

REINHARD KEIL

DAS DIFFERENZTHEATER.
KOAKTIVE WISSENSARBEIT ALS SOZIALE
SELBSTORGANISATION

Einleitung

In seinem Buch *Leonardo's Laptop* baut Ben Shneiderman den Unterschied zwischen Artificial Intelligence und User Interface Design auf. Der Untertitel, *Human Needs and the New Computing Technologies*¹, macht deutlich, worum es ihm bei der Gegenüberstellung von AI versus UI geht: Statt menschliche Intelligenz zu modellieren und auf den Computer zu übertragen, sollen Prinzipien einer universellen Benutzbarkeit entwickelt und bei der Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion in allen Bereichen angewandt werden, die heute oftmals mit dem kleinen „e“ gekennzeichnet werden wie z. B. e-learning, e-business, e-healthcare und e-government. Obwohl das Buch eine Fülle von innovativen Ideen ausbreitet und an Beispielen Prinzipien und Konzepte erläutert, bleibt das Konzept einer universellen Benutzbarkeit insgesamt relativ vage, da es keinen theoretisch kohärenten Unterbau gibt, der es gestatten würde, Konzepte wie Bedeutung, Verständnisbildung, Informationsverarbeitung etc. unter einem einheitlichen Gesichtspunkt zu betrachten. Die größte Herausforderung besteht jedoch in der Aufgabe, Konzepte und Prinzipien für eine prospektive oder hypothesengeleitete Technikgestaltung zu finden, die Entwicklern eine Gestaltungsorientierung liefert und zugleich anschlussfähig für den Diskurs mit anderen Disziplinen ist.

Insgesamt fehlt es in der Informatik an Konzepten und theoretischen Grundlagen, die es erlauben würden, so etwas wie eine Gebrauchstheorie zu entwickeln. Nachfolgend sollen die spezifischen, damit verbundenen Probleme skizziert und ein möglicher Ansatz vorgestellt werden, der unter der Bezeichnung Produkt-Prozess-Komplementarität versucht, die Prozesse der Herstellung und des Gebrauchs von Softwaresystemen systematisch auf das Produkt zu beziehen.

Dabei stehen zunächst die Besonderheiten des ‚Baustoffs Software‘ im Vordergrund der Betrachtung. Es wird deutlich, dass mindestens zwei semantische Ebenen, die des Produkts und die der menschlichen Verständnisbildung (Prozess), betrachtet werden müssen. Prozess steht dabei immer für die Gene-

¹ Ben Shneiderman, *Leonardo's Laptop – Human Needs and the New Computing Technologies*, Cambridge, MA, 2002.

se, deren wesentliche Qualitäten über den Begriff der biologischen Informationsverarbeitung (Evolution) bestimmt werden. Ein daran angelehntes Modell menschlicher Informationsverarbeitung oder auch kultureller Entwicklung ist aus der Sicht ihrer Genese plausibler als die Maschinenmetapher einer künstlichen Intelligenz, denn diese gehören in die Produktkategorie, weil – einmal fertig gestellt – jedwedes Verhalten nur von der Form und Anordnung der Zeichen abhängt, nicht aber davon, wofür diese stehen. Die Produkt-Prozess-Komplementarität soll insbesondere an der Gegenüberstellung von Speicher und Gedächtnis verdeutlichen, wie beide zusammenspielen: Der Begriff externes Gedächtnis verdeutlicht beispielsweise, dass ein physischer Speicher (Produkt) zwar unverzichtbar ist, zugleich sich aber die Bedeutung der gespeicherten Inhalte nur über die Prozesse ihrer Erzeugung und ihres Gebrauchs erschließt.

Da ein evolutionäres Modell mit Konzepten wie Irreversibilität und Selbstorganisation zwar selbst organisiertes Verhalten charakterisieren kann, damit aber zugleich die Grenze des Vorhersagbaren und Beeinflussbaren markiert, werden im darauf folgenden Abschnitt grundlegende Überlegungen angestellt, wie durch die Gestaltung der Umgebung, in der solche Prozesse ablaufen, Einfluss auf den Prozess selbst genommen werden kann bzw. Unterstützungsfunktionen identifiziert werden können.

In einem letzten Schritt werde ich das Konzept der Mediarena vorstellen, das wir in Paderborn auf der skizzierten theoretischen Basis entwickeln. Hier werden grundlegende Qualitäten digitaler Medien in Bezug auf die Unterstützung von menschlicher Informationsverarbeitung bzw. Wissensarbeit deutlich werden. Ein kritischer Ausblick wird meine Überlegungen abschließen.

Produkt-Prozess-Komplementarität

Informatiksysteme unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von anderen technischen Gebilden wie Brücken, Autos oder auch Fernsehgeräten. Software besteht aus einem einheitlichen und für Ingenieure ungewöhnlichen Baustoff: Text. Es handelt sich um ein typografisches Produkt, Schriftzeichen (Typen), die nach bestimmten Regeln zusammengesetzt werden. Im Gegensatz zu anderen Ingenieurprodukten, wo z. B. textuelle Beschreibungen und Konstruktionszeichnungen lediglich dazu verwendet werden, das eigentliche Produkt zu beschreiben, fallen in der Softwaretechnik Beschreibung und Produkt hinsichtlich des verwendeten Materials zusammen. Typografien sind physische Gebilde, denn nur so können sie als Maschinenelemente energetische Prozesse beeinflussen, die letztlich für eine maschinelle Verarbeitung erforderlich sind. Insofern kann man feststellen, dass auch Software Hardware ist.² Prinzipiell

² Ich folge hier weitgehend der Sprechweise von Rolf Todesco, *Technische Intelligenz oder Wie Ingenieure über Computer sprechen*, Stuttgart-Bad Cannstatt, 1992.

lässt sich jedes Zeichen eines Programms auch als Schalter und Leitungsweg eines Prozessors abbilden bzw. realisieren. Beispielsweise waren noch bis Anfang der siebziger Jahre im industriellen Bereich Datenverarbeitungsanlagen in Betrieb, die durch die Verwendung von Stecktafeln programmiert wurden. Das Programm wurde mithilfe von Kabeln auf dieser Tafel gesteckt; es wurde gewechselt, indem eine andere Tafel in die Maschine geklemmt wurde. Ein weiteres Beispiel ist ein Festwertspeicher (PROM), bei dem ein Bitmuster durch das Programmieren von PROM-Zellen mittels Durchschmelzen von Sicherungen (Isolationsfilm) durch hohe Stromimpulse gespeichert wird. Die Konsequenz: Hardware und Software sind logisch äquivalent.³

Das entscheidende Problem ist jedoch, dass der Mensch mit dieser (Programmier-)Technik nur vergleichsweise bescheidene Probleme lösen kann. Niemand wäre in der Lage, beispielsweise eine komplexe Büroanwendung auf diese Weise zu implementieren. Eine binäre oder hexadezimale Codierung des Programms bietet für den menschlichen Geist keine adäquate Unterstützung zur Formulierung der Verarbeitungsprozeduren; ein Gewirr von gesteckten Leitungen ebenso wenig. Die Strukturen im Code sind nicht genügend „einsichtig“ und problemnah. Dies ändert sich z. B. mit höheren Programmiersprachen, die besser lesbar sind. Ein Compiler erzeugt dann aus einem Programm in einer höheren Programmiersprache einen ausführbaren Code für die Maschine. Obwohl es sich bei dieser Art der Ersetzung um eine semantikerhaltende Transformation handelt, wäre kein Entwicklerteam in der Lage, auf der Ebene des Maschinencodes Programme arbeitsteilig über einen längeren Zeitraum zu entwickeln und zu warten. Dabei geht es nicht um die Frage, ob denn prinzipiell ein menschliches Genie, wenn es denn beliebig lange leben würde und sich mit nichts anderem als solchen Prozessorschaltungen beschäftigte, letztlich nicht doch fähig wäre, eine solche Schaltung hervorzubringen. Durchschnittlich Begabte könnten solche geistigen Höchstleistungen nicht nachvollziehen und damit auch nicht überprüfen. Sie könnten folglich auch nicht an einer Weiterentwicklung mitwirken. Eine breite Nutzung dieser Technologie wäre damit ausgeschlossen, die Informatik wäre ein esoterischer Randbereich der Gesellschaft. Die Konsequenz ist, dass sich Verstehensprozesse in einer sprachlichen Sphäre vollziehen (Prozess), die Operationsausführungen jedoch auf Maschinenebene (Produkt).

Diese Unterscheidung ist aber in keiner Weise selbstverständlich, denn die Präzisierung des Algorithmusbegriffs führte in den dreißiger Jahren über die Bedeutungsäquivalenz von Formalisierung und Mechanisierung. So zeigt Bettina Heintz⁴ am Beispiel von Emil Post, Alonzo Church und Alan Turing mit ihrer Grundlagengeschichte des Computers auf, wie menschliches und maschi-

³ Andrew S. Tanenbaum, *Structured Computer Organization*, Englewood Cliffs, NJ, 1976, S. 10 ff.

⁴ Bettina Heintz, *Die Herrschaft der Regel. Zur Grundlagengeschichte des Computers*, Frankfurt/M., New York, 1993.

nelles Verhalten in eins gesetzt wurden, um den Algorithmenprozess zu präzisieren. Alan Turing überlegte, dass jede menschliche Handlung, die nach einer präzisen Vorschrift ausgeführt werden kann, auch von einer Maschine ausgeführt werden kann. Was also ein menschlicher Rechner tut, lässt sich prinzipiell auch durch eine Maschine ersetzen. Emil Post dagegen benutzte das Bild eines Fließbandarbeiters, der in seinem Modell die Ausführungen der Turing'schen Maschine übernahm. Ob Maschine oder Arbeiter ist gleichgültig, wenn die Ausführungsvorschriften hinreichend präzise und eindeutig sind. Jedes Problem, das präzise beschreibbar ist, kann somit auch von einer Maschine gelöst werden. Der Turing-Test ist entsprechend eine experimentelle Anordnung, um zu zeigen, dass Mensch und Maschine funktional äquivalent sind, wenn es gelingt, Intelligenz präzise zu formulieren.

