

Brauchen wir eine andere Informatik?

Roland Vollmar

Interner Bericht 27/97

Universität Karlsruhe

Fakultät für Informatik

ISSN 1432-7864

## **Zusammenfassung**

Ausgehend von der kurzen Betrachtung einiger neuerer Entwicklungen der Informatik wird ein cursorischer Blick auf ihre Erfolge geworfen. Es wird dargelegt, inwiefern das informatische Vorgehen als dritte Methode – neben der theoretischen und der experimentellen – des naturwissenschaftlichen Arbeitens angesehen wird. Die folgenden vier Thesen werden vorgestellt und erläutert:

- Die Informatik arbeitet verstärkt „ingenieurwissenschaftlich.“
- Die Informatik wandelt sich durch die Anwendungen.
- Die Informatik muß das Erstellen von Software systematisieren.
- Die Informatik muß sich (wieder) verstärkt der Rechner-Entwicklung zuwenden.

Ein Plädoyer für das Offenhalten der Informatik auch für spekulativ erscheinende Forschungen beschließt den Artikel.

# Vorbemerkungen

1. Dieser Bericht stellt eine leicht veränderte Fassung meines Vortrages anlässlich des 25-Jahre-Jubiläums des Studiengangs Informatik an der Technischen Universität Braunschweig am 14. November 1997 dar; sie ist einerseits um Zitate erweitert, andererseits wurden illustrierende Abbildungen weggelassen. Die Diktion eines Vortrages wurde weitgehend beibehalten; wegen der unterschiedlichen Vertrautheit des Auditoriums mit Informatikthemen wurde auf die Erwähnung „technischer“ Details verzichtet.
2. Bei diesem Thema scheint die Bemerkung angebracht, daß die folgenden Ausführungen ausschließlich die persönliche Auffassung des Autors widerspiegeln – wenn er auch nichts dagegen hätte, wenn andere mit ihr übereinstimmen.
3. Die erste Hälfte des Berichtes stützt sich stark auf [GV97].
4. Mit <sup>x)</sup> werden keine Fußnoten markiert, sondern es wird damit auf Zitate im Anhang verwiesen.

Analog zu dem wohl bekannten jüdischen Witz müßte ich, würden Sie auf obige Frage mit einem „Ja“ antworten, sagen „Sie haben recht“, bei der Antwort „Nein“ ebenfalls mit einem „Sie haben recht“ reagieren – und sollte mir dann jemand empört vorwerfen, daß doch nicht beide recht haben könnten, auch diesen mit einem „Sie haben recht“ bescheiden.

Dem Anlaß angemessener wäre eine Antwort in Form eines Zitates von Th. W. Adorno:

„. . . Sie sind gewohnt, daß man Ihnen Probleme vorlegt, für die bündige Lösungen erwartet werden. Zu diesen Problemen gehören nicht die der heutigen Diskussion. [. . .] Erwarten Sie insbesondere auf Ihre präzise formulierten Fragen keine ebenso präzisen und eindeutigen Thesen. Wenn ich in den meisten Fällen nicht mit einem strikten Ja oder Nein antworte, so ist das nicht Ausdruck von Lauheit oder Ängstlichkeit. Vielmehr beziehen sich die Fragen auf eine so verstrickte Realität, daß sie nach Ja oder Nein sich schlechterdings nicht erledigen lassen. Der Begriff des Erledigens selber ist ihnen unangemessen.“ [Ad87]

Würde ich einsilbig auf die Eingangsfrage antworten, würden Sie mir zu Recht ein zu simples Weltbild vorhalten, das zu besitzen ja wohl höchstens ein Privileg der Jugend ist oder von solchen Personen, die Schlagzeilen im Kopf haben oder die Intention, mit solchen Aufsehen zu erregen.

