

Grenzüberschreitende Informatik ?

R. Vollmar

GI - JAHRESTAGUNG 1999

Paderborn

7. Oktober 1999

## **Zusammenfassung**

Es liegt im Wesen der "Grenze" zu trennen. Grenzen können zu Klarheit und Sicherheit verhelfen, aber auch einengen und klein halten. Grenzen zu wahren und zu verteidigen, kann ethisch geboten sein, sie zu überschreiten, Revolutionen auslösen oder den Weg ins Gelobte Land eröffnen.

Im Bericht wird dargestellt, wie verschiedenartig die unser Fach charakterisierenden und sich ihm bietenden Grenzen sind. Es werden Beispiele dafür präsentiert, die aufzeigen, wie Methoden und Ergebnisse der Informatik zu Grenzüberschreitungen geführt haben.

Hinweise darauf, welche Trennungslinien zu überqueren Ziel sein sollte und welche zu respektieren sind, beschließen den Bericht.

### *Vorbemerkung*

Der vorliegende Bericht stellt die leicht erweiterte Fassung meines zur GI-Jahrestagung '99 in Paderborn eingeladenen und am 7.10.1999 gehaltenen Vortrages dar.

Die entsprechende Diktion wird beibehalten, hinzugefügt sind u.a. die Zitatstellen.

## "Grenzen überschreiten" vs. "Grenzen überwinden"

Auf einer Konferenz beklagte sich O. Fránek [Fr96] mit folgenden Worten:

"Nothing is more boring than to come to a conference and listen for endless hours how successful the others are."

Sollten Sie sich jetzt langweilen, hat das wohl andere Gründe, denn ich werde *nicht* endlos reden und auch nicht über eigene Erfolge, wohl aber zeitweise über solche der Informatik.

Ein entsprechender Teil, in dem (wohlbekannte) Ergebnisse skizziert werden, die das wissenschaftliche Gebiet, in dem wir uns bewegen, charakterisieren, wird sich einführenden Bemerkungen zum Thema anschließen.

Sodann werden wir auf die Lage der Informatik in der Wissenschaftslandschaft zu sprechen kommen, dabei "weiche Grenzziehungen" kennenlernen und im letzten Teil des Vortrags den mahnenden Zeigefinger vor dem Überschreiten gewisser Grenzen heben.

Eine Warnung aber vornweg: Warten Sie bitte nicht auf Folien oder gar Video-Clips, ich werde Ihnen solches nicht präsentieren! Seien Sie aber gefaßt auf längere Zitate!

Ich will mich nicht dahinter verstecken - ihre Präsentation bedingt natürlich mein Einverständnis mit dem dort Gesagten -, vielmehr will ich verdeutlichen, daß auch die Informatik eine Geschichte hat und daß vieles, was mir einfällt, bereits formuliert wurde - und dies meist besser, als ich es vermöchte.

"Informatik überwindet Grenzen": Unter diesem Motto steht die GI-Jahrestagung '99, und ich werde Beispiele bringen, die diese Aussage stützen. Warum also das Fragezeichen im Titel meines Vortrags ?

Zunächst möchte ich Ihre Aufmerksamkeit auf den Unterschied zwischen "Grenzen überwinden" und "Grenzen überschreiten/übertreten" lenken: Ersteres ist wohl überwiegend positiv zu sehen, während "Grenzüberschreitung" eher ambivalent aufzufassen ist.

"Grenzen" spielen in vielen Bereichen eine bedeutsame Rolle: So wird - laut Encyclopaedia Britannica [EB99] - noch von vielen Biologen ein "lebendes System" definiert als ein "Objekt mit einer festgelegten Grenze,...".

In der Psychologie wird die Auffassung vertreten, daß Kinder "Grenzen erfahren müssen", um ihre Identität finden und Ichstärke entwickeln zu können.

In den Naturwissenschaften und z.B. auch in der Informatik müssen wir reale Systeme eingrenzen, um sie modellierbar und damit handhabbar zu machen. (Und Modelle benötigen wir, da nach Zemanek "Ordnung und Macht stets auf Modellvorstellungen und auf der Modellierbarkeit der Welt [beruhen]" [Ze92]).

Das Spektrum der Auffassungen von "Grenzüberschreitung" ist äußerst weitgespannt:

Bei Hippel (in "Lebensläufe", zitiert nach Grimm [GJ84]) finden wir:

"So brach der Mensch die Grenze, und von diesem Zeitpunkt an lernte er aus der Sünde, aus der Grenzübertretung, das Gute und Böse erkennen."

In der Kinder- und Jugendpsychologie wird die Nichtachtung, die Grenzüberschreitung, des physischen und emotionalen Nahbereichs eines Kindes als Mißbrauch gewertet [Pi99].

Differierend gesehen wird "Grenzüberschreitung" in anderen Bereichen:

J. Treusch gibt einem Aufsatz den Titel "Grenzüberschreitungen - Wege in die Zukunft" [Tr96].

Und er schreibt u.a. darin: "Zu der nach außen gewendeten Grenzüberschreitung, die das Wissen mehrt, muß verstärkt die nach innen gerichtete Grenzüberschreitung hinzutreten, die das Wissen wert macht."

Grunwald [Gr98] bemerkt:

"Karl Jaspers hat vor einer Gefahr gewarnt, die er Provinzialisierung der Wissenschaft nannte: Wissenschaftler könnten sich in einem überschaubaren Gebiet so wohl fühlen, daß sie sich darin bequem einrichten und das Gefühl haben, auf einer Insel der Seligen zu leben, obwohl sie sich zunehmend isolieren und überholt werden. Grenzüberschreitung darf, um dieser Provinzialisierung zu entgehen, daher nicht die Ausnahme, sondern muß die Regel sein."

Ich bin sicher, daß ich noch wesentlich mehr Zitate finden könnte, um zu untermauern, daß Grenzüberschreitungen in Neuland führen, z.B. in der Bildenden Kunst dieses Jahrhunderts die Werke der Kubisten oder von Dubuffet, aber ich glaube, daß Sie so schon genügend sensibilisiert sind, um den Begriff "Grenze" in seinen unterschiedlichen Bedeutungen wahrzunehmen.

Aber eines sollte ich wohl noch klarstellen:

Der Titel meines Vortrages soll *nicht* anspielen auf den berühmt gewordenen parodistischen Artikel "Transgressing the borders" von A. Sokal [So99], der als vermeintlicher Angriff auf die postmoderne Philosophie viel Staub aufwirbelte - dies allein schon deshalb, weil ich ihn bei der Formulierung meines Vortragsthemas noch nicht kannte.

Ebenso wenig maße ich mir an, etwas zu den "zwei Kulturen" von C.P. Snow sagen zu können; eine auf etwa eine Seite komprimierte Stellungnahme ist dazu bei Ravetz [Rz73] zu finden.

## Informatik-inhärente Grenzen

Im folgenden wollen wir uns an erster Stelle mit informatik-inhärenten Grenzen beschäftigen, auch um die Forderung von F.L. Bauer aufzugreifen, die "Informatik von Zufälligkeiten technischer Entwicklungen frei zu machen". (Daß dabei Vollständigkeit weder angestrebt noch gar erreicht werden kann, dürfte selbstverständlich sein, so daß Sie einen Einblick in meine Vorlieben erhalten.)