Zwar lässt sich prinzipiell jedes Programm als mathematische Funktion beschreiben, nur treten dabei ähnliche Schwierigkeiten auf wie bei der Realisierung von Software in Form von Leitungen und Schaltern. Für große Softwareprojekte wäre eine vollständige mathematische Beschreibung der Programme vielfach noch aufwendiger als das Programm selbst. Bei vielen traditionellen Ingenieurprodukten kann „ein Ingenieur, der durch sorgfältigen Entwurf dafür Sorge trägt, dass die Systemkomponenten immer innerhalb ihres normalen Betriebsbereichs arbeiten, mithilfe einer mathematischen Analyse sicherstellen, dass es keine Überraschungen gibt“⁵.

Demgegenüber zeichnet sich Software durch eine enorme Fülle diskreter Betriebszustände aus und weist in der Regel nur eine sehr schwache repetitive Struktur (d. h. Wiederverwendung ein und desselben Bausteins) auf. Die mathematischen Funktionen sind folglich keine kontinuierlichen Funktionen. Die Folge ist, dass da, wo im klassischen Ingenieurbereich *gerechnet* werden kann, in der Softwaretechnik die Korrektheit *bewiesen* werden muss. Da Rechenprozesse vollständig formalisierbar sind, können sie an Maschinen delegiert werden. Beweise könnten u. U. auch vollständig formalisiert sein, sind es aber in der Regel nicht. Bis heute ist es umstritten, ob eine von einer Maschine generierte Ableitung als Beweis anerkannt werden kann oder als Teil eines Beweises zulässig ist. Entscheidend ist die prinzipiell vollständige Überprüfbarkeit durch den menschlichen Geist. Wo jedoch komplexe formale Operationsfolgen überschaubar sind, erzeugen sie keine neuen Einsichten, sondern voraussehbare Resultate. Wo sie aber nicht überschaubar sind, fehlt das Vertrauen in das Ergebnis, denn Formalismen werden nicht durch Formalismen bestätigt oder falsifiziert, sondern durch die sozialen Prozesse der Überprüfung und argumentativen Begründung. Das gilt auch für die Informatik.⁶ Erneut gibt es

⁵ David Lorge Parnas, „Software Wars“, in: *Kursbuch Nr. 83, Krieg und Frieden. Streit um SDI*, Berlin, 1986, S. 49-69: 53.

⁶ Richard A. DeMillo/Richard J. Lipton/Alan J. Perlis, „Social Processes and Proofs of Theorems and Programs“, in: *Communications of the ACM* 22, 5, 1979, S. 271-280, zeigen, dass die Funktion von Beweisen in der Mathematik nicht oder nur punktuell auf die Softwaretechnik übertragbar ist.

zwei unterschiedliche Ebenen der Verständnisbildung (Beweisen als sozialer Prozess) und der präzisen Ausführung einer Vorschrift (logische Ableitung als Produkt).

Diese Unterscheidung ist grundsätzlicher Natur, denn nach Sybille Krämer⁷ kann ein Formalismus durch drei Merkmale charakterisiert werden: Schriftlichkeit, Schematisierbarkeit und Interpretationsfreiheit.

Physische Zeichen in ihrer räumlichen Anordnung bilden die materielle Grundlage nicht nur von Kalkülen, sondern jedweder Software. Interpretationsfreiheit bedeutet dabei, dass jede formale Operation nur von der Form und Anordnung der Zeichen abhängig ist, nicht jedoch davon, wofür die Zeichen stehen.

Analoges gilt für eine Berechnung, denn ein mathematischer Formalismus gestattet es, korrekt zu rechnen, ohne zu verstehen, was man tut. Die Rechenregeln sind anzuwenden und nicht hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit zu bewerten – genau deshalb kann man Rechengvorgänge auch an eine Maschine delegieren. Insofern sind in der Tat die Turing-Maschine und Informatiksysteme äquivalent, da die korrekte Transformation der jeweiligen Zeichen, wie das Programm sie vorschreibt, sich jeweils nur auf die Form und Anordnungen der Zeichen bezieht, nicht jedoch deren Bezug zur Welt interpretiert.⁸ Sobald aber die Frage nach dem Sinn bzw. dem Wofür gestellt wird, kommt Verständnis ins Spiel und damit menschliche Urteilskraft. Nur wenn man weiß, ob z. B. zwei miteinander vermengte Flüssigkeiten eine chemische Reaktion auslösen, kann man bestimmen, ob das sich daraus ergebende Volumen als additive Zusammensetzung adäquat modelliert werden kann oder ob eine andere Berechnung erforderlich ist. Vielleicht erübrigt sich sogar die Berechnung, weil das Gemisch explodiert. Letzteres ist nicht eine Frage der Mathematik, sondern der Erfahrung und der Empirie.

Deshalb kommt es bei der Softwareentwicklung generell nicht nur auf die Programmierung an, sondern vor allem auf die Modellierung. Die Entwickler müssen dabei nicht nur bekannte Wirklichkeitsbereiche abbilden, sondern sich, wie Naur⁹ feststellt, eine Theorie darüber bilden, wie die Probleme im Anwendungsbereich durch Ausführung des Programms gelöst werden können. Floyd¹⁰ hat dies auf kooperative Gestaltungsprozesse ausgedehnt und den Entwicklungsprozess als gemeinschaftlichen Lernprozess (Realitätskonstruktion) charakterisiert. Natürlich entsteht auch hier sofort wieder die Frage, wie denn

⁷ Sybille Krämer, *Symbolische Maschinen. Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriß*, Darmstadt, 1988.

⁸ Konsequenterweise verweist Krämer (ebd.) auf den irreführenden Begriff „Programmiersprachen“ und gebraucht stattdessen den Begriff „formale Typographie“.

⁹ Peter Naur, „Programming as Theory Building“, in: *Microprocessing and Microprogramming* 15, 5 (1985), S. 253-261.

¹⁰ Christiane Floyd, „Software Development as Reality Construction“, in: dies./Heinz Züllighoven/Reinhard Budde/Reinhard Keil-Slawik (Hg.), *Software Development and Reality Construction*, Berlin, 1992, S. 86-100.

ein solcher Lernprozess angemessen durch Softwaresysteme unterstützt werden kann.

Auf der Suche nach einem Modell, das geeignet ist, grundlegende Aspekte für die Unterstützung menschlicher Wissensarbeit zu identifizieren, scheidet aufgrund der schon beschriebenen Produkt-Prozess-Komplementarität das maschinelle Datenverarbeitungsmodell aus, da dieses grundsätzlich die Abarbeitung einer formalen Vorschrift beinhaltet, nicht jedoch die Frage, wie ein sinnvoller Formalismus zustande kommt. Da es hier um die Genese von Produkten (maschinelle wie semiotische Artefakte) geht, nicht um ihre qualitativen Merkmale selbst, bietet sich eher ein aus der Biologie entlehntes Modell der Informationsverarbeitung an.¹¹

Biologische Informationsverarbeitung

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen von Charles Darwin, der als erster das Prinzip der natürlichen Auslese formulierte, entwickeln Manfred Eigen¹² und seine Gruppe am Max-Planck-Institut in Göttingen ein Modell zur Beschreibung evolutionärer Prozesse, das besonders die Qualitäten von biologischer Information in den Mittelpunkt rückt. Die Frage ist, wie sich aus der Vielzahl an kombinatorisch möglichen Sequenzalternativen des Erbgutes genau die ermitteln lassen, die vorteilhaft, d. h. überlebensfähig sind. Evolution ist nach Eigen ein naturgesetzliches Phänomen, das sich überall dort einstellt, wo drei Voraussetzungen erfüllt sind:

1. *Selbstreproduktivität*: Individuen, einmal entstanden, dürfen sich anschließend durch Kopieren vorhandener Individuen bilden, nicht aber *de novo*.
2. *Mutagenität*: Das Kopieren muss mit Fehlern behaftet sein, weil Varietät eine unabdingbare Eigenschaft des Prozesses ist.
3. *Metabolismus*: Selbstreproduktion muss fernab vom Gleichgewicht erfolgen, d. h. das Reproduktionssystem benötigt ständig die Zufuhr von chemischer Energie.

Auf der molekulargenetischen Stufe konnten Eigen und Mitarbeiter sowohl mathematisch als auch experimentell vier grundlegende Merkmale evolutionärer Prozesse bestimmen, die über ein naives Verständnis von Auslese als einem passiven Filtern nicht angepasster Lebewesen hinausgehen:

¹¹ Ausführlich in Reinhard Keil-Slawik, *Konstruktives Design. Ein ökologischer Ansatz zur Gestaltung interaktiver Systeme*, Habilitationsschrift, Forschungsbericht des Fachbereichs Informatik, TU Berlin, Nr. 90-14, 1990 und zusammengefasst in ders., „Bio-Informatik einmal anders. Zum Verhältnis von menschlicher Informationsverarbeitung und maschineller Datenverarbeitung“, in: *FfF-Kommunikation* 20, 1 (2003), S. 37-41.

¹² Manfred Eigen, *Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie*, München, 1987.

1. *Irreversibilität*: Die mathematische Funktion zur Bewertung des selektiven Vorteils arbeitet auf der Verteilung der gesamten Population, nicht auf einzelnen Individuen. In jedem Reproduktionsschritt ist das Ergebnis des vorigen Schritts der Ausgangspunkt für den nächsten – der Prozess ist unumkehrbar.

2. *Relative Semantik*: Die Bedeutung des genetischen Codes ist nicht absolut gegeben, sondern nur relativ zur Umwelt zu verstehen, gegen die sich das jeweilige Individuum selektiv behauptet hat.

3. *Vorausschauende Selektion*: Es entstehen bevorzugt dort neue überlebensfähige Individuen, wo schon gute Reproduktionsbedingungen vorhanden sind. Es handelt sich hier aber nicht um einen Optimierungsprozess, da sich mit jedem Evolutionsschritt die Ausgangsbedingungen verändern; es können nur lokale Optima in dem jeweiligen Reproduktionsschritt erreicht werden.

4. *Selbstorganisation*: Das Ergebnis eines Evolutionsschritts ist weder vorhersehbar noch kann es erzwungen werden; Fremdsteuerung zerstört den Prozess der Selbstorganisation.

