Georg Trogemann

IRRITATION VERSUS INTUITION. NOTIZEN ZUR SITUATION DER INFORMATIK

Was uns in der Maschine begegnet, ist gewesenes Leben, ist lebendiges Fühlen und alte Leidenschaft, die der Mensch nicht gescheut hat, dem Tod der Objektwelt zu übergeben. Nur dieser Tod ist das Tor zur Zukunft.

(Gotthard Günther)

Ein einziges Hindernis scheint es zu geben auf dem Weg zu unbegrenztem Wachstum und Wohlstand durch die neuen Informations- und Kommunikations-Technologien: die menschliche Unfähigkeit. "... the real limits of scientific and economic growth may be humankind's limited ability to absorb and to apply new information", heißt es in einem von der Amerikanischen National Science Foundation 1994 in Auftrag gegebenen Report zum Thema "New Directions in Human-Computer Interaction". Die Lösung des Problems wird durch den Titel des Reports natürlich bereits vorweggenommen. So ist im weiteren zu lesen: "The human-computer interface can contribute to the successful impact of information on society by making it accessible and usable by ordinary citizens. In so far as the human-computer interface affects information accessibility, it serves as a gating function to the goals of the NII (modern computer and telecommunications information infrastructure)." Auch in Deutschland ist das Thema Mensch-Technik-Interaktion mittlerweile zu einem Leitthema der Informatik aufgestiegen. Die Forschungsschwerpunkte der im Sommer 1999 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung ausgewählten und geförderten Leitprojekte mit einem Gesamtumfang von ca. 350 Millionen konzentrieren sich auf Themen der natürlichsprachlichen Informationsein- und -ausgabe, der visuellen Darstellung von Information, der Bildverarbeitung, der Erkennung von Gesten und Blickrichtungen sowie der Einbeziehung des Tast- und Bewegungssinnes zur Steuerung von Geräten. Neben diesen Themen, direkt an der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, spielt die Entwicklung intelligenter Assistenzsysteme zur Delegierung von Routineaufgaben der Informationssuche und -aufbereitung durch den Benutzer eine wichtige Rolle. Hinter allem stehen die Fragen der Ergonomie, der Benutzerakzeptanz und Betriebssicherheit sowie der Auswirkungen des Einsatzes der neuen Technik auf Organisationsstrukturen und Ar-

1 Gary Strong, et al., New Directions in Human-Computer Interaction, Education, Research, and Practice, Washington, DC: NSF/ARPA, 1994. beitsabläufe im Unternehmen, aber auch im privaten Alltag.² Durch die 1988 und 1991 herausgegebenen Berichte der ACM und IEEE ist das Gebiet "Human-Computer Interaction (HCI)" auch offiziell als wichtiger Teilbereich der "Computer Science" etabliert.³

Angetrieben wurde die Informationstechnik⁴ in den zurückliegenden Jahrzehnten von den Komparativen kleiner, schneller, billiger. Diese drei Leitbilder haben uns in der Vergangenheit den preiswerten "Personal Computer" beschert. Das Ende der Steigerungsfähigkeit ist noch nicht in Sicht. In den nächsten Jahren wird der Innovationstakt von 18 Monaten gehalten werden können. Nur die schwierige Bedienung der Maschinen steht ihrer umfassenden Beteiligung an allen Lebens- und Arbeitsprozessen noch entgegen. Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine soll nun aber "freundlicher" werden. Im Rahmen der sog. *anthropomorphen Schnittstellen* werden natürlich-sprachliche sowie nonverbale Ein- und Ausgabemodule realisiert, die eine intuitive Kommunikation mit dem System ermöglichen bzw. zu dieser einladen. Intuitiv heißt in diesem Zusammenhang, dass vorhandene Interaktionskompetenzen genutzt werden, indem der Benutzer in Situationen versetzt wird, die er aus dem Alltag kennt und mit denen er gelernt hat umzugehen.

In den folgenden fünf Abschnitten wird versucht, ein alternatives Bild der Herausforderungen der Informatik, jenseits der intuitiven Schnittstelle, zu zeichnen. Vor dem Hintergrund der Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten muss die Informatik ihre Grundlagen neu überdenken. Die etablierten Sichtweisen und Ausbildungssysteme wurden von der Praxis überholt und sind nicht mehr in der Lage, die Perspektiven der Informatik als Wissenschaft abzubilden. Im ersten Absatz wird argumentiert, dass die gegenwärtigen Leitbilder der Interface-Entwicklung zu eingeschränkt sind, um wirklich entscheidende Impulse für neue Applikationen geben zu können. In den nächsten drei Absätzen werden dann einige neuere Entwicklungen im Bereich des Software-Engineering, der Hardware und der theoretischen Grundlagen skizziert, die neue Wege und Ansätze in der Informatik andeuten. Die Schnittstellen-Frage bleibt nicht an der Oberfläche der Maschine angesiedelt, sondern wird eng verbunden mit den Modellen und Erkenntnissen der theoretischen Informatik. Der letzte Abschnitt plädiert für ein Umdenken in der Informatik-Ausbildung an den Universitäten. Insgesamt wird in diesem Bei-

- 2 Presseinformation zu den Leitprojekten "Mensch-Technik-Interaktion in der Wissensgesellschaft", hrsg. vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f).
- 3 P.J. Denning et. al., Computing as a Discipline: Final Report of ACM Task Force on the Core of Computer Science, New York, Association for Computing Machinery, 1988. Ebenso: A.B. Tucker, et. al., A Summary of the ACM/IEEE-CS Joint Curriculum Task Force Report: Computing Curricula, Communication of the ACM 34, pp. 68–84, 1991.
- 4 Informationstechnik als gemeinsames Feld von Informatik und Elektrotechnik.

trag die Auffassung vertreten, dass nicht die Hauptströmungen, wie z.B. die intuitiven Schnittstellen, die Informatik ins nächste Jahrhundert tragen können, sondern vielmehr die kleinen eruptiven Irritationen, die auf allen Feldern der Informatik stattfinden und von denen gegenwärtig noch nicht gesagt werden kann, welche davon die entscheidenden Impulse für eine Erneuerung geben werden. Diese derzeitigen Randbereiche machen die eigentliche Faszination der Informatik als Wissenschaft aus.