"Möglichkeiten und Grenzen" von Methoden und daraus folgend auch der durch sie geprägten Gebiete oder sogar Spezialdisziplinen zu untersuchen, gehört m.E. zum Grundlegenden in der Wissenschaft.

Als Beispiel sei erwähnt, daß eine solche Diskussion sogar in einem populär aufgemachten Artikel über Gentests [UGWW] ihren Platz fand - und das mit Recht.

Grenzen nicht zu kennen, wird zumindest als Bildungsdefizit betrachtet, so z.B.

in der Physik die Lichtgeschwindigkeit und die Heisenbergsche Unschärferelation

oder in der Logik die Gödelschen Unvollständigkeitssätze.

Wie sieht es damit in der Informatik aus?

Natürlich haben wir als Teilnehmer an einer Jahrestagung der "Gesellschaft für Informatik" alle (zumindest implizit) eine Vorstellung von deren wesentlichen Inhalten. Dennoch bringe ich dazu eine Zitat von 1974, nicht nur, um der Tatsache am "Geschichtsnachmittag" reden zu dürfen, Tribut zu zollen, sondern auch schlicht, um das für unser Gebiet Wesentliche hervorzuheben. F.L. Bauer schreibt dazu [BF74]:

"Damit haben wir mit den Elementen

Codierung durch Zeichen

Mechanisierung der Operationen mit Zeichen

programmierbare Ablaufsteuerung von Operationen

die Grundlagen des Wissenschaftsinhalts der Informatik, die in der Verbindung dieser Elemente in einem `Program`m, das einen `Algorithmus` darstellt, gipfelt und insofern als Wissenschaft von der Programmierung der Informations-, d.h. Zeichenverarbeitung aufgefaßt werden kann."

Angemerkt sei, daß bei entsprechend "weiter" Interpretation darunter auch die heute stärker betonten "reaktiven Systeme" (s. z.B. [Go97]) subsumiert werden können.

Die Möglichkeiten des *algorithmisch "Machbaren"*, z.B. formuliert in der Church-Turing-These, sollten ebenso wie das Wissen um die Existenz algorithmisch unlösbarer Probleme zum Bildungskanon aller Wissenschaftler gehören, die mit Computern Umgang pflegen. Informatiker sollten darüber hinaus nicht nur um das Vorhandensein dieser Grenze wissen, sondern sich auch näher mit deren Verlauf auseinandersetzen.

Ich denke dabei einmal an "minimale" universelle Maschinenmodelle, wie z.B. daß zwei Zustände bzw. (allerdings nicht gleichzeitig) zwei Bandsymbole bei 1-Band-Turingmaschinen ausreichen - letzteres auch als "Hinweis", daß die binäre Welt der Computer wirklich keine echte Einengung bedeutet oder, daß für Registermaschinen zwei Register genügen, aber auch an die Trennlinien - die keineswegs schon alle bekannt sind - zwischen entscheidbaren und unentscheidbaren Fällen von Problemen. Beispielhaft seien hier (Gruska [GJ97] zitierend) genannt:

- Bei 1-dimensionalen Turingmaschinen ist das Halteproblem entscheidbar, wenn das Produkt der Anzahl der Zustände und der Bandsymbole  $\leq 6$  ist und unentscheidbar, wenn es  $\geq 24$  ist.
- Das Äquivalenzproblem ist für Registermaschinen mit 7 Befehlen entscheidbar, mit 8 Befehlen unentscheidbar.
- Das Postsche Korrespondenzproblem über einem zweielementigen Alphabet ist entscheidbar, wenn die Listenlängen  $\leq 2$  sind und unentscheidbar, wenn sie  $\geq 7$ .

Das letztgenannte Beispiel führt uns nahtlos über zu Komplexitätsbetrachtungen und damit in das Gebiet des Handhabbaren oder effizient Machbaren: Es ist unmittelbar zu sehen, daß eine vorgegebene Längenbeschränkung der Indexfolge ein beliebiges Postsches Korrespondenzproblem entscheidbar werden läßt. Können wir damit sicher sein, eine Lösung zu erhalten? Bekanntermaßen ist die Antwort - im Stil von Radio Eriwan - "im Prinzip ja, aber ...". Der mit dem "aber" zum Ausdruck kommende Vorbehalt besteht "technisch gesehen" darin, daß die vorgestellte beschränkte Version des Postschen Korrespondenzproblems *NP*-vollständig ist.

M.E. kann die Einführung quantitativer Aspekte über Aufwandsabschätzungen von Algorithmen nicht hoch genug eingeschätzt werden. Und dies unabhängig davon, was wir von der "unsicheren" Grenze zwischen *P* und *NP* halten mögen.

Jedenfalls erlaubt z.B. die Zeitkomplexität eine rationale Aussage über die Güte von Algorithmen zu machen. Damit kommen weitere "Grenzen" ins Spiel: Gelingt es, untere Komplexitäts-Schranken für ein Problem nachzuweisen und hat man Algorithmen, die mit diesem Aufwand auskommen, kann man sich *eigentlich* weitere

Bemühungen sparen. "Eigentlich" sagte ich, weil es da noch einiges zu beachten gibt:

- Üblicherweise hat man nur "worst case"-Ergebnisse, ist aber eher am durchschnittlichen Verhalten interessiert.
- Möglicherweise hat man nur Instanzen des Problems zu betrachten, die spezielle Eigenschaften haben, wofür vielleicht doch noch Verbesserungen erzielbar sind.
- Oft ist nicht nur *eine* Ressource beschränkt, so daß Aussagen über Produktkomplexitäten realistischer wären.
- ...

Ein positives Resümee können wir aber ziehen:

Das Wissen um und die Kenntnis von Komplexitätsgrenzen macht die Nutzung der Computer effizienter.

Stößt man in Verfolgung einer Technik an (zumindest derzeit) unüberwindliche Grenzen, wird man einen anderen Weg ausprobieren. Ein *möglicher*, mir sehr sympathischer, ist der des Parallelismus, *wenn es darum geht*, Geschwindigkeitsgewinne zu erreichen. Daß meiner Überzeugung nach bei Parallelverarbeitung die Modellierung realer Systeme "natürlicher" ist und daß Redundanz leichter zu organisieren ist, sei dabei einmal außer Betracht gelassen.

Ich gehe nicht nur meiner persönlichen Vorlieben wegen auf dieses Gebiet ein als vielmehr deshalb, weil an ihm deutlich zu machen ist, daß Grenzziehungen unter unterschiedlichen Aspekten erfolgen können und daß dabei auch deutlich unterschiedliche Ergebnisse die Folge sind.

Drei Sichtweisen sollen gestreift werden:

1. die technisch-algorithmische
2. die abstrakt-modellhafte und

### 3. die physikalische

und anschließend soll kurz erläutert werden wie physikalische Grenzen auf die Modellbildung rückwirken. In Paderborn etwas über Parallelismus zu sagen, heißt Eulen nach Athen tragen, insbesondere da dazu wesentliche Ergebnisse in den Arbeitsgruppen der Kollegen Monien [MoWW], Meyer auf der Heide [MHWW] und Rammig [RaWW] erzielt wurden.

