, unter und mit äußeren Wirkungen, *emergente Eigenschaften* (das Neue, neue Qualitäten im "Wie" und "Was") hervorgebracht. Die Qualität der zugrundeliegenden Interdependenzen reicht von der organisierten bis zur exzessiven Komplexität (→ Chaos).

Der als Chaos bezeichnete besondere dynamische Systemzustand ist originär Gegenstand der Theorie nicht-linearer Systeme – eines Teilgebietes der nicht-linearen Dynamik. Der Physikochemiker, Philosoph und Nobelpreisträger Ilja Prigogine unterscheidet – prinzipiell und bezüglich der Ursache-Wirkungs-Relationen gut begründet – zwei Arten von Chaos: das dynamische Chaos der mikroskopischen Systemebene und das dissipative Chaos der makroskopischen Emergenzebene. In der altgriechischen Ordnungstheorie war das Chaos der Antipode des Kosmos, des Sinnbildes höchster Ordnung. Auch A. v. Humboldt sieht im Kosmos "ein harmonisch geordnetes Ganzes". Chaos hingegen bedeutet immer auch irreguläres Zeitverhalten, Zufälligkeit und sukzessive Auflösung der Vorhersagbarkeit.

Netzwerkarchitekturen gehören wahrscheinlich zu den allgemeinen, skaleninvarianten Struktur-, Funktions-(Organisations-)Prinzipien natürlicher, technischer, ideeller und anderer multipler komplexer Systeme. Natürliche Vernetzungen folgen – in biotischen, ökologischen, sozialen und gesellschaftlichen Systemen besonders charakteristisch ausgeprägt – der systemimmanenten Strategie der Selbstorganisation und Selbstinformation.

Die dynamischen Beziehungen und die Strukturen mit adaptiven "Mechanismen" zur Selbstorganisation: die resultierenden "Netzwerke" verschiedener Dimensionen, Relationen, Wechselwirkungsintensitäten und Genesen (wie physikalische, chemische, biotische,..., soziale Strukturierungen, die Morphogenese, Epigenese, Ontogenese, Phylogenese, Technogenese, Soziogenese etc.) ändern sich zumeist gleichfalls in Raum und Zeit. Die korrelierenden aktiven Komponenten in der obwaltenden Einheit von Zeit und Komplexität generieren temporäre und permanente Kompetenzen. Diese hier lediglich benannten richtungweisenden Sachverhalte beanspruchen eine ausführliche komplementäre Erörterung und Würdigung.

Komplexe Systeme sind gewöhnlich im permanenten Nichtgleichgewicht, durchlaufen aber im seriellen oder/und im parallelen Prozessgeschehen chaotische Übergangsphasen mit zusätzlichen Freiheitsgraden und unter Umständen mit temporären Gleichgewichten.

Komplexe Prozesse bestehen in der Regel aus Prozessfolgen, deren nichtlinearer Ablauf vorwiegend einen dynamisch chaotischen oder deterministisch-chaotischen Charakter mit einer vermeintlich deterministischen Gesamtdynamik aufweist. Nichtgleichgewichtszustände kooperativer Phänomene verhalten sich grundsätzlich reaktions- und strukturierungs-freundlicher als Gleichgewichtszustände. Während Gleichgewichtszustände von der Entropie beschrieben werden, tritt die Entropieproduktion bei Nichtgleichgewichtszuständen an deren Stelle.

Im Gegensatz zur *gesamten Komplexität* bezieht sich *Ordnung informationstheoretisch* stets auf den *faktischen Zustand* des Systems/Objektes. Ordnungen – und sei es 'lediglich' in Form "fehlerbehafteter" statistischer Mittelwerte des "deterministischen Chaos" als Schar- oder Zeitmittel – verbergen und bewahren sich selbst hinter jeder Unordnung.

Das Phänomen, unter typischen Bedingungen, funktionell-strukturelle Beziehungsgefüge aus bestimmten Elementen selbstorganisierend zu generieren und aufrechtzuerhalten, gehört zu den hochgeschätzten Fähigkeiten von Nichtgleichgewichtssystemen. Solche Strukturen und Ordnungen sind das Ergebnis von Symmetriebrechungen, d.h. zumindest reduzierter Homogenität und Isotropie. Der anthropomorphe Begriff Ordnung: "eine Tochter der Überlegung" (Georg-Chr. Lichtenberg), bezeichnet eine funktionsrelevante Qualität der Beziehungsgefüge – der emergenten Strukturen. In der Regel und bestenfalls liegen sie in der Nähe eines lokalen Optimums. Trotz der wohlgeordneten Koexistenz ihrer Konstituenten sind Ordnungen demzufolge grundsätzlich verbesserungsbedürftig und verbesserungswürdig. Die umfangreichsten Verhaltensoptionen, wirkungsvollsten Aktionspotentiale und die vielfältigsten Gestaltungsmöglichkeiten bestehen naturgemäß im ungeordneten Systemzustand, deren Maximum fungiert im Chaos: dem extrem Komplexen. Dieser Tatbestand gipfelt in der problematischen These, dass das Chaos Antrieb allen Fortschritts sei. Allerdings - und kaum bestritten – gehört das Chaos zu den nachhaltigen Ingredienzen des Fortschritts. Systeme sind umso geordneter, je größer die Anzahl der ihnen zuzuschreibenden räumlichen und zeitlichen Strukturen ist. Ordnungen dezimieren demzufolge in komplexen Systemen die Vielzahl der unabhängigen verallgemeinerten Koordinaten der statistischen Größen und der Freiheitsgrade der Bewegung des Systems. Im Zustand maximaler Ordnung existieren keine

inneren räumlichen und zeitlichen Freiheitsgrade mehr. Maximale Ordnung heißt: das System ist exakt determiniert, die "Fehler" und die *potentielle Information* sind minimiert; die *aktuelle Information* entspricht einem Maximum. Diese Sachlage erklärt auch die These von W. Ebeling und H. Hörz: Die Gesetze der *Dynamik komplexer Systeme* bilden einen Kegel von Einschränkungen, formieren einen Bedingungskegel.

6 Einfachheit – kein einfacher Charakterisierungsversuch

Die Kerngedanken und die Probleme beim ideellen Begreifen, beim Charakterisieren und faktischen Beherrschen der *Komplexität* sowie der opportunen *Komplexitätsgrade* (einschließlich ihrer höchsten Ausprägung, des *Komplizierten* – des exzessiv Komplexen) wurden umrissen. Ebenso schwer ist es, die logisch polar konträre (strukturell subalterne) Entgegensetzung zur *Kompliziertheit*, die *Einfachheit*, zu präzisieren. In den voranstehenden Kapiteln wurde zwischen der "natürlichen Einfachheit" und der "künstlichen Einfachheit" des zweckmäßig beschränkenden Menschen unterschieden und das mit Argumenten belegt. Auf der Suche sowohl nach Spezifikationen als auch nach generellen Merkmalen der Einfachheit richtet sich der Blick nun auf literarische Expertisen.

Ohne Quellenbeleg wird Albert Einstein das Zitat zugeschrieben: "Die Dinge entwickeln sich vom Primitiven über das Komplexe zum Einfachen" [Primitives sollte in dieser mit Worten skizzierten Genese gedanklich als Urtümliches, Ursprüngliches qualifiziert werden] Analoges gilt für die auf Antoine de Saint-Exupery zurückgeführte Abwandlung: "Die Technik entwickelt sich immer mehr vom Primitiven über das Komplizierte zum Einfachen". Bei manchem der "Geflügelten Worte" stellt sich die Frage: Wahrheit, Vermutung oder Anekdote? Dennoch reflektieren solche Äußerungen bestimmte Erfahrungen in der Auseinandersetzung mit den Problemstrukturen. Große Namen sollen die prägnanten Deutungen aufwerten.