1. Das Problem der Mensch-Technik-Interaktion

Die Macht der Berechnung und das Potential der Informations- und Kommunikationstechnologien können der breiten Öffentlichkeit nur verfügbar gemacht werden, wenn die Anpassung der Maschine an den Menschen verbessert und die Lernphasen entscheidend verkürzt werden, so die weitgehend einhellige These von Politikern und Informatikern. Die neuen Produkte müssen für alle funktionieren; man geht vom dümmsten anzunehmenden Benutzer aus.⁵ Durch das als Widerstand erachtete "Interface" hindurch soll möglichst reibungsfrei mit einer dahinterliegenden Substanz, der reinen Information, umgegangen werden. Ziel ist es, diesen Widerstand zwischen der Information und dem Nutzer zu minimieren. Das Forschungsgebiet Mensch-Maschine-Schnittstelle ist damit in mehrfachem Sinn an der Oberfläche angesiedelt. Nicht nur im Sprachgebrauch von Bedien- oder Benutzeroberflächen⁶, die als Synonym für Schnittstelle oder Interface dienen, spiegelt sich das Denken an der Oberfläche wider. Auch die eigentlichen Applikationen und Inhalte bleiben weitgehend getrennt von den Schnittstellen, so als könnten sie den Inhalten übergestülpt werden.⁷ Selbst Ansätze

- 5 Ein Bild, das Claus Pias im Zusammenhang mit den Zielen der Schnittstellenentwicklung benutzt. Eine Ausnahme sieht er im Bereich der Computerspiele.
- 6 Obwohl Benutzungsoberfläche eigentlich richtiger wäre, da es ja nicht um die Oberfläche des Benutzers geht.
- Hier findet sich die Anwendung eines Musters wieder, das jede Massentechnologie kennzeichnet, die Trennung von innerer Funktionsweise und Gebrauch. Beispiel Automobil: Die Bedienung eines Wagens ist weitgehend getrennt von der Funktionsweise des Motors, der Bremsen, der Kupplung etc. Am Beginn einer neuen Technik sind Entwickler und Produkt noch viel stärker verbunden. Erst durch diese Trennung von Funktionsweise und Gebrauch werden die meisten technischen Produkte für jeden nutzbar und damit marktfähig. Das gilt zwar auch bis zu einem bestimmten Grad für die Computerentwicklung. Für die Informationstechnologien insgesamt ist dieses Bild allerdings viel zu einfach. Die Inhalte und der Umgang mit dem System können in vielen Fällen nicht sinnvoll getrennt werden.

zur Theorie der Mensch-Maschine-Interaktion bleiben gewissermaßen an der Oberfläche. Die Kerninformatik, die im Innern der Wissenschaft ruht, geschützt von den zwei umhüllenden Schalen der praktischen und angewandten Informatik, hat mit den Belangen des Benutzers nichts zu schaffen. Dort im Zentrum liegt das Reich der Mathematik.⁸

Eine grundlegende, allgemein anerkannte Theorie der Mensch-Technik-Interaktion, die das Gebiet anleiten könnte und Fortschritte einschätzbar machte, fehlt bisher. Interaktion als Terminus der sozialwissenschaftlichen Handlungstheorie wurde in den sechziger Jahren von der Informatik adoptiert und bezeichnet dort die Fähigkeit des Systems, auf Eingaben des Benutzers ohne Zeitverzögerung zu reagieren. Die direkte Wechselbeziehung zwischen Mensch und Maschine verlangt aber - wie die zwischenmenschliche Kommunikation – einen minimalen Konsens über das zugrundeliegende kommunikative Modell und die zugehörigen Verhaltensmuster. Jede interaktive Schnittstelle gibt somit nicht nur den Rahmen der Handlungsmöglichkeiten vor, sondern steuert gleichzeitig den Gedankenfluß des Benutzers und wirkt dadurch am Ergebnis der Arbeit mit. Neben der Suche nach einer tragfähigen Theorie, die diesem grundlegenden Sachverhalt Rechnung trägt, sind im Moment zwei weitere Ziele ins Visier genommen: die Realisierung neuer Paradigmen für die Interaktion und die Herausarbeitung von Ingenieursmethoden für den Entwurf und die Entwicklung von kostengünstigeren und qualitativ hochwertigeren Interaktionssystemen. Dahinter steht die Hoffnung, auch ohne tiefgehendes theoretisches Rüstzeug innovative Produkte entwickeln zu können, die aufgrund ihres Interface in der Lage sind, neue Märkte zu erschließen.