"Technisch-algorithmisch" soll auf Untersuchungen verweisen, die im wesentlichen zum Ziel haben, für bestimmte Typen von Parallelrechnern - wobei Anzahl von Prozessoren und z.B. Speichergröße variabel gehalten werden - für gewisse Problemklassen - deren Abgrenzung ist selbstverständlich ebenfalls Forschungsgegenstand - "gute" parallele Algorithmen zu entwickeln und diese effizient zu implementieren. In erster Näherung wird man solche Algorithmen dann als "gelungen" betrachten, wenn die Ausführungszeiten umgekehrt proportional zur Ressourcengröße, also normalerweise der Anzahl der Einzelprozessoren, sind. Die Grenzen des durch Parallelismus Erreichbaren, lassen sich nicht so einfach beschreiben, es sei deshalb nur angemerkt, daß trotz sog. Amdahlschem Gesetz sogar superlineare Beschleunigungen erzielbar sind, was ganz grob gesprochen mit Möglichkeiten beim Einsparen von Wegverfolgungen zu tun hat.

Der Eigenart von Parallelrechnern entsprechend - es gibt nicht *den* Parallelrechner, sondern eine Vielzahl von Konstruktionen, nicht nur technisch gesprochen, sondern von der Grundkonzeption her - gibt es auch eine Vielzahl abstrakter Modelle. Um diese Problematik zu verdeutlichen, will ich hier nur eines erwähnen, und zwar eines, das in gewisser Weise ein Extrem darstellt: Die nichtdeterministische listenverarbeitende parallele Registermaschine (s. z.B. [VW95]). Mit ihr lassen sich die Probleme aus  $NP$  in logarithmischer Zeit lösen! Wie kommt man zu einer solchen Aussage?

>Eine Menge< trägt natürlich der Nichtdeterminismus des Modells dazu bei. Aber auch das sog. uniforme Komplexitätsmaß spielt eine Rolle, die Tatsache nämlich, daß beliebig lange Wörter in *einem* Schritt z.B. zerlegt oder zwei solche Wörter konkateniert werden können. Und dazu kommt, daß mit fortschreitender Zeit eine exponentiell wachsende Anzahl von Prozessoren aktiviert werden können.

Bevor jetzt Ihr Kopfschütteln über die Theoretiker schmerzhaft wird, lassen Sie mich noch zwei Bemerkungen machen: Einmal gibt es auch viele viel realistischere Modelle und zum andern denke ich, daß es wichtig ist, die Grenzen auszuloten.

Wenn wir uns wohl auch darüber einig sind, daß das skizzierte Modell nicht von besonderer Nützlichkeit sein dürfte, so ist die Frage nach den auf jeden Fall vorzunehmenden Änderungen nicht einfach zu beantworten: Wie schon eingangs bemerkt, sollten technische "Zufälligkeiten" bei diesen Modellierungen keine wesentliche Rolle spielen, gerade weil Entwicklungen in diesem Bereich gleichsam über Nacht die gesamte Landschaft ändern können: Wäre Kommunikation einfach z.B. mittels Licht (ohne physische feste Verbindungen) zu realisieren, wäre für einen Parallelrechner sicherlich der vollständige Graph das Kommunikationsnetzwerk der Wahl.

Hat man "klassische Rechner" im Auge, d.h. sieht man einmal von den noch offenen Möglichkeiten von Quantencomputern ab (s. z.B. [GJ99]), wird man sich wohl, Schorr [Sr83] folgend, auf zwei Grundannahmen verständigen können:

1. Jedes Prozesselement nimmt ein endliches Volumen  $>0$  ein.
2. Informationsübertragung ist durch die Lichtgeschwindigkeit beschränkt.

Dann läßt sich beweisen, daß jeder auf diesen Annahmen basierender Parallelrechner in Polynomialzeit von einem sequentiellen Computer simuliert werden kann.

Damit haben wir eine weitere Grenzlinie aufgezeigt, nämlich die, die durch den Einsatz noch so vieler Prozessoren nicht überschritten werden kann.

Wenn dies auch ernüchternd klingen mag, hat es doch den Vorteil, unserer Intuition entgegenzukommen und z.B. das zuvor erwähnte Modell mit seiner Fähigkeit, Probleme aus  $NP$  in logarithmischer Zeit zu lösen, obsolet zu machen. Und außerdem darf nicht übersehen werden bzw. gering geachtet werden, daß z.B. eine für einen sequentiellen Rechner durch ein Polynom gegebene Zeitschranke durch Parallelverarbeitung um "mehrere Grade" gesenkt werden kann und damit Probleme von der "faktischen Unlösbarkeit" in den "handhabbaren Bereich" transformiert werden können. In diesem Zusammenhang sei auch darauf verwiesen, daß bei manchen Problemen bessere Algorithmen spektakuläre Beschleunigungen nach sich ziehen. Oosterlee et al. [OS97] geben ein Beispiel, bei dem auf diesem Wege ein Faktor  $> 400$  erhalten wurde und merken dazu an, daß die "Kombination von Adaptivität und Parallelität [...] eine der Herausforderungen des Wissenschaftlichen Rechnens" sei.

Kommen wir zurück auf physikalische Grenzen, die für unser Fach relevant sind. Von Bremermann [Br74] gibt es eine sehr frühe Abschätzung - über quantenphysikalische Argumentation - über die maximal erreichbare Rechengeschwindigkeit. Sie liegt so hoch, daß wir uns während unserer Lebenszeit sicherlich nicht damit zu befassen brauchen.

Anders ist es um eine weitere physikalische Größe bestellt: die beim Rechnen erzeugte Wärme. Die Älteren unter Ihnen werden sich wohl daran erinnern, daß vor

noch nicht allzu langer Zeit Rechnerräume im Sommer ein beliebter, wenn auch normalerweise schwer zugänglicher, Aufenthaltsort waren, da sie klimatisiert waren. Das Problem der Wärmeabgabe ist heute aber nicht etwa gelöst, sondern stößt mit tragbaren Computern wieder verstärkt auf das Interesse der Forschung, auch wegen der Frage des Energieverbrauchs.

Von irreversiblen Berechnungen, also solchen, bei denen aus dem Ergebnis nicht auf die Eingabe rückgeschlossen werden kann, weiß man, daß sie zwangsläufig Energie verbrauchen und damit Wärme erzeugen müssen.

Dies ist anders bei reversiblen Vorgehen, das im Prinzip ohne Energieverbrauch auskommt. Da man weiß, daß man alle Berechnungen so "erweitern" kann, daß sie reversibel werden, so gibt es z.B. universelle reversible Turingmaschinen, sollte das Problem gelöst sein, - ist es aber nicht, weil zumindest derzeit dem unbegrenzten reversiblen Vorgehen technische Schwierigkeiten entgegenstehen.

Im Zusammenhang mit Überlegungen zur dreidimensionalen Packung aktiver Prozessorelemente spielt die Wärmeabgabe eine besondere Rolle, hat man doch - bei einem naiven Ansatz - nur die Oberflächen zur Abstrahlung. Es läßt sich in der Tat zeigen, daß z.B. für das Modell des dreidimensionalen Zellularautomaten Probleme existieren, die wegen der begrenzten Wärmeabgabemöglichkeiten nicht mit der prinzipiell möglichen Geschwindigkeit behandelt werden können [Sa97].

Abschließen will ich diesen (recht langen) Abschnitt über Beispiele informatikimmanenter Grenzen mit einem Zitat von Gruska [GJ97] (übersetzt):

"Die Suche nach Grenzen zwischen dem Möglichen und Unmöglichem ist eines der Hauptanliegen [...] der Wissenschaft. Die Entdeckung solcher Grenzen [...] steht oft am Beginn einer langen Kette fruchtbarer Beiträge zur Wissenschaft. [...]"