Obwohl ebenfalls nicht sicher belegt, wird die Sentenz: "Einfachheit ist die höchste Stufe der Vollendung" Leonardo da Vinci zugeordnet. Zumindest spräche dafür, dass diese Ansicht seine Vorstellung von der Kunst und seine gesamte Lebenseinstellung treffend widerspiegele. Wann diese "höchste Stufe der Vollendung", die Vollkommenheit, die Perfektion verwirklicht ist, indiziert der Berufspilot und Schriftsteller Antoine de Saint-Exupery mit einem Kriterium: "Perfektion ist nicht dann erreicht, wenn man nichts mehr hinzufügen kann, sondern wenn man nichts mehr wegnehmen kann" (Saint-Exupery 1939, S. 60).

Solche Anschauungen bleiben nicht gänzlich unbestritten. Der Begriff Einfachheit "hat vermutlich weniger einen logischen als einen ästhetischen Charakter", bemerkt beispielsweise C. F. von Weizsäcker im "Aufbau der Physik". Diese Auffassung akzentuiert die Harmonie und Schönheit sowie gegebenenfalls deren Gesetzmäßigkeiten, also Kategorien des Wahrnehmungs- und Erkenntnisvermögens, in ihrer beurteilenden Bedeutung für das Einfache. "Wenn gute wissenschaftliche Einfälle ursprünglich als Gestaltwahrnehmung gelten dürfen, so ist das "Einfache" eben eine dem wahrnehmungsbegabten Forscher auffallende Gestalt", – " [Wahrgenommen wird demnach die natürliche Einfachheit] Weizsäcker setzt fort,

"Einstein präzisiert die Forderung der Einfachheit dahin, die Wechselwirkung zwischen Materie und metrischem Feld solle durch Differenzialgleichungen möglichst niedriger (d.h. zweiter) Ordnung beschrieben werden" – [Gefordert wird demnach die artifizielle Einfachheit]

Dabei sei es denkbar, so Weizsäckers komplementäre Interpretation, dass in der von Einstein vermuteten fundamentalen algebraischen Struktur

"Differenzialgleichungen der Wechselwirkung überhaupt nur eine Näherung sind und dass die Differenzialgleichung zweiter Ordnung in einem Näherungsverfahren nur als erstes Glied auftritt. Die Einfachheit läge dann in anderen mathematischen Begriffen." (Weizsäcker 2002, S. 271)

Das ist insofern konsequent und weiter zu verallgemeinern, als Einfachheit keinen Wert an sich, sondern generell ein vom verfolgten, angestrebten, erwarteten Ziel abhängendes Mittel darstellt.

Die im Diskurs angeführten Deutungen der *Systemcharakteristik* werden durchaus von der differenzierenden Interpretation der Einfachheit als natürlich und artifiziell getragen.

Zusammenfassend soll das Nomen bzw. dessen relationales Adjektiv: *Einfachheit (einfach)* in einer höher abstrahierten Ebene artikuliert werden, um die Entitäten qualifiziert vergleichen und in ein designiertes Klassifikationsschema für die vier fundamentalen funktionell-strukturellen Organisationsmerkmale einordnen zu können. Ordnungsmerkmale der Konkreta oder Abstrakta in diesem ideellen Modell aus systematischen Einheiten (Taxa [R_{i, j}]) sind in erster Näherung die *Beschaffenheit* (Disposition, Konsistenz, Gliederung) und die dynamischen *Beziehungen* (Relationen, Interaktionen, Assoziationen).

Einfachheit (*einfach*): fundamentale Systemcharakteristik/Organisations-merkmal – R₃₂, oligo-kontexturell, reduzibel elementar [RE], pseudo kohä-

rent, deterministisch-chaotisch, deterministische Dynamik; Aggregation (vgl. Kap. 9), logisch polar konträre (strukturell subalterne) Entgegensetzung zur Kompliziertheit, deren relatives zweites Skalenende. Die Einfachheit definiert eine Singularität, bezeichnet nur einen Pol der Antonymie – einer nicht symmetrischen Opposition polar-konträrer Korrelate – einen Gegensatz im subjektiven Sinn. Real gegensätzlich erfasst das Merkmal R₃₂ zugleich, wie viele Variablen innerhalb einer (ontischen, ontologischen, kognitiven, mentalen) Kontextur zur Beschreibung der quantitativen Verhältnisse des Systems benötigt werden.

7 Elementarität – der subkonträre Gegensatz zur Einfachheit

Zu den prägenden Merkmalen der Komplexität gehört das Ausmaß der Unvereinbarkeit (Inkompatibilität) des Verschiedenartigen (Unterscheidbaren) in einer davon bestimmten funktionell-strukturellen Assoziation. Aus der dazu polar konträren Situation der Elementarität lässt sich ableiten: Elementarität bedeutet auch Vereinbarkeit (Kompatibilität) des harmonisch funktionierenden Gleichartigen (Nicht-Unterscheidbaren) in einer sich daraus aufbauenden, einzigartigen (individuellen) funktionell-strukturellen Assoziation.

Annähernd lexikalisch erläutert heißt *Elementarität (elementar):* in einer definierten makroskopischen, mesoskopischen, mikroskopischen Organisationsebene (vor allem molekularen, atomaren, subatomaren Emergenzebene) deterministisch hoch geordnete, unteilbare/untrennbare funktionell-strukturelle (Grund)Einheit. Ausdrücklich bekräftigt sei deren Relativität hinsichtlich der gestuften Strukturniveaus (z.B. von der Quanten- bis zur Makroebene in der Physik). Elementare *Systeme* sind aus bestimmten, nach Menge, Anordnung und Art gekennzeichneten Konstituenten (Individuen) mit internen Relationen [~Intension], 'maßgeschneidert' [metromorph] zusammengesetzt. Inhärent sind die individuell angepassten Wechselwirkungen des Zustandsraums mit der Umgebung (Mitwelt, Umwelt) [~Extension]. Für das *Individuum* als Einzelnes, das als kleinster Teil eines Ganzen – einer Entität – fungiert, existieren *Identitätskriterien*.

Zusammenfassend wird – wiederum im Interesse der taxonomischen Zuordnung – das Nomen Elementarität bzw. das relationale Adjektiv elementar in der höher abstrahierten Ebene charakterisiert.

Elementarität (elementar): fundamentale Systemcharakteristik/Organisationsmerkmal – R₄₁, real existierendes Individuum oder maximal vereinfachtes, interagierendes System, Koordination (vgl. Kap. 9), individuell-

kontexturell¹, verschachtelt, irreduzibel² elementar [IE], harmonisch metromorph³, kohärent⁴, deterministisches Verhalten mit regulären Prozessen und hoher Kooperativität; logisch polar konträre (strukturell subalterne) Entgegensetzung zur Komplexität, deren relatives zweites Skalenende, subkonträrer Gegensatz zur Einfachheit. Die Elementarität definiert eine Singularität, bezeichnet nur einen Pol der Antonymie – einer nicht symmetrischen Opposition polar-konträrer Korrelate – einen Gegensatz im subjektiven Sinn. Real gegensätzlich erfasst das Merkmal R₄₁, wie viele irreduzible Qualitäten, d.h. hier (ontische, ontologische, kognitive, mentale) Kontexturen mit eigener Logik und Arithmetik im holistischen System involviert sind.

¹ Kontextur – operativer Begriff, theoretisches Konstrukt (Gotthard Günther, 1957): Zweiwertiger beschränkter Strukturbereich mit unbegrenzter 'Inhaltskapazität und Aufnahmefähigkeit', Repräsentant ontischer und/oder logischer, mentaler Vielheit/Mannigfaltigkeit als quantitative und qualitative Einheit mit adjustierter Logik und eigener (auch höherer) Arithmetik bei zugleich bestehenden qualitativen Unterschieden, Pool für Kontexte bestimmter Kooperativität, Komplexität und Kompliziertheit. Das Konstrukt ontologische und kognitive 'Kontextur' wird im Beitrag vorrangig als Mengenindikator genutzt.

