

Erdmute Sommerfeld

Einfachheit – ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen? Anregungen zur interdisziplinären Diskussion

Wie bereits in der Einführung angesprochen – möchten wir mit der heutigen Auftaktveranstaltung und in einem zu gründenden Arbeitskreis einen Beitrag zur Beantwortung der Frage leisten: „Ist Einfachheit ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen?“.

Einfachheit kann als Gegensatz zu Komplexität oder zu Kompliziertheit bzw. Schwierigkeit gesehen werden. Weder für Einfachheit noch für Komplexität und Kompliziertheit gibt es jeweils eine einheitliche Definition oder Charakterisierung in der Literatur (vgl. z.B. Shimizu, 1989; Halford et al., 1998; Mayr & Kliegl, 1993; Barch et al., 1997; Köhler et al., 2002, Hörz, in diesem Band). Rainer Schimming geht in seinem Beitrag auf unterschiedliche Komplexitätsmaße ein (Schimming, in diesem Band). In Dill (in diesem Band) und Bernhardt (in diesem Band) wird auf weitere gegensätzliche Begriffe zum Begriff „Einfachheit“ Bezug genommen.

Sowohl entwicklungsabhängig als auch situationsabhängig treten Wechselbeziehungen zwischen Einfachheit und Komplexität bzw. Kompliziertheit auf. So macht z.B. Hans-Otto Dill in seinem Beitrag deutlich, dass „... Literatur- und Kunstgeschichte einen ständigen Wechsel zwischen Einfachheit und Komplexität zeigen: Renaissance gegen Gotik, Aufklärung und Klassik gegen Barock, Romantik gegen Klassik, Neue Sachlichkeit gegen Jugendstil. Surrealismus gegen Realismus.“ (Dill, in diesem Band). In der menschlichen Informationsverarbeitung spielen Prozesse eine Rolle, die auch bei wachsender Komplexität der Anforderungen einfach bleiben (Krause, in diesem Band). Sabine Müller zeigt charakteristische Merkmale der Einfachheit im komplexen biochemischen Geschehen auf (Müller, in diesem Band). John Erpenbeck spricht über „Vereinfachung durch Komplexität“ im Rahmen des Kompetenzmanagements (Erpenbeck, in diesem Band). Karl-Heinz Bernhardt weist in seinem Diskussionsbeitrag darauf hin, dass „... der Form nach

einfache mathematische Beziehungen ... höchst vielfältige mechanisch-deterministisch bestimmte Bewegungsabläufe in der Natur widerspiegeln.“ (Bernhardt, in diesem Band). Lothar Kolditz nimmt Bezug zur Aussage von Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716), die besagt, dass in der wirklichen Welt die größtmögliche Vielfalt der Dinge mit der größtmöglichen Einfachheit der Naturgesetze vereint sei (Kolditz, in diesem Band). Es ergeben sich Fragen wie z.B. „Wie viel ‚Einfachheit‘ (d.h. welche ‚Reduktion‘ der vorhandenen ‚Vielfalt‘ bzw. Komplexität) ist erforderlich oder zulässig, um die gegebene Aufgabe erfüllen zu können? Wie viel an vorhandener Vielfalt bzw. Komplexität muss erhalten bleiben, um die gegebene Aufgabe erfüllen zu können?“ (Banse, in diesem Band). Für unser Anliegen ist es erforderlich, solche Wechselbeziehungen und Prozesse zu analysieren und disziplinübergreifend zu betrachten. Das ist ein interessantes wie schwieriges Unterfangen. Hier sind auch Fragen an die objektive Dialektik als „die Wissenschaft von der Struktur, Veränderung und Entwicklung in Natur, Gesellschaft, Technik, Menschheit und menschlichen Individuen“ (Hörz, 2009, S. 16-116) zu stellen.

Ausgehend von dieser Situation sehen wir einen wichtigen Schritt darin, zuerst einmal in unterschiedlichen Disziplinen und Teildisziplinen nach Grundgedanken theoretischer Ansätze und empirischen Befunden für das Prinzip „Einfachheit“ zu fragen.

Mit den Vorträgen und in der Diskussion sind in dieser Plenarveranstaltung wertvolle Anregungen gegeben worden – sowohl für weiterführende Analysen als auch für eine interdisziplinäre Diskussion zur Thematik „Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip“. Auf einige Aussagen und Befunde wird im Rahmen dieses Beitrags noch Bezug genommen.

In Vorbereitung der heutigen Veranstaltung wurde mit einer systematischen Analyse begonnen – auf der Basis von Informationen und Diskussionen zu den Beiträgen und unter Einbeziehung entsprechender Literatur. Ein Auszug wesentlicher Aspekte – verbunden mit Anregungen zur interdisziplinären Diskussion – soll im Folgenden gegeben werden.

„Einfachheit basiert als Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip auf dem entsprechenden objektiven Wirkprinzip.“ (Hörz, in diesem Band).

1. Einfachheit als Wirkprinzip

Ein Wirkprinzip existiert unabhängig davon, ob der Mensch es erkennt oder nicht. Voraussetzungen für den Nachweis eines Wirkprinzips sind (theorie-

bzw. modellbasierte) empirische Befunde. Lothar und Helga Sprung verweisen darauf, dass sowohl die mathematische Beschreibung als auch die empirische Erforschung der Natur stark durch Galileo Galileis (1564–1642) Methodenlehre geprägt wurden und dass sich auf dieser Grundlage auch die folgende Auffassung entwickelte: „Eine entscheidende Annahme der Methodenlehre ist das „Minimalitätsprinzip“, d.h. die Annahme, dass die Natur immer den einfachsten Regeln folgt.“ (Sprung & Sprung, 2010, S. 81). Um einen Beitrag zur Beantwortung der Frage zu leisten, ob Einfachheit ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen ist, richten wir die Aufmerksamkeit als erstes auf die Frage „In welcher Form tritt das Prinzip Einfachheit in den unterschiedlichen Disziplinen auf?“

1.1 Erscheinungsformen von Einfachheit als Wirkprinzip

Die Frage nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Disziplinen bezüglich des Prinzips Einfachheit erfordert eine Analyse der Erscheinungsformen von Einfachheit in den Disziplinen und einen damit verbundenen Vergleich auf der Basis *inhaltlich* und *formal* definierter *Kriterien* für Einfachheit.