Wenn auch - wie bereits an einigen Stellen angedeutet - der Grenzverlauf noch nicht überall bekannt ist, so ist vielleicht doch der Hinweis angebracht, daß diese Grenzen "hart" sind, in dem Sinne, daß unter den jeweils festgelegten Voraussetzungen entsprechende Aussagen bewiesen sind.

Von anderer Art sind Fragen nach Abgrenzungen, wie sie z.B. in der nach der Anzahl der Sandkörner, die einen *Sandhaufen* ausmachen, auftreten. Daß dies nicht ein "rein akademisches Problem" ist (das wir zudem in den Bereich der Fuzzy-Logik verweisen könnten), wird m.E. am Beispiel von Aktienverkaufsstrategien mit Rechnerhilfe deutlich: Es scheint durchaus rational - und auch unter ethischen Gesichtspunkten kaum diskutierbar -, bei Unterschreiten eines gewissen Kurslimits einen Verkaufsauftrag zu geben. Was geschieht aber, wenn im Sekundenbereich dadurch ein "Kursrutsch" entsteht? Heutzutage sind wohl "globale" Sicherungen eingebaut, aber auch erst nach unangenehmen Überraschungen (von denen ich allerdings nicht weiß, ob sie überhaupt richtig verstanden wurden).

Dieses "Umschlagen" lokaler Vorgänge ins Globale wird z.B. bei Zellularautomaten geradezu zum Prinzip, scheint mir aber bei Steuerung realer Systeme (und dies können nicht nur Börsen- sondern auch Waffensysteme sein) der besonderen Aufmerksamkeit zu bedürfen.

## **Informatik überwindet Grenzen**

Kommen wir nun auf wieder andere Arten von Grenzen zu sprechen, und zwar solchen, deren Überwindung wir uns angelegen sein lassen sollten.

Andersen Consulting definiert den "Infocosm" als "eine Welt voller Informationen, in der die Menschen arbeiten, lernen und spielen, ohne durch die traditionellen Grenzen von Zeit, Ort und Form eingeengt zu werden" [Mc96].

Zweifellos wird die Rolle der Informatik für diese "Informationswelt" analog sein zu der der Physik für die physikalische, durch Energie bestimmten Welt. Einen Einstieg in den "Infocosm" stellt das Internet als wahrhaft global ausgelegtes System dar. Es überwindet offensichtlich Grenzen, nicht nur im Sinne des üblichen Sprachgebrauchs, sondern z.B. auch im Hinblick auf kulturelle Verschiedenheiten. Auch wenn ich die Mängelrüge von Maurer [Ma99] hinsichtlich seiner geringen Interaktivität teile und so sehr sich mir beim Surfen in ihm sarkastische Bemerkungen auf die Zunge drängen, so überwiegen für mich doch die positiven Aspekte, insbesondere die Möglichkeit der weltumspannenden off-line-Kommunikation mit Freunden und Kollegen und der bequeme, weil physisch unaufwendige, Zugriff zu einer Fülle von Informationen. Von den sich durch das Internet ergebenden technischen, kommerziellen und gesellschaftlichen Änderungen will ich nur auf den ersten und letzten Aspekt kurz eingehen: Die Sicht auf und die Nutzung von Rechnern wird generell modifiziert werden, im Sinne des von der Fa. SUN geschützten Slogans "The Network is the Computer."

Beispiele dafür liefern die Zusammenarbeit (über das Netz) von Zehntausenden Workstations zur Faktorisierung sehr großer Zahlen [CZ96] oder zur Datenauswertung im SETI-Projekt [SEWW].

Hinsichtlich der gesellschaftlichen Auswirkungen glaube ich das (zumindest, wenn ich optimistisch gestimmt bin), was Lübbe [LüWW] schreibt:

"... im Gegensatz zu Orwells utopischer Vermutung nimmt mit der Hochentwicklung der Informationstechnologie die Wahrscheinlichkeit, daß totalitäre politische Informationskontrolle erreichbar sei, nicht zu, vielmehr ab."

Ich hoffe sogar, daß durch das Internet "die mediale Integration des Globus in ein informationelles Weltsystem" [LüWW] soweit fortgeschritten ist, daß es dazu beitragen wird, Abkapselungen ideologischer oder ethnischer Genese zumindest zu erschweren, ja, auch das Bewußtsein der Zugehörigkeit zu *einer* Welt fördert und damit auch die Verantwortlichkeit des einzelnen für diese Welt deutlicher werden läßt.

Um dabei voranzukommen, muß der Netzzugang einfach und billig sein, auch um nicht eine neue Grenze zwischen Netzbesitzern und Netzhabenichtsen zu schaffen und um die im PITAC 99 - Forderungskatalog aufgeführten Ziele zu erreichen:

"The Nation must ensure that access to the benefits of the information infrastructure are available to everyone in our Nation: to those living in small towns and rural areas as well as in big cities [...] and those who face daily challenges from disabilities. We should use information technology to bridge the gaps in our society, not to create new ones." [Pr99]

Angesprochen wird hier auch eine Gruppe, nämlich die der Menschen mit Behinderung, die ich wohl nicht für ausgegrenzt halte, deren Leben aber häufig durch Schwellen und Schranken erschwert wird. Diese, soweit dies mit den Mitteln der Informatik möglich ist, zu erniedrigen oder zu beseitigen, ist nicht nur ein ethisches Gebot sondern auch eine wirtschaftliche Notwendigkeit; Die absehbare demographische Entwicklung der westlichen Industriestaaten wird zu einer Erhöhung des Anteils alter Menschen führen, und diese verfügen oft nur noch über eingeschränkte Fähigkeiten. Aber auch bereits jetzt rechnet man in den USA mit etwa 40 Millionen Personen, die sensorisch, physisch oder kognitiv behindert sind [La99].

Während für alte Menschen der Rechnereinsatz vor allem für ein sichereres Leben in der eigenen Wohnung ("smart house") sorgen soll, steht für jüngere die berufliche Integration auf der Agenda vorn. Um nochmals den PITAC-Report [Pr99] zu zitieren: "A highly flexible workplace is able to accomodate each individual's needs, from working parents to workers with disabilities."

Welche Hemmnisse dem entgegenstehen, weiß jeder Computernutzer, ich denke aber, daß die Informatik auf dem richtigen Weg ist, diese Handhabungsgrenzen zu überwinden.

## Ethische Grenzen

Hier ist m.E. auch der Platz, um Grenzziehungen ganz anderer Art anzusprechen (wenn auch nur andeutungsweise), nämlich die ethisch bedingten.

Bei K. Zuse [Zu84] spielte dies schon bei der Konzeption eine Rolle. Er sagt dazu in seiner Autobiographie: "... Symbolisch kann man das [nämlich: die Rückwirkung des Ergebnisses der Rechnung auf den Ablauf und die Gestaltung des Programmes selbst] durch einen einzigen Draht darstellen. Ich hatte, offen gesagt, eine Scheu davor, diesen Schritt zu vollziehen. So lange dieser Draht nicht gelegt ist, sind die Computer in ihren Möglichkeiten und Auswirkungen gut zu übersehen und zu beherrschen. Ist aber der freie Programmablauf erst einmal möglich, ist es schwer, die Grenze zu erkennen, an der man sagen könnte: bis hierher und nicht weiter."