Zeitweise werde ich allerdings auch die Rolle des „terrible simplificateur“ übernehmen müssen, um Sie nicht mit einem pointillistischen Gemälde zu verwirren, sondern Ihnen holzschnittartig meine Auffassungen nahe zu bringen. Diese müssen sich natürlich an der Realität der Welt und der Gesellschaft messen lassen. Insofern erscheint es angebracht, zunächst auf einige weitere Fragen Antworten zu finden. Ein – wenn auch sehr wichtiger – Aspekt ist der nach dem Ausbildungsziel:

Welche Bildung, welche Kenntnisse und welche Fähigkeiten sollten Absolventen eines Studienganges Informatik besitzen?

All dies ist abhängig von der Einschätzung über die Entwicklung der Informatik. Detaillierter wollen wir dazu auf folgende Fragen eingehen:

Welche Erwartungen an die Informatik werden gehegt

- im wissenschaftlichen Bereich
- bezüglich ihrer technischen Anwendungen

- in wirtschaftlicher Hinsicht und
- unter gesellschaftlichen Aspekten?

Ich beabsichtige nicht, alle relevanten Themen und Bereiche in der wünschenswerten Weise abzuhandeln und will deshalb ein für allemal betonen, daß eine Erwähnung oder Auslassung noch nicht einmal mit *meiner* Auffassung über Relevanz oder Irrelevanz korreliert sein muß. Sogar dann, wenn ich vom Wissen her dazu in der Lage wäre, würde sich dies der schiereren Stofffülle wegen verbieten: Umfaßt doch z.B. das zum 50. Geburtstag der ACM erschienene Heft der „Computing Surveys“ [ACM96] allein ca. 280 Seiten, und das unsere Thematik ebenfalls behandelnde Buch „Computing the Future“ hat einen ähnlichen Umfang. So tröste ich Sie und mich mit einem Wort von J. G. Droysen: „Objektiv ist nur das Gedankenlose“.

Dem Rate Tucholskys „... gib stets, wovon du auch sprichst, die geschichtlichen Hintergründe der Sache“ werde ich nur bedingt folgen; auf eine explizite Erklärung des Begriffes „Informatik“ will ich sogar verzichten, allein schon deshalb, weil die Auffassungen darüber divergieren und meiner Ansicht nach, eine starre Festlegung der Dynamik des Gebietes entgegensteht. Statt dessen will ich etwas zum Hintergrund sagen, vor dem sich unser Fach entwickelt:

Im Zweiten Weltkrieg und im folgenden Kalten Krieg wurden Wissenschaft und Technik stark gefördert – und damit auch beeinflusst – vom militärischen Bereich <sup>1)</sup> – wenn wohl auch nicht so stark, wie oft angenommen wird. Abgelöst wurde das Ziel der Stärkung der Verteidigungsfähigkeit von dem der Erhöhung des Wohlstandes in solch weitem Sinne, daß darunter auch Umweltschutz und Technologietransfer fallen. Und es besteht kein Zweifel, daß die Informatik zu all diesen Zielen erhebliche Beiträge erbracht hat und zu erbringen vermag.

Die Nennung einiger neuerer Entwicklungen auf dem Feld der Informatik möge Ihnen ihre Möglichkeiten und die Wirkungen auf die Gesellschaft in Erinnerung rufen bzw. Assoziationen wecken:

1. Mit geradezu atemberaubendem Wachstum bez. der Zahl angeschlossener Rechner ist heute die globale Vernetzung (Stichwörter: Internet, world wide web) in aller Munde bzw. in jeder Zeitung, so daß es sich auch schon kleine Unternehmen nicht mehr leisten, nicht darüber erreichbar zu sein. Damit wird sich die Sicht auf Rechner generell ändern, im Sinne des von der Fa. Sun geschützten Slogans „The Network is the Computer“. Information wird ein

entscheidender Faktor nicht nur im technischen und kommerziellen Wettbewerb sondern auch im täglichen Leben. Wenn es vielleicht auch immer noch zu früh ist, von einem Übergang zur Informationsgesellschaft zu sprechen, so werden sich doch durch diese Entwicklung einschneidende Änderungen ergeben bis hin zur Ausbildung und im politischen Sektor.