² Irreduzibilität – Organisationsmerkmal: Eigenschaft einer kooperativ agierenden strukturell-funktionellen Ganzheit, in der jeweiligen Emergenzebene nicht risiko- oder gefahrlos auf konstitutive Elemente reduzierbar zu sein.
Ein System heiße ,irreduzibel komplex' [IC], wenn in einer deterministisch organisierten Ganzheit für eine definierte Funktion eine Vielzahl notwendigerweise aufeinander abgestimmter interagierender Parts/Konstituenten erforderlich und unverzichtbar ist. Das unvollständige oder vollständige Behindern bzw. Beseitigen eines konstitutiven Elementes irreduzibel komplexer Systeme kann in deren Folge von der Einschränkung (Insuffizienz) bis zum Ausfall (Kollaps) seiner Funktionsfähigkeit (Funktionalität) reichen.

³ Metromorpher Strukturbereich – funktionell-strukturell koordinierte/optimierte, zielorientiert in charakteristischer Einheit interagierende, synorganisierte, positiv selektierte, holistische Vielheit/Vielfalt ["maβgeschneiderte' Realisation – tailor-made] ~ Organismus (in diesem Emergenzbild quasi monomorph) Die Beeinträchtigung eines Konstituenten, dessen fehlerhafte Struktur bzw. Funktion, reduziert die Funktionssicherheit der metromorphen Gesamtheit (→Insuffizienz); der Wegfall eines Konstituenten der Struktur bzw. dessen Funktionsausfall eliminiert die gesamte Funktionsfähigkeit der metromorphen Gesamtheit (→ Kollaps) Lebende metromorphe Systeme haben zudem das prägende originäre Organisationsmerkmal der Autopoiesis – sie können sich selbst hervorbringen und erhalten. Diese Selbstreproduktion, Selbststrukturierung und Selbstorganisation, d.h. die selbstständige Herausbildung räumlicher, zeitlicher und funktionaler Strukturen auf einer makroskopischen Skala wird unter gleichgewichtsfernen nichtlinearen Bedingungen für physikalische, chemische, technische, soziale u.a. Zustandsräume, Milieus und Voraussetzungen (insbesondere thermodynamisch offenen Systemgrenzen) aufgeklärt und erschlossen.

⁴ Kohärenz – Organisationsmerkmal; dynamischer Zusammenhang, widerspiegelt die strukturell-funktionellen Verknüpfungen mit denen eine operationelle Ganzheit der Makro-, Meso-, Mikro-, Quantenebene in einer bestimmten Objekt-Umgebung sowie einer Raum-Zeit-Struktur (in toto: dem beschriebenen Bezugsrahmen) seine gemeinsamen Aktivitäten organisiert, effektiv koordiniert, optimiert und über Eigenschaften präsentiert.

In der Quantenebene führt das quantenphysikalische Phänomen der Dekohärenz zur teilweisen oder vollständigen Unterdrückung der Kohärenzeigenschaften quantenmechanischer Zustände. Es resultiert aus der, in die Betrachtungen einbezogenen Wechselwirkung mit der Umgebung (entanglement), wobei sich beide in dem 'statistischen Gemisch' irreversibel verändern.

Auf der Basis des bisher Ausgeführten werden die beiden, eng mit der Naturalität korrelierten, Varietäten Komplexität (komplex) und Kompliziertheit (kompliziert) auf dem gleichen vereinheitlichenden Abstraktionsniveau charakterisiert.

Komplexität (komplex): fundamentale Systemcharakteristik/Organisations-merkmal – R₂₃, poly-kontexturell, begrenzt metromorph, irreduzibel) komplex [IC], bedingt kohärent, subkonträrer Gegensatz zur Kompliziertheit, eigentlich: organisierte (restricted) Komplexität. Begrenzt geordnete funktionell-strukturelle Einheit (holistisches System) – bestenfalls Aggregation (vgl. Kap. 9), raum-zeitlich stochastisch organisierte dynamische Mannigfaltigkeit/Vielheit groβer Mengen nach Art und Anordnung gekennzeichneter Konstituenten sowie Relationen. Mannigfaches mit zahlreichen Varianten, vielschichtig, vernetzt (~cum pletere), verschränkt bis verschachtelt, eingeschränkt bestimmbares (irreguläres) Raum-Zeit-Verhalten – deterministisch-chaotisch. Organismus (im weiten Wortsinn) mit einem Komplexitätsgrad bestimmter Ausprägung (Ordinalskala; vgl. auch Elementarität). Real gegensätzlich erfasst das Merkmal R₂₃ zugleich, wie viele unabhängige Standpunkte bzw. Kontexturen 'im rezenten Spiel' sind.

Kompliziertheit (kompliziert): fundamentale Systemcharakteristik/Organisationsmerkmal — R_{14} , poly-kontexturell, polymorph, reduzibel komplex [RC], inkohärent, chaotisch, nichtlineare Dynamik, gelegentlich deterministisch-chaotisch; eigentlich: extrem entfaltete, gegen das "natürliche Unendliche" gehende (non-restricted) Komplexität.

Kompliziertheit (complicatedness, intricacy) steht für Pluralität/Koexistenz von Vielfalt, Mehrdeutigkeit, Unbestimmtheit, Undurchschaubarkeit, Unzuverlässigkeit und für dynamische Zustände mit minimalen bis moderaten Interaktionsniveaus – dominant sind Konglomerationen bis Agglomerationen (vgl. Kap. 9) – weitgehend ungeordnete, raum-zeitlich stochastisch organisierte dynamische Mannigfaltigkeit/Vielheit großer Mengen von Konstituenten sowie Relationen, Mannigfaches mit unendlich vielen Varianten, vielschichtig, unter Umständen miteinander schwach vernetzt (~cum pletere), verwoben, nur sehr eingeschränkt bestimmbares (irreguläres) Raum-Zeit-Verhalten (vgl. auch Einfachheit). Real gegensätzlich erfasst das Merk-

mal R_{14} zugleich, wie viele unabhängige Standpunkte bzw. Kontexturen ,im rezenten Spiel' sind.

8 Die nominierte relationale Taxonomie der elementaren Organisationsmerkmale

Für die relationale Interpretation und die approximative graphische Darstellung der einander zuzuordnenden, qualitativ immerhin unverkennbar unterschiedenen Systemcharakteristik/-Organisationsmerkmal (Taxa $[R_{i,\,j}]$) einschließlich ihrer ontischen und kognitiven Beziehungen, müssen Indikatoren der Merkmale und typische Parameter der Merkmalsausprägung sowie deren Korrelationen gefunden, beurteilt, selektiert und zur Erklärung der intern sowie extern korrelierten Phänomene, deren Wesen und Ursachen (partiell) erschlossen werden. Die verbale Beschreibung erfüllt die Normative eines unbedingten Ausgangsniveaus. Die mit Messmethoden gestützte und mit Messwerten ausgestaltbare Quantifizierung sowie deren mathematische Abbildungen sind fortgeschrittene, prinzipiell erstrebenswerte Stufen der Darstellung und Erklärung.

Jedes elementare,..., komplizierte, reale oder ideelle, funktionell-strukturelle, d.h. die Prozesse involvierende, Gefüge/System (lat. textum, texere) liegt in einem Feld, das von verbalen Koordinaten aufgespannt bzw. mit dazu konversen Größen (Relationen) dargestellt werden kann. Erfassen diese , verbalen Variablen' lediglich einen oder wenige Aspekte k des Eigenschaftsspektrums, nennen wir sie reduzierte verbale Variable (Index r). Für ein theoretisch N-dimensionales Merkmalsfeld, das als Ganzes und mit seinen Teilen sowie Relationen verstanden und genutzt werden soll, gilt formal: $R(x_{r,k})$ mit k: = 1, 2,...,N; und für das zweidimensionale Feld sowie dessen Abbildungen: $R(x_r, y_r)$. Leider sind in unserer Problemstruktur diese $x_{r,k}$ mit $0 \le x_{r,k} \le \infty$ bisher kaum messbar, so dass die verbalen Variablen beinahe uneingeschränkt dominieren. Für die erörterte Problematik lassen sich nur in Ausnahmefällen die Rangfolgen einiger Merkmalsausprägungen mit nicht quantifizierbaren Abständen auf streng monoton steigenden Ordinalskalen angeben (vgl. Kap. 9). Solche Skalen liegen zwischen den Nominalskalen und den verschiedenen, wissenschaftlich und technisch nur sehr aufwändig erreichbaren metrischen Skalen (Kardinalskalen bis Absolutskalen). Metrische Skalen dimensionieren die problemrelevanten Explikate Entropie und Entropieproduktion. Sie präzisieren und quantifizieren wesentliche Eigenschaften von Systemen und Prozessen. Beispielsweise gehören die beiden experimentell gestützten Gleichungen für die Boltzmann-Planck-Entropie:

$$S_{BP} = -k \sum p_i \; ln \; p_i \qquad (mit \; 0 \leq p_i \leq 1) \qquad S_{BP} = k \; ln \; W$$

zu den fundamentalen *Postulaten der statischen Theorie der Materie* (vgl. Ebeling 1976, S. 12ff.) Die p_i stehen für a-priori *Eintrittswahrscheinlichkeiten/Auftretenswahrscheinlichkeiten* beliebiger – inhaltlich zunächst nicht weiter spezifizierter – diskreter Ereignisse/-Zustände. In der Ebene semantischer Informationen vertreten die p_i – thermodynamisch betrachtet – Wahrscheinlichkeiten von Mikrozuständen. Sie erfassen z.B. die Wahrscheinlichkeit der Energiezustände des materiellen Gesamtsystems.

Bei dem einheitlichen Verfahren bzw. Modell, das die Objekte/Entitäten mit den ausführlich diskutierten elementaren Organisationsmerkmalen in das Klassifikationsschemas ein- und einander zuordnet, d.h. relational klassifiziert, sind deren innere und äußere Verhältnisse zu bedenken. "Verstehen heißt zunächst das Feld zu verstehen, mit dem und gegen das man sich entwickelt" (Bourdieu 2002, S. 11) Bourdieu meint mit Feld die spezifischen sozialen Einheiten und Einrichtungen der Gesellschaft, in denen sich der Habitus ihrer Individuen entfaltet. Die Vorgehensweise bewährt sich dessen ungeachtet als heuristisches Prinzip. Das Feld kann also auch jeder andere reale oder abstrakte Existenz- und Aktionsraum mit einem typischen Bestand an Ressourcen und in einem bestimmten Status sein. Für die im Essay nominierte relationale Taxonomie der elementaren Organisationsmerkmale empfiehlt sich die multifaktorielle ("polygene") Komplexität als intrinsisches Bezugsfeld. Für die Wahl der Komplexität sprechen ihre Realdialektik ihr genetisches Primat, ihr ontischer Ursprung, ihr Quellenreichtum in der Naturalität; und sie wurde relativ umfänglich sowie detailliert verbal beschrieben. Die verbalen Charakterisierungen der anderen drei Taxa beziehen sich folgerichtig mittelbar und unmittelbar auf dieses Schlüsselelement. Ein konzeptionelles, vierdimensionales internes Verflechtungsmodell der Komplexität wird ausführlich in dem Beitrag "Komplexität, Interund Transdisziplinarität" diskutiert (vgl. Fleischer, 2010).

Für das hier zu entwickelnde, geschlossene (aber *eben nicht abgeschlossene*) relationale Klassifikationsschema (ideelles Modell) wird eine zweidimensionale Variante herangezogen. Die vier ausführlich erörterten, fundamentalen, funktionell-strukturellen Gefüge/Ordnungen sind deren systematische Einheiten. Die bevorzugten verbalen Koordinaten dieser ,texta' (\rightarrow Taxa [R_{i, j}]) bilden die graduierbare Kohärenz (1/y_r) und die graduierbare Kohäsion (1/y_r) bzw. dazu inverse Relationen, die authentische Inkohärenz (x_r) und das konstruierte Komplexion (y_r): Kompliziertheit = {Repul-

⁵ Vgl. Fußnote 4 auf S. 230.

sion; Dispersion. Da zum Funktional und Begriff Kohäsion kein direktes Antonym existiert, wurden die ursächlich wirkenden inversen Funktionale Repulsion und Dispersion in der äquivalenten Resultante Kompliziertheit fusioniert.

Das – nicht zuletzt im Interesse der Transparenz und Plausibilität – vereinfachte Vorgehen mit reduzierten oder komprimierten verbalen Variablen für die Funktionale bewährt sich im Allgemeinen bei Textanalysen in der Linguistik. Sie operiert vielfach mit nur zwei, praktisch aber erheblich weiter differenzierbaren. Textualitäts-Merkmalen (lat.: texo < texere. texui. textum > - weben, flechten bzw. im übertragenen Sinn - zusammenfügen, verfertigen, errichten, bauen): der Kohärenz und der Kohäsion. Es ist als gute Näherung vertretbar, die (vorrangig strukturbetonende) Kohärenz als dynamischen Zusammenhang und die (vorrangig funktionsbetonende) Kohäsion als dynamischen Zusammenhalt zu interpretieren. Die Akzentuierung ,vorrangig' erinnert an das bereits umrissene Grundproblem, dass Funktionen und Strukturen generell eine dialektische Einheit bilden. Diese kann nur formal didaktisch getrennt werden. Sowohl für die Kohärenz als auch für die Kohäsion existieren sowohl selektiv feiner gliedernde und differenzierende, als auch umhüllende, die beiden (miteinander partiell verschränkten) Begriffe integrativ einordnende und gegebenenfalls komprimierende Termini. Beide Tendenzen der Strukturierung reflektieren, dass Begriffe, wie andere Entitäten, ebenfalls komplex sind. In vielen Fällen sind sie mehrdeutig und ausnehmend intransparent verknüpft, verflochten, verschränkt, verschachtelt, seltener kooperativ. Außerdem besitzen sie quantitativ auffächernde Synonyme lexikalischer Gleichheit, lexikalischer Ähnlichkeit oder der Sinnverwandtschaft und sie unterliegen einem Bedeutungswandel. All das erschwert jede Klassifikation entscheidend, schafft Freiheitsgrade und Spielräume des Ermessens: generiert Variabilität, begünstigt andererseits die Unschärfe, Unbestimmtheit, Unzuverlässigkeit. Die in Schriften und Reden verwendeten Wörter sollten, um zusätzliche Missverständnisse und unproduktive Dispute zumindest einzuschränken oder tunlich zu vermeiden, mit semantisch feststellenden bzw. festsetzenden Charakterisierungen einleuchtend beschrieben oder definiert werden.

Zum Ensemble der herausragenden, übergeordneten Termini gehören die strukturtheoretischen Begriffe Ordnung und Unordnung. Nach Erwin Schrödinger ist die *Ordnung das Inverse der Unordnung*. Beide sind dynamisch und bewerten den Zustand des Systems, seine Organisiertheit bzw. das Inverse, das Unorganisierte.

Der Begriff Ordnung bedeutet leistungsfähige Organisation. Er erfasst die reale Existenz (den Aufbau, die Erhaltung und die Evolution) nicht zufälliger, räumlicher, zeitlicher und raumzeitlicher Muster aus Untereinheiten der jeweiligen Systeme, mit spezifischen stofflichen, energetischen und informationellen Strukturen und Funktionen.