Eine Reihe der in den heutigen Vorträgen vorgestellten einfachen Prozesse und Strukturen sowie erste Literaturanalysen dazu belegen anhand verschiedener Einfachheitskriterien die Wirksamkeit des Prinzips Einfachheit über die Disziplingrenzen hinaus. Betrachten wir dazu kurz einige Beispiele aus unterschiedlichen Disziplinen für zwei Kriterien, für die (mathematische) Modelle und empirische Belege vorliegen:

Kriterium „Minimale Zeit“: Als ein Naturgesetz ist aus der Physik das Fermatsche Prinzip der kürzesten Ankunft (Zeit) bekannt: Das Licht geht zwischen zwei Punkten stets den Weg, für den es die minimale Zeit benötigt, d.h. den Weg mit der kürzesten optischen Weglänge (vgl. z.B. Grimsehl, 1962, S. 73-77)¹. Ein solches Naturgesetz gilt unabhängig von der Existenz des Menschen. Jedoch auch in Abhängigkeit vom Menschen, z.B. in der menschlichen Informationsverarbeitung, gibt es Prozesse, die dem Prinzip „Minimale Zeit“ genügen. Ein Beispiel aus der Psychologie ist die sensomotorische Koordination (das Tracking). Dabei kann experimentell nachgewiesen werden, dass eine Versuchsperson im geübten Zustand zeitminimal reagiert (Krause, in diesem Band).

1 Es gibt jedoch auch spezielle Fälle (z.B. die Reflexion an einem geeignet gekrümmten Hohlspiegel), bei denen der Lichtweg nicht den kleinsten, sondern den größten Wert unter benachbarten Wegen hat.

Kriterium „Minimale (bzw. geringe) Anzahl“: Das betrifft z.B. Strukturen mit einer minimalen (bzw. geringen) Anzahl von Elementen, Merkmalen oder Relationen sowie Prozeduren oder Prozesse mit einer minimalen (bzw. geringen) Anzahl von Regeln oder Operationen. Solche Größen spielen z.B. für die Charakterisierung von Strukturen oder Algorithmen minimaler (bzw. geringer) Komplexität eine Rolle oder auch von Prozessen minimaler (bzw. geringer) Kompliziertheit oder Schwierigkeit. In einigen Beiträgen der Plenarveranstaltung wurden Erscheinungsformen von Einfachheit als Wirkprinzip auf der Basis von Kriterien charakterisiert, die empirisch nachgewiesen worden sind. So ist z.B. die Bakterielle Genexpression, über die Sabine Müller in ihrem Vortrag berichtet hat, ein Beispiel aus der Biochemie für einen Prozess mit minimaler Anzahl von Operationen (Müller, in diesem Band). Beziehen wir auch für dieses Einfachheitskriterium wieder die aktive Rolle des Menschen mit ein und analysieren aus der Sicht der Psychologie dazu Prozesse der Aufnahme und Verarbeitung von Information, so zeigt sich, dass dabei das Kriterium einer minimalen (bzw. geringen) Anzahl (von Elementen einer Wissensstruktur oder von Operationen im Lösungsprozess) von großer Bedeutung ist. So spielt die Reduzierung der Anzahl kognitiver Operationen durch Klassenbildung eine wichtige Rolle (Krause, in diesem Band). Bei unterschiedlichen kognitiven Anforderungen wurde die Verwendung lösungsrelevanter Teilstrukturen mit geringer bzw. minimaler Anzahl von Elementen experimentell nachgewiesen. Dabei werden bei der Bewältigung von relativ elementaren Anforderungen in der Regel wissenschaftlich berechnete Vereinfachungen durchgeführt. Das betrifft „... Reduktionen, deren Berechtigung stets abhängig von der Zielstellung ist und ... keine Vereinfachungen enthält, die wesentliche Zusammenhänge nicht beachten (Hörz, in diesem Band).“ Im Fall komplexer Problemlösungen geschieht es jedoch nicht selten, dass lösungsrelevante Information über wesentliche Zusammenhänge nicht berücksichtigt und damit unzulässig vereinfacht wird. Gründe für wissenschaftlich nicht berechnete Vereinfachungen sind häufig in „Unzulänglichkeiten“ der menschlichen Informationsverarbeitung selbst zu suchen – bedingt insbesondere durch die begrenzte Verarbeitungs- und kurzzeitige Speicherkapazität (im Arbeitsgedächtnis) sowie in der relativ geringen Geschwindigkeit, mit der neue Information im (Langzeit-) Gedächtnis manifestiert wird. In Dörner (1989, S. 275-309) „Die Logik des Mißlingens“ werden solche Einflussfaktoren analysiert und Möglichkeiten diskutiert, sie als Fehlerbedingungen weitestgehend auszuschalten.

Als ein Resultat der bisher durchgeführten Analysen zeigt sich:

(1a) Das Prinzip „Einfachheit“ ist in allen bisher betrachteten Disziplinen wirksam.

Mit Bezug zu den von Herbert Hörz charakterisierten Wirkprinzipien I und II (Hörz, in diesem Band) sprechen die Beispiele dieser ersten Analysen dafür, dass im Wirkprinzip I (Einfachheit im Sinne effektiver Strukturen und Prozesse in der Natur) und in der informationellen Komponente des Wirkprinzips II (Einfachheit im Sinne effektiver Strukturen und Prozesse in der menschlichen Informationsverarbeitung) analoge Einfachheitskriterien eine Rolle spielen. Im Zusammenhang damit sollten Untersuchungen mit Bezug zur neuronalen Komponente des Wirkprinzips II (Einfachheit im Sinne effektiver Strukturen und Prozesse in den Neuronen-Netzen) folgen – eventuell auf der Basis eines entsprechenden Vortrags im Arbeitskreis. Interessante Anknüpfungspunkte dazu finden sich in den Arbeiten des Gedächtnisforschers und Neurowissenschaftlers Eric Kandel (Nobelpreis für Medizin 2000) zur lernabhängigen Bildung neuronaler Verbindungen (Kandel, 2009, 285-301).