2. Die damit einhergehenden Entwicklungen im geschäftlichen Bereich, als elektronischer Handel bezeichnet, werden aber nur dann akzeptiert werden (können), wenn die Sicherheit und die Geheimhaltung von übertragenen Daten gewährleistet ist und wenn es sichere Methoden der Authentifizierung gibt. Die dazu durchgeführten Forschungen haben gezeigt, daß die Kryptographie nicht nur höchst praktische Anwendungen zur Folge hat, sondern auch Grundlagenprobleme der Informatik tangiert.
3. Visualisierung und Animation sind zwei Begriffe, die nicht nur die Herzen von Film- und Fernsehregisseuren höher schlagen lassen, sondern es Wissenschaftlern möglich machen, überwältigende Anzahlen von berechneten oder beobachteten Daten Menschen einsichtig zu machen, und in Sequenzen von Bildern Muster zu extrahieren, die die Grundlage für Theorien und zum Verständnis natürlicher Vorgänge liefern können. Kombiniert und interaktiv gehandhabt werden Methoden und Techniken des multimedialen Austausches die Nutzung von Rechnern erleichtern und menschengerechter gestalten helfen.
4. Die bisher genannten und prognostizierten Entwicklungen werden (u.a.) möglich durch die dramatischen Steigerungen der Geschwindigkeit der Prozessoren und der Erhöhung der Kapazität der Speicher. Etwa alle 18 Monate die Rechengeschwindigkeit zu verdoppeln, wie es Moore vorhersagte, galt auch den meisten Experten nur für einen kurzen Zeitraum erreichbar; inzwischen ist aber, insbesondere nach den neuesten Erfolgen von IBM, auf den Chips Aluminiumbahnen durch solche aus Kupfer zu ersetzen (und hierdurch die Leiterbahndicke letztlich auf  $0,05 \mu m$  drücken zu können), die Meinung verbreitet, daß ähnliche Fortschritte mindestens bis zum Jahre 2005 wahrscheinlich sind.
5. Hierbei nicht berücksichtigt sind Entwicklungen, die das „sequentielle Paradigma“ überwinden, wie z.B. verteiltes und paralleles Rechnen, aber auch approximative und randomisierte Algorithmen. Ersteres hat es z.B. erlaubt,

unter Benutzung des globalen Netzes unter Verwendung von Zehntausenden Workstations eine Faktorisierung von sehr großen Zahlen vorzunehmen – ein Problem, das in der Kryptographie von Bedeutung ist. Und mit Parallelrechnern sind schon mehr als  $10^{12}$  (Tera) Operationen pro sec ausgeführt worden. Eine Rechenkapazität dieser Größenordnung soll ausreichen, Atomexplosionen zu simulieren.

6. Nur angedeutet sei, daß heute noch bei vielen als spekulativ geltende Gebiete, wie DNA- und Quanten-Computing, in 15 - 20 Jahren ein völlig verändertes Bild der Informatik zur Folge haben können <sup>2)</sup>.

Ich hoffe, ich habe in Ihnen zumindest eine „Stimmung“ erzeugt, in der Sie es nicht übertrieben finden, wenn die Menschheitsgeschichte in der folgenden Weise eingeteilt wird:

- Neolithische Ära: Fortschritte wurden in dem Maße erreicht, in dem Menschen lernten, das Potential der Natur zu nutzen, um Nahrung in genügender Menge und in wünschenswerter Form zu erlangen.
- Industrielle Ära: Fortschritte wurden in dem Maße erreicht, in dem Menschen lernten, das Potential und die Gesetze der Natur zu nutzen, um Energie in genügender Menge und in wünschenswerter Form verfügbar zu haben.
- Informationsära: Fortschritte wurden in dem Maße erreicht, in dem Menschen lernten, Zugang zu Informationen in genügender Menge und in wünschenswerter Form zu haben.

