

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 unterscheiden 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 Werk- und 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 überprüfbareren Folgerungen zu führen sind.

Als erste Ergebnisse können wir festhalten:

1. 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 theoretisch-methodischen 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 Gestaltungsprinzip 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 wechseln 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 berechnete Reduktionen, wenn die darauf basierenden Theorien und Modelle zu praktisch prüfbareren 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 Schrittzahl“ 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 Mikrozustands-

sequenzen 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 angehäuften 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 Erkenntnis- und 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 berechnete 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.leibnizsozietat.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 reintegration. 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 Leistungen. LIFIS-ONLINE, 23.01.2012 ([http://www.leibniz-institut.de/archiv/luer\\_23\\_01\\_12.pdf](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)