Für weitere Disziplinen und unter Einbeziehung weiterer Einfachheitskriterien lässt sich eine entsprechende Analyse prinzipiell fortsetzen. In diesem Zusammenhang ist es durchaus denkbar, dass systematische Untersuchungen auf der Basis inhaltlich und mathematisch definierter Einfachheitskriterien immer wieder zur Aufdeckung einfach(st)er Strukturen und Prozesse führen, die über die Disziplingrenzen hinaus als *Erscheinungsformen* für Einfachheit von Bedeutung sind. Sie können z.B. Ausdruck von Naturgesetzen sein oder auch von fundamentalen Denk- und Verhaltensmustern (von Menschen oder Menschengruppen), die auf der Grundlage struktureller oder funktionaler Zusammenhänge bzw. durch entsprechende Algorithmen formal beschreibbar sind.

Wie schon in der Einführung betont, ist jedoch zu beachten, dass die Erscheinungsformen von Einfachheit im Allgemeinen „nur“ das Ende eines (oft nicht einfachen) Prozesses darstellen, in dem die *Voraussetzungen* für Einfachheit sich entwickeln oder geschaffen werden. So liefert z.B. die Evolution Beispiele für in der objektiven Realität *existierende* und sich *entwickelnde* Voraussetzungen für Einfachheit. Dafür, dass Voraussetzungen für Einfachheit vom Menschen anforderungsabhängig *geschaffen* werden, gibt es in der menschlichen Informationsverarbeitung eine Reihe von experimentellen Befunden. So zeichnen sich z.B. gute Problemlöser dadurch aus, dass sie in einer Vorverarbeitungsphase Voraussetzungen dafür schaffen, dass der eigentliche Lösungsprozess möglichst einfach wird. Dabei kann durchaus die Vorverar-

beitungsphase von guten Problemlösern länger und/oder aufwändiger sein als die von weniger guten Problemlösern.

Über die Untersuchung der Erscheinungsformen von Einfachheit hinaus führt das zu der Frage: „Spiegelt sich nicht das „Wesen“ des Prinzips Einfachheit *insbesondere* auch darin wider, dass *Voraussetzungen* für Einfachheit *existieren, sich entwickeln und geschaffen werden?*“

Damit lenken wir unsere Aufmerksamkeit auf Voraussetzungen für Einfachheit in den unterschiedlichen Disziplinen.

1.2 Voraussetzungen von Einfachheit als Wirkprinzip

Wir spezifizieren die oben gestellte Frage „Ist Einfachheit ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen?“ und stellen nun die Frage „Ist die *Entwicklung* bzw. *Schaffung* von *Voraussetzungen* für Einfachheit ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen?“

Dazu lenken wir unsere Aufmerksamkeit sowohl auf in der objektiven Realität existierende bzw. sich entwickelnde Voraussetzungen für Einfachheit als auch auf Voraussetzungen, die durch den Menschen anforderungsabhängig geschaffen werden. Ausgehend von theoretisch definierten und empirisch nachgewiesenen einfachen Prozessen, die im Rahmen der heutigen Vorträge dargestellt wurden, und mit Bezug zu einigen Befunden aus der Literatur ist dazu ebenfalls mit einer systematischen Analyse begonnen worden. Dabei zeigt sich für die bisher betrachteten Disziplinen:

*(1b) Es werden **Voraussetzungen** für Einfachheit in Form von **Strukturen** und **Prozeduren** ausgebildet, auf deren Grundlage **einfach(st)e Prozesse** für die Lösung einer relativ **großen Menge** von Problemen (einer Problemklasse) realisierbar sind.*

Beispiele für die Existenz bzw. Entwicklung solcher Voraussetzungen in der objektiven Realität (ohne und mit Einbeziehung des Menschen) sowie für ihre anforderungsabhängige Schaffung durch den Menschen findet man in unterschiedlichen Disziplinen und für unterschiedliche Anforderungen. So stellt z.B. bei der bereits genannten Bakteriellen Genexpression (Müller, in diesem Band) 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. Betrachtet man historische Entwicklungen, die Denkfortschritte in der Menschheitsgeschichte betreffen, so stellt Klix (1927–2004) z.B. in seinen Analysen zur historischen Durchsetzungskraft von Schrift- und

Zahlssystemen fest: „Als allgemeine Regel schält sich heraus, daß jene kognitiven Strukturbildungen die durchsetzungskräftigeren sind, die die gleiche Anforderung mit geringerem geistigen Aufwand zu lösen ermöglichen.“ (Klix, 1992, S. 451). Im Rahmen von Elementaranalysen der menschlichen Informationsverarbeitung wurde die anforderungsabhängige und personenspezifische Herausbildung von Strukturen und Prozeduren als Voraussetzung für einfach(st)e Lösungsprozesse theoretisch begründet und experimentell nachgewiesen (vgl. z.B. Krause, in diesem Band; Heller, 1982; Klix, 1992, S. 438-446; Krause, 1994; 2000, S. 152-192, 331-334; Sommerfeld, 1994, S. 45-155; 2009; Geißler & Lachmann, 1996; Lachmann, 2000, S. 99-155; Heinrich, 2004). Dabei zeigt sich, dass die Bedeutung der in (1b) enthaltenen Teilaussage „...für die Lösung einer relativ **großen Menge** von Problemen...“ besonders deutlich wird, wenn die Herausbildung von Strukturen und Prozeduren als Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse relativ viel kognitiven Aufwand erfordern.

Vorliegende Analysebefunde können als eine Grundlage für die Analyse weiterer Disziplinen dienen. So wäre es z.B. nützlich, auf der Basis inhaltlicher und formaler Beschreibungen in Verbindung mit empirischen Belegen zu untersuchen, welche ausgebildeten Strukturen und -prozeduren Voraussetzungen für empirisch nachgewiesene einfache Prozesse darstellen. Ein interessantes Gebiet betrifft z.B. die Kompetenzforschung, für die im Vortrag von John Erpenbeck die Bedeutung der Motivation für kompetente Entscheidungen hervorgehoben wurde (Erpenbeck, in diesem Band). Mit Bezug dazu könnte die Frage nach (formalisierbaren) Zusammenhängen zwischen der Herausbildung motivational bewerteter kognitiver Strukturen und Prozeduren und der Vereinfachung menschlicher Entscheidungsprozesse im Kompetenzmanagement von Interesse sein.

Bezüglich der Beschaffenheit der ausgebildeten Strukturen und Prozeduren als Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse kann weiterhin gezeigt werden:

(1c) Strukturen und Prozeduren, die eine Grundlage für einfach(st)e Prozesse darstellen, sind oft selbst einfach(st)e Strukturen und Prozeduren.