Akzeptiert man diese Sicht, so liegt es nahe, die Rolle der Informatik für diese „Informationswelt“ in Analogie zu der der Physik für die physikalische, durch Energie charakterisierte Welt zu sehen. 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“ [McN96].

In diesem Sinne ist es notwendig, *u.a.* folgende Fragen zu klären:

1. Was ist Information?  
Was ist Wissen?  
Wie können sie gemessen werden?
2. Welche Elemente, Strukturen und Prozesse bilden die Informationswelt?  
Durch welche Gesetze und welche Begrenzungen ist sie geprägt?

3. Welche Probleme können mit Informatikmethoden in Angriff genommen werden?
4. Welche Rolle spielen Ressourcen wie Zeit, Speicher, Parallelität, Nichtdeterminismus, Zufälligkeit, Interaktion bei der Problemlösung?
5. Welche Fähigkeiten besitzen existierende und denkbare informationsverarbeitende Maschinen?
6. Wie können formale Beschreibungsverfahren effizient genutzt werden?
7. Was sind komplexe Systeme? Wie können sie spezifiziert, entworfen, konstruiert und verifiziert werden?
8. Wie sind Informatikmodelle zu erstellen? Wie können sie zum Verständnis der physikalischen, der biologischen, der sozialen Welt genutzt werden?

Bei dieser Fülle von Problemen ist eine wahrscheinliche Reaktion das Fragen nach den Erfolgen der Informatik in den vergangenen 25 Jahren. Diese aufzuzählen würde den Rahmen des Ihnen Zumutbaren sprengen, so daß ich mich darauf beschränken will, einige anschauliche zu nennen und im übrigen in abstrahierter und damit stark verkürzter Form einige aktuelle Gebiete zu skizzieren.

An erster Stelle sind die Computer selbst hervorzuheben: Die Steigerung ihrer Geschwindigkeit und die Erhöhung ihrer Speicherkapazität bei gleichzeitiger enormer Preisreduktion bedeuten einen ungeheuren Erfolg. Dadurch wurde es u.a. möglich, erschwingliche Autos mit ABS und Airbags auszustatten und z.B. hochwertige, bequeme Hörgeräte zu bauen. Aber auch die Programmierung oder besser gesagt, die Software-Erstellung braucht sich nicht zu verstecken: Programme, die global arbeitende Buchungssysteme ermöglichen, die zuverlässige Kommunikation über das Internet gewährleisten, und z.B. solche, die den weitgehend ortsunabhängigen Einsatz von Handies erlauben, sind hierbei zu nennen. Daß die Geschwindigkeit und die Perfektion solcher Systeme nicht immer von Vorteil sind, mag der Hinweis auf das Aussetzen des Handels an der New Yorker Börse Ende Oktober beleuchten. Die Verwendung von Programmen zum Entwurf von Häusern und Maschinen, einschl. Computern selbst, zur Auffindung von Lagerstätten, zur Wettervorhersage und Klimamodellierung, in der Astronomie, zum Einsparen teurer Experimente, z.B. in Crashtests, zur „Konstruktion“ von Molekülen wird bereits als selbstverständlich betrachtet. Daß all dies nicht der Informatik allein gutzuschreiben ist, versteht sich von selbst.

All diesen Entwicklungen liegen aber Ergebnisse aus den folgenden Bereichen zugrunde, die mit zur neuen Methodologie der Informatik beitragen:

1. Algorithmisierung: Das Auffinden und Erfinden von Algorithmen ist nicht nur die Grundlage zur Lösung von Problemen sondern verhilft zum tieferen Verständnis der verschiedensten Phänomene, Probleme und Prozesse.
2. Formalisierung: Formale Beschreibungen und Symbolmanipulierungssysteme haben insbesondere für die Spezifikation realer Systeme und ihre Verhaltensweisen eine besondere Bedeutung gewonnen.
3. Komplexitätsuntersuchungen: Die Einsicht, daß formale Objekte und Prozesse eine inhärente Komplexität besitzen, zu deren Messung unterschiedliche Ressourcenmaße herangezogen werden können, trägt wesentlich zu ihrem Verständnis bei und hat weitreichende Auswirkungen bezüglich ihrer Anwendbarkeit.
4. Untersuchung komplexer Systeme: Während lange Zeit in den Naturwissenschaften Fortschritte dadurch erzielt wurden, daß Grundphänomene isoliert untersucht wurden, erlauben Informatikmethoden das Herangehen an interagierende, stark miteinander verkoppelte Systeme.

Wesentliche Fortschritte werden dabei erzielt durch

- Simulation und
- Visualisierung.

Abstrahierungen von realen Systemen erlauben eine Modellbildung, die sich in Programme übersetzen läßt und durch deren (wiederholte und parametrisierte) Ausführung Rückschlüsse auf die realen Systeme gezogen werden können und diesen innewohnende Gesetze aufgedeckt werden können. (Noch) nicht existierende Systeme können untersucht werden, wobei sogar die physikalischen und/oder biologischen Gesetzmäßigkeiten modifiziert werden können. Beschleunigung oder Verlangsamung von Vorgängen ist ebenso möglich wie z.B. deren Umkehrung.

Ergebnisse solcher Simulationen sind, wie auch die von umfangreichen Berechnungen, z.B. der Wettervorhersage, oder der statistischen Analyse sehr großer Datenmengen (z.B. beim sog. data mining) nur dann nutzbar, wenn sie in einer

dem Menschen entsprechenden Form vorliegen. Dies gewährleisten Werkzeuge zur Visualisierung bzw. im dynamischen Fall, z.B. bei Crashtests, der Animation.

Hiermit ist nur ein kleiner Teil von dem angesprochen, was das informatische Vorgehen zu einer neuen Methodologie werden ließ. In den Natur- und Ingenieurwissenschaften bildet es, nicht nur nach Auffassung eines Gremiums, das als Schweizer Pendant zu unserem Wissenschaftsrat angesehen werden kann (und nach Hartmanis und Lin [HL92]), neben theoretischem und experimentellem Vorgehen die dritte Säule der wissenschaftlichen Arbeitsweise. (R. W. Hamming war dies nach seinen eigenen Worten bereits sehr früh klar.<sup>3)</sup>) Die Informatik erweitert die durch Theorie und Experiment gebotenen Möglichkeiten beträchtlich, insbesondere in den bisher nicht zugänglichen Bereichen komplexer Systeme, wofür hier die Telekommunikationsnetze als *ein* Beispiel angeführt seien. Komplexe Vorgänge werden verstehbarer, es können Voraussagen über ihr (künftiges) Verhalten gemacht werden, die auch dazu benutzt werden können, entsprechende physikalische, chemische, biologische und technische Prozesse zu optimieren; in den Worten des Rubbia-Reports:

„Bringing closely together simulation (a simplified abstraction of reality) and modelling (a conceptual artificial representation of the real world) it offers the triple power of explanation, prediction and optimisation.“

Meine bisherigen Ausführungen boten Sichten auf Teile der Informatik aus der Vogelperspektive; grundsätzliche, der wissenschaftlichen Sphäre angehörenden Themen wurden angesprochen. Im folgenden werde ich auf anwendungsnähere Bereiche eingehen und meine Auffassungen dazu, teilweise stark verkürzt und damit entsprechend vergrößert, in Form von Thesen formulieren. Deren Haupt Schlagworte sollen keinesfalls als Versuch mißverstanden werden, eine Strukturierung der Informatik vorzuschlagen, sondern sollen lediglich schlaglichtartig die m.E. entscheidenden Aufgaben beleuchten. Auf die Interdependenzen der Gebiete wird nicht (immer) explizit verwiesen, Sie sollten sie aber immer vor Augen haben.