Heutzutage haben sich derartige Fragen auf den Computereinsatz zu konzentrieren: Werden lückenlose Mobilitäts- und Kommunikationsprofile einen "Überwachungsstaat" begünstigen oder werden die dazu nötigen Techniken nur zur Unterstützung z.B. behinderter Menschen eingesetzt werden? Werden kryptographische Methoden zur "sicheren" Kommunikation und Authentifizierung den elektronischen Handel beleben oder zur abhörsicheren Verabredung krimineller Handlungen dienen oder wird ihr Verbot Industrie- und Wirtschaftsspionage begünstigen? Werden Ergebnisse der Genomanalyse nur dazu benutzt werden, genetisch bedingte Krankheiten zu heilen (- und zu welchen Folgerungen führt dabei eine pränatale Diagnose) oder wird der "Übermensch" gezüchtet werden?

An nur einem Beispiel will ich klar machen, daß Antworten zu diesem Fragenkomplex nicht immer auf der Hand liegen [Vo96]:

"Eine ausgesprochene Horrorvorstellung für mich ist es [...], mir auszumalen, Roboter würden weitgehend selbständig zur Pflege von Patienten eingesetzt. Verblüfft war ich deshalb, als ich in [BMFT1993] las, daß dies von Japanern ganz anders gesehen wird: >> [...] Ein Roboter, der aus europäischer Sicht jede menschliche Zuwendung vermissen läßt und daher zur Beförderung der Genesung eher ungeeignet erscheint, ist aus japanischer Sicht ein Hilfsmittel, [das] >Gesicht-Verlieren< zu vermeiden und gleichzeitig die Kapazitätsprobleme im Pflegebereich [...] zu lösen. [...] << So können soziokulturelle Eigenarten zu ganz unterschiedlichen ethischen Bewertungen führen."

Daß ethische Richtlinien zudem auch zeitgebunden sein können, wird am Hippokratischen Eid, in dem z.B. die Operation von Blasensteinen untersagt wird, deutlich. A.W. Bauer [BAWW] sagt dazu: "Als unmittelbar gültige normative Richtschnur für das konkrete Handeln des heutigen Arztes kann er vor dem gewandelten wissenschaftlichen und sozialen Kontext der Gegenwart allerdings nicht mehr dienen; die Geschichte entläßt uns nicht aus der Verantwortung für unsere eigene Zeit."

Natürlich kann ich zu ethischen Fragen nicht mit einfachen Antworten aufwarten - und deren Problematik verbietet diese geradezu -, vielmehr müssen die für den Computereinsatz zu ziehenden Grenzen - wie gerade gesagt - immer wieder diskutiert werden, wobei es sicherlich auch erforderlich ist, das interdisziplinäre Gespräch zu suchen. Wozu ich aber auch aufrufe ist, nicht nur mögliche Gefahren herauszuarbeiten sondern sich auch immer die Frage zu stellen, welche Schäden durch einen *Nichteinsatz* von Rechnern oder das *Nichtverfolgen* eines Forschungsweges auftre-

ten können und, um mit Zemanek zu sprechen [Ze92] "...müssen [wir] alles tun, den Computer vor radikalem Mißtrauen zu schützen."

## Zur Identität der Informatik

Die folgenden Ausführungen werden sich im wesentlichen mit Trennlinien befassen, die oft nur als "weiche Grenzen" gesehen werden können. Um in Ihnen eine Idee zu erwecken, wovon ich sprechen will, bitte ich Sie zu überlegen, wie Sie (in verschiedenen Jahren) eine Abgrenzung zwischen "Großrechner" und "Supercomputer" vornehmen würden oder wie in der letzten Zeit ein Generationswechsel festzulegen wäre.

Bei der Etablierung unseres Faches war es wichtig, sich zur Identitätsfindung von anderen Gebieten abzugrenzen. Aber bereits 1981 konnte Ganzhorn (als mit der Informatik befaßter Physiker allerdings) mit der m.E. gebotenen Gelassenheit schreiben [Ga81]: "Mit der >Information< als Element technischer Einrichtungen hat sich unversehens ein neuer [...] Bereich aufgetan, der typisch interdisziplinär seinen Platz zwischen Mathematik, Logik, Ingenieurwissenschaften und Linguistik finden mag. Nachdem jedoch auch biologische Prozesse wesentlich informatorisch bestimmt sind, wird jeder Versuch einer Abgrenzung zum sachlich schwer vertretbaren Dogma [...]".

Dennoch ist es m.E. aber reizvoll zu analysieren, worin sich Gebiete unterscheiden. Sehen wir uns etwas näher das Verhältnis zwischen Mathematik und Informatik an.

F.L. Bauer merkte 1974 dazu an [BF74]:

"In der Mathematik werden Beziehungen gleichsam statisch, also in Ruhe befindlich, betrachtet. Auch dort, wo ein 'Fortschreiten' wesensgemäß ist, wie beispielsweise bei Differentialgleichungen, haben funktionalanalytische Methoden große Erfolge erzielt,

bei denen vom zeitartigen Charakter des 'Fortschreitens' gänzlich abgesehen wird und die Funktion 'als Ganzes' zum Objekt wird.

In der Informatik hingegen prägt die Betrachtung von Abläufen oder 'Prozessen' ganz entscheidend die Denkweise. Der Begriff des Algorithmus, der schrittweise Ablauf und die operative Durchführung von Algorithmen stehen im Vordergrund. [...]"

1980 nimmt er darauf Bezug [BF80]:

"Ich muß gestehen, daß mich die Argumentation heute nicht mehr so ganz überzeugt. Auch Abläufe und Algorithmen lassen sich [...] algebraisch fassen. Was aber sollte mathematischer sein als die Algebra?"

Und er fährt fort:

"So verbleiben noch die Finitheitsforderungen, die Konstruktivitätsforderungen, die Effektivitätsforderungen [...]."

Rechenberg [Re91] erwähnt als weitere Unterscheidungsmerkmale u.a. den Zustandsbegriff und "Parallelität und Kommunikation".

F.L. Bauer sieht die Informatik als Ingenieurwissenschaft, allerdings in besonderer Nähe zur Mathematik [BF91]:

"Innerhalb der gesamten Geisteswissenschaft ist eben die Mathematik die einzige *exakt* zu nennende Spielart; sie steht deshalb von den Ingenieurwissenschaften der Informatik am nächsten, der einzigen, die sich mit immateriellem, mit 'physikfreiem' *ingenium* befaßt. Das verbindet Mathematik und Informatik, macht sie zu Geschwistern."

Zemanek sagt dazu [Ze92]:

"Die Nähe zu Gehirn und Geist macht die Informationstechnik zu einer Brücke zwischen Natur- und Geisteswissenschaften und gibt ihr selbst geisteswissenschaftliche

Züge, mehr noch: Geisteswissenschaftliche Natur; sie ist mehr als Technik, so wie sie mehr als Mathematik ist, auch wenn Technik und Mathematik ihr Anfang waren und ihr Bild gestalteten."

Damit ist die Lage der Informatik im Wissenschaftsgefüge grob beschrieben<sup>1</sup>, sie inhaltlich festzulegen, ist wesentlich schwieriger. Brauer / Münch [BM96] meinen dazu: "Das Gebiet der Informatik läßt sich wegen ihres universellen Charakters nicht einfach eingrenzen; der Begriff der Informatik kann nicht knapp definiert werden, er hat sich in den letzten Jahren stark erweitert und wird sich schnell weiterentwickeln."