Im Rahmen der menschlichen Informationsverarbeitung konnten als Voraussetzungen für einfach(st)e Lösungsprozesse sowohl einfachste als auch etwas umfangreichere kognitive Strukturen (anforderungsabhängig und personenspezifisch) experimentell nachgewiesen werden. Dabei ist es z.B. von Bedeutung, ob die Versuchspersonen sich in einer für sie unbekanntem Situation zurechtfinden müssen oder weitgehend wissensbasiert vorgehen

können. Ist für die Anforderungsbewältigung umfangreiche neue Information zu verstehen und im Gedächtnis zu behalten (vgl. die Lösung von Ordnungsproblemen, wie sie im Beitrag von Werner Krause betrachtet werden), so wird die Information anforderungsabhängig und personenspezifisch so reduziert und strukturiert, dass damit einfachste kognitive (Behaltens-) Strukturen erzeugt werden. Ist hingegen auf der Grundlage vorhandenen Wissens „lediglich“ eine neuartige kognitive Anforderung zu bewältigen, wird zur Anforderungsbewältigung nicht unbedingt eine der einfachsten Wissensstrukturen genutzt. Entscheidend ist jedoch, dass kognitive Strukturen ausgebildet und genutzt werden, die einfachste Lösungsprozesse ermöglichen – sowohl bei der Verarbeitung neuer Information als auch auf der Grundlage vorhandenen Wissens (vgl. z.B. Sommerfeld, 1994, S. 173-194). Die Ausbildung von Doppelrepräsentationen (interne Repräsentationen in zwei unterschiedlichen Modalitäten) (Krause, in diesem Band) stellt ein Beispiel dafür dar, dass Strukturen und Prozeduren, die eine Grundlage für einfach(st)e Prozesse sind, durchaus selbst relativ umfangreich sein können. Mit der Doppelrepräsentation werden Voraussetzungen dafür geschaffen, den (für das gegebene Problem) einfacheren Lösungsprozess zu realisieren, obwohl die Schaffung der Voraussetzungen keineswegs einfach ist.

Für eine Reihe von Problemstellungen bietet die Ausbildung und Bereitstellung einiger weniger Grundstrukturen und -operationen die Möglichkeit, auf der Grundlage der Kombination solcher Basiselemente viele unterschiedliche Anforderungen zu bewältigen. Das kommt z.B. auch in den Analysen von Klix (1993, S. 249-321, 369-373) zur Entwicklung der Schrift- und Zahlensysteme zum Ausdruck. Dabei wird aufgezeigt, dass sich einige wenige Basisstrukturen und -prozeduren entwickelten – als Voraussetzung für einfache Prozesse auch bei wachsender Komplexität der Anforderung. Unter diesem Gesichtspunkt sind auch der Gedanke einer mentalen Grammatik von Bedeutung (Klix, 1992, S. 379-393) sowie der experimentelle Nachweis einer Grundmenge von Mikrozuständen geringer Mächtigkeit auf der Basis der EEG-Kohärenzanalyse, die die Vielfalt kognitiver Prozesse beim mathematischen Problemlösen repräsentieren (vgl. Krause, in diesem Band). Mit Bezug zum Beitrag von Hans-Otto Dill sind in diesem Zusammenhang z.B. Aussagen darüber interessant, inwieweit sich einfache Literaturformen (Basisstrukturen) und Verknüpfungstechniken (Basisoperationen) als Voraussetzungen für eine einfache Produktion von (einfachen und komplexeren) literarischen Genres entwickelt haben (Dill, in diesem Band).

An dieser Stelle stellt sich die Frage nach Gründen dafür, dass sich in manchen Fällen relativ einfache und in anderen Fällen umfangreichere Strukturen und Prozeduren als Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse entwickelt haben und entwickeln bzw. vom Menschen geschaffen wurden und werden. Um zur Beantwortung dieser Frage substantiell beitragen zu können, sind noch differenzierte Analysen erforderlich. Die bisherigen Analysen umfangreicherer Strukturen sprechen jedoch dafür, dass solche Strukturen aus relativ einfachen Teilstrukturen bestehen. Diese scheinen Grundkomponenten darzustellen, die – z.B. durch Auswahl oder Kombination – einfach(st)e Lösungsprozesse für unterschiedliche Anforderungen (aus einer bestimmten Anforderungsklasse) realisierbar machen.

Eng in Verbindung mit den Voraussetzungen selbst steht die folgende Aussage:

(1d) Die Schaffung von Voraussetzungen für einfache Prozesse kann ein nicht einfacher und/oder ein relativ langer Prozess sein.

Das betrifft z.B. Prozesse der Evolution sowie der Entwicklung allgemein, aber auch Übungs- und Trainingsprozesse sowie aufwändige Informationssuchprozesse zur anforderungsabhängigen Ausbildung, Veränderung und Nutzung von kognitiven Strukturen und Prozeduren.

In den in (1b) bis (1d) dargelegten Befunden scheint sich ein Wesensmerkmal des Wirkprinzips „Einfachheit“ widerzuspiegeln: *Entscheidend* ist der *Trend* bzw. das *Bestreben* zur Herausbildung von *Voraussetzungen* für einfach(st)e Prozesse – und zwar für ganze Klassen (mit relativ großen Anzahlen) von Anforderungen. Das kommt darin zum Ausdruck, **dass** Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse sich in Form von Strukturen und Prozeduren in der *objektiven Realität entwickelt haben* und sich *entwickeln* und auch *vom Menschen anforderungsabhängig geschaffen* wurden und werden. Das ist sowohl für Erkenntnis- als auch für Gestaltungsprozesse von Bedeutung.

2. Einfachheit als Erkenntnisprinzip

In seinem Beitrag zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit begründet Herbert Hörz Vereinfachungen als Erkenntnisfordernis und weist darauf hin, dass es in der Erkenntnis nie darum gehen kann, alle Seiten zu kennen, sondern die wesentlichen, d.h. diejenigen, die den Charakter einer Erscheinung bestimmen.