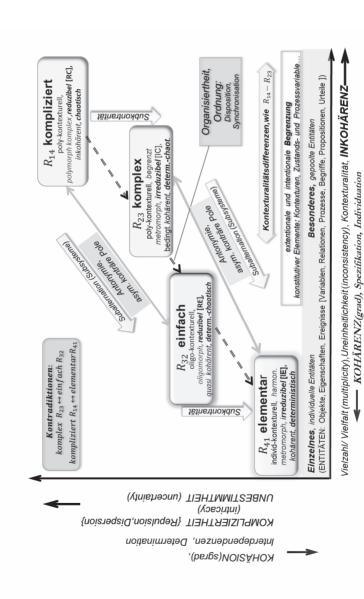
Zwischen den anthropomorphen, bestimmte reproduzierbare Erfahrungen der Menschen zusammenfassenden, Begriffen *Ordnung* (order – Or) und *Unordnung* (disorder - D) sowie deren thermodynamischer Eintretenswahrscheinlichkeit (W), bestehen aufschlussreiche algebraische und symbolische Beziehungen:

1/Or:=D~W sowie D {Inkohärenz, Kompliziertheit}~W und Or {Kohärenz, Kohäsion}

Die Wahrscheinlichkeit W=W_{td.} quantifiziert prinzipiell Möglichkeiten. Das heißt zweierlei: aktuell *relative Häufigkeiten* und gewärtigte, zur *Zukunft gehörende, Modalitäten*. Wahrscheinlichkeitstheoretisch reicht es aus, die *erwarteten relativen Häufigkeiten* zu betrachten und mit geeigneten Modellen arithmetisch zu ermitteln, d.h. die prädikativen theoretischen (kumulierten) *Wahrscheinlichkeiten* als *Erwartungswerte* der empirischen *relativen Häufigkeiten* anzunähern. Indem mit dieser mathematischen Abstraktion aus Erfahrung Erwartung wird, bedienen die Vergangenheit und die Gegenwart die Zukunft.

Ausführlich begründet wurden für das zweidimensionale Klassifikationsschema und das Diagrammfeld (Abb. 1) die *Inkohärenz* als x_r und die *Komplexität* als y_r sowie für die inversen Relationen die *Kohärenz* $1/x_r$ und die *Kohäsion* $1/y_r$ ausgewählt. Die Richtung zunehmender Ordnung markieren in der Graphik gebrochene Doppellinien, was der Abhängigkeit Or{Kohärenz, Kohäsion} gerecht wird. Mit dem Ziel des besseren Verständnisses werden die Funktionale pragmatisch weiter untersetzt. Wie die detaillierten verbalen Darstellungen beweisen, sind dafür mehrere Möglichkeiten opportun. Die Auswahl ist subjektiv, ohne Anspruch auf Vollständigkeit und dient vor allem der Illustration. Die eingefügten englischen Termini (speziell intricacy, multiplicity, uncertainty und inconsistency) sind sprachentypisch deutlich umfassender und redundanter als die deutschen.

Wir küren als besonders beachtenswerte *strukturell*-funktionelle Indikatoren des Funktionals INKOHÄRENZ (incoherence) die mit ihm korrelierten und adjustierten Komponenten: Vielzahl[Vielheit]/Vielfalt[Formenreichtum](multiplicity), Uneinheitlichkeit (inconsistency), onto-logische und kognitive Kontexturalität der Entitäten und ihrer Konstituenten.



Relationale Taxonomie elementarer Systemcharakteristika/Organisationsmerkmale von Real- und Theoriesystemen (auf einem verallgemeinerten Abstraktionsniveau und mit logisch konjugierten Prädikaten)

Die inverse Relation KOHÄRENZ(grad) erfasst hauptsächlich die strukturelle Organisiertheit: Konstitution, Konstellation, Disposition. Gleichgerichtet sind die Entwicklungstendenzen der Spezifikation, Speziation und Individuation.

Besonders beachtenswerte funktionell-strukturelle Indikatoren des Funktionals KOMPLIZIERTHEIT (intricacy) sind die mit ihm korrelierten und adjustierten Komponenten: Unbestimmtheit/Ungewissheit (uncertainty), Ambiguität, immaterielle Undurchdringlichkeit (impenetrability), Unschärfe (fuzziness), Ungenauigkeit (inaccuracy), Unzuverlässigkeit der Entitäten und ihrer Konstituenten.

Die inverse Relation KOHÄSION(sgrad) erfasst hauptsächlich die funktionelle Organisiertheit: *Determiniertheit, Interdependenz, Affinität, Adaptivität, Kompatibilität, Emergenz, Enkapsis.* Damit gleichgerichtet sind die Entwicklungstendenzen der Synchronisation, Kooperation, der kausalen und enkaptischen Leistungskorrelation, der Assoziation (der angemessenen, bestimmten Bedingungen, Normen, Grundsätzen entsprechenden, imperfekten bis perfekten Verknüpfung [texere]).

9 Ursachen und Qualit\u00e4ten der Assoziationen – ein pragmatischer Differenzierungsversuch

Die wesentliche Ursache und ein zentraler Indikator der (sachlich und begrifflich übergeordneten) Kohäsion ist die *Interaktivität* (IA). Das wechselseitige Aufeinander-Reagieren der Systemelemente verursacht in den definierten Ebenen charakteristische Prozesse der Vereinigung und bewirkt den *dynamischen Zusammenhalt* funktionell-struktureller Ganzheiten, wie junction zones, dezidierter Gefüge, typischer Assoziationen – den spezifischen Nexus (lat. nectere – binden, verknüpfen).

Die form- und gestaltbildenden Strukturen fungieren ihrerseits als Träger von Funktionen und Funktionalitäten. Exakt betrachtet ist die IA ein direktes Ordnungsmerkmal und die Kohäsion der Ordnung subordiniert.

Die Interaktivitätslevels der Ganzes-, Teile- und Konstituenten-Beziehungen sowie deren Wirkungen können in vielen Fällen nur auf einem niedrigen Skalenniveau der qualitativen Eigenschaftsausprägungen dargestellt und klassifiziert [z.B. mit niedrig, mittel, hoch oder mit Kategorien bezeichnet bzw. von 1 bis N beziffert] werden. Auf einem anwendungsbezogenen Nominalskalenniveau lassen sich mit erheblichen subjektiven Momenten – wie nachfolgend demonstriert – die Assoziationen anhand der Ausprägung ihrer Dependenzrelationen separaten Kategorien zuordnen und damit Ränge angeben.

Konglomeration: unbegrenzte Menge (Anzahl) unterschiedlicher, unbeschränkt/exzessiv komplexer, d.h. chaotisch agierender, inkohärenter, in sehr seltenen Ausnahmen adhärenter (zusammenhängender bzw. anhaftender) Konstituenten sowie möglicher (ta endechomena) nicht-notwendiger/zufälliger (kontingenter) Prozess ihrer Vereinigung zu volatilen Assoziaten, wie instabilen, heterogen Ansammlungen, polymorphen Gemengen und Gemischen.

Agglomeration: unbegrenzte Menge (Anzahl) unterschiedlicher, ausgeprägt komplexer, d.h. chaotisch agierender, aber schwach interagierender, in der Regel adhärenter (zusammenhängender bzw. anhaftender) Konstituenten (Adhärenzverbindung) sowie möglicher, nicht-notwendiger-/zufälliger Prozess ihrer Vereinigung zu Assoziaten, wie polymorphen Anhäufungen, Bündeln, etwas verdichteten Ansammlungen, lockeren Gefügen bis zu Clustern.

Aggregation: definierte Menge (Anzahl) unterschiedlicher, funktionellstrukturell einbezogener Konstituenten, die eine ansatzweise enkaptisch angeordnete Ganzes-Teile-Hierarchie unter Umständen mit temporären Heterarchien bilden. Die Konstituenten sind vielfach nicht gleichwertig. Das möglicherweise nur partiell und/oder interimistisch koordinierte, sich sinnvoll und zweckgerichtet ineinander fügende, dynamische Ganze kann stellvertretend für seine Teile Funktionen (Aufgaben) wahrnehmen. Unter kategorischen Dependenzen (Ursache → Wirkungs-Relationen) mit inkorporierten Interdependenzen (z.B. Junktionszonen – ,junction zones') erfüllen kompetente Systemelemente Leitfunktionen. Andere Konstituenten des eingeschränkt bis quasi kohärenten Ensembles sind stattdessen vermittelnde Träger von Aktionen ohne direkte und permanente Auswirkung in der Aggregation. Jene irreduziblen Aggregationen, bei denen die Teile vom Ganzen existenzabhängig sind, werden - logisch nachvollziehbar - in der sich bewährenden Modellierungssprache UML (Unified Modeling Language) als Kompositionen bezeichnet. Die in den Aggregationen makroskopisch, mesoskopisch oder mikroskopisch verhängten, verhakten (Entanglement) oder gekapselten, verschachtelten, eingeschachtelten (Enkapsis) Konstituenten formieren organisierte: gegebenenfalls koordiniert agierende, räumliche und zeitliche Netzwerke verschiedener (im kognitiven Idealfall skalierbarer) Wertigkeiten.