Da Evolution in diesem Sinne auch das Gewordensein des Menschen umfasst, ist es sinnfälliger, für die Charakterisierung menschlichen Verhaltens das Modell biologischer Informationsverarbeitung zugrunde zu legen als das Modell der maschinellen Datenverarbeitung. Allerdings ist hier zu betonen, dass zum einen der biologische Informationsbegriff nur als Metapher genutzt werden kann, denn bis heute ist es nicht gelungen, im Bereich der menschlichen Kultur ein Äquivalent zu den Genen zu identifizieren, das eine Übertragung rechtfertigen könnte; es gibt im kulturellen Bereich keine semantischen Atome.¹³ Zum anderen ist der Informationsbegriff selbst heftig umstritten, so dass ein einheitliches Verständnis kaum erzielbar scheint.¹⁴ Gleichwohl lassen sich die vier angegebenen Charakteristika nutzen, um z. B. anhand der Gegenüberstellung von technischem Speicher und menschlichem Gedächtnis die Komplementarität menschlicher und maschineller Zeichenverarbeitung zu verdeutlichen. Das kann hier allerdings nur sehr skizzenhaft und illustrativ erfolgen.

Irreversibilität

Ein technischer Speicher kann gelöscht oder seine Inhalte können überschrieben werden. Das menschliche Gedächtnis verfügt über keine solche Funktion. Zwar gibt es das Phänomen des Vergessens, doch wird man kaum in der Lage sein, etwas bewusst zu vergessen. Das ist auch kennzeichnend für verschie-

¹³ Vgl. hierzu auch die Überlegungen zur Frage semantischer Einheiten im Diskurs in Michel Foucault, *Archäologie des Wissens*, Frankfurt/M., 1981.

¹⁴ Vgl. hierzu die beiden Diskurseinheiten zum Informationsbegriff in *Ethik und Sozialwissenschaften* 9, 2 (1998) und 12, 1 (2001).

denste Formen psychotherapeutischer Behandlung: Da man das Erlebte nicht löschen kann, gilt es, dieses Erleben in neue Erfahrungen so einzubetten, dass diese allmählich die alten Erfahrungen verblassen lassen bzw. der Person mehr Selbstkontrolle geben, weil z. B. Zwangshandlungen eben nicht mehr zwangsläufig durch einen bestimmten Reiz ausgelöst werden. Auch Anwälte machen sich in Gerichtsverfahren die Tatsache zunutze, indem sie hoffen, dass bestimmte Äußerungen, die vom Gericht als unzulässig erachtet werden, zwar nicht zur Urteilsbegründung herangezogen werden dürfen, sie aber das Verhalten der Zuhörenden gleichwohl beeinflussen können. Insgesamt kann festgehalten werden, dass der Versuch, ein menschliches Gedächtnis bzw. das menschliche Gehirn einer Art „Wäsche“ zu unterziehen, in der Regel mit der Zerstörung der Persönlichkeit einhergeht, d. h. die Integrität und Authentizität des Systems verletzt.

Relative Semantik

Die Botschaft, die ein Mensch erhält, ist nicht nur durch den Absender determiniert, sondern auch durch den Empfänger, der ihr vor dem Hintergrund seiner eigenen Erfahrungen, Wünsche und Vorstellungen eine Bedeutung verleiht. Menschen verstehen Dinge unterschiedlich, da Sinn und Bedeutung nicht übertragbar sind, sondern von jedem Individuum individuell rekonstruiert werden müssen. Insofern kann man zwar eine andere Person für sich arbeiten, aber man kann sie nicht für sich lernen lassen. Einsicht und Verständnis lassen sich nicht transportieren oder übertragen. Dabei zeigt sich, dass das Gedächtnis kein Speicher ist, um Vergangenes stabil und unverändert aufzubewahren, sondern ein Organ, das das Überleben sichern soll. Jede neue Erfahrung färbt frühere Erfahrungen ein, weil Abweichungen ebenso wie Bestätigungen dazu dienen, die Sicht auf die Welt so zu verändern, dass die Chancen zum Überleben bzw. zur Durchsetzung der eigenen Interessen steigen. Gedächtnisinhalte ändern sich aufgrund von neuen Erfahrungen ebenso wie Geschichten aus anderen Kulturkreisen beim Wiedererzählen so angepasst werden, dass sie im Kulturkreis des Empfängers einen Sinn erhalten.¹⁵ Bei einem technischen Speicher wollen wir uns jedoch darauf verlassen können, dass separat eingespeicherte Entitäten auch in der gleichen Form wieder abgerufen werden können.

¹⁵ Siehe dazu die vielen Beispiele in Howard Gardner, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, New York, 1987.

Vorausschauende Selektion

Ein Experte mit reichhaltiger Erfahrung verfügt in der Regel über eine gute Intuition beim Problemlösen in seinem Feld. Dabei werden aber nicht Erfahrungen summativ gespeichert oder aggregiert, denn dann müsste jedes Verfahren, bei dem das Finden einer Lösung einer Suche im „Erfahrungsschatz“ entspräche, umso länger dauern, je mehr Erfahrungen bzw. Lösungsansätze gespeichert wären. Tatsächlich wird er aber zunehmend schneller und die Fähigkeit wächst, intuitiv, d. h. ohne explizite Begründung oder logische Ableitung, an der richtigen Stelle zu suchen bzw. in die richtige Richtung bei der Lösung zu gehen. Tatsächlich finden im Laufe von Lernprozessen vielfältige Restrukturierungen kognitiver Strukturen statt mit dem Ziel, neue, besser angepasste Strukturen auszuprägen. Begriffe wie Phasensprung, Paradigmenwechsel oder Einsicht stehen allesamt für Verständnismodelle, die darauf verweisen, dass Lernen nicht in erster Linie ein Aggregationsprozess bzw. eine Anhäufung von Wissen ist, sondern eine funktionale Anpassung, die hilft, schneller, besser oder adäquater zu entscheiden, was in einer gegebenen Situation relevant ist. Ein Durchspielen der vielen Möglichkeiten und ein passives Filtern wären weder bei der Sinneswahrnehmung noch beim Denken probate Mittel.¹⁶

Selbstorganisation

Der Pädagoge Hans Bussmann¹⁷ begründet mit dem Konzept des „Eigensinns“ eine Qualität, die die Lernfähigkeit von Kindern auszeichnet. Interessant ist dieses Konzept insofern, als Eigensinnigkeit hier vor allem auf die Fähigkeit der Kinder verweist, sich durch ein entsprechendes Verhalten gegenüber Forderungen der Umwelt zu erwehren, die ihre Selbstorganisation angreifen oder gefährden würden. Bussmann zeigt, dass Eigensinnigkeit nicht eine Trotzreaktion ist, sondern ein produktives Verhalten, um das Selbst und seine produktive Kraft zu bewahren. Computer verfügen nicht über solche Mechanismen der Selbstabschirmung oder Selbstheilung, um ein eigenes, inneres mentales Milieu aufrechtzuerhalten. Programme werden grundsätzlich so gestaltet, dass sie ablauffähig im Speicher liegen und im Fehlerfall der Ablauf unterbrochen wird, damit die Entwickler den Fehler lokalisieren und korrigieren können. Entwickler müssen diese Strategie verfolgen, um die Kontrolle über das Verhalten des Programms zu behalten. Würden sie diese Kontrolle an die Maschine delegieren, könnten sie das Ergebnis weder vorhersehen noch kontrollieren. Bislang gibt es keine auf Antrieb fehlerfrei funktionierenden Softwaresysteme,

¹⁶ Vgl. Richard L. Gregory, *Eye and Brain. The Psychology of Seeing*, 5. Aufl., Oxford, 1998. [1966] Dt. Übersetzung: *Auge und Gehirn. Psychologie des Sehens*, Reinbek bei Hamburg, 2001.

¹⁷ Hans Bussmann, *Computer contra Eigensinn. Was Kinder dem Computer voraus haben*, Frankfurt/M., 1988.

bei denen das System ohne Intervention der Entwickler evolviert. Sollte ein Softwaresystem trotzdem in der Lage sein, einen „produktiven Eigensinn“ zu entwickeln, müsste es in der Lage sein, Entwicklungs- und Programmierfehler selbst zu korrigieren und zwar auch die Fehler, die in seinem Fehlerkorrekturprogramm programmiert worden wären. Dies würde auch für jeden Korrekturmechanismus gelten, der den Korrekturmechanismus korrigieren kann usw. Ein unendlicher Regress entsteht. Der Ansatz käme somit dem Versuch gleich, ein kognitives Perpetuum mobile zu bauen. Der Beweis, dass es nicht geht, kann nicht geführt werden, aber die Annahme, dass es ginge, kann bezüglich der Folgen als unsinnig bis desaströs bezeichnet werden, insbesondere unter der Annahme, man könne das Ergebnis vorhersehen.¹⁸

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es eine Evolutionstheorie des menschlichen Geistes, die es gestatten würde, generelle Vorhersagen über menschliches Verhalten zu machen, nicht gibt und momentan – trotz vieler Fortschritte – eine solche auch nicht in nächster Zeit in Aussicht steht. Wohl aber lassen sich mithilfe des Evolutionsbegriffs Grenzen der Beherrschbarkeit bzw. Beschreibbarkeit evolutionärer Prozesse angeben, die weitgehend auch auf viele Prozesse der Genese kognitiver oder kultureller Leistungen übertragbar sind. Das skizzierte Evolutionsmodell ist eine Metapher für schöpferische, geistige Prozesse, in denen Produkte hervorgebracht werden, die wiederum selbst die weiteren Prozesse beeinflussen.¹⁹ Entscheidend ist, dass die Prozesse selbst nicht in dem Sinne gestaltbar sind, dass man durch entsprechende Maßnahmen ein bestimmtes Ergebnis vorhersagen oder erzwingen könnte. Wenn evolutionäre Prozesse aber nicht gestaltbar sind, dann kann man nur die Umgebung gestalten, in der sie ablaufen, und darüber versuchen, einen Einfluss insofern auszuüben, als einige Ereignisse wahrscheinlicher werden als andere.