Das bedeutet, dass *wissenschaftlich berechnete Vereinfachungen* – bezogen auf ein Ziel oder eine Anforderung – die Basis für Prozesse des *Erkennens* und des (inhaltlichen und formalen) *Beschreibens* wesentlicher Zusammenhänge sein müssen. Dabei ist die Bildung und klare Definition von lösungsrelevanten und realisierbaren Teilzielen – sowohl auf modelltheoretischer als auch auf empirischer Ebene – von großer Bedeutung und es ist von Nutzen, im Sinne von Gottfried Wilhelm Leibniz vorzugehen: „Man muss vom Einfachen ausgehen, um zum Verständnis des Komplizierten zu gelangen, und man muss das Komplizierte auf das Einfache zurückführen. Die obersten Begriffe sind die einfachsten. Aber diese gilt es zu finden. Sie sind dann wie die Buchstaben des Alphabets. Sie sind das Gedankenalphabet.“ (Johannsen, 1971, S. 49). So hat z.B. Eric Kandel auf der Basis wissenschaftlich berechtigter Reduktionen modellbasierte empirische Untersuchungen an einer einzelnen (besonders großen) Zelle der Riesen-Meeresschnecke *Aplysia californica* durchgeführt, womit er neue Erkenntnisse über elementare Lernprozesse gewinnen konnte, die auch fundamental für Lernprozesse des komplexen Systems „Mensch“ sind (Kandel, 2009, S. 209-243). Im Zusammenhang mit der Reduktion betont Klaus Fuchs-Kittowski in seinem Diskussionsbeitrag die Notwendigkeit einer „Resynthese durch materielle oder gedankliche (mathematische) Modelle“ (Fuchs-Kittowski, in diesem Band). Dabei verweist er auf die Allgemeine Systemtheorie und nimmt Bezug zur Systembiologie.

Eine besondere Bedeutung für den Erkenntnisprozess hat die Sprache (vgl. z.B. Klix, 1993). In Lass et al. (2004) werden experimentelle Befunde vorgestellt, die Auswirkungen von Sprache auf kognitive Schemata und damit auf die Interpretation unserer Welt deutlich machen. Wolfdietrich Hartung macht in seinem Diskussionsbeitrag Anmerkungen zur Einfachheit aus der Perspektive eines Linguisten und hebt neben der reduzierenden Funktion der Sprache auch ihre erweiternde Funktion hervor (Hartung, in diesem Band). Herbert Hörz geht auf Sprache als Mittel zur gedanklichen Repräsentation, zur Kommunikation sowie zur Handlungsorientierung ein (Hörz, in diesem Band).

2.1 Erscheinungsformen von Einfachheit als Erkenntnisprinzip

Bei den Erscheinungsformen von Einfachheit als Erkenntnisprinzip spielen Einfachheitskriterien eine Rolle, die auch Einfachheit als Wirkprinzip kennzeichnen. So hat z.B. die Verwendung einer minimalen (bzw. möglichst geringen) Anzahl von Grundbegriffen und Relationen für die mentale

Abbildung und die (inhaltliche und formale) Beschreibung grundsätzlicher struktureller, funktionaler und prozessualer Zusammenhänge in Natur und Gesellschaft eine große Bedeutung.

Lothar Kolditz stellt in seinem Diskussionsbeitrag die These auf, dass eine große Komplexität in der Beschreibung von Vorgängen darauf hindeutet, dass die grundlegenden Zusammenhänge noch nicht erkannt und herausgearbeitet sind (Kolditz, in diesem Band). Im Erkenntnisprozess ist die „Anwendung“ von „Ockhams Rasiermesser“ von Nutzen, wenn dabei keine Merkmale, die den Charakter der Erscheinung bestimmen, „wegrasiert“ werden. Auf eine solche Gefahr weist Wolfgang Eichhorn in seinem Diskussionsbeitrag hin und betont, dass zur Bestimmung der wesentlichen Merkmale einer Erscheinung die „Anwendung“ des „Mengerschen Prismas oder Kammes“ von großer Bedeutung sein kann (Eichhorn, in diesem Band). In diesem Sinne muss Karl Mengers Prisma nicht generell als „Gegenstück“ zu Ockhams Rasiermesser angesehen werden, sondern es kann aus beiden eine sinnvolle Kombination entstehen, wenn das Mengersche Prisma zur Schaffung von Voraussetzungen für die (nachfolgende) Anwendung von Ockhams Rasiermesser angewendet wird. Das bedeutet, dass damit (in einem „Vorverarbeitungsprozess“) Voraussetzungen für wissenschaftlich berechnete Vereinfachungen geschaffen werden können. In der Herausbildung von Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse des Erkennens und Beschreibens von wesentlichen Zusammenhängen liegt – analog zum Wirkprinzip Einfachheit – ein Schwerpunkt des Erkenntnisprinzips Einfachheit.

2.2 Voraussetzungen für Einfachheit als Erkenntnisprinzip

Für den Erkenntnisprozess betrifft das insbesondere Voraussetzungen, die anforderungsabhängig *zu schaffen* sind. Modellstrukturen und -prozeduren, die in unterschiedlichen Fachdisziplinen entwickelt wurden und Voraussetzungen für einfach(st)e Erkenntnisprozesse darstellen, sprechen dafür, dass die Aussagen (1b) bis (1d) für das Wirkprinzip Einfachheit sinngemäß auch für das Erkenntnisprinzip Einfachheit zutreffen.

Hier ist das von Herbert Hörz entwickelte 2+1-Prinzip disziplinübergreifend von Bedeutung. Es hat abstrahierende und konkretisierende wissenschaftlich berechnete Vereinfachungen zum Ziel und lautet: „Komplexe Systeme sind theoretisch auf der Grundlage von Beobachtungen und Experimenten nur in zwei Integrationsebenen (2), System und Elemente oder System und Umwelt, zu erfassen, wobei eine Hintergrundtheorie (+1) die Einordnung des untersuchten Systems in umfassendere Zusammenhänge er-

klärt. Dieses 2+1-Prinzip richtet sich gegen die Gefahr der abstrakten Betrachtung des komplexen Systems ohne Detailinformationen (Zurückziehen auf die Hintergrundtheorie) oder des Objektwechsels (Teilaspekte treten in den Vordergrund).“ (Hörz, in diesem Band).