**These 1:** Die Informatik arbeitet verstärkt „ingenieurwissenschaftlich.“

Nicht unbedacht habe ich „ingenieurwissenschaftlich“ in Anführungszeichen gesetzt, will ich mich doch nicht auf eine Definition dieses Begriffes einlassen, wenn mir das für die „Informatik“ schon nicht opportun schien. Und auch in die Diskussion darüber, ob die Informatik eine Naturwissenschaft oder eine Ingenieurwissenschaft ist (wie sie z.B. in [ACM95] aufscheint) oder etwas völlig anderes („Strukturwissenschaft“, „Werkzeugwissenschaft des Geistes“), will ich an dieser Stelle nicht eingreifen.

Ich verstehe „ingenieurwissenschaftlich“ keineswegs als einen Gegenpol zur theoretischen (formalen) Vorgehensweise (ich teile vielmehr die Auffassungen von F. L. Bauer über den Wert von Formalismen [Ba97] <sup>4)</sup>), sondern hebe damit den Bezug zur physikalischen und gesellschaftlichen Realität hervor, das Sich-Bewährenmüssen in der realen Welt.

Die dabei unabdingbare Bescheidenheit spiegelt sich wider im Verzicht auf universelle Lösungen, vielmehr werden sukzessive Annäherungen an ein Ziel in den Vordergrund gestellt. Lassen Sie mich dazu zwei Beispiele angeben.

Zunächst ein Zitat von B. Neumann [Ne97]:

„Nach heutigem Stand der KI-Forschung zeigt sich intelligentes Verhalten anhand einer Vielzahl von Merkmalen, die dafür als typische Charakteristika, jedoch nicht als definitorische Bedingungen angesehen werden können. Nach einer Aufstellung von W. Wahlster [. . .]: Lernfähigkeit, Autonomie, Fehlertoleranz, Kooperativität, Adaptivität [. . .]. Je nach Aufgabe wird ein intelligentes System einige dieser Merkmale in besonderem Maße, andere weniger ausgeprägt besitzen müssen. . . .“

In den zur KI gehörenden oder sie mindestens tangierenden Bereiche wie Bilderkennung, Sprachübersetzung oder Erkennen gesprochener Sprache bedeutet dies, daß man davon abgerückt ist, *eine* Idee zu verfolgen, sondern daß man durch Nutzbarmachung der verschiedensten Methoden Prozent um Prozent Verbesserungen erzielt. Und dies gilt auch für den scheinbar so spektakulären Sieg von Deep Blue über Kasparov.

Parallelrechner stellen m.E. ein weiteres Beispiel dar: Es wird darauf verzichtet, den universellen Parallelrechner zu konzipieren, man wird vielmehr die für das jeweilige Aufgabenprofil geeignetste Struktur zu finden suchen, was bei der großen Zahl möglicher Varianten noch kompliziert genug ist. In diesem Zusammenhang will ich nochmals dem möglichen Mißverständnis begegnen, daß ich „ingenieurwissenschaftlich“ etwa im Gegensatz zu „theoretisch“ sehen könnte: Die Entwicklung abstrakter Modelle für Parallelrechner, die nicht nur die möglichen Kommunikationsstrukturen widerspiegeln, sondern u.a auch die Speicherhierarchien, ist eine noch der Lösung harrende Aufgabe. Nur wenn Modelle verfügbar sind, die ähnlich einfach wie das der Turingmaschine oder der Registermaschine für von Neumann-Rechner sind, wird Parallelverarbeitung (in einem bestimmten Sinn) an Boden gewinnen.

Der Anfang und die damit teilweise einhergehende Gründerzeitmentalität <sup>5)</sup> sind in der Informatik vorüber, was sich auch darin äußert, daß zumindest in der Wis-

senschaftslandschaft nicht mehr bloße Versprechungen z.B. über die Güte einer Programmiersprache akzeptiert werden, sondern daß experimentelle Belege gefordert werden.