Differenzerfahrung und externes Gedächtnis

Ausgangspunkt der weiteren Überlegungen ist der Satz: Das Denken findet nicht im Kopf, sondern mit dem Kopf statt. Nur im Kopf, also ohne Bezug auf sinnlich wahrnehmbare Tatbestände, kann kein Wissen verarbeitet werden, weil es nicht möglich ist, Gedachtes und Tatsächliches gegeneinander (Juxtaposition) zu stellen. Jeder Versuch, durch eine rein gedankliche Aktivität etwas auf seinen Realitätsgehalt zu überprüfen, ist zum Scheitern verurteilt, weil ja die entsprechende Reaktion oder Konsequenz wiederum mental geschaffen wird und somit nur das ausdrücken kann, was der eigenen Vorstellung entspricht. Dadurch ist es nicht möglich, Differenzerfahrungen zu machen, also

¹⁸ Vgl. hierzu Reinhard Keil-Slawik, „Das kognitive Perpetuum mobile“, in: Gotthard Bechmann/Werner Rammert (Hg.), *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 5: Computer, Medien, Gesellschaft*, Frankfurt/M., 1989, S. 105-125.

¹⁹ Vgl. hierzu den Begriff der Praxen bei Hartmut Winkler, *Docuverse. Zur Medientheorie der Computer*, München, 1997.

eine Diskrepanz zwischen Vorstellung und Realität festzustellen. Ohne Differenzenerfahrung kann man aber Vorstellungen über die Welt weder bestätigen noch widerlegen, denn die Unterscheidung zwischen Illusion und Wirklichkeit ist nach J. J. Gibson²⁰ nur möglich, wenn man durch Handeln neue Informationen gewinnt; über einen nur vorgestellten Gegenstand kann man keine neuen Informationen gewinnen. Differenzenerfahrung ist somit die Voraussetzung für Wissen und Gewissheit.

Entscheidend ist also, dass die Umwelt zu uns spricht, indem die über sie vermittelten Sinneseindrücke unabhängig von unseren Vorstellungen oder Absichten sind. Das gilt für den Umstand, dass wir z. B. durch den Wechsel der Blickrichtung oder durch Abtasten unterschiedliche Bereiche wahrnehmen und diese Unterschiede mit unseren Bewegungen und Erwartungen abgleichen (*Perspektivwechsel*). Eine weitere Form der Differenzenerfahrung besteht darin, ein manipulierbares physisches Arrangement zu schaffen, in dem Umweltänderungen, die unabhängig von unseren Handlungen erfolgen – z. B. durch Einwirken der Schwerkraft –, mit unserem Handeln und unseren Erwartungen abgeglichen werden (*Konstruktion*). Experimentelle Arrangements in den Naturwissenschaften verkörpern beispielsweise solche Konstruktionen. Schließlich gilt es noch, Formalismen zu betrachten, denn wenn ein Phänomen oder Sachverhalt einmal formal modelliert worden ist, dann hängen alle Operationen, Berechnungsschritte oder logischen Ableitungen nur noch von der Form und Anordnung des Kalküls ab, so dass das erzielte Ergebnis unabhängig vom erwarteten Resultat ist (*Formalisierung*). Die weitaus reichhaltigste, letztlich kulturell entscheidende und alle anderen Arten umfassende Form der Differenzenerfahrung besteht im Austausch mit anderen Personen, die aufgrund ihrer je eigenen Genese und Verständnisbildung auch eigenständig agieren (*soziale Interaktion*).

Differenzenerfahrung steht somit im Kern aller Wissensarbeit, wobei festzuhalten ist, dass unsere geistigen Kapazitäten recht begrenzt sind. Nur mit direkter Kommunikation und unserem Gedächtnis ist es nicht möglich, komplexe arbeitsteilige Gesellschaften aufzubauen. Entscheidend für unsere kulturelle Entwicklung sind Zeichensysteme, die den Prozess der Erzeugung und Rezeption überdauern (*Persistenz*), wie z. B. Bild und Schrift. Unter Zuhilfenahme geeigneter Transportmittel erlauben sie es, sich auf das, wofür sie stehen, unabhängig vom Zeitpunkt und Ort ihrer Erzeugung zu beziehen. Persistente Zeichen brauchen einen Träger, sind also physische Artefakte, die ein externes Gedächtnis verkörpern. Zusammen mit den Techniken ihrer Erzeugung, Übertragung, Vervielfältigung, Speicherung etc. verkörpern sie technische Medien, die die Möglichkeiten des Menschen zur Differenzenerfahrung erweitern; sie fungieren gewissermaßen als Denkzeug. Sie bilden die entschei-

²⁰ James Jerome Gibson, *Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung*, München, 1982.

dende Voraussetzung zur Entfaltung von Handel und kultureller Identität im großen Maßstab.²¹

Nicht die genetische Ausstattung des Menschen hat sich in den letzten zigtausenden von Jahren geändert, sondern vor allem die von ihm entwickelten Ausdrucksmittel.²²

Ohne physische Hilfsmittel, wie beispielsweise Stift und Papier oder Rechengерäte, beschränkt sich die Fähigkeit eines Durchschnittsmenschen auf einfache Additions- oder Multiplikationsaufgaben. Schon wenn man mehr als zwei bis drei Zwischenergebnisse zusätzlich im Kopf behalten muss, ist man im Alltag nicht mehr in der Lage, verlässlich zu rechnen. Selbst wenn eine Person mit außergewöhnlichen kognitiven Fähigkeiten dabei wäre, die es könnte, könnten ihr die anderen nicht folgen und damit ihre Leistung weder überprüfen noch würdigen. Grundpfeiler der wissenschaftlichen Methodik wie Messbarkeit, Überprüfbarkeit, Wiederholbarkeit etc. wären ebenfalls als rein gedankliche Vorrichtungen wenig geeignet, den organisierten Prozess des Wissenschaffens zur Entfaltung zu bringen.

Wissen, Konstruieren, Verwalten haben bezüglich der technischen Unterstützungsfunktionen die gleichen Wurzeln bzw. Grundlagen. Nicht umsonst werden sie in unseren heutigen Computersystemen zunehmend zusammengeführt. Schriftliche Repräsentationen sind dabei die entscheidende Voraussetzung, um Erkenntnis-, Lern-, Konstruktions- und Verwaltungsprozesse arbeitsteilig gestalten zu können. Arbeitsteiliges Handeln setzt aber immer die Einbettung in einen sozialen Zusammenhang voraus, in dessen Rahmen die Relevanz des jeweils Repräsentierten bewertet und dadurch bedeutsam wird.

Soziale Interaktion ist durch ein hohes Maß an Flexibilität gekennzeichnet.²³ Diese ist auch erforderlich, denn solange ein Problem noch nicht geistig abschließend durchdrungen ist, müssen durch immer wieder neue Variationen Möglichkeiten für Erfahrungen geschaffen werden und zwar so lange, bis sich wiederholte Bestätigungen zur Gewissheit verdichten. Dabei ist es insbesondere auch erforderlich, Fehler machen zu können und zumindest gedanklich Grenzen zu durchbrechen, um zu verstehen, was etwas ist und was es nicht ist. Ohne soziale Einbettung kein Verständnis und kein Wissen, denn wie Habermas feststellt:

²¹ Vgl. hierzu Jan Assmann, *Das kulturelle Gedächtnis: Schrift, Erinnerung und politische Identität in frühen Hochkulturen*, München, 1992; Michael Giesecke, *Sinnenwandel, Sprachwandel, Kulturwandel: Studien zur Vorgeschichte der Informationsgesellschaft*, Frankfurt/M., 1992 sowie Peter Damerow/Wolfgang Lefèvre (Hg.), *Rechenstein – Experiment – Sprache. Historische Fallstudien zur Entstehung der exakten Wissenschaften*, Stuttgart, 1981.

²² André Leroi-Gourhan, *Hand und Wort. Die Evolution von Technik, Sprache und Kunst*, Frankfurt/M., 1988.

²³ Vgl. dazu auch das Konzept der doppelten Kontingenz in Tilmann Sutter, „Interaktivität‘ neuer Medien – Illusion und Wirklichkeit aus der Sicht einer soziologischen Kommunikationsanalyse“, in: Herbert Willems (Hg.), *Weltweite Welten. Internetfigurationen aus wissenssoziologischer Perspektive*, Wiesbaden, 2008, S. 57-73.

[M]it der Analyse des Begriffs „einer Regel folgen“ führt Wittgenstein den Nachweis, dass die Identität von Bedeutungen auf die Fähigkeit zurückgeht, intersubjektiv geltenden Regeln zusammen mit mindestens einem weiteren Subjekt zu folgen; dabei müssen beide über die Kompetenz sowohl zu regelgeleitetem Verhalten wie auch zur kritischen Beurteilung dieses Verhaltens verfügen. Ein vereinzelt und einsames Subjekt, das zudem nur über eine der genannten Kompetenzen verfügt, kann das Konzept der Regel so wenig ausbilden wie Symbole bedeutungsidentisch verwenden.²⁴

Eine dynamische Interaktion zwischen Menschen ermöglicht es, verständnisvoll und einfühlsam auf die jeweils aktuelle Problemlage einzugehen, hat aber den Nachteil mangelnder Dauerhaftigkeit (Persistenz). Äußerungen sind so schnell verflogen, wie sie kommen, und sind damit der Wahrnehmung zu einem späteren Zeitpunkt oder an einem anderen Ort nicht mehr zugänglich, es sei denn, man verwendet eine Aufzeichnungstechnik oder notiert Zwischenergebnisse symbolisch. Dynamische Interaktion und Persistenz stehen im Gegensatz zueinander. Dieser Gegensatz wird durch Technik verschärft.



1 – Abakus versus schriftliches Rechnen

Das wird deutlich, wenn man sich den Streit zwischen dem „Rechnen auf Linien“ (analog zum Abakus) und dem schriftlichen Rechnen mit arabischen Ziffern vor Augen hält (vgl. Abbildung 1). Ersteres war in Mitteleuropa bis zum 15. Jahrhundert gängig, weil das Rechnen mit römischen Zahlzeichen massive Probleme bereitet. Deshalb werden Rechenpfennige auf Linien mit

²⁴ Jürgen Habermas, *Theorie des kommunikativen Handelns*, Band 1 und 2, Frankfurt/M., 1982, S. 34.

entsprechender Wertigkeit (Einer, Zehner, Hunderter etc.) gelegt und durch Hinzulegen bzw. Wegnehmen einer entsprechenden Anzahl von Pfennigen Additionen und Subtraktionen ausgeführt. Dieses Verfahren wurde später durch das arabische Ziffernrechnen ersetzt, das sich aufgrund seiner Vorteile über die Mauren von Südspanien allmählich nach Mitteleuropa ausbreitete.