Weitere Modellansätze, die Voraussetzungen für einfache Prozesse des Erkennens und Beschreibens grundsätzlicher Zusammenhänge darstellen, betreffen z.B. Ansätze zur Formalisierung kognitiver Strukturen und Prozesse (z.B. Klix und Krause, 1969; Sydow, 1980; Sommerfeld und Sobik, 1994), die Biochemische Modellierung der DNA-Methylierung (Müller, in diesem Band), die Modellierung technischer Sachsysteme und technologischer Prozesse (Banse, in diesem Band). John Erpenbeck charakterisiert einen komplexen Modellansatz zur Kompetenzmessung, der eine Grundlage für die Vereinfachung des Erkennens von Führungskompetenzen darstellt (Erpenbeck, in diesem Band).

Eine nicht zu unterschätzende Rolle für die Vereinfachung von Erkenntnisprozessen spielt auch die bereits in 1.2 genannte (gleichzeitige) mentale Repräsentation struktureller und prozeduraler Information in unterschiedlichen Modalitäten (z.B. bildhaft und begrifflich). Rainer Schimming geht auf die Bedeutung von Einfachheit, Einheitlichkeit und Anschaulichkeit für den Erkenntnisprozess ein. An den Beispielen für die Vereinheitlichung in der Physik wird der Zusammenhang zwischen Vereinheitlichung und Vereinfachung deutlich. Mit dem Verweis auf gescheiterte Versuche der Vereinheitlichung der Physik wird auch hier der oft schwierige Weg zur Einfachheit sichtbar (Schimming, in diesem Band).

Erkenntnisprozesse sind Grundlage für Gestaltungsprozesse. Gestaltungsprozesse sind nicht selten auch Grundlage für Erkenntnisprozesse. Die Synthetische Biologie ist ein aktuelles Beispiel dafür. Einfachheit als Erkenntnisprinzip ist somit eng in Verbindung mit Einfachheit als Gestaltungsprinzip zu sehen.

3. Einfachheit als Gestaltungsprinzip

Im Beitrag von Gerhard Banse wird für die Technikwissenschaften ausgesagt:

- „Einfachheit ist keine technischen Sachsystemen oder Prozessen ‚gegebene‘ (d.h. ontische) Eigenschaft, sondern eine ‚Zuschreibung‘ im Rahmen der Erkenntnis- und Gestaltungsaufgaben der Technikwissenschaften.“
- „... es ist die Frage zu beantworten: `Welche Reduktion ist vom gegenwärtigen wissenschaftlichen und technischen Entwicklungsstand her ge-

rechtfertigt?“ (Banse, in diesem Band).

Im übertragenen Sinne gilt das auch für Einfachheit als Gestaltungsprinzip in anderen Bereichen, z.B. in der Kunst, in der Arbeits- und Organisationspsychologie, in der Informationstechnologie, für die Zukunftsgestaltung sowie auch im Alltag.

Wissenschaftlich berechnete Vereinfachungen – bezogen auf ein Ziel oder eine Anforderung – müssen auch im Gestaltungsprozess die Basis für eine situationsabhängige Selektion und Strukturierung lösungsrelevanter Information sein. Der Weg bis zu ihrer Realisierung ist auch hier nicht selten ein schwieriger Prozess.

3.1 Erscheinungsformen von Einfachheit als Gestaltungsprinzip

Bei Erscheinungsformen von Einfachheit als Gestaltungsprinzip spielen Einfachheitskriterien eine Rolle, wie sie auch für Einfachheit als Wirkprinzip und als Erkenntnisprinzip von Bedeutung sind.

Auch im Gestaltungsprozess liegt ein Schwerpunkt in der Herausbildung von Voraussetzungen dafür, dass möglichst einfache Prozesse realisierbar sind.

3.2 Voraussetzungen für Einfachheit als Gestaltungsprinzip

Für den Gestaltungsprozess sind das – wie für den Erkenntnisprozess – insbesondere Voraussetzungen, die in bestimmten Situationen ziel- und anforderungsabhängig *zu schaffen* sind. Analog zu Einfachheit als Wirkprinzip spielen dabei Strukturen und Prozeduren eine Rolle, auf deren Grundlage möglichst einfache Prozesse für die Lösung einer Problemklasse mit einer relativ großen Menge von Problemen realisierbar sind (vgl. (1b)). In vielen Fällen bestehen diese Strukturen und Prozeduren aus relativ wenigen Grundkomponenten bzw. Regeln im Sinne von (1c). Entsprechende Ansätze aus einigen Fachdisziplinen, zu denen auch in der heutigen Plenarveranstaltung vorgetragen wurde, betreffen z.B. das unter 2.2. charakterisierte 2+1-Prinzip (Philosophie) (Hörz, in diesem Band), die Gestaltung von Bediensprachen bei Computern (Arbeits- und Organisationspsychologie) (Timpe und Rothe, 1999), die Polymerasekettenreaktion (PCR) (Biochemie) (Müller, in diesem Band), die Gestaltung technischer Sachsysteme und technologischer Prozesse (Technikwissenschaften) (Banse, in diesem Band).

Auch im täglichen Leben treffen wir immer wieder auf (nicht selten relativ aufwändige) „Vorbereitungsarbeiten“, die das Ziel haben, möglichst ein-

fache und übersichtliche Strukturen und Prozeduren als Voraussetzungen für die Realisierung einfacher Prozesse (für eine Klasse von Anforderungen) zu schaffen (z.B. die Vorbereitung von wissenschaftlichen Veranstaltungen, Feierlichkeiten, Reisen usw.). Ein Beispiel ist auch die Erarbeitung der Straßenverkehrsordnung.

Bisher betrachtete Beispiele sprechen dafür, dass die Aussagen (1b) bis (1d) für das Wirkprinzip Einfachheit sinngemäß auch für das Gestaltungsprinzip Einfachheit zutreffen. Dass dabei die Schaffung von Voraussetzungen für Einfachheit ein nicht einfacher Prozess sein kann, ist insbesondere auch im Vortrag von Gerhard Banse deutlich geworden (Banse, in diesem Band).

4. Anregungen zur interdisziplinären Diskussion in einem Arbeitskreis

Die Untersuchungen von *Einfachheit* als *Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip* und die interdisziplinäre Diskussion dazu sollten unter Einbeziehung weiterer Disziplinen und Teildisziplinen fortgeführt werden. Dabei ist die Frage nach dem Einfachheitsprinzip auch in den unterschiedlichen Ebenen der Vereinfachung, wie sie im Beitrag von Herbert Hörz charakterisiert werden, zu stellen, sowie in den unterschiedlichen Hierarchieebenen der zu betrachtenden Systeme (vgl. auch Bernhardt, in diesem Band).