Unabhängig davon, welchen Aspekt der Informatik man betonen möchte, ob man sie als Strukturwissenschaft, als eine Werkzeugwissenschaft des Geistes, als Schlüssel- oder als Querschnittsdisziplin sieht (Näheres dazu findet sich in [Co97].), vermeiden sollte man den Versuch, der Abgrenzung gegenüber anderen Gebieten, sondern sich bemühen, die positiven Seiten der Verwandtschaft zu entwickeln. Dies schließt natürlich Diskussionen, wie die kürzlich von Broy und Schmidt [BS99] initiierte, nicht aus. Ist sie doch nicht ideologisch sondern pragmatisch motiviert, wenn festgestellt wird, daß "... wissenschaftliche Arbeiten zur Informatik als Ingenieurwissenschaft deutlich anders einzuschätzen und zu bewerten [sind] als in der Grundlageninformatik."

Verzichtet werden sollte dabei m.E. auf eine Neuauflage der sterilen Diskussion über Untergliederungen unseres Faches, gegen die sich F.L. Bauer schon 1988 ausspricht [BF88]:

---

<sup>1</sup> Ihre überragende Bedeutung für die Naturwissenschaften wird z.B. in [HL92] mit folgenden Worten charakterisiert:

"In science, computing is becoming a third paradigm of scientific inquiry, on a par with theory and observation or experiment and often yielding unexpected or unanticipated insights not possible through purely theoretical or experimental means."

"Praktische Zwänge führten [...] zu einer Strukturierung der Informatik. Manche aus der Mathematik, Theoretischen Physik und Logik kommenden Informatiker hatten wenig Bezug zur hardware und grenzten ihre Lehr- und Arbeitsgebiete mit dem Wort "Theoretische Informatik" ab. Umgekehrt zeigten einige aus der Nachrichtentechnik und Experimentalphysik zugewanderte Informatiker wenig Begeisterung für abstrakte Fragen und errichteten das Teilgebiet 'Technische Informatik'. Sofern sie echte Informatiker wurden, war selbstverständlich, daß [...] *sie hardware und software systemeinheitlich* sahen" "... womit gemeint war, daß im Einzelfall zwar stets eine Trennungslinie zwischen einer "weichen" Realisierung durch software und einer "harten" Realisierung durch hardware zu finden ist, daß aber der Verlauf dieser Linie nicht festliegt und sich unter ökonomisch-technologischen Einflüssen verschiebt."

(Das Wort von der "Systemeinheitlichkeit von Hardware und Software" wurde schon 1973 in weiser Voraussicht von R. Wiehle geprägt.)

Man sollte ein "Schubladendenken" allein schon deshalb ablehnen, weil es dazu beiträgt, die in gemeinsamer Arbeit viel schneller gewinnbaren Erfolge zu verhindern.

Gäbe es immer noch eine undurchdringliche Grenze zwischen Hardware und Theorie, so hätten z.B. OBDDs nochmals gefunden werden müssen (s. z.B. [MT99]) und wären solche Systeme wie das am Karlsruher EISS entwickelte IDEAS [BK95], das ein durchgängiges Werkzeug von der algebraischen Spezifikation bis zur Software- oder Hardware-Implementierung darstellt, nicht zustande gekommen.

Man sollte wohl Zemanek [Ze92] folgen und Janus zum Gott der Informatik küren:

"Janus blickt mit seinen beiden Gesichtern in Vergangenheit und Zukunft - für die kurze Gegenwart zahlte sich ein drittes Gesicht offenbar nicht aus - und repräsentiert

damit das Bit des Computers, nicht nur das formale, analytische Bit, das ihn zum Gott der Aussagenlogik und der Schaltalgebra macht, sondern auch das Schöpferische, geradezu kreative Bit des Sowohl-als-auch, das ihn zum Gott jenes Informalen macht, in welchem jede Formalität eingebettet ist."

(Vielleicht bekämen wir allerdings dann mit den Quantencomputern Probleme!)

Wie fruchtbar diese "sowohl - als auch - und überdies" - Sicht sein kann, soll noch kurz an *der* auf den Computer demonstriert werden. Auf die kürzeste Form hat sie Coy in einem Aufsatztitel gebracht: "Automat - Werkzeug - Medium" [Co95].

Er bemerkt dazu u.a.: "Die Idee vollständiger Automation und Algorithmierung scheitert an der umfassenden Durchdringung nahezu aller Arbeitsbereiche, denn die vollständige Formalisierung eines Arbeitsbereichs ist eine eher seltene Gegebenheit. Die Sicht des Computers als "Automat" [...] stößt an ihre Grenzen.

Was sich statt dessen mit der ökonomischen Dezentralisierung des Computers durch die PCs zeigt, ist die Möglichkeit, Computer und Programme als *unterstützendes Arbeitsmittel* einzusetzen." Und später: "Mit 'Automat' oder 'Werkzeug' werden natürlich keine physischen Eigenschaften des Computers beschrieben, es sind Sichtweisen auf das gleiche technische Artefakt, das aus unterschiedlicher Sicht nicht gleich aussieht."

Daß es zumindest noch eine andere Sichtweise gibt, bringt er folgendermaßen zum Ausdruck:

"...Weder das Leitbild 'Automat' noch das Leitbild 'Werkzeug' kann diese kulturellen Wirkungen der Informatik als vernetzte Elemente in einer Medienwelt hinreichend erklären. 'Think of the computer, not as a tool, but as a medium!' fordert Brenda

Laurel [...] - aber vielleicht sind diese beiden Sichten gar nicht unvereinbar, sondern unabhängig voneinander."

Daß es natürlich durchaus sinnvoll sein kann, sich auf die eine oder die andere Sichtweise zu beschränken, kann man z.B. an Grundlagenuntersuchungen zur Berechnungsuniversalität sehen, bei der die Automatensicht hinreicht oder andererseits an einem Aufsatz von Zemanek mit dem Titel "Werkzeug Computer: Verstärker von Intelligenz und Sorglosigkeit" [Ze96].

## Wider die sprachliche Schlamperei

Zum Ende kommend will ich noch zwei Grenzen aufzeigen, die nicht informatikspezifisch sind, nämlich eine den Sprachgebrauch und die andere die Wissenschaft generell betreffende.

Sprache ist hierbei nicht eine spezielle der Programmierung, der Spezifikation oder z.B. der Logik, sondern schlicht unsere Umgangssprache, die wir benötigen zur zwischenmenschlichen Kommunikation und damit auch zum Vermitteln von Wissen und Erfahrung. W. Schneider beschreibt in einem Satz ihren Wert: "Es ist die Sprache, die dem Denken die Chancen öffnet und ihm die Grenzen zieht."

Eigentlich müsste es für Informatiker selbstverständlich sein, äußerst penibel zu formulieren<sup>2</sup> <sup>3</sup>: Hat doch beim Programmieren eine Unachtsamkeit beim Schreiben eines Punktes statt eines Kommas weitreichende Konsequenzen. Und denken Sie nur an die Zeit, die uns durch eine wenig sorgfältige Spezifikation von Problemen geraubt wird. Letzteres mag unvermeidlich sein, sind doch die Probleme der Realität nicht immer einfach zu verstehen geschweige denn zu formalisieren. Überflüssig, ja sogar schädlich, sind gewisse Gewohnheiten.