Beim schriftlichen Rechnen bleibt die Spur des Rechenprozesses erhalten. Will man ein mit dem Abakus oder dem Rechenbrett erzielt Ergebnis überprüfen, muss man einen Medienwechsel vollziehen, um das Ergebnis zu notieren, und dann den gesamten Rechenprozess so oft wiederholen, bis der Vergleich mit den jeweils notierten Ergebnissen einen entsprechenden Grad an Übereinstimmung aufweist. Dieser Prozess lässt sich nicht abkürzen und auch nicht aufteilen. Im Gegensatz dazu kann man beim schriftlichen Rechnen Teilergebnisse unabhängig voneinander überprüfen, weil alle Zwischenergebnisse aufgezeichnet sind. Diese Unabhängigkeit ist zugleich der Schlüssel für die Aufteilung des Berechnungsverfahrens auf verschiedene Rechner. Und es können jetzt unterschiedliche Rechenspuren gleichzeitig ins Wahrnehmungsfeld gebracht werden, eine wesentliche Voraussetzung, um Invarianten in den Rechenspuren erkennen zu können. Die Verschmelzung von Rechnen und Aufzeichnen in ein und demselben Medium markiert zugleich den Übergang von der Arithmetik zur Algebra.

Überprüfbarkeit, Übertragbarkeit und Arbeitsteiligkeit sind entscheidende Momente, warum sich das schriftliche Rechnen letztlich durchsetzte, denn die Entdeckung neuer Kontinente und damit einhergehend die Entfaltung des Handelskapitals erforderten umfangreiche Berechnungen für nautische Tabellen ebenso wie für geschäftliche Transaktionen und diese mussten zugleich effektiv aufgezeichnet und übermittelt werden. Allerdings ist der Preis für die Verschriftlichung vergleichsweise hoch, doch wird dieser Umstand erst im Zuge der Entwicklung digitaler Medien bzw. präziser digitaler Einschreibetechnologien deutlich, weil es bis dahin keine mediale Alternative gab.

Mediarenen als Differenztheater

Technisch betrachtet sind Schriften Inschriften. Zeichen werden in ein Trägermaterial eingeschrieben bzw. aufgezeichnet. Analoge Aufzeichnungstechnologien haben allesamt den Nachteil, dass ein Zeichen, einmal eingeschrieben, nicht mehr manipulierbar ist. Mit technischen Mitteln ist immer nur der Träger bearbeitbar, nicht aber das Zeichen selbst, zumindest nicht als eigenständiges Objekt. Insofern lassen sich z. B. Zeichen radieren oder wegkratzen, aber dies ist letztlich nichts anderes als eine neue Einschreibung durch Überlagerung. Die technischen Bearbeitungsfunktionen finden nicht auf der Gegenstands-, Objekt- oder Inhaltsebene statt, sondern auf Ebene des Trägermaterials, das z. B. mit physischen (Schnitt), chemischen (Filmentwicklung) oder magnetischen (Tonbandaufzeichnung) Verfahren traktiert wird. Analoge Aufzeich-

nungstechnologien führen somit zwangsläufig zu einer Art medialer Einbahnstraße. Produzenten bzw. Autoren legen mit ihren Einschreibungen im Kontext des jeweiligen medialen Produkts die Wahrnehmungsstruktur fest. Was an verschiedenen Orten steht, kann u. U. nicht gleichzeitig ins Wahrnehmungsfeld gebracht werden.

Responsive Funktionen dagegen gestatten es den Nutzern, Einschreibungen nach eigenen Vorstellungen auszuwerten und ein entsprechendes Wahrnehmungsfeld zu kreieren, indem sie sich beispielsweise eine Liste aller Webseiten anzeigen lassen, in denen ein bestimmtes Stichwort enthalten ist. Durch das Auswerten wird generell das Wahrnehmungsfeld modifiziert, um bestimmte Differenzerfahrungen zu ermöglichen, beispielsweise durch eine Selektion (Datenbankabfrage), eine numerische Berechnung (Funktionswert), die Umwandlung verschiedener Codierungen (z. B. Visualisierung), das Ordnen von Entitäten (Sortieren) oder das Auszeichnen (z. B. Unterschlingeln eines Worts bei der Rechtschreibkontrolle). Solche Restrukturierungen des Wahrnehmungsfelds erfordern mit analogen Aufzeichnungstechnologien aufgrund der vielen damit verbundenen Neueinschreibungsprozesse oft einen zu hohen Aufwand, um produktiv wirksam werden zu können oder um eine neue Qualität der Differenzerfahrung zu ermöglichen. Ein Medienbruch ist dann gegeben, wenn Neueinschreibungen erforderlich sind, die dem kognitiven Prozess der Differenzerfahrung im Wege stehen.

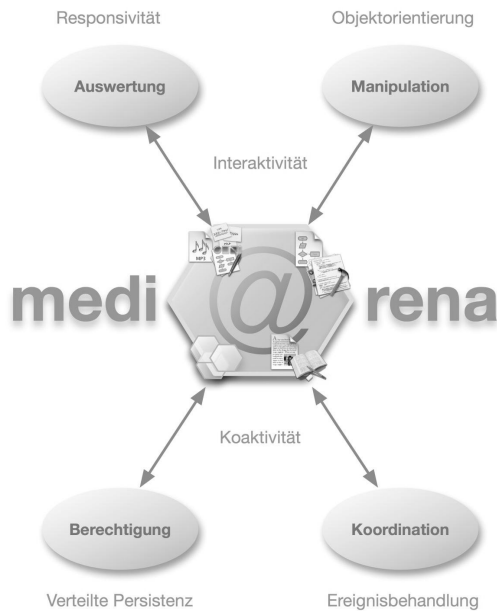
Dies gilt auch für die Strukturierung des Handlungsfelds. Zeichen, einmal mit analogen Techniken eingeschrieben, können durch die Nutzer nicht mehr arrangiert, d. h. physisch manipuliert werden. Die Möglichkeit, Zeichen am Bildschirm manipulieren zu können, erfordert Algorithmen, die es den Nutzern gestatten, Basiseinheiten der internen Repräsentation (z. B. Pixel, abgeleitet von engl. „picture elements“) als aggregierte Entitäten (Objekt) mit einer einzigen Operation zu manipulieren, d. h. ihre Eigenschaften (Position, Farbe, Größe etc.) zu verändern. Objektorientierung bedeutet in der Informatik, dass man nicht nur die Attribute eines festgelegten Objekts ändern kann, sondern vor allem auch, dass man sowohl vorhandene Objekte zu neuen Objekten zusammenfassen als auch Objekte wieder in Teilobjekte zerlegen kann. So ist es möglich, einen einzelnen Bildpunkt, eine Reihe von Bildpunkten (Linie), ein Aggregat von Linien (Figur) usw. jeweils zu manipulieren.

Hinter dem Konzept der Interaktivität – so vielfältig und unterschiedlich es auch in der Literatur definiert wird – stecken letztlich die beiden Qualitäten der Responsivität und der Objektorientierung. Ein Kreis kann z. B. durch die Eingabe zweier Zahlenwerte wie Mittelpunkt und Radius auf einer Fläche generiert werden (Auswertung). Objektorientierung aber gestattet es, einen Kreis durch „direkte Manipulation“²⁵ mit einem Zeigegerät aufzuspannen, ihn zu be-

²⁵ Der Begriff wurde von Ben Shneiderman geprägt, um die neue Qualität grafischer Benutzungsoberflächen zu charakterisieren. Wesentliche Aspekte sind die kontinuierliche Sichtbarkeit der Objekte, die Ersetzung komplexer syntaktischer Befehle durch physisches Zeigen

wegen oder zu vergrößern etc. (Manipulation). Natürlich braucht es die Verzahnung beider Qualitäten, um flüssig arbeiten zu können, denn dem Vorteil der leichten Manipulierbarkeit steht z. B. der Nachteil einer exakten Positionierung gegenüber. Analog ist es mal vorteilhafter, eine Farbe aus dem Farbkreis durch Klicken mit der Maus auszuwählen, ein anderes Mal wird z. B. der genaue RGB-Wert gewünscht. Entscheidend ist, dass sich sowohl responsive als auch objektorientierte Funktionen auf dasselbe (Daten-)Objekt beziehen können, also auch hier Medienbrüche reduziert werden, die mit analogen Einschreibtechnologien verbunden sind. Das Objekt der Wahrnehmung kann zugleich zum Objekt der Manipulation werden.

Interaktivität ist somit eine entscheidende Qualität digitaler Einschreibtechniken, die es den Nutzern gestattet, unabhängig von zuvor eingeschriebenen Medienobjekten, den Wahrnehmungs- und Handlungsraum gemäß den eigenen Erfordernissen zur Differenzierung zu gestalten. Zum ersten Mal in unserer Kulturgeschichte ist es möglich, ein persistentes, d. h. durch Einschreibung erzeugtes Objekt zugleich zum Objekt der Manipulation zu machen. Das Konzept der Mediarena (siehe Abbildung 2) steht für unterschiedliche technische Ausprägungen von Räumen, in denen persistente Medienobjekte nicht nur wahrgenommen, sondern zugleich auch manipuliert werden können.



2 – Media-Arena als Aufführungsort für Wissensarbeit

und Manipulieren und die Ausführung schneller inkrementeller und reversibler Aktionen mit unmittelbarer Rückmeldung. Ders., „Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages“, in: *IEEE Computer* 16, 8 (1983), S. 57-69.