Insbesondere interessierte Wissenschaftler aus bisher nicht zu Wort gekommenen Fachdisziplinen sind dazu aufgefordert, Vorträge oder Diskussionsbeiträge einzubringen, z.B. aus Geschichte, Politikwissenschaft, Wirtschaftswissenschaft, Ökonomie, Rechtswissenschaft, Demographie, Pädagogik und Erziehungswissenschaften, Musikwissenschaft, Architektur, Archäologie, Chemie, Astronomie, Meteorologie, Geo- und Montanwissenschaften, Medizin, Ethik, Neurowissenschaften, Kognitionswissenschaften, Soziologie, Biologie, Biophysik, Informatik und weiteren theoretisch und praktisch bedeutsamen Richtungen der Spezialisierung oder der Verknüpfung von Disziplinen, wie Kinderheilkunde, Pharmakologie, Verfahrenstechnik, Mikro- und Nanomechanik, Chronobiologie, Evolutionsbiologie, Synthetische Biologie, Evolutionäre Systemtheorie, Geld- und Finanztheorie, Buch- und Bibliothekswissenschaft oder auch Didaktik von Fachdisziplinen sowie Wissenschaftsgeschichte und Geschichte einzelner Disziplinen.

Fast alle hier genannten Gebiete sind in unserer Sozietät vertreten.

Den ersten Vortrag im Arbeitskreis „Prinzip Einfachheit“ wird Karl-Heinz Bernhardt noch in diesem Jahr zum Thema „Einfachheit und Komplexität im Klimasystem der Erde“ halten. Im Frühjahr kommenden Jahres wird

Roswitha März zur Mathematik vortragen. In der Folgezeit wären Beiträge aus den Sozial- und Geisteswissenschaften, Natur- und Technikwissenschaften und der Medizin zum Wirk-, Erkenntnis- und/ oder Gestaltungsprinzip Einfachheit von großem Interesse. Sowohl als Übersichtsvorträge als auch in Form von Vorträgen und Diskussionsbeiträgen zu bestimmten Aspekten bilden konstruktive Beiträge zur Thematik Einfachheit eine wertvolle Grundlage für die interdisziplinäre Diskussion.

Schwerpunkte der weiteren Analysen und Diskussionen könnten sein:

Erscheinungsformen von Einfachheit:

Da „Einfachheit“ sowie auch „Gegenstücke“ wie „Komplexität“ und „Kompliziertheit“ bzw. „Schwierigkeit“ in der Literatur jeweils nicht einheitlich definiert sind, könnten die nächsten Arbeitsschritte folgendermaßen aussehen:

- a. Inhaltliche Beschreibung von Kriterien für Einfachheit
- b. Formale Beschreibung von Kriterien für Einfachheit
- c. Empirische Belege in den unterschiedlichen Fachdisziplinen auf der Basis solcher Kriterien für bzw. gegen die *These*
„Das Prinzip *Einfachheit* ist ein Grundprinzip in den unterschiedlichen Disziplinen.“

Trotz unterschiedlichster Auffassungen in den Fachdisziplinen gibt es Gemeinsamkeiten. Diese gilt es zu finden.

Voraussetzungen für Einfachheit:

Die Ergebnisse der bisherigen Analysen auf der Grundlage der Beiträge und der Literatur sprechen für die Herausbildung von *Voraussetzungen* für einfach(st)e Prozesse für Klassen (einer relativ großen Menge) von Problemen. Es scheint ein *Charakteristikum* des Wirkprinzips „Einfachheit“ zu sein, *dass* Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse sich sowohl in der objektiven Realität (ohne und mit Einbeziehung des Menschen) entwickelt haben und sich entwickeln als auch durch den Menschen anforderungsabhängig geschaffen wurden und werden. Auch für Einfachheit als Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip ist es wichtig, sowohl existierende Voraussetzungen für die Realisierung einfacher Prozesse zu nutzen als auch entsprechende Voraussetzungen zielgerichtet zu schaffen.

Mit Bezug dazu könnten folgende Arbeitsschritte von Interesse sein:

- a. Inhaltliche Beschreibung von Strukturen und Prozeduren als Vorausset-

- zungen für einfach(st)e Prozesse
- b. Formale Beschreibung von Strukturen und Prozeduren als Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse
 - c. Empirische Belege in den unterschiedlichen Fachdisziplinen auf der Basis solcher Strukturen und Prozeduren für bzw. gegen die *Thesen*
 1. „Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip spiegelt sich wesentlich wider in der
 - Existenz
 - Entwicklung
 - anforderungsabhängigen Ausbildung von *Strukturen und Prozeduren als Voraussetzungen für einfach(st)e Prozesse* – und zwar für die Lösung von (relativ umfangreichen) Klassen von Problemen.“
 2. „Die Entwicklung bzw. Schaffung von Voraussetzungen für Einfachheit ist ein Grundprinzip in den unterschiedlichsten Disziplinen.“

Die folgenden Aspekte sind im Zusammenhang mit den genannten Schwerpunkten systematisch in die weiteren Betrachtungen mit einzubeziehen:

***Wissenschaftlich* berechtigte Vereinfachungen als Basis für Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip**

Herbert Hörz hat in seinem Beitrag wissenschaftlich berechtigte und nicht berechtigte Vereinfachungen unter erkenntnistheoretischen Gesichtspunkten analysiert. Mit Bezug dazu sind die Erscheinungsformen von Einfachheit sowie die Voraussetzungen für Einfachheit in den unterschiedlichen Disziplinen zu betrachten.

***Wechselbeziehungen* zwischen Einfachheit und Komplexität sowie zwischen Einfachheit und Kompliziertheit/Schwierigkeit**

Dieser Aspekt kommt (direkt oder indirekt) in allen Beiträgen der Plenarveranstaltung zum Ausdruck, so auch im ersten Vortrag, der in unserem Arbeitskreis gehalten wird.

Literatur

- Banse, G. (2010) „Nicht so exakt wie möglich, sondern so genau wie nötig!“ – Das Einfachheitsprinzip in den Technikwissenschaften“. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 93-104.