Die führenden Schnittstellenparadigmen werden üblicherweise anhand der beteiligten Ein-/Ausgabe-Modalitäten charakterisiert. Zum Beispiel wird die derzeit am weitesten verbreitete Interaktionstechnologie, das sogenannte WIMP (Window-Icon-Menu-Pointer) Paradigma, auf diese Weise beschrieben. Forschung im Bereich neuer Paradigmen konzentriert sich damit lediglich auf die Hinzunahme weiterer Modalitäten für die Eingabe und die Ausgabe. So sollen immersive VR-Technologien und verbale wie nonverbale Kommunikationsmittel (Sprache, Mimik, Gestik, Haltung und Blickrichtung) größere Kontextunabhängigkeit, Zuverlässigkeit und reibungsloseren Dialogverlauf ermöglichen. Eine Betrachtung der Schnittstellenparadigmen, die weitgehend von den beteiligten Kanälen abstrahiert, führt allerdings zu einem anderen Bild. Zwei Zielsetzungen der Schnittstellenentwicklung finden sich in den meisten Anwendungen wieder: (1) Das Bestreben, die Schnittstelle zum Verschwinden zu bringen. (2) Die Menschwerdung der Schnittstelle. Beim ersten Leitbild soll durch den fortschreitenden Gebrauch

⁸ Zum Schalenmodell der Informatik siehe auch Abschnitt 5.

des Systems der instrumentelle Charakter zunehmend in den Hintergrund treten, bis zur vollständigen Transparenz der Schnittstelle. Die Desktop-Metapher oder die Navigation in Räumen zählen zu dieser Klasse. Beim zweiten Paradigma soll die Maschine dem Menschen in wichtigen Verhaltensweisen ähnlich gemacht werden. Sobald die Maschine sich verhält wie ein Mensch - so die grundlegende Idee - sind auch alle Probleme der Mensch-Maschine-Kommunikation gelöst. Beiden Ansätzen gemeinsam ist das übergeordnete Ziel der intuitiven Schnittstelle, d.h. einer Schnittstelle, die selbsterklärend ist und sogar die unartikulierten Wünsche des Benutzers aufgrund ihrer inneren Struktur antizipiert und erfüllt. Das Paradigma der Intuition ist für all jene Anwendungen nützlich, deren Resultat nicht durch die Schnittstelle beeinflusst werden darf, d.h. deren Ablauf und Ergebnis wie bei einer Rechenaufgabe festliegt und nur noch mit Unterstützung des Computers ausgeführt werden muss. Das breite Spektrum der Werkzeuge, die im weitesten Sinne als Entwurfswerkzeuge gesehen werden können, ist mit diesem Ansatz nicht zu erfassen geeignet. In allen Formen von Entwurfsprozessen, beispielsweise in allen künstlerisch/gestalterischen Prozessen, haben die Benutzer in den wenigsten Fällen zu Beginn der Arbeit konkrete Vorstellungen vom Endprodukt. Der Gestaltungsprozeß hat im allgemeinen den Charakter einer Suche nach einer zufriedenstellenden Lösung für ein nicht exakt zu umreißendes Problem. Die endgültigen Ideen entstehen erst im Umgang mit den Werkzeugen, werden durch diese unterstützt und konkretisieren sich im Laufe der Arbeit. Softwarekonzepte, die auf diese Arbeitsweisen eingehen, fehlen bisher vollkommen. Intuitive Schnittstellen, so wie sie derzeit verstanden werden, sind ein dem Entwurfsproblem entgegen gerichteter Ansatz. Intuition heißt, du bekommst, was du erwartest, nichts sonst.

Erwähnenswert am Leitbild der intuitiven Schnittstelle scheint auch, dass sich bis zu einem bestimmten Grad die Entwicklungsgeschichte der Archimedischen Maschinen wiederholt. Die Archimedischen Maschinen, d.h. die Maschinen zur Verlängerung des menschlichen Armes, wurden erdacht, um dem Menschen körperliche Arbeit abzunehmen. Im Taylorismus wurde dann allerdings das Verhältnis umgekehrt und der Mensch dazu gezwungen, sich an die Maschinen anzupassen. Ab einem bestimmten Zeitpunkt war die Ressource Mensch das teure Glied der Produktionskette und musste optimiert, d.h. effizient gestaltet werden. So gesehen ist das Fließband die Effizienzlösung für das Mensch-Maschine-System der industriellen Revolution. In den kybernetischen Maschinen - dem Computer - als Verlängerung der geistigen Fähigkeiten des Menschen, wiederholt sich dieser Vorgang nun. Die Anstrengungen zur intuitiven Schnittstelle werden ebenfalls in erster Linie als Effizienzproblem betrachtet. Während es zu Beginn der Computerentwicklung darum ging, den Menschen von Routineaufgaben des Geistes zu entlasten, geht es nun um die Produktivität des MenschMaschine-Systems. Seit die Maschinen ein bedeutender Wirtschaftsfaktor geworden sind, tritt die Effizienz wieder in den Vordergrund. Es geht nun erneut darum, den teuren Teil der Produktion, den Menschen, besser zu nutzen. Im industriellen Bereich werden die Computer deshalb auch nur soweit an den Menschen angepasst, wie es nötig ist, eine kostengünstige, qualitätssichere oder gefahrlose Produktion zu gewährleisten.