Neben den unterschiedlichen Ausprägungen von Interaktivität als Verschmelzung von Handlungs- und Wahrnehmungsraum in der individuellen Nutzung gilt es aber noch eine zweite, soziale Dimension zu betrachten, die ich nachfolgend mit dem Begriff der Koaktivität bezeichnen will. Auch hier geht es um zwei grundlegende Qualitäten digitaler Einschreibtechnologien, die ich mit dem Begriff der „verteilten Persistenz“ und der Ereignisbehandlung umreißen will und die weitere Medienbrüche analoger Einschreibtechnologien aufheben. Der entscheidende Punkt ist, dass die Verschmelzung von Wahrnehmungs- und Handlungsraum nicht mehr auf einen Ort und auf einen Zeitpunkt beschränkt ist. Der Zugriff auf entfernte Objekte und ihre Modifizierung erfolgt aufgrund der Schnelligkeit des Datentransports unterhalb der Wahrnehmungsschwelle, weshalb es mit einer durchgängigen Vernetzung möglich ist, verteilte Speicherorte für persistente Medienobjekte bezüglich der Bearbeitung ihrer Inhalte wie einen einzigen Speicher zu betrachten.

Bei analogen Einschreibtechnologien und nicht vernetzten Rechnern sind die Berechtigungen zum Lesen und Bearbeiten von Medienobjekten unmittelbar mit den physischen Produktionsprozessen und an die Zugangsgeräte gekoppelt. In dem Maße, in dem die Berechtigungen zum Betrachten oder Verändern, Verknüpfen oder Bewerten von den Produktions- und Zugangstechniken entkoppelt sind, müssen differenzierte Berechtigungen vergeben werden, um z. B. die Authentizität von Medienobjekten sicherstellen zu können. Die von Ted Nelson bereits in den 60er Jahren konzipierte weltweite Bibliothek Xanadu kann – obwohl sie bis heute noch ein Entwicklungsprojekt ist²⁶ – hier als exemplarisches Vorbild dienen. Nelson hatte den Begriff Hypertext geprägt und ihn als *nicht sequenzielles Schreiben* definiert. Ein Lexikon als Vorläufer von Hypertext ist insofern irreführend, als hier bereits alle Verweise von den Autoren zusammen mit dem Inhalt eingeschrieben sind, jede Veränderung daran also die Authentizität des Dokuments verletzen würde.²⁷ Erst wenn beispielsweise ein Dokument und ein Verweis auf selbiges getrennte Objekte sind, die mit jeweils unterschiedlichen Berechtigungen versehen werden können, ist es möglich, private und öffentliche Links an einem Dokument anzubringen, für das man selbst keine Schreibrechte hat. Ein durch die Qualität der verteilten Persistenz ermöglichter gemeinsamer Wahrnehmungs- und Handlungsraum, in dem fremde und eigene Objekte betrachtet und modifiziert werden, braucht die Möglichkeit, differenzierte Berechtigungen objektbezogen zu vergeben, denn nur so kann die Sphäre des technisch Medialen unabhängig von den Einschreibungen der Softwareentwickler gemäß den Vorstellungen der beteiligten Akteure bzw. Nutzer gestaltet werden.

²⁶ Theodor H. Nelson prägte den Begriff „Hypertext“. Siehe hierzu die Webseite des Projekts: <http://www.xanadu.net/>.

²⁷ Theodor H. Nelson, „Replacing the Printed Word: A Complete Literary System“, in: Simon H. Lavington (Hg.), *Information Processing 80, Proceedings of IFIP Congress 80, Tokyo, Japan, Oktober 6-8, 1980, Melbourne, Australia, Oktober 14 - 17, 1980*, Amsterdam (u. a.), 1980, S. 1013-1023.

Eine weitere entscheidende Qualität ist mit der Ereignissteuerung gegeben. Sie ist Voraussetzung für die Koordination gemeinsamer Aktivitäten, sei es implizit über die Bereitstellung von Gewärtigkeitsinformationen (*Awareness*) oder explizit über die Steuerung von Bearbeitungsschritten (*Workflows*). Bei der Gewärtigkeit geht es darum, das Zusammenwirken von Akteuren dadurch zu unterstützen, dass sie z. B. angezeigt bekommen, wenn andere online sind und was sie tun, welche Objekte verändert worden sind oder ob neue Medienobjekte eingestellt wurden. D. h., Aktionen eines Akteurs lösen Ereignisse aus, die dazu führen, dass die entsprechenden Tatbestände zugleich an alle anderen Akteure übermittelt werden. Dies gilt auch, wenn zu bestimmten Zeitpunkten oder zu festgelegten Ereignissen bzw. Bedingungen Vorgänge angestoßen werden, wie z. B. das Sperren oder Freigeben von Ressourcen, das Versenden einer Nachricht oder auch die sequenzielle Kopplung verschiedener Handlungen.

Gewärtigkeit ermöglicht die Anschlussfähigkeit von verteilten Handlungen durch die Schaffung eines gemeinsamen Wahrnehmungs- und Handlungsraums. Ob dies zeitgleich (synchron) oder versetzt (asynchron) geschieht, ist vom technischen Grundkonzept her sekundär, denn eine durchgängige Vernetzung ermöglicht nebenläufige Prozesse, bei denen Zeitgleichheit ein inhärenter Spezialfall ist, der nur durch Unterbrechungen, mangelnde Übertragungskapazitäten oder die Nutzung eines verbindungslosen Protokolls (z. B. http) ausgeschlossen wird.

Entscheidend ist, dass die Einschreibungen jeweils im gemeinsam geteilten Raum an gemeinsam genutzten Objekten stattfinden. Es gibt eine unübersehbare Fülle unterschiedlicher Konstellationen solcher Einschreibungen, die je nach Anwendungssituation als Kommunikation, Koordination, Kooperation, Kollaboration, Konsultation etc. bezeichnet werden. Da diese Begriffe selbst sehr unterschiedlich definiert werden und sie dadurch schwer voneinander abgrenzbar sind, sollen die durch die Qualitäten der verteilten Persistenz und der Ereignisbehandlung eröffneten Handlungsmöglichkeiten unter dem Begriff der Koaktivität zusammengefasst werden.

Das Konzept der Mediarena soll verdeutlichen, welches die grundlegenden technischen Qualitäten sind, die es gestatten, technisch bedingte Hindernisse zu beseitigen, die der Differenzerfahrung im Wege stehen. Zugleich verdeutlichen die Handlungsbereiche Auswertung, Objektorientierung, Berechtigung und Koordination, welche Möglichkeiten Nutzern zur Ausgestaltung spezifischer Nutzungsszenarien seitens der Systementwickler eröffnet werden können. In einer Mediarena steht die koaktive Inszenierung medialer Ausdrucksformen im Vordergrund, nicht die technisch bedingte Einbahnstraße von Produktion/Einschreibung, Übertragung/Transport und Rezeption. Dahinter steckt die Vorstellung, dass – soweit möglich – die Formen und Konstellationen der Mediennutzung durch die Akteure bestimmt werden sollten und nicht durch die Einschreibungen von Softwareentwicklern. Die Reduzierung von Medienbrüchen ist eine entscheidende Voraussetzung, damit unnötige Übergänge, be-

dingt durch verschiedene Codierungen, Anwendungsformate oder Trägersysteme, der jeweiligen Differenzerfahrung nicht im Wege stehen, weil sie den Akteuren unnötige bewusstseinspflichtige Handlungen aufnötigen. Natürlich ist nicht zu erwarten, dass sich Medienbrüche grundsätzlich auflösen lassen, da jede Gestaltung eines hinreichend komplexen technischen Systems mit vielen Designkonflikten behaftet ist. Diese entstehen immer dort, wo berechnete Anforderungen nur auf Kosten anderer, gleichermaßen berechtigter Anforderungen umgesetzt werden können. Das gilt auch schon für traditionelle Einschreibtechnologien.

Moderationstechniken beispielsweise bauen darauf, Konzepte und Ideen verteilt zu kreieren, dann aber zusammenzuführen und gemeinsam zu bearbeiten. Aus Karten, Stiften, Pinnwänden und Tafeln entsteht ein gemeinsamer Wahrnehmungs- und Handlungsraum, in dem Strukturen kooperativ erzeugt, modifiziert, arrangiert und annotiert werden. Das Problem traditioneller Medientechniken ist jedoch, dass die Räume, in denen diese kooperativen Prozesse stattfinden, leer vorgefunden und nach einer Sitzung wieder entsprechend *aufgeräumt* werden müssen. Das mediale Arrangement kann allerdings aufgrund des damit verbundenen hohen Aufwands selten mitgenommen und woanders rekonstruiert werden. Mit einem (digitalen) Foto kann man zwar das Wissensarrangement einfrieren, es multiplizieren, verteilen etc., aber eine weitere Bearbeitung ist auch bei einem digitalen Foto nicht möglich, weil es zwar digital codiert, aber mit einer analogen Einschreibtechnik aufgezeichnet wird (CCD-Sensor).²⁸ Ein durchgängiger persistenter Wahrnehmungs- und zugleich Handlungsraum kann auf diese Weise nicht entstehen, es sei denn, der Raum steht zur exklusiven Nutzung zur Verfügung.

Das Konzept der Mediarena soll hier neue Dimensionen in der Verknüpfung und Ausgestaltung koaktiver Wissensarbeit eröffnen, indem es die selbst administrierte Bearbeitung und Verwaltung von Wissensobjekten in virtuellen Räumen betont. Nicht die Antizipation und technische Implementierung semantischer Strukturen oder die Modellierung selbstorganisierender Prozesse stehen hier im Vordergrund der Betrachtung, sondern die Frage, wie durch Technikgestaltung Hindernisse aus dem Weg geräumt werden können, die die Entfaltung der Selbstorganisation be- oder gar verhindern.²⁹

²⁸ Dies würde sich erst ändern, wenn bei der Aufnahme durch Bildanalysealgorithmen eine Zerlegung in manipulierbare, d. h. getrennt bearbeitbare Objekte erfolgen würde. Ein Digitalfoto ist – ebenso wie z. B. eine Musik-CD – in diesem Sinne noch kein digitales Medium, sondern nur eine digitale Codierung eines analogen Einschreibprozesses.

²⁹ Beispielsweise kommt Sabrina Geißler, *Mediale Destillation als innovative Qualität sozialer Software*, Dissertation: Universität Paderborn, Fakultät für Kulturwissenschaften, Institut für Medienwissenschaft, 2008, urn:nbn:de:hbz:466-20080715018, online unter: http://ubdok.uni-paderborn.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-6860/Diss_Geissler.pdf, zu dem Schluss, dass erst durch die bessere Überlagerung von Handlungs- und Wahrnehmungsraum auch im Netz ein Qualitätswandel von der Aggregation zur medialen Destillation bei verteilten koaktiven Schreibprozessen möglich ist.