---

<sup>2</sup> Welche Sorgfalt aufzubringen ist, sei durch einen Vergleich veranschaulicht: "Mathematicians today still use natural languages to express their proofs. But when they write a computer program they have to be much more careful than when they prove a theorem. As Bill Thurston put it, much more attention to detail is required to get a computer program to run properly than in writing up a proof for publication." [Ch99]

<sup>3</sup> - und in einer Wissenschaft, die Ockham Reverenz zollt (u.a. durch die parallele Programmiersprache OCCAM), sollte dies auch in gebotener Kürze geschehen!

Lassen Sie uns dazu nur zwei Beispiele anführen. Vielleicht manchmal amüsante, sicherlich aber auch - zumindest didaktisch - lehrreiche Simulationen werden im Zusammenhang mit inzwischen schon gar nicht mehr einfachen Modellen von Ökosystemen durchgeführt. Dabei aber dann von "Artificial Life" zu sprechen und gar Überlegungen anzustellen, ob es "moralisch" gerechtfertigt sei, derartige Simulationenläufe zu beenden, ist m.E. schlicht lächerlich, aber auch bedenklich, weil die Diskussion darüber u.U. eine solche realer Probleme in den Hintergrund drängt.

Etwas weniger eindeutig ist dies m.E. bei dem in der Informatik häufiger gebrauchten Wort vom "Paradigmenwechsel". Nimmt man nach Kuhn an, daß ein "Paradigma die Art der Experimente, die Wissenschaftler ausführen, die Typen von Fragen, die sie stellen und die Probleme, die sie als wesentlich betrachten" (nach [EB99]) bestimmt, so ergeben sich noch keine schwerwiegenden Einwände gegen den Gebrauch des Wortes. Wenn aber weiter ausgeführt wird, daß "eine Paradigmenverschiebung die der Forschung zugrundeliegenden fundamentalen Konzepte ändert, und [...] neue Techniken und neue Wege für Theorie und Experiment aufzeigt, die sich radikal von den alten unterscheiden und inkommensurabel zu ihnen sind" [EB99], und wenn als Beispiele die Übergänge vom Ptolemäischen zum Kopernikanischen System, und von der Newtonschen Mechanik zur Quantenphysik und der Allgemeinen Relativitätstheorie angeführt werden, dann sollte uns dies vorsichtiger werden lassen beim *Gebrauch* dieses Ausdrucks.

Und wir sollten uns auch nicht darauf berufen, daß es auf anderen Gebieten auch nicht immer ohne große Begriffe geht.

"... gibt es eine ungute Tendenz - ohne Zweifel noch verstärkt durch die Erfordernisse des Marktes -, in jeder Neuerung gleich eine >wissenschaftliche Revolution< zu

sehen. All diese Faktoren zusammen vermitteln der interessierten Öffentlichkeit eine verzerrte Sichtweise naturwissenschaftlicher Praxis." [So99]

In Parenthese sei noch hinzugefügt, daß es vorkommt, daß die revolutionären Errungenschaften zwanzig Jahre zuvor auch schon einmal revolutionär waren (s. z.B. endliche Automaten ÷ Entscheidungstabellen oder SIMULA ÷ OOP) oder wie F.L. Bauer schreibt, daß "... uns alte Hüte der Logiker [wieder] als Frühjahrsmoden der Informatiker entgegen[treten]" [BF80].

Natürlich konnte ich mein Thema nicht erschöpfend abhandeln. Einer gewissen Vollständigkeit halber will ich noch auf einige mehr oder weniger abwegige Bedeutungen hinweisen, die dem Begriff "Grenzüberschreitungen" zugewiesen werden. Der dabei aufgespannte Bereich der sexuellen Abweichungen und Perversionen bis hin zum Obskurantismus der verschiedensten Provenienz braucht uns hier nicht sehr zu kümmern, aber vor der näherliegenden Gefahr eines Abgleitens in die von Ravetz so genannte "Klischee-Wissenschaft" und "Volks-Wissenschaft" sollten wir die Augen nicht verschließen - nicht, weil ich sie für unser Fach speziell fürchte, sondern der geistigen Hygiene wegen.

Als "Klischee-Wissenschaften" bezeichnet Ravetz [Rz73] Gebiete, in denen Einsichten zu Klischees reduziert werden bei dem Versuch, daraus eine plausible Nachahmung einer wissenschaftlichen Beweisführung zu machen.

" [...] Und soweit die Schlußfolgerungen nicht bloß inhaltsleerer akademischer Jargon sind, handelt es sich um Neuarrangements der Klischees, die die Materialien des Gebietes darstellen und die so angeordnet werden, daß das Ergebnis möglichst gut den Interessen des Fachgebietes dient.

Die aus [solchen] Lehrgängen in Klischee-Wissenschaften hervorgegangenen Absolventen haben nur unechte Qualifikationen und sie nehmen ihre Plätze als Techniker, Praktiker oder Experten in der Wachstumsindustrie der inhaltsleeren Forschung und der schlecht konzipierten technischen Probleme ein [...]."

"Noch deutlicher und vulgärer tritt die Rolle der »Wissenschaft« als vorherrschender Volks-Wissenschaft unserer Zeit in dem Status in Erscheinung, den die bloße Bezeichnung Wissenschaft jedem beliebigen Gebiet verleihen kann. Das gierige Streben nach einem solchen Status ist in Amerika am weitesten verbreitet, wo die Volks-Wissenschaft der »Wissenschaft« am stärksten und die Kontrolle über Titel am schwächsten ist; »Bestattungs-Wissenschaft« ist ein besonders markanter Fall eines zu einer Wissenschaft umgetauften Handwerks, das damit einen entsprechenden akademischen Apparat erlangt hat [...]." [Rz73]

Ob es wohl in den uns nahestehenden Bereichen ähnliches gibt?

**"Ausblick"**

Auf die Frage zum Titel meines Vortrags zurückkommend, schließe ich lakonisch mit einem Satz von H. Hesse:

"Alles Wissen und alle Vermehrung unseres Wissens endet nicht mit einem Schlußpunkt, sondern mit Fragezeichen."

## Literatur

- [BAWW] Bauer, A.W.  
Der Hippokratische Eid  
<http://www.uni-heidelberg.de/institute/fak5/igm/g47/bauerhip.htm>
- [BF74] Bauer, F.L.  
Was heisst und was ist Informatik?  
in: M. Otte (Hrsg.)  
Mathematiker über Mathematik  
Springer, Berlin, 1974, 348-368
- [BF80] Bauer, F.L.  
Mathematik und Informatik  
In: Dörfler, W., Schauer, H. (Hrsg.)  
Wechselwirkungen zwischen Informatik und Mathematik  
Oldenbourg, Wien, 1980, 17-39
- [BF88] Bauer, F.L.  
Informatik und Informationstechnik - Ein Gegensatz?  
Informatik-Spektrum 11, 1988, 231-232
- [BF91] Bauer, F.L.  
Informatik und Algebra  
In: Broy, M. (Hrsg.)  
Informatik und Mathematik  
Springer, Berlin, 1991, 28-40
- [BF98] Bauer, F.L.  
Konrad Zuse - Fakten und Legenden  
In: Rojas, R. (Hrsg.)  
Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse  
Springer, Berlin, 1998, 5-22
- [BK95] Beth, T., Klappenecker, A., Minkwitz, T., Nüchel, A.  
The ART behind IDEAS  
In: Van Leeuwen, J. (Ed.)  
Computer Science Today  
Springer, Berlin, 1995, 141-158
- [BM96] Brauer, W., Münch, S.  
Studien- und Forschungsführer Informatik  
Springer, Berlin, 1996, 3. Aufl.
- [Br74] Bremermann, H.J.  
Limitations on data processing arising from quantum theory  
zitiert nach: Bremermann, H.J.: Complexity of automata,  
brains, and behavior  
In: Conrad, M., Güttinger, W., Dal Cin, M. (Eds.)  
Physics and Mathematics of the Nervous System  
Springer, Berlin, 1974, 304-331