2. Software

Zwei Lücken begleiten die Entwicklung des Computers. Einmal die stetig größer werdende Kluft zwischen den relativ starren theoretischen Grundlagen der Informatik und der sich vergleichsweise rasant entwickelnden technologischen Praxis. Zum zweiten die Diskrepanz zwischen der stets vorauseilenden, sich selten erfüllenden, literarisch gezeichneten Zukunft und den tatsächlichen Möglichkeiten der Informationstechnologie. Die zweite Differenz, sei es bei der Diskussion ums Netz, Virtuelle Realitäten oder Künstliche Intelligenz, war für Informatiker oft Ansporn, nie aber wirklich bedeutend. Die erste dagegen rührt an den Grundfesten der Informatik. Die Berechnungsmodelle, formalen Sprachen, Automaten und Boolschen Algebren etc. sind nicht mehr in der Lage, die Praxis abzubilden. Obwohl sie immer noch das jedem Studenten der Informatik eingeimpfte, unverrückbare Leitbild darstellen, erweisen sie sich zunehmend dort als Hindernis, wo sie nicht mehr die nötige Unterstützung für die Weiterentwicklung der Technologien bieten und die Sicht auf unrealisierte Möglichkeiten verhindern. Die Informatik befindet sich seit Jahren auf der Suche nach ihrer Theorie, und obwohl die Forderungen nach einem Paradigmenwechsel Kuhnscher Manier lauter werden, ist ein allgemein akzeptiertes Fundament nicht in Sicht. Was lediglich immer deutlicher hervortritt, ist die Fehlstellung zwischen Theorie und Praxis, zwischen Studium und Alltag der Informatik. Besonders deutlich wird dies am Beispiel der Softwareentwicklung.

David L. Parnas stellte jüngst fest: "Computer scientists must recognize that ... software engineers require an education very different from their own." Aufgrund der anhaltenden Softwarekrise sind die in der Praxis

- 9 Die Wurzeln des Antriebs, die zur Entwicklung des Computers führten, sind umstritten. Die These, daß der Computer im wesentlichen durch eine Strategie zur Automatisierung des Langweiligen zustande kommt, wird z.B. von Thomas Goldstraß vertreten. Friedrich Kittler dagegen vertritt die These vom Computer als Kind des Krieges. Sie ist ein Teil seiner allgemeinen These, daß Unterhaltungsund Übertragungsmedien in jedem Wortsinne "mißbrauchte Heeresgeräte" seien.
- 10 David L. Parnas, "Software Engineering: An Unconsummated Marriage", Communication of the ACM, Sept. 1997.

stehenden Softwareentwickler inzwischen überzeugt, daß Informatiker die Komplexität industrieller Softwaresysteme nicht mehr beherrschen können. Sie fordern eine Reform der Informatikausbildung, in der die Fähigkeiten eines koordinierenden Ingenieurs im Vordergrund stehen - und nicht die eines Mathematikers. Im Gegensatz zur Mathematik ist im Bereich der Softwareentwicklung 1. die Problemstellung nie vollständig, sondern läßt Ermessensspielraum, der ausgehandelt werden muß, 2. müssen die zur Lösung zur Verfügung stehenden Bausteine teilweise erst durch einen mühsamen Kommunikationsprozeß gewonnen werden, und 3. ist die Lösung nur arbeitsteilig erreichbar, d.h. Fachleute aus verschiedenen Disziplinen müssen an einem koordinierten Kommunikationsprozeß teilnehmen. Primärer Kenntnisbedarf sind also nicht formale Methoden, sondern Kommunikationsmittel¹¹. Da die Informatikausbildung die Bedürfnisse der Softwarepraxis nicht mehr erfüllt, versucht diese ihre eigenen Wege zu gehen und ihre eigenen Grundlagen zu definieren. Neugründungen, initiiert und finanziert durch die private Wirtschaft, wie z.B. das Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik an der Universität Potsdam, zeigen in diese Richtung.

3. Hardware

Modularisierung und Hierarchisierung sind die wesentlichen Voraussetzungen für den Erfolg der Informatik. Gleichzeitig sind sie verantwortlich für den Funktionalismus, d.h. der Trennung von Hardware und Software. Berechnungsmodelle wie die Turing-Maschine oder unbeschränkte Registermaschinen sagen lediglich, mit wie wenig Hardware man auskommt. Es ist vollkommen unwichtig, wie die Maschinen physikalisch realisiert werden. Die Basis der Berechnungsmetapher ist die Funktion, d.h. die Abbildung, die einen Input in einen Output verwandelt. Die Berechnung selbst besteht aus Schritten, die zeitlich aufeinander folgen. Zusammen genommen heißt das, Berechnung wird vom Ergebnis her charakterisiert und nicht vom Prozeß. Es gibt einen einzigen Faden der Kontrolle, und der Programmierer besitzt ihn. Die Hardware selbst hat nur die Aufgabe der zuverlässigen Ausführung der definierten Funktionen. Die Materialität der Hardware ist unwichtig. Sie nimmt keinen Einfluß auf das Ergebnis. Doch für einige neuere Ansätze gilt das in dieser Form nicht mehr. Die Grenze zwischen Hardware und Software verschwimmt zunehmend. Jede Applikation kann inzwischen problemlos in Hardware oder Software realisiert werden (Stichwort: custom silicon), Programmierbare und neuerdings evolvierbare Chips ermöglichen software-

¹¹ Informationsmaterial zum Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik an der Universität Potsdam.