Eine prospektive Gestaltung kann – wie bei jedem Gestaltungsprozess³⁰ – letztlich nur über die Reduktion von Unangepasstheiten auf der Produktebene erfolgen, denn die kreative Innovation unterliegt selbst den Randbedingungen selbstorganisierender Prozesse, die nicht vorschreibbar oder vorhersehbar sind. Nur im Nachhinein ist es möglich, Verhaltensmuster zu identifizieren, die sich im Rahmen dieser Prozesse stabilisiert haben, und daraus klare Unterstützungsfunktionen abzuleiten. Allerdings macht es wenig Sinn, blind bestimmte technische Konstellationen zu realisieren, um zu schauen, ob sie Anlass zur Ausprägung neuer Handlungsschemata oder Automatismen sind. Ein solcher passiver Filterprozess wäre wie in fast allen evolutionären Prozessen insgesamt nicht produktiv. Es gilt aus Erfahrungen zu lernen und ähnlich dem Prinzip der vorausschauenden Selektion sollte eine hypothesengeleitete Technikentwicklung helfen, den Suchraum für produktive Innovationen einzuschränken bzw. den Entwicklern eine Richtung zu geben und zugleich anschlussfähige Konzepte für den interdisziplinären Diskurs zu bieten.

Insofern lautet die Kernhypothese, dass das wesentliche Innovationspotenzial elektronischer Datenverarbeitung und damit auch digitaler Medien in dem hier beschriebenen Sinn darauf beruht,

- Medienbrüche zu reduzieren und dadurch mentale Kapazitäten für die eigentlichen Aufgaben und Lernprozesse freizusetzen und darüber zugleich
- neue Möglichkeiten zur Differenzenerfahrung durch eine bessere Verknüpfung von Handlungs- und Wahrnehmungsraum zu eröffnen.

Im Sinne der eingangs besprochenen Produkt-Prozess-Komplementarität stellt das hier skizzierte Konzept der Mediarena insofern einen Fortschritt dar, als sie es den selbstorganisierenden Prozessen der sozialen und individuellen Differenzenerfahrung ermöglicht, die Granularität, Verknüpfung, Verteilung, Bearbeitung, Lokalisierung, Platzierung etc. von Medienobjekten unabhängig von den Einschreibvorgängen ihrer Erzeugung zu gestalten. Das technische System verkörpert gewissermaßen eine Arena für Aufführungen des Geistes, deren Ablauf, Dramaturgie und Gestaltung den Akteuren selbst überlassen bleibt und nicht den Architekten des Aufführungsorts übertragen wird bzw. werden sollte. Diese Sicht ist anschlussfähig zum Konzept der *zurückhaltenden Technik* von Werner Sesink³¹ und zielt darauf, im Sinne der Produkt-Prozess-Kom-

³⁰ Vgl. hierzu die grundlegenden Betrachtungen in Christopher Alexander, *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, MA, 1964 sowie den später von ihm entwickelten Ansatz einer „Pattern Language“ zur Gestaltung (ders./Sara Ishikawa/Murray Silverstein, *A Pattern Language. Towns Buildings Construction*, New York, 1977 sowie ders., *The Timeless Way of Building*, New York, 1979).

³¹ Siehe hierzu Werner Sesink, „Poietische und zurückhaltende Technik oder Vom Bildungsgelhalt des Computers. Umriss eines informationspädagogischen Konzepts“, in: Reinhard Keil-Slawik/Johannes Magenheim (Hg.), *Informatikunterricht und Medienbildung. Infos 2001. 9. GI-Fachtagung Informatik und Schule 17.-20. September 2001 in Paderborn*, Bonn, 2001, S. 31-45 sowie den Beitrag von Alexander Unger, „Umgebungsanalyse – Nachhaltige Gestaltung von virtuellen Lernumgebungen“, in: Werner Sesink (Hg.), *Subjekt – Raum – Technik. Beiträge zur Theorie und Gestaltung Neuer Medien in der Bildung*, Münster, 2006, S. 91-117.

plementarität Unterstützungsfunktionen für selbst organisiertes Verhalten zu identifizieren, ohne den Prozess der Selbstorganisation selbst zum Modellierungsgegenstand erheben zu müssen.

Ausblick

Bei der Entwicklung eines theoretischen Rahmens zur Bestimmung von Gebrauchsqualitäten von Software steht nicht die Modellierung kognitiver oder semantischer Strukturen als (formales) Produkt im Vordergrund, sondern die Frage, wie Prozesse, die solche Strukturen hervorbringen und die von ihrer Natur her evolutionären Charakter haben, durch Technik unterstützt werden können. Das heißt, das in soziale Systeme eingebettete menschliche, interpretierende Bewusstsein wird von seiner Natur her als selbstorganisierend im Sinne biologischer Informationsverarbeitung betrachtet. Wenn also Differenzerfahrung als selbstorganisierender Prozess unterstützt werden soll, so geht dies letztlich nur über die Gestaltung der Umwelt, in der sich diese Prozesse vollziehen.

Dieser Ansatz betont die Einbettung menschlichen Denkens in eine körperlich vermittelte Umwelt, in der Instrumente und symbolische Artefakte ebenso wie Formalismen und Computer als Medien der erweiterten Differenzerfahrung dienen. Produkt-Prozess-Komplementarität verweist darauf, dass Technik und Selbstorganisation nicht Gegensätze sind, sondern beide sich wechselseitig bedingende Sichten bzw. Perspektiven verkörpern. Formalismen und damit auch Softwaresysteme ermöglichen einerseits Formen der Differenzerfahrung, die ohne sie nicht oder nur mit erheblichem Aufwand möglich wären. Auf der anderen Seite kann man menschliches Verhalten nur dort adäquat modellieren und durch Technik ersetzen, wo es nicht mehr selbstorganisierenden Charakter hat, sich also alle relevanten Verhaltensmomente letztlich befriedigend auf physische Änderungen in der Umwelt, in der sich das Handeln vollzieht, zurückführen lassen.

In diesem Fall hat man es mit lokalen Automatismen zu tun, bei denen die Randbedingungen der Situation und die auslösenden Momente ein quasi automatisch ablaufendes Verhalten bewirken. Automatismen dienen der kognitiven Entlastung ebenso wie der Reduzierung sozialer Komplexität, denn ihre Steuerung ist nicht bewusstseinspflichtig. Medienbrüche dagegen erzwingen bewusste Hinwendung, binden Aufmerksamkeit und Energie. Die Arbeitswissenschaft betrachtet den damit verbundenen Aufwand als belastendes Regulationshindernis und nicht als persönlichkeitsförderliches Regulationserfordernis, denn sie steht der jeweiligen Zielerreichung im Wege.³²

³² Als Regulationshindernisse werden handlungserschwerende Bedingungen bezeichnet, die zielgerichtetes Handeln erschweren, Stress erzeugen und zu psychischen Belastungen führen.

Der Abbau solcher Regulationshindernisse ist eine wichtige Voraussetzung für neue Differenzerfahrungen und damit für die Ausprägung neuer Automatismen. Im Sinne einer Handlungs-Regulations-Theorie³³ betrachte ich Automatismen nicht wie im medizinischen Bereich als unwillentlich ausgelöste oder nicht willentlich steuerbare Handlungen, sondern als Handlungssequenzen, die einschließlich ihrer Regulationserfordernisse quasi zu einer Elementarhandlung verschmolzen wurden. Die damit gewonnene kognitive Entlastung kann ebenso wie die Reduzierung von Medienbrüchen für neue Differenzerfahrungen genutzt werden. Das funktioniert jedoch nur, wenn die Automatismen je nach individueller Konstitution, Erfahrung, Wissen etc. selbstorganisiert ausgeprägt werden können. Zwar kann man sie von außen anregen, doch ebenso wenig wie man jemanden für sich lernen lassen kann, kann man Automatismen weitergeben oder aufnehmen – das handelnde Subjekt muss sie ausprägen. Automatismen als geronnene Handlungsstrukturen können somit nicht wie mediale Objekt- und Funktionsstrukturen in die Produktkategorie gefasst werden.

Die grundlegende Hypothese lautet jedoch, dass über den Abbau von Regulationshindernissen, durch die Reduzierung von Medienbrüchen der Aufbau von Automatismen erleichtert wird. Das Konzept der Mediarena verdeutlicht, unter welchen Rahmenbedingungen und technischen Grundlagen mittels digitaler Medien Medienbrüche reduziert und damit neue Handlungsperspektiven eröffnet werden können. Welche Funktionen im Speziellen und welche Konfigurationen in einer Mediarena im Allgemeinen sich dabei als besonders brauchbar erweisen werden, ist nicht vorhersehbar. Mediarenen eröffnen jedoch

- zum einen ein Experimentierfeld zur Reduzierung von Medienbrüchen und zum Aufbau spezifischer Konfigurationen, die zur Ausprägung lokaler Automatismen führen können, aus denen sich neue Strukturen in Bezug auf die mediale Objektwelt ergeben,
- zum anderen einen theoretischen Rahmen zur Formulierung von Gebrauchsqualitäten digitaler Medien mit dem Ziel, die Anschlussfähigkeit von Gestaltungskonzepten der Informatik zu psychologischen und pädagogischen Konzepten zu sichern.

Insofern verkörpert das Konzept der Mediarena zugleich einen Ansatz für eine hypothesengeleitete Technikgestaltung, in dem einerseits die Untersuchung lokaler, auf die jeweilige Objekt- und Funktionswelt bezogener Automatismen ermöglicht wird und andererseits sich die Frage anschließt, wie sich solche Automatismen in der Summe ihrer wiederholten Ausführung durch mehrere Nutzer in Strukturen niederschlagen. Dazu müssen jedoch die skizzierten An-

Vgl. hierzu Heiner Dunckel (Hg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren*, Zürich, 1999.