- [BS99] Broy, M., Schmidt, J.W.  
Informatik: Grundlagenwissenschaft oder Ingenieurdisziplin?  
Informatik-Spektrum 22, 1999, 206-209
- [Ch99] Chaitin, G.J.  
The Unknowable  
Springer, Berlin, 1999
- [Co95] Coy, W.  
Automat - Werkzeug - Medium  
Informatik-Spektrum 18, 1995, 31-38
- [Co97] Coy, W.  
Defining discipline  
In: Freksa, C., Jantzen, M., Valk R. (Eds.)  
Foundations of Computer Science  
Springer, Berlin, 1997, 21-35
- [CZ96] Cowie, J., Dodson, B., Elkenbracht-Huizing, R.M., Lenstra, A.K.,  
Montgomery, P.L., Zayer, J.  
A world wide number field sieve factoring record: On to 512 bits  
ASIACRYPT '96, LNCS vol. 1163, Springer, Berlin, 1996, 382-394
- [EB99] Encyclopaedia Britannica CD99
- [Fr96] Fránek, O.  
What we have learned about ourselves via a computer  
ICCHP '96, Linz, 1996, 61-64
- [Ga81] Ganzhorn, K.E., Schulz, K.M., Walter, W.  
Datenverarbeitungssysteme  
Springer, Berlin, 1981
- [Go97] Goos, G.  
Vorlesungen über Informatik, 4 Bände  
Springer, Berlin, 1997
- [GJ84] Grimm, J. und W.  
Deutsches Wörterbuch  
dtv, München, 1984 (Nachdruck)
- [Gr98] Grunwald, R.  
Grenzüberschreitungen - Wissenschaftliche Zusammenarbeit  
mit dem Ausland  
Forschung - Mitteilungen der DFG, 4/98, 1998, 3,23-24
- [GJ97] Gruska, J.  
Foundations of Computing  
Thomson, London, 1997
- [GJ99] Gruska, J.  
Quantum Computing  
McGraw-Hill, London, 1999

- [HL92] Hartmanis, J., Lin, H. (Eds.)  
Computing the Future  
National Academy Press, Washington, D.C., 1992
- [KR83] Krüger, K.  
Wechselbeziehungen der Informatik mit den Ingenieurdisziplinen  
in der Hochschulausbildung  
VDI-Berichte Nr. 492, 1983, 443-457
- [La99] Lazzaro, J.J.  
Helping the web help the disabled  
IEEE Spectrum 36, 1999, 54-59
- [LüWW] Lübbe, H.  
Technokratie - Politische und wirtschaftliche Schicksale  
einer philosophischen Idee  
GEP - Vorlesung 16  
<http://www.gep.ethz.ch/luebbe.htm>
- [Ma99] Maurer, H.  
WWW needs more interaction  
In: Beiersdörfer, K., Engels, G., Schäfer, W. (Hrsg.)  
Informatik '99 - Informatik überwindet Grenzen  
Springer, Berlin, 1999, 4-10
- [Mc96] McNealy, J.  
Interview: Die dritte Welle in der Computertechnologie  
Outlook, 6. Jg., 1996, 9-12
- [Me99] Meinel, C., Theobald, T.  
Algorithmen und Datenstrukturen im VLSI-Design  
Springer, Berlin, 1999
- [MHWW] Meyer auf der Heide, F.  
[http://www.uni-paderborn.de/fachbereich/  
AG/agmadh/WWW/Research.html](http://www.uni-paderborn.de/fachbereich/AG/agmadh/WWW/Research.html)
- [MoWW] Monien, B.  
<http://www.upb.de/cs/ag-monien/>
- [OS97] Oosterlee, K., Schüller, A., Trottenberg, U.  
Durchbruch im Wissenschaftlichen Rechnen durch adaptive  
Mehrgitterverfahren auf Parallelrechnern  
Der GMD-Spiegel 3, 1997, 15-18
- [Pi99] Pieper-Schönrock, I.  
Persönliche Mitteilung, 1999
- [Pr99] President's Information Technology Advisory Committee (PITAC)  
Report to the President  
Febr. 24, 1999  
<http://www.ccic.gov/>
- [RaWW] Rammig, F.-J.  
<http://www.uni-paderborn.de/cs/ag-rammig/>

- [Rz73] Ravetz, J.R.  
Die Krise der Wissenschaft  
Luchterhand, Neuwied, 1973
- [Re91] Rechenberg, P.  
Was ist Informatik?  
Hanser, München, 1991
- [Sa97] Sanders, P., Vollmar, R., Worsch, T.  
Feasible models of computation: Three-dimensionality  
and energy consumption  
In: Lengauer, C., Griebel, M., Gorlatch, S. (Eds.)  
Euro-Par '97, Springer, Berlin, 1997, 384-388
- [Sc99] Schneider, W.  
Au revoir, chers lecteurs  
NZZ Folio, Okt. 1999, 83
- [Sr83] Schorr, A.R.  
Physical parallel devices are not much faster than  
sequential ones  
Information Processing Letters, 17, 1983, 103-106
- [SEWW] SETI@home  
<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>
- [So99] Sokal, A.D.  
Die Grenzen überschreiten: Auf dem Weg zu einer trans-  
formativen Hermeneutik der Quantengravitation  
in: A.D. Sokal, J. Bricmont  
Eleganter Unsinn  
Beck, München, 1999
- [Tr96] Treusch, J.  
Grenzüberschreitungen - Wege in die Zukunft  
In: J. Treusch et al. (Hrsg.)  
Koordinaten der menschlichen Zukunft: Energie - Materie -  
Information - Zeit  
Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher  
und Ärzte, 119. Versammlung, Regensburg 1996  
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1996, 13-23
- [UGWW] Understanding gene testing  
[http://rex.nci.nih.gov/PATIENTS/INFO\\_TEACHER/bookshelf/  
NIH\\_gene\\_testing/gene00.html](http://rex.nci.nih.gov/PATIENTS/INFO_TEACHER/bookshelf/NIH_gene_testing/gene00.html)
- [Vo87] Vollmar, R.  
Informatik für Nicht-Informatiker  
In: Berichtsband INFOBASE '87, 1987, 7-12
- [Vo96] Vollmar, R.  
Ethische Leitlinien in der Informatik - etwas Besonderes?  
In: Schinzel, B. (Hrsg.)  
Schnittstellen  
Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1996, 243-255

- [VW95] Vollmar, R., Worsch, T.  
Modelle der Parallelverarbeitung  
Teubner, Stuttgart, 1995
- [Ze92] Zemanek, H.  
Das geistige Umfeld der Informationstechnik  
Springer, Berlin, 1992
- [Ze96] Zemanek, H.  
Werkzeug Computer: Verstärker von Intelligenz und Sorglosigkeit  
In: Schinzel, B. (Hrsg.)  
Schnittstellen  
Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1996, 31-47
- [Zu84] Zuse, K.  
Der Computer - Mein Lebenswerk  
Springer, Berlin, 1984