ähnliche Flexibilität für die Hardware. Vorbild ist ein weiteres Mal die natürliche Evolution, die zwischen Genotypen (der Beschreibung physikalischer Merkmale) und dem Phänotypen (der physikalischen Manifestation des Individuums in einer Umwelt) unterscheidet. Der evolutionäre Prozeß selbst unterliegt weder einer zentralen Kontrolle noch wird ein explizites Ziel verfolgt. Die "fitness" des Individuums wird implizit durch seine Fähigkeit zu überleben und sich fortzupflanzen bestimmt. Bei der Anwendung des Evolutionsprinzips auf die Hardware-Entwicklung werden zwei unterschiedliche Pfade beschritten, die "on-line" und die "off-line" Methode. 12 Im offline Fall wird der evolutionäre Entwurf als Software-Simulation ausgeführt. Nur die Lösung wird auf die programmierbare Hardware übertragen. Im online Fall ist jedes Individuum eine autonome physikalische Einheit, fähig sich selbst zu modifizieren. Entscheidend ist, dass die Resultate der on-line Methode prinzipiell nicht mehr in Software simuliert werden können, da anloge (nicht-digitale) Effekte am Ergebnis beteiligt sind. Die Materialität der Maschine, die durch den Funktionalismus aus der Informatik verbannt wurde, kommt zurück ins Spiel.

Das Verhältnis von paralleler und serieller Hardware ist ebenfalls nicht endgültig geklärt. Die Frage lautet: Gibt es einen prinzipiellen Unterschied zwischen parallelen und seriellen Computern, oder sind beide effektiv Turing-Maschinen? Es existieren Beweise und Gegenbeweise dafür, dass beide Rechnermodelle aufeinander abbildbar sind. Ein Ergebnis aus jüngerer Zeit wird von Andrew Boucher diskutiert. Er versucht zu zeigen, dass aufgrund der Zeitabhängigkeit parallele Berechnungen fundamental verschieden sind von sequentiellen Berechnungen. Vorausgesetzt das Gehirn arbeitet ebenfalls parallel, dann ist laut Boucher zu bezweifeln, dass der Versuch der Künstlichen Intelligenz, sequentielle Computer intelligent zu machen, jemals gelingen kann.

4. Formale Grundlagen

"Calculemus – lasst uns rechnen – Leibniz' berühmte Aufforderung steht für das Ideal, Palaver in Rechnen zu überführen. Wo es Formeln gibt, braucht nicht mehr gesprochen werden, was formalisiert ist, bedarf keiner Interpretation." Seit es den Computer gibt, wird uns auch das Rechnen noch abgenom-

- 12 Eduardo Sanchez, Marco Tomassini (Eds.), Towards Evolvable Hardware, Springer-Verlag, 1996.
- 13 Andrew Boucher, Parallel Machines, in: Mind and Machines, 7, pp. 543-551, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- 14 Bettina Heintz, Die Innenwelt der Mathematik, Springer-Verlag, 2000.

men. Als letztes wissenschaftliches Problem scheint die Bedienung der Maschine übrig geblieben zu sein. Darauf konzentriert sich die Informatik nun.

Wissenschaftliche Erkenntnis ist im Grundsatz auf Objektivität und zeitlose Gültigkeit angelegt. Aber sind nicht auch die Wissenschaftler eingebettet in kulturelle Rahmenbedingungen und Prozesse? Selbst die Mathematik als Inbegriff von Objektivität und Universalität unterliegt zeitspezifischen kulturellen Erfahrungs- und Deutungsmustern, sozialen Prozessen und Machtstrukturen. Besonders deutlich – und in ihren Auswirkungen derzeit eklatant im Bereich der sog. Neuen Medien beobachtbar – wird die Verschränkung von politischen, wirtschaftlichen, militärischen und gesellschaftlichen Bedingungen mit wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen am Beispiel der Informationstechnologie. Der Computer, in der Entstehung in erster Linie zur Lösung komplexer Rechenprobleme gedacht und der mathematischen und militärischen Denktradition verhaftet, hat inzwischen nahezu alle Bereiche des täglichen Lebens erobert. Die zugrundeliegenden Formalismen erfassen nur einen Teil der computergenerierten Wirklichkeit, vermutlich nicht einmal den interessantesten.

Nicht nur die Forschungsbereiche Human-Computer-Interaction und Multimedia (im erweiterten Sinne) machen deutlich, wie weit sich die Praxis des Computers von der Theorie der Informatik (Berechnungsmodelle, Aussagenlogik, Informationstheorie, formale Sprachen und Automaten) weg entwickelt hat. Heutiges "Rechnen" ist eingebettet in physikalische und virtuelle Umgebungen. Der Ablauf ist nicht auf ein Ende hin programmiert, wie etwa der Begriff des Algorithmus oder die Turing-Maschine es vorgeben. Als Agenten, Server, Betriebssysteme, interaktive Anwendungen usw. sind die meisten Applikationen im Zentrum als Endlosschleifen konzipiert. Für einen Roboter bedeutet es ein Fehlverhalten, wenn er anhält und das WWW berechnet, überhaupt nichts im Sinne der Berechenbarkeitstheorie. Es sind neue Denkweisen erforderlich, die in der Lage sind, die tägliche Praxis des Computers wieder rückzuverbinden mit der Theorie der Informatik. Es gibt verschiedene Vorschläge, die Grundlagen der Informatik neu zu sehen und auf ein erweitertes Fundament zu stellen. Zu nennen sind hier z.B. Brian Cantwell Smith¹⁵, Peter Wegener¹⁶ und Lynn Andrea Stein¹⁷. Für eine neue Grundlegung der Informatik scheinen diese Ansätze von besonderer Bedeutung zu sein. Der Nutzen, die gängige Metapher vom "Computer als Rechner" und von der "Programmierung als Festlegung der Sequenz einzelner Lösungsschritte" durch neue Paradigmen zu ersetzen, hätte verschiedene

¹⁵ Brian C. Smith, On the Origin of Objects, MIT Press, 1998.

¹⁶ Peter Wegener, Interactive Foundations of Computing, Brown University, April 1997.

¹⁷ Lynn A. Stein, Challenging the Computational Metaphor: Implications for How We Think, Massachusetts Institute of Technology, 1999.

Konsequenzen. Es würde unsere gesamte Herangehensweise bei der Softwareentwicklung verändern und zu neuen Problemlösungsmethoden führen. Interaktivität ist einer der Begriffe, die bis in die theoretische Informatik durchschlagen und das Fundament in Frage stellen. Interaktivität ist bei der Turing-Maschine nicht vorgesehen, und die Arbeiten von Peter Wegener zeigen, dass die Wechselbeziehung zwischen Benutzer und Computer auch nicht auf Turing-Maschinen abgebildet werden können. Nicht zuletzt würde sich durch veränderte Leitbilder der Computer als Referenzmodell für Kognitionswissenschaftler verändern und damit auf das Verstehen des Denkens auswirken.

Neue Paradigmen geben den Blick auf neue Perspektiven und bisher nicht wahrgenommene Alternativen frei und ermöglichen damit neue Methoden und Produkte. Sobald wir uns loslösen vom Bild des Computers als Werkzeug der Repräsentation vorgegebener Wirklichkeit und uns der Kreation und Präsentation neuer Wirklichkeiten zuwenden, stellen sich vollkommen neue Probleme. Im Feld der Repräsentation sind die bemerkenswerten Objektivierungen unseres Verstandes, die wir in der Lage sind auf die Maschinen zu übertragen und die dann vor unseren Augen auf dem Bildschirm wieder ablaufen, immer Objektivierungen von schon vorab objektivierten Phänomenen. Der eigentlich kreative Prozeß der Objektivierung liegt außerhalb der Maschine und ist bisher keiner Formalisierung zugänglich gemacht worden. Hier finden sich die eigentlich spannenden Fragen, nämlich die nach der Entstehung der Form und den Methoden zur Formalisierung des Objektivierungsprozesses.

5. Das Ausbildungssystem

Im deutschen Sprachraum wird die Informatik gegliedert in Theoretische, Technische, Praktische und Angewandte Informatik. Die Einteilung ist umstritten, mangels besserer Alternativen wird aber daran festgehalten. Chronologisch gesehen war der Kern, die Theoretische Informatik, von Beginn an am stärksten entwickelt und hat sich seither am wenigsten verändert. Die 'umhüllenden Schalen' dagegen, die Praktische und Angewandte Informatik, sind zeitlich später entstanden und haben eine weitaus größere Vielfalt von Methoden und Modellen entwickelt, die bisher allerdings wenig mit den Grundlagen verbunden sind. Die Theoretische Informatik hat sich aus der Mathematik heraus entwickelt und ist nach wie vor eng mit ihr verschwistert. Die Praktische und Angewandte Informatik sind aufgrund der Vielzahl ihrer Gegenstände weitaus größere Teilgebiete der Informatik als die Theorie. Zur Praktischen Informatik zählen beispielsweise Betriebssysteme, Datenstrukturen, Programmiersprachen, Algorithmen und Softwaretechnik, zur Ange-

wandten Informatik Gebiete wie Künstliche Intelligenz, Computergraphik und Netzwerkdienste. Auf der äußersten Schale sind inzwischen verschiedene Bindestrich-Informatiken entstanden, welche versuchen, den veränderten Aufgabenfeldern Rechnung zu tragen. Als jüngstes Beispiel ist die Medieninformatik zu nennen, die versucht, die Informatikaspekte der Kommunikation in allen medialen Zusammenhängen zu erfassen. Die Rückverbindung mit der Theorie steht, wie bereits erwähnt, noch aus.

Die folgenden Punkte sollten nach unserer Auffassung bei der Neustrukturierung von Ausbildungsgängen, die derzeit vor allem als Medieninformatik entstehen, Berücksichtigung finden.

Informatik als Wissenschaft des Artifiziellen

Die Naturwissenschaften befassen sich mit dem Wissen über natürliche Objekte und Erscheinungen. Im Vergleich dazu ist es die traditionelle Aufgabe der Ingenieurswissenschaften, zu erforschen und zu lehren, wie man Artefakte mit gewünschten Eigenschaften entwirft und herstellt. Angesichts der unterschiedlichen Ausgangssituationen, Analyse versus Synthese, forderte Herbert A. Simon bereits in den sechziger Jahren in Amerika eine "Wissenschaft vom Künstlichen" als Basis der Ingenieursausbildung. Er beklagte, dass, trotz der Schlüsselrolle des Designs in allen anspruchsvollen praktischen Tätigkeiten, die Naturwissenschaften die Wissenschaften vom Künstlichen beinahe vollkommen aus den Lehrplänen verdrängt haben. Die Ingenieursschulen seien zu Physik- und Mathematikschulen geworden; medizinische Schulen zu Schulen der biologischen Wissenschaft, Wirtschaftsschulen zu Schulen finiter Mathematik. Seine Feststellungen sind heute genauso gerechtfertigt wie damals, und seine Forderungen sind weitgehend uneingelöst geblieben. Aktualität haben die von Herbert A. Simon aufgeworfenen Fragestellungen nach meiner Überzeugung durch die rasanten Entwicklungen im Bereich der neuen Informations- und Kommunikationstechnologien erfahren. Die Notwendigkeit einer Wissenschaft des Künstlichen ist angesichts der zentralen Bedeutung des Computers in allen Entwurfs- und Produktionsprozessen sogar um so deutlicher und dringender zu Tage getreten. Als wesentlicher Unterschied zu einem herkömmlichen Informatik-Studium muß die Erarbeitung von Fragestellungen an Bedeutung gewinnen. Gegenwärtig steht dagegen das Erlernen von Lösungsmethoden im Zentrum. Die Fähigkeit, eigene Fragestellungen zu entwickeln, erfordert aber die Förderung individueller Ansätze und Denkweisen der Studenten. Nur so können wir in der Informatik zu einem Bild des Ingenieurs zurückfinden, der in der Lage ist, erfolgreich selbst gestellte Fragen zu bearbeiten.

Integration in Projekte und Forschungsvorhaben statt Sammeln von Wissen und hinausgeschobenes Anwenden

Das Studium darf kein Akkumulieren von vorläufigem Wissen sein, das erst nach dem Studium in Erfahrung umgewandelt wird, sondern muss dem Prinzip "learning by doing" folgen. Die in einem Studiengang (Medien-) Informatik adressierten Anwendungs- und Berufsbilder können nicht als starr und etabliert betrachtet werden, sondern befinden sich gerade in der Entwicklungsphase. Vom gegenwärtigen Standpunkt aus kann nicht vorhergesagt werden, welche Richtung die Entwicklungen in den kommenden Jahren einschlagen werden. Aufgrund der Neuheit und Aktualität ist es schwierig, ein angemessenes Curriculum festzuschreiben. Vor diesem Hintergrund ist es besonders wichtig, Studenten so auszubilden, dass sie flexibel und nach kurzer Einarbeitungszeit in der Lage sind, in ganz unterschiedlichen Projekten mitzuarbeiten. Nach der Vermittlung des Basiswissens im Grundstudium sollten die Studenten einen großen Teil ihrer Zeit in Studienund Forschungsprojekten verbringen, wo sie Seite an Seite mit Wissenschaftlern und anderen Studenten ihrer momentanen Kompetenz entsprechende Aufgaben und Verantwortung übernehmen. Dieser Ansatz hätte für die Studenten verschiedene Vorteile:

- 1. Studenten können sich an der Front der Forschungsentwicklung bewegen.
- 2. Sie können mit wachsendem Wissen auch steigende Verantwortung tragen.
- 3. Sie lernen, sich schnell in neue Themengebiete einzuarbeiten.
- 4. Sie machen frühzeitig Erfahrungen mit forschungsorientierter Teamarbeit.

Ein wesentlicher Teil der Lehre besteht auf diese Weise im Schaffen geeigneter Umfelder für die Studenten, in denen sie sich orientieren, mit anderen messen und weiterentwickeln können.

Seeing is more than just looking. It involves increasing your visual flexibility unblocking stereotypes ... refreshing your attention ... noticing patterns ... becoming aware of movement and space. You can strengthen your abilities to see details, and to notice conceptual patterns. Learn to take advantage of what is already around you and to benefit from what others see. Incorporate this into your own invention process and bring new ideas into the world. (VizAbilityTM)

Dieser Text ist im Netz im Zusammenhang mit der Lernsoftware VizAbility zu finden. Wenn derartige Produkte ihr Versprechen auch nur annähernd halten, stehen die Lehrenden durch die Möglichkeiten der multimedialen Unterstützung der Lehre vor großen Herausforderungen. Wo liegen die Aufgaben der Lehre, wenn multimediale Lehrmaterialien größere Lernerfolge

erzielen als 90 minütige Vorlesungen von Professoren. Durch wissenschaftlich sorgfältig und pädagogisch korrekt aufbereitetes, multimediales Lehrmaterial sind Vorlesungen (im Sinne des Wortes) in Zukunft tatsächlich weitgehend obsolet. Das heißt im Umkehrschluß nicht, dass Professoren und Lehrer überflüssig sind, sondern im Gegenteil, dass dies als Chance verstanden werden muß, Lehre wieder direkter und persönlicher zu gestalten. Begeisterung, Leistungsbereitschaft und Kritikfähigkeit werden in der direkten Auseinandersetzung mit den Vertretern eines Fachgebietes viel stärker gefördert als durch die Unnahbarkeit, die überfüllte Hörsäle austrahlen. Großes Augenmerk muss allerdings darauf gelegt werden, dass nicht die Autorität der Lehrenden und Wissenschaftler im Vordergrund steht, sondern die Individualität der Studierenden. Nur so können die Studenten lernen, eigene Fragestellungen zu entwickeln und individuelle Lösungsansätze zu verfolgen. Der ständige direkte Kontakt und Austausch mit den Lehrenden, der sich nicht nur auf die wenigen Stunden der Lehrveranstaltungen beschränkt, kann dann wieder im Zentrum stehen.

Entwicklung von Bild- und Tonkompetenz als Ergänzung zum formalen und methodischen Wissen

Der berufliche Erfolg der Absolventen in Medieninformatik – deren Arbeitsplätze, wenn man den Prognosen glauben darf, hauptsächlich in der zukunftsträchtigen Multimedia-Industrie angesiedelt sein werden – wird entscheidend davon abhängen, wie gut sie in der Lage sind, mit Bildern und Tönen nicht auf einer rein technischen, sondern auf der inhaltlichen Ebene umzugehen. Um den Computer als Hilfsmittel für den Umgang mit Bildern einsetzen und weiterentwickeln zu können, müssen sie bewußt mit diesem Medium umgehen können, d.h. mit den verschiedenen Formen menschlichen Handelns in verschiedenen bildorientierten Kontexten. Die Differenzierung des meist oberflächlich verwendeten und für eine wissenschaftliche Betrachtung wenig hilfreichen Multimedia-Begriffes in Multimodalität, Multicodierung und Multimedia¹⁸ verdeutlicht die Situation:

- Multimodal (visuell + auditiv)
- Multicodal (Text + Bilder + Zahlen Rede + Musik + Geräusch)
- Multimedial (PC + CD-Rom + Videorecorder + DVD-Player)

Der Bereich, in dem der "klassische" Informatiker derzeit Kompetenz hat, wäre nach dieser Einteilung der multimediale Bereich, also der Bereich der Geräte. Das Gebiet der Multimodalitäten und Multicodierungen – also die

18 Vgl. Bernd Weidemann, Multicodierung und Multimodalität im Lernprozeß, in: Issing & Klimsa (Eds.), Information und Lernen mit Multimedia, Weinheim: PVU, 1997. Inhalte – sind angestammte Gebiete der Gestaltung, der Kunst und der Geisteswissenschaften. Hier muß die Ausbildung zum Informatiker ansetzen. Die Geräte können nicht sinnvoll unabhängig von den Inhalten weiterentwikkelt werden. Dies soll abschließend am Beispiel des Fotorealismus näher ausgeführt werden.

Die Zielsetzung des Fotorealismus ist, Bilder zu erzeugen, die sich von der Wirklichkeit, d.h. von Gegenständen, die existieren oder existieren könnten, möglichst wenig unterscheiden. Das erklärte Forschungsziel ist die vollständige und perfekte Imitation der visuellen Realität, die künstliche Nachbildung einer externen Wirklichkeit mit algorithmischen Mitteln. Doch welches Ideal von Wirklichkeit wird hier bemüht? Der in solchen Konzepten zugrunde gelegte Wirklichkeitsbegriff arbeitet offensichtlich auf eine Neutralität und Objektivität des Bildes hin, die keinen Betrachter mehr brauchen und gerade darin ihre kulturelle Herkunft und Denktradtion offenbaren: eine verspätete Bestätigung des mechanistischen Weltbildes, dessen Ablösung in den Naturwissenschaften längst vollzogen worden ist. Aufgrund des Anspruchs, "Wirklichkeit an sich" abzubilden, bleibt das einzelne informatische Bild ohne Inhalt. Die Entwickler der Algorithmen sind nicht an den dargestellten Objekten oder dem Bildaufbau interessiert, sondern an spezifischen Kriterien für die Konstruktion von Objekten und Effekten. Das Motiv wird so gewählt, dass es vor allem die Vor- und Nachteile der jeweiligen Algorithmen deutlich zeigt. Es geht um Techniken der Bildherstellung ohne Bezugnahme auf konkrete Bilder. Gerade dadurch wird aber eine Umkehrung erreicht. Es wird nicht Wirklichkeit nachgebildet, sondern definiert. Wie bereits beim Fotoapparat werden auch in der Computergrafik die Beziehungen zwischen den Individuen und den Dingen zuerst geschaffen und dann an die Stelle des Wirklichen gesetzt. Auch in der Computergrafik wird es deshalb immer wichtiger, die unverwirklichten Chancen der synthetischen Bildherstellung hervortreten zu lassen. Einige Fragen lauten: Was können die Informatiker leisten, wenn das Leitbild Fotorealismus nicht mehr existiert? Was können Informatiker hierzu aus der Kunstgeschichte lernen? Wie kann die Erkenntnis, dass computergenerierte Bilder nicht Wirklichkeit nachbilden, sondern definieren, für das Forschungsgebiet fruchtbar genutzt werden?

Nachtrag zum Millenium-Bug

Die letzten Sätze dieses Beitrags werden am 31.12.1999 geschrieben, am Tag des Jahrtausendwechsels. Seit Monaten wird das y2k-Problem, der Datumswechsel in Chips und Software, in den Medien dargestellt und diskutiert. In wenigen Stunden wird entschieden, ob sich Horrorvisionen erfüllen oder es bei amüsanten Nebeneffekten bleibt. Ob nun mehr oder weniger

schlimme Auswirkungen eintreten werden oder nicht, ist allerdings nicht das Entscheidende (der Autor dieser Zeilen geht davon aus, dass nichts Dramatisches passieren wird). Viel wichtiger ist, dass trotz aller Milliardenbeträge, die an neuralgischen Punkten investiert wurden, um mögliche Störquellen zu entschärfen, niemand sagen kann, was wirklich passieren wird. Es vermittelt sich weniger das Gefühl, mit einem simplen, von Anfang an bekannten, technischen Problem konfrontiert zu sein, als vielmehr einem unvermeidlichen Naturereignis gegenüber zu stehen. Man weiß zwar, dass es streng formalen, physikalischen Gesetzen gehorcht; dennoch können wir es weder abwenden noch präzise vorhersagen. Computersysteme und ihre Software haben eine Komplexität erreicht, die jenseits der darunterliegenden deterministischen formalen Beschreibungen liegt. Aufgrund der Allgegenwart der Chips und vielschichtigen Vernetztheit aller Systeme können die Phänomene und Abläufe nicht mehr auf formaler, mathematischer Ebene beschrieben werden. Die mathematisch fundierte Theorie der Informatik, wie sie von Church, Turing, Gödel, Shannon etc. entwickelt wurde, kann nicht länger die alleinige Theorie der Informatik sein. Die Notwendigkeit, die Basis zu erweitern, ist offensichtlich.