³³ Ausführlich dargestellt in Winfried Hacker, *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*, 2. Aufl., Bern, 2005.

sätze noch weiter geschärft und systematisiert werden, um sie dann in spezifischen Einsatzfeldern erproben zu können.

Die von mir zugrunde gelegte Sichtweise ist eine technische und zielt auf die Bestimmung technischer Merkmale ab, die die Handlungs- und Entscheidungsmöglichkeiten der Nutzer vom Grundsatz her erhöhen (erweiterte Differenzenerfahrung). Überall dort, wo Informatiksysteme durch neue Möglichkeiten der Verknüpfung von Handlungs- und Wahrnehmungsraum diese Rolle erfüllen, spreche ich von digitalen Medien (Denkzeug) und zwar unabhängig davon, ob sich dieses Potenzial nur in kleinen sozialen Nischen oder in größeren gesellschaftlichen Dimensionen entfaltet.

Eine solche Medienperspektive schärft zugleich den Blick für die Gebrauchsstrukturen, die sich erst in der Nutzung ergeben. Nicht jede Konfiguration von Funktionen aus den vier Handlungsbereichen einer Mediarena wird sich als brauchbar erweisen. Zu wenig differenzierte Berechtigungen können zum Verlust der Privatheit führen und damit die Ausprägung neuer Automatismen ebenso behindern wie ein Zuviel an Zugriffsregelungen, die als unnötige Gängelei empfunden werden. Neben der Reduzierung von Medienbrüchen wird es deshalb vor allem darauf ankommen, solche Designkonflikte zu identifizieren und die Bedingungen und Merkmale zu erheben, wie sie am besten aufzulösen sind. Das Auflösen solcher Designkonflikte stellt eine entscheidende Gestaltungsherausforderung dar, denn sie sind von ihrer Natur her weder aus technischen oder formalen Eigenschaften her verstehbar noch allein mit technischen oder formalen Mitteln zu lösen. Entscheidend ist die Einbettung in das Einsatzumfeld hinsichtlich der Gestaltung konkreter Produkte und die interdisziplinäre Einbettung hinsichtlich der Forschung und Grundlagenentwicklung.

Der hier skizzierte Entwurf einer Art Gebrauchstheorie für Informatiksysteme zielt in erster Linie darauf, aus dem Blickwinkel der Technik anschlussfähige Konzepte für den interdisziplinären Diskurs zu erarbeiten, ohne dass dabei Systementwickler zu amateurhaften Wilderern im „disziplinären Ausland“ mutieren müssen oder sich als imperialistische Grenzüberschreiter eine universelle Problemlösekompetenz anmaßen.

Literatur

- Alexander, Christopher, *Notes on the Synthesis of Form*, Cambridge, MA, 1964.
Ders., *The Timeless Way of Building*, New York, 1979.
Ders./Ishikawa, Sara/Silverstein, Murray, *A Pattern Language. Towns Buildings Construction*, New York, 1977.

- Assmann, Jan, *Das kulturelle Gedächtnis: Schrift, Erinnerung und politische Identität in frühen Hochkulturen*, München, 1992.
- Bussmann, Hans, *Computer contra Eigensinn. Was Kinder dem Computer voraus haben*, Frankfurt/M., 1988.
- Church, Alonzo, „An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory“, in: *American Journal of Mathematics* 58, 2 (1936), S. 345-363.
- Damerow, Peter/Lefèvre, Wolfgang (Hg.), *Rechenstein – Experiment – Sprache. Historische Fallstudien zur Entstehung der exakten Wissenschaften*, Stuttgart, 1981.
- Dunckel, Heiner (Hg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren*, Zürich, 1999.
- DeMillo, Richard A./Lipton, Richard J./Perlis, Alan J., „Social Processes and Proofs of Theorems and Programs“, in: *Communications of the ACM* 22, 5, 1997, S. 271-280.
- Eigen, Manfred, *Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie*, München, 1987.
- Ders./Winkler, Ruthild, *Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall*, 5. Aufl., München, 1983. [1981]
- Elias, Norbert, *Über die Zeit*, hg. v. Michael Schröter, Frankfurt/M., 1988.
- Ethik und Sozialwissenschaften* 9, 2 (1998) und 12, 1 (2001).
- Floyd, Christiane, „Software Development as Reality Construction“, in: dies./Heinz Züllighoven/Reinhard Budde/Reinhard Keil-Slawik (Hg.), *Software Development and Reality Construction*, Berlin, 1992, S. 86-100.
- Foucault, Michel, *Archäologie des Wissens*, Frankfurt/M., 1981.
- Gardner, Howard, *The Mind's New Science. A History of the Cognitive Revolution*, New York, 1987.
- Geißler, Sabrina, *Mediale Destillation als innovative Qualität sozialer Software*, Dissertation: Universität Paderborn, Fakultät für Kulturwissenschaften, Institut für Medienwissenschaft, 2008, urn:nbn:de:hbz:466-20080715018, online unter: http://ub.dok.uni-paderborn.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-6860/Diss_Geissler.pdf.
- Gibson, James Jerome, *Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung*, München, 1982.
- Giesecke, Michael, *Sinnenwandel, Sprachwandel, Kulturwandel: Studien zur Vorgeschichte der Informationsgesellschaft*, Frankfurt/M., 1992.
- Gregory, Richard L., *Eye and Brain. The Psychology of Seeing*, 5. Aufl., Oxford, 1998. [1966]
- Dt. Übersetzung: *Auge und Gehirn. Psychologie des Sehens*, Reinbek bei Hamburg, 2001.
- Habermas, Jürgen, *Theorie des kommunikativen Handelns*, Band 1 und 2, Frankfurt/M., 1982.
- Hacker, Winfried, *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*, 2. Aufl., Bern, 2005.
- Hampel, Thorsten, „sTEAM – Cooperation and Structuring Information in a Team“, in: Paul de Bra/John Leggett, *Proceedings of WebNet 99 – World Conference on the WWW and Internet, Honolulu, 24.-30. Oktober 1999*, Charlottesville, VA, 1999, S. 469-474.
- Heintz, Bettina, *Die Herrschaft der Regel. Zur Grundlagengeschichte des Computers*, Frankfurt/M., New York, 1993.
- Keil-Slawik, Reinhard, „Das kognitive Perpetuum mobile“, in: Gotthard Bechmann/Werner Rammert (Hg.), *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 5: Computer, Medien, Gesellschaft*, Frankfurt/M., 1989, S. 105-125.

- Ders., *Konstruktives Design. Ein ökologischer Ansatz zur Gestaltung interaktiver Systeme*, Habilitationsschrift, Forschungsbericht des Fachbereichs Informatik, TU Berlin, Nr. 90-14, 1990.
- Ders., „Artifacts in Software Design“, in: Christiane Floyd/Heinz Züllighoven/Reinhard Budde/ders. (Hg.), *Software Development and Reality Construction*, Berlin, 1992, S. 168-188.
- Ders., „Bio-Informatik einmal anders. Zum Verhältnis von menschlicher Informationsverarbeitung und maschineller Datenverarbeitung“, in: *FlFF-Kommunikation* 20, 1 (2003), S. 37-41.
- Krämer, Sybille, *Symbolische Maschinen. Die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriss*, Darmstadt, 1988.
- Leroi-Gourhan, André, *Hand und Wort. Die Evolution von Technik, Sprache und Kunst*, Frankfurt/M., 1988.
- Naur, Peter, „Programming as Theory Building“, in: *Microprocessing and Microprogramming* 15, 5 (1985), S. 253-261.
- Ders., *Computing: A Human Activity*, Reading, MA, 1992.
- Nelson, Theodor H., „Replacing the Printed Word: A Complete Literary System“, in: Simon H. Lavington (Hg.), *Information Processing 80, Proceedings of IFIP Congress 80, Tokyo, Japan, Oktober 6-8, 1980, Melbourne, Australia, Oktober 14 - 17, 1980*, Amsterdam (u. a.), 1980, S. 1013-1023.
- Parnas, David Lorge, „Software Wars“, in: *Kursbuch Nr. 83, Krieg und Frieden. Streit um SDI*, Berlin, 1986, S. 49-69.
- Post, Emil L., „Finite Combinatory Processes – Formulation I“, in: *The Journal of Symbolic Logic* 1, 3 (1936), S. 130-135.
- Sesink, Werner (Hg.), „Poietische und zurückhaltende Technik oder Vom Bildungsegehalt des Computers. Umriss eines informationspädagogischen Konzepts“, in: Reinhard Keil-Slawik/Johannes Magenheimer (Hg.), *Informatikunterricht und Medienbildung. Infos 2001. 9. GI-Fachtagung Informatik und Schule 17.-20. September 2001 in Paderborn*, Bonn, 2001, S. 31-45.
- Ders., *Subjekt – Raum – Technik. Beiträge zur Theorie und Gestaltung Neuer Medien in der Bildung*, Münster, 2006.
- Shneiderman, Ben, *Leonardo's Laptop – Human Needs and the New Computing Technologies*, Cambridge, MA, 2002.
- Ders., „Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages“, in: *IEEE Computer* 16, 8 (1983), S. 57-69.
- Sutter, Tilmann, „„Interaktivität“ neuer Medien – Illusion und Wirklichkeit aus der Sicht einer soziologischen Kommunikationsanalyse“, in: Herbert Willems (Hg.), *Weltweite Welten. Internetfigurationen aus wissenssoziologischer Perspektive*, Wiesbaden, 2008, S. 57-73.
- Tanenbaum, Andrew S., *Structured Computer Organization*, Englewood Cliffs, NJ, 1976.
- Todesco, Rolf, *Technische Intelligenz oder Wie Ingenieure über Computer sprechen*, Stuttgart-Bad Cannstatt, 1992.
- Turing, Alan M., „On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem“, in: *Proceedings of the London Mathematical Society* 2, Volume 42, 3 (1936), S. 230-267.
- Unger, Alexander, „Umgebungsanalyse – Nachhaltige Gestaltung von virtuellen Lernumgebungen“, in: Werner Sesink (Hg.), *Subjekt – Raum – Technik. Beiträge zur Theorie und Gestaltung Neuer Medien in der Bildung*, Münster, 2006, S. 91-117.
- Winkler, Hartmut, *Docuverse. Zur Medientheorie der Computer*, München, 1997.