- Barch, D.M., Braver, T.S., Nystrom, L.E., Forman, S.D., Noll, D.C. & Cohen, J.D. (1997) Dissociating working memory from task difficulty in human prefrontal cortex. *Neuropsychologica*, 35 (10), 1373-1380.
- Bernhardt, K.-H. (2010) Diskussionsbemerkungen zur „Einfachheit“. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 121-125.
- Dill, H.-O. (2010) Einfachheit vs. Komplexität in Literatur, Kunst und Wissenschaft. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 105-119.
- Dörner, D. (1992) *Die Logik des Mißlingens*. Reinbek: Rowohlt Verlag.
- Eichhorn, W. (2010) Ockhams Rasiermesser und Karl Mengers Gegenstück. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 127-130.
- Erpenbeck, J. (2010) Vereinfachung durch Komplexität. Persönlichkeitseigenschaften und Kompetenzen. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 79-91.
- Fuchs-Kittowski (2010) Zur Diskussion über Vereinfachung und Reduktion als Methode. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 131-134.
- Geißler, H.-G. & Lachmann, T. (1996) Memory-guided inference in matching tasks: Symmetries and the case of inferred sets. In: Masin, S.C. (Ed.) *12th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics*, Padua: ISP, 119-124.
- Grimsehl (Hrsg.: Schallreuther, W.) (1962) *Lehrbuch der Physik, Optik*, Leipzig: Teubner Verlagsgesellschaft.
- Halford, G.S., Wilson, W.H. & Phillips, S. (1998) Processing capacity defined by relational complexity: implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 803-864.
- Hartung, Wolfdietrich (2010) Anmerkungen zur Einfachheit aus der Perspektive eines Linguisten. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 135-141.
- Heinrich, F. (2004) *Strategische Flexibilität beim Lösen mathematischer Probleme*. Hamburg: Kovac.
- Heller, D. (1982) Eye Movements in Reading. In: Groner, R. & Fraisse, P. (Eds.). *Cognition and Eye Movements*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 139-154.
- Hörz, H. (2009) *Materialistische Dialektik. Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung*. Berlin: trafo Verlag.
- Hörz, H. (2010) Philosophischer Reduktionismus oder wissenschaftlich berechnete Reduktionen? Zu den erkenntnistheoretischen Grundlagen des Prinzips Einfachheit. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 11-36.
- Johannsen, C. (1971) *Leibniz*. Berlin: Union Verlag.

- Kandel, E.R. (2006) *Auf der Suche nach dem Gedächtnis*. München: Siedler Verlag.
- Klix, F. (1992) *Die Natur des Verstandes*. Göttingen, Toronto: Hogrefe.
- Klix, F. (1993) *Erwachendes Denken*. Heidelberg: Spektrum.
- Klix, F. & Krause, B. (1969) Zur Definition des Begriffs „Struktur“, seinen Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie. *Zeitschrift für Psychologie*, 176, 22-54.
- Köhler, M., Buchta, K., Schleif, F.-M. & Sommerfeld, E. (2002) Complexity and difficulty in memory based comparison. In: Da Silva, J.A., Matsushima, E.H. & Ribeiro-Filho, N.P. (Eds.) *Fechner Day 2002: In a New Continent, for a New Psychophysics*. Rio de Janeiro, RJ, Brazil: ISP, 433-439.
- Kolditz, L. (2010) Diskussionsbemerkung in der Plenarveranstaltung „Einfachheit als Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzip“ vom 8. 4. 2010. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 143.
- Krause, W. (1994) Ordnungsbildung als Invarianzleistung mentaler Repräsentationen: Zur aufwandsreduzierenden Strukturierung von Wissen und Prozeduren. *Zeitschrift für Psychologie*, 202, 1-19.
- Krause, W. (2000) *Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht*. Göttingen, Toronto: Hogrefe.
- Krause, W. (2010) Einfachheit und menschliche Informationsverarbeitung? *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 37-55.
- Lachmann, T. (2000) *Vergleichen und Erkennen – Vorgänge im Gedächtnis bei der visuellen Relationserkennung*. Lengerich, Berlin: Pabst Science Publishers.
- Lass, U., Lüer, G., Yan, S., Becker, D., Fang, Y. & Cheng, G. (2004) Sprachbedingte Varianz von Gedächtnisleistungen – Evidenz für eine Neuinterpretation der Whorfschen Hypothese. In: Krause, B. & Krause, W. (Hrsg.) *Psychologie im Kontext der Naturwissenschaften. Festschrift für Friedhart Klix zum 75. Geburtstag. Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, 12*, 123-138.
- Mayr, U. & Kliegl, R. (1993) Sequential and coordinative complexity: age based processing limitations in figural transformations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19 (6), 1297-1320.
- Müller, S. (2010) Einfachheit biochemischer Komplexität – ein Widerspruch? *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 57-65.
- Schimming, R. (2010) Einfachheit, Einheitlichkeit, Anschaulichkeit – Optimalprinzipien der Erkenntnis. *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 108*. Berlin: trafo Verlag, 67-77.
- Shimizu, H. (1989) A dynamical approach to semantic communication – the significance of biological complexity in the creation of semantic information. In: Shimizu, H. (Ed.) *Biological complexity and information*. Fuji-Suomo: World Scientific, 145ff.
- Sommerfeld, E. (1994) *Kognitive Strukturen*. Münster, New York: Waxmann.

- Sommerfeld, E. (2009) Aufklärung von Basisprozessen menschlicher Informationsverarbeitung. Ein systematischer Zugang durch Elementaranalyse von Denkprozessen bei der Lösung von Ordnungsproblemen? *Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, 101*. Berlin: trafo Verlag, 93-110.
- Sommerfeld, E. & Sobik, F. (1994) Operations on cognitive structures – their modelling on the basis of graph theory. In: Albert, D. (Ed.) *Knowledge Structures*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 146-190.
- Sprung, L. & Sprung, H. (2010) *Eine kurze Geschichte der Psychologie und ihrer Methoden*. München, Wien: Profil Verlag
- Sydow, H. (1980) Mathematische Modellierung der Strukturrepräsentation und der Strukturerkennung in Denkprozessen. *Zeitschrift für Psychologie, 2*, 166-197.
- Timpe, K.-P. & Rothe, H.-J. (1999) Mensch-Maschine-Systeme. In: Graf Hoyos, C. & Frey, D. (Hrsg.) *Arbeits- und Organisationspsychologie*. München, Weinheim: Psychologie Verlags Union, 279-297.