Die makroskopisch auffallend wahrscheinlichere Vereinigung zu einem spezifischen Organismus (im weitesten Wortsinn), bis zu einer perfektionierten hierarchischen Ordnung mit emergenten Eigenschaften und neuen Kompetenzen, vollzieht sich in Prozessfolgen mit deterministisch-chaoti-

schem Charakter und nichtlinearem Ablauf. Vernetzungen in lebenden (biotischen) oder Leben einbettenden (bio-kompatiblen) Systemen folgen dabei systemimmanenten Strategien der Selbstinformation, Selbstregulation, Selbstorganisation und Selbsterhaltung/Selbstreproduktion. Bestimmte quantitative und qualitative Systemveränderungen bewirken mit typischer Kinetik und Dynamik im Prozess der Adaptation bzw. Speziation (wie der herausragenden biotischen Artbildung) eine Evolution (gegebenenfalls Koevolution) – die Morphogenese, Ontogenese und Phylogenese der Gesamtheit oder essentieller Teile.

Kooperation – funktionell bestmögliche Assoziation – definierte Menge (Anzahl) unterschiedlicher, in *enkaptisch* organisierten Hierarchien mit Differenzierungen und häufig mit temporären komplementären Heterarchien, strukturell und funktionell inkludierter, *hoch organisierter*, *optimal kollektiv agierender* Konstituenten (Kooperationspartner). Ihre Vereinigung zum hervorragend adaptierten *Organismus mit typischen* Kooperationsformen vollzieht sich *unter schwachen Einflüssen des Zufalls* in *vorherrschend deterministischen Prozessen*. Zwischen den linearen oder nichtlinearen Zusammenhängen von Ursache(n) und Wirkung(en) in Teilen und/oder im Ganzen – der kategorischen Dependenz – liegen der intervenierende, mehr oder minder steuernde und regelnde Einfluss ganzer Gruppen endogener und exogener Variablen, interner und externer Größen mit inhibierenden oder verstärkenden Mechanismen.

Besonders in biotischen, ökologischen, offenen sozialen und gesellschaftlichen Systemen erkennbar, folgen deren natürliche Vernetzungen (im sozialen Bereich kombiniert mit beabsichtigten Einwirkungen) der systemimmanenten Strategie einer charakteristischen Selbstinformation, Selbstregulation, Selbstorganisation und Selbsterhaltung/Selbstreproduktion. Die kausalen Wirkungen der kategorischen Dependenzen resultieren aus zumeist ebenfalls dynamischen, hoch dimensionalen Möglichkeitsfeldern.

10 Das heuristische Prinzip des Vereinfachens – Zustandsänderung und komplizierter Prozess

Umgangssprachlich bedeutet vereinfachen mancherlei, darunter: kürzen, reduzieren, dezimieren, eingrenzen, begrenzen, abrunden, handlicher gestalten. Anscheinend weiß jeder, was vereinfachen heißt, und, jeder versteht etwas anderes darunter. Hinzu kommt ein elementares Phänomen allen Wahrnehmens: "Was ein Mensch sieht, hängt sowohl davon ab, worauf er blickt, wie davon, worauf zu sehen ihn seine visuell-begriffliche Erfahrung

gelehrt hat" (Kuhn 1976, S. 125) Dieses "Sichtbarkeitspostulat' gilt im adaptierten Sinn höchst wahrscheinlich sowohl für die Empirie als auch für die Rationalität in *allen Daseinsformen* – für alltägliche Erkundungen als auch für hervorragende wissenschaftliche Entdeckungen.

Das Vereinfachen betrifft das *dynamische System* mit all seinen Subsystemen und Dependenzen sowie die Interdependenzen zur Mitwelt und Umwelt.

Das intersubjektive, methodisch geregelte (wissenschaftliche) Vereinfachen ist grundsätzlich ein Prozess mit einer bestimmten Kinetik und Dynamik, auf den überdies bezeichnende Anfangs- und Randbedingungen einwirken. Für praktische Belange genügt es zuweilen, die Resultate der Prozesse: die Zustandsänderungen $\alpha \to \omega$ zu erfassen und zu beherrschen. Die zielstrebige Ausrichtung des Procedere ist mehrheitlich mit dem Endzustand ω gegeben. Wenn das Vereinfachen mehr sein will als ein Trivialisieren, wird es zum komplizierten Prozess und unterliegt allen Merkmalen dieses Prozesstyps.

Der damit direkt angesprochene Prozess-Begriff erfasst für dasjenige konkrete oder abstrakte Was, das – aus makroskopischen und/oder mikroskopischen Perspektiven/Ebenen beobachtbare (auf fortgeschrittenem Erkenntnisniveau zudem messbare) – Warum und Wie seiner Bewegung (d.h. der Veränderung überhaupt): die Art und Weise der zeitlichen und räumlichen (gegebenenfalls raumzeitlichen), quantitativen und qualitativen Veränderungen von Systemzuständen (wie Transformationen, Konversionen) in und zwischen Emergenzebenen sowie deren Verlaufsformen unter den obwaltenden Anfangs- und Randbedingungen, "Triebkräften", Organisationsprinzipien, Vorzugsrichtungen sowie die bestimmende Kinetik und Dynamik der Veränderungen/Entwicklungen. Die zeitliche Aufeinanderfolge der Systemzustände kann eindeutig vorgegeben (fremdorganisiert) oder eigenständig (selbstorganisierend) sein. Das sequentielle oder parallele – dabei auch konkurrierende - Voranschreiten (~procedere) ist genau bestimmt (deterministisch) oder/und wahrscheinlich (probabilistisch) bzw. (wie in den meisten realen Prozessen) deterministisch-chaotisch oder chaotisch dynamisch. Alle Übergänge von bereits existenten Strukturen (bestimmten Regeln unterliegenden, relativ stabilen inneren Gliederungen - Mustern) zu neuen Ordnungsgefügen durchlaufen in der Regel eine nicht lineare chaotische Phase mit irregulärem, scheinbar zufallsbedingtem, nicht-vorhersehbarem Zeitverhalten, interimistisch erweiterten Freiheitsgraden der Veränderung und Bifurkationen.

Im Ziel-Portfolio des Vereinfachens (d.h. wenigstens graduell erniedrigte Komplexitätsgrade) dominieren solche Kognitionsprinzipien, wie Verständlichkeit, Transparenz, Überprüfbarkeit und Ästhetik. Bei den Gestaltungsprinzipien sind es – neben den ästhetischen Komponenten Schönheit und Harmonie – hauptsächlich die Gebrauchstauglichkeit (usability) mit allen konstruktiven sowie funktionellen Aspekten, Voraussetzungen und Parametern.

Für jeden der anwendungsorientierten Gesichtspunkte und alle Prinzipien existieren reale und gedachte Ziele in verallgemeinerten Relationen: Maße der Wirksamkeit und der Wirtschaftlichkeit – die Effektivität und die Effizienz. Etwas vereinfacht sind beide Quotienten (relationis). Die Effektivität bewertet das Verhältnis von erreichtem und angestrebtem Ziel, also die Qualität der Zielerfüllung, ihren Gütegrad. Er kann durchaus Zahlenwerte > 1 erreichen. Davon getrennt, wird die Effizienz vom Nutzen-Aufwand-Quotienten aller einbegriffenen Entitäten als Wirkungsgrad η und/oder Produktivität (im weiten Wortsinn) bestimmt. Sie liegen definitionsgemäß in einem Wertebereich $0 \le \eta \le 1$. Die Effektivität und die Effizienz sind sowohl für die realen Beziehungen (relatio in natura) als auch die konstruierten Beziehungen (relatio rationis) wesentliche Qualitätsindikatoren.

Als Mittel und Methoden zum Vereinfachen sind prinzipiell das Reduzieren/Komplexieren, Konkretisieren/Abstrahieren, Differenzieren/Integrieren, Separieren/Kombinieren, Maximieren/Minimieren, das Linearisieren, Formalisieren, Idealisieren, Modellieren sowie die Simulation mit Substitutionen und Transformationen (vor allem in Zeichen, Zeichengeometrien und in bestimmte Bildebenen) geeignet. In komplexen Systemen kann speziell das Ordnen die Vielfalt der unabhängigen verallgemeinerten Koordinaten, die Vielzahl der Freiheitsgrade der statistischen Größen dezimieren – demzufolge die potentielle Komplexität herabsetzen und so vereinfachen.

Zum Vereinfachen der fundamentalen Systemcharakteristik/Organisationsmerkmal rechnen sowohl die Übergänge vom Komplizierten zum Einfachen, vom Komplexen zum Elementaren, als auch die vom Komplizierten (nicht-limitierten [exzessiven] Komplexen, wenig organisierten, inkohärenten, zufälligen) zum (organisierten, bedingt kohärenten, begrenzt metromorphen) Komplexen und die vom Einfachen zum Elementaren. Akzentuiert quantitative Vereinfachungen verlaufen vom Komplizierten (Besonderen, Poly-kontexturellem, Polymorphen) zum Einfachen (Einzelnen, Oligo-kontexturellen). Im zahlenmäßigen Vergleich mit den quantitativen Vereinfachungen vom Komplexen zum Elementaren überwiegen sie deutlich.

Die Mehrheit der Intentionen und konstellationsbedingten Maßnahmen zum Vereinfachen betrifft die kognitive Komplexität/Kompliziertheit. Die Anzahl der strukturellen/funktionellen Zustands- und Einflussgrößen sowie der Interdependenzen zwischen ihnen herabzusetzen und damit den Komplexitätsgrad effektiv zu verringern, ist in Erkenntnis- und Gestaltungsprozessen aller Inhalte und Formen realistisch und zielführend, aber eben auch anspruchsvoll. Jede situative Maßnahme und deren Folgen müssen hinsichtlich der Realitätsnähe bzw. ihrer eingeschränkten Verallgemeinerungsfähigkeit immer wieder zielorientiert beurteilt werden. Das gilt für das Verifizieren subjektiver und noch zwingender für intersubjektive Vereinfachungen.

Natürliche, technische, technologische, gesellschaftliche,..., Phänomene sind also einerseits die Grundlage adäquater Erkenntnisse, Prinzipien und Theorien, andererseits fungieren sie reflexiv als Kriterien der Wahrheit. Die Interpretationen können als theoriengeleitete produktive Antworten zur Problemlösung aufgefasst werden, die sowohl von den verfügbaren (kumulierten und eventuell fortschreitend strukturierten) Erfahrungen, als auch von den Erwartungen/Zielen abhängen. Die Erfolgschancen, komplexe Probleme zu bewältigen, werden – gewiss auch weltanschaulich präformiert – widersprüchlich taxiert. Eine provozierende Auffassung vertritt der in seiner regionalen Geltung im frühen 20. Jahrhundert mit der Kurt Tucholskys für Deutschland verglichene amerikanische Essayist und Kulturkritiker Henry Louis Mencken (1880–1956): "For every complex problem, there is a solution that is *simple*, neat, and wrong" (vgl. Mencken, http://www). Vom gnadenlosen Spötter zeugt die Kombination der Attribute zur Lösung, die "einfach, einleuchtend und falsch" ist.

Diese Äußerung ist herausfordernd, erinnert zudem aber unmissverständlich an die latenten Verführungen, an Risiken und Gefahren beim Vereinfachen und an die Evaluationspflicht. Wie berechtigt diese Warnung ist, beweist dieses Zitat selbst. In jener, mit 'The Internet' deklarierten, www.-Quelle wird die Aussage Menckens aus dem Zeitungsbeitrag "Die Heilige Inspiration" in der New York Evening Mail vom 16. November 1917 paraphrasiert oder gar falsch zitiert. Im Original "The Divine Afflatus" heißt es: "Explanations exist; they have existed for all time; *there is always a wellknown solution to every human problem −neat, plausible, and wrong*" (vgl. Mencken 1917). Offenkundig ist nur der − nach dem zweiten Semikolon des Originals − kursiv hervorgehobene Teil umschrieben. Diese aufklärende Paraphrase − im Übrigen im www.-Zitat ohne die möglicherweise optimistische 'well-known solution' − wurde logisch vereinfacht: gekürzt, pointiert und (mit plausible → simple) modifiziert. Folglich mutiert plausibel (ein-

leuchtend, verständlich) förmlich zum umfassenden Kriterium der kognitiven Einfachheit. Beide Zitate verbindet das desillusionierende (kognitiv tödliche) Verdikt 'falsch'. Mit dem finalen Vereinfachen wurde vermutlich eine größere Klarheit und Prägnanz angestrebt. Die Substitution von 'every human problem' mit 'every complex problem' verfremdet zwar den evaluierten Gegenstand, trifft allerdings das Wesen. Die Komplexität ist und bleibt (generell) das Schlüsselelement der Bestimmungs- und Realisierungsprobleme.

11 Zwei Reflexionen als Nachklang

Auch dieses Essay bestätigt: "Der Sinn erweitert, aber lähmt; die Tat belebt, aber beschränkt". (Goethe 1990, Kapitel 110)

Die (selbst komplexe) Entität Komplexität (komplex) gibt uns nach wie vor ungezählte theoretische und praktische Probleme auf. Sie ist und bleibt das Schlüsselelement einer Vielzahl und enormen Vielfalt wesentlicher Bestimmungs- und Realisierungsprobleme; und sie eignet sich als Referenzsystem für alle vier elementaren Organisationsmerkmale: als bewertende relative Adjektive bzw. nominalisierte Abstrakta. Die Einfachheit und die Elementarität bilden in ihren Antonymien wahrscheinlich singuläre Pole.

Sowohl ehrgeizige disziplinäre als auch wegweisende multi- und transdiziplinäre Erkenntnisfortschritte sind erforderlich, um jene an befestigten Wegelementen armen Pfade der *Aporie Komplexität* (mehr noch deren exzessiver Ausprägung *Kompliziertheit*) sicherer beherrschen und um ihre entgegengesetzten sowie widersprüchlichen Zeugnisse exakter einordnen, deuten und produktiv nutzen zu können.

"Alles ist einfacher, als man denken kann, zugleich verschränkter, als zu begreifen ist" (Goethe 1836, 472)

In der Bilanz der essayistischen Erörterungen spricht nichts grundsätzlich gegen die ursprüngliche Hypothese, dass das *Prinzip Einfachheit* ein *universelles Wirk-, Erkenntnis-* und *Gestaltungsprinzip* sei. Dennoch kommt es auf die Lesart, die Art und Weise an, wie dieses Postulat ausgelegt und im Detail gedeutet wird. Fortgeschrittene Ganzheits-Vorstellungen beruhen hauptsächlich auf den – ebenfalls komplexen – systematisierenden Konzeptionen der Emergenz, Kohärenz, Synergie, der Selbstorganisation und Nichtlinearität.

Wenn der offerierte "offene" Systematisierungsansatz für das *emergente Real- und Theoriensystem* (komplexe Entität) als Denkmodell und das vorgeschlagene *relationale Klassifikationsschema* Anhaltspunkte und Anre-

gungen für weitere effektive Diskussionen im Arbeitskreis 'Prinzip Einfachheit' beisteuert, dann hat das Essay ein vornehmliches Ziel erreicht.

Literatur

Bourdieu, P. (2002): Ein Soziologischer Selbstversuch. Frankfurt/Main

Chamberlains, H. S. (1905): Immanuel Kant. Die Persönlichkeit als Einführung in das Werk. München

Ebeling, W. (1976): Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen. Leipzig S.12

Einstein, A. (2006): Raum und Zeit in der vorrelativistischen Physik. In: Grundzüge der Relativitätstheorie. Berlin, Heidelberg

Fleischer, L.-G. (2011): Kognitionstechnologien als emerging technologies. In: www. leibniz-institut.de/kt2011/fleischer kognitionstechnologien. pdf

Fleischer, L.-G. (2010): Komplexität, Inter- und Transdisziplinarität. In: LIFIS-ONLINE [15. 04.10] www.leibniz-institut.de/archiv/fleischer_15_04_10. ISSN 1864-697

Gfransis, H. (1900): Matanharii In: Gfransis, H. (Hg.): Grundbagriffe der Literaturvissen.

Gfrereis, H (1999): "Metapher". In: Gfrereis, H. (Hg.): Grundbegriffe der Literaturwissenschaft. Stuttgart/Weimar
Goethe, J. W. v. (1836): Über Naturwissenschaft im Allgemeinen. In: v. Goethe, J. W., Rie-

mer, F. W., Eckermann, J. P. (Hg): Goethe's poetische und prosaische Werke in zwei Bänden, Band 1, Ausgabe1, Weimar (E-Book In: https://books.google.de/books?id=PXk HAAAAQAAJ)

Goethe, J. W. v. (1902 ff): Natur und Kunst: In: v. Goethe, J. W.: Was wir bringen. Vorspiel

bei der Eröffnung des neuen Schauspielhauses zu Lauchstädt. In: Hellen, E. (Hg): Sämtliche Werke. Jubiläums-Ausgabe in 40 Bänden, Bd. 9, o. J., Stuttgart/Berlin.

Humboldt, A. v. (1845/1993): Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Bd. 1,

Goethe, J. W. v. (1990): Wilhelm Meisters Lehrjahre. München

1845 Stuttgart/Tübingen. (Neuausgabe: 1993. Darmstadt)

Kuhn, T. S. (1976): Die Struktur der wissenschaftlichen Revolution. Frankfurt/M.

Mencken, H. L.: http://www.zitate.de/quote7753

Mencken, H. L. (1917): The Divine Afflatus. In: New York Evening Mail. 16. November 1917. (Später publiziert in Prejudices: Second Series (1920) und A Mencken Chrestomathy (1949)

Mill, J. St. (1984): Natur. In: Mill, J. St.: Drei Essays über Religion, Stuttgart, Reclam S. 9–62 (Original: Three assays on religion. 1874 [postum] London)

Saint-Exupery, A. (1939): Terre des Hommes, III: L'Avion, p. 60

v. Weizsäcker, C. F. (2002): Aufbau der Physik. München

Anschriften der Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Karl-Heinz Bernhardt Platz der Vereinten Nationen 3, 10249 Berlin ha.kh.bernhardt@gmx.de

Prof. Dr. Charles Coutelle Imperial College London, Faculty of Medicine South Kensington Campus London SW7 2AZ

c.coutelle@imperial.ac.uk

Prof. Dr. Werner Ebeling
Tollerstraße 19, 13158 Berlin

werner_ebeling@web.de

Prof. Dr. Lutz-Günther Fleischer

Paul-Junius-Straße 68, 10369 Berlin

Prof. Dr. Dieter B. Herrmann Alt Treptow 1, 12435 Berlin post@dbherrmann.de

Hirtschulzstraße 13, 12621 Berlin herbert.hoerz@t-online.de Prof. Dr. Hermann Klenner

Prof. Dr. Helga E. und Prof. Dr. Herbert Hörz

Prof. Dr. Hermann Klenner Gubitzstraße 40, 10409 Berlin Prof. Dr. Werner Krause

urwe.krause@t-online.de

Prof. Dr. Dietmar Linke
Kienbergstraße 51, 12685 Berlin
ina.dili@t-online.de

Anna-Siemsen-Straße 40, 07745 Jena

Prof. Dr. Roswitha März Greifswalder Straße 228 A, 10405 Berlin maerz@mathematik.hu-berlin.de

Dr. Ina Müller Ludwig-Renn-Straße 33, 12679 Berlin inamueller_berlin@t-online.de

Prof. Dr. Heidemarie Salevsky Niebergallstraße 3, 12557 Berlin heidemarie.salevsky@t-online.de

Prof. Dr. Erdmute Sommerfeld Chausseestraße 175, 15712 Königs Wusterhausen erdmute.sommerfeld@t-online.de

Weitere Titel der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin zum Thema Technologie

Abhandlungen und Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät

Abhandlungen - Band 11

Fuchs-Kittowski, Klaus / Piotrowski, Siegfried (Hrsg.): "Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften – Georg Klaus zum 90. Geburtstag. Gemeinsames Kolloquium der Leibniz-Sozietät und der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik im November 2002 in Berlin", 2004, 396 S., ISBN 3-89626-435-4, 34,80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/3-89626-435-4.html

Abhandlungen – Band 24

Banse, Gerhard (Hrsg.): "Die Mathematik im System der Wissenschaften. Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeitstagung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin vom 27. Juni 2008", 2009, ISBN 978-3-89626-823-5, 225 S., 38,80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-823-5.html

Abhandlungen – Band 30

Kröber, Günter: "Einführung in die Palindromik", 2012, 175 S., zahlr., teils farb. Grafiken u. Abb., ISBN 978-3-86464-002-5, 220 S., 34,80 EUR Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-002-5.html

Abhandlungen – Band 36

Banse, Gerhard / Reher, Ernst-Otto (Hrsg.): "Beiträge zur Allgemeinen Technologie", 2014, 446 S., mehr als 50 Tab. und Abb., ISBN 978-3-86464-052-0, 49,80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-052-0.html

Abhandlungen – Band 37

Banse, Gerhard (Hrsg.): "Wissenschaft – Innovation – Technologie", 2014, 412 S., zahlr. Tab. und Abb., ISBN 978-3-86464-053-7, 47,80 EUR
Titalin formationen unter: http://www.trsfoberlin.de/078-3-86464-053-7.html

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-053-7.html

Sitzungsberichte – Band 82 (2005)

"Sichere Versorgung der Menschheit mit Energie und Rohstoffen" 2005, 210 S., ISBN 3-89626-575-X, 17,80 EUR Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/3-89626-575-X.html

Sitzungsberichte – Band 89 (2007)

"50 Jahre Forschung für die friedliche Nutzung der Kernenergie. Beiträge eines Kolloquiums"

2007, 118 S., ISBN 978-3-89626-689-7, 17,80 EUR Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-689-7.html

Sitzungsberichte – Band 90 (2007)

"Theoria cum praxi. Fünf Jahre Leibniz-Institut für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS)"

2007, 282 S., ISBN 978-3-89626-690-3, 17,80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-690-3.html

Sitzungsberichte – Band 99 (2008)

"Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. 3. Symposium der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften und des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse des Forschungszentrums Karlsruhe Technik und Umwelt am 12.Oktober 2007 in Berlin" 2008, 312 S., zahlr. Tab. und Abb., ISBN 978-3-89626-759-7, 17,80 EUR Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-759-7.html

Sitzungsberichte – Band 108 (2011)

"Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis und Gestaltungsprinzip" 2011, 166 S., ISBN 978-3-89626-953-9, 19.80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-953-9.html

Sitzungsberichte – Band 112 (2011)

"Ambivalenzen von Technologien – Chancen, Gefahren, Missbrauch" 2011, 184 S., ISBN 978-3-89626-982-9, 19,80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-982-9.html

Sitzungsberichte – Band 116 (2013)

"Technik – Sicherheit – Techniksicherheit, Symposium" 2013, 163 S., ISBN 978-3-89626-986-7, 19,80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-89626-986-7.htm

Sitzungsberichte – Band 122 (2015)

"Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen",

2015, 200 S., ISBN 978-3-86464-092-6, 19,80 EUR

Titelinformationen unter: http://www.trafoberlin.de/978-3-86464-092-6.html

Unsere Bücher können Sie auch bestellen bei:

www.amazon.de www.libri.de www.buchhandel.de www.lehmanns.de www.schweitzer-online.de

In Österreich bei: www.maudrich.com www.desch-drexler.at www.buchwelten.at
In Italien bei: www.abebooks.it

In Großbritannien: www.abebooks.co.uk
In Frankreich bei: www.abebooks.fr
In Spanien bei: www.iberlibro.com
In Kanada bei: www.abebooks.com/Canada/
In den USA bei: www.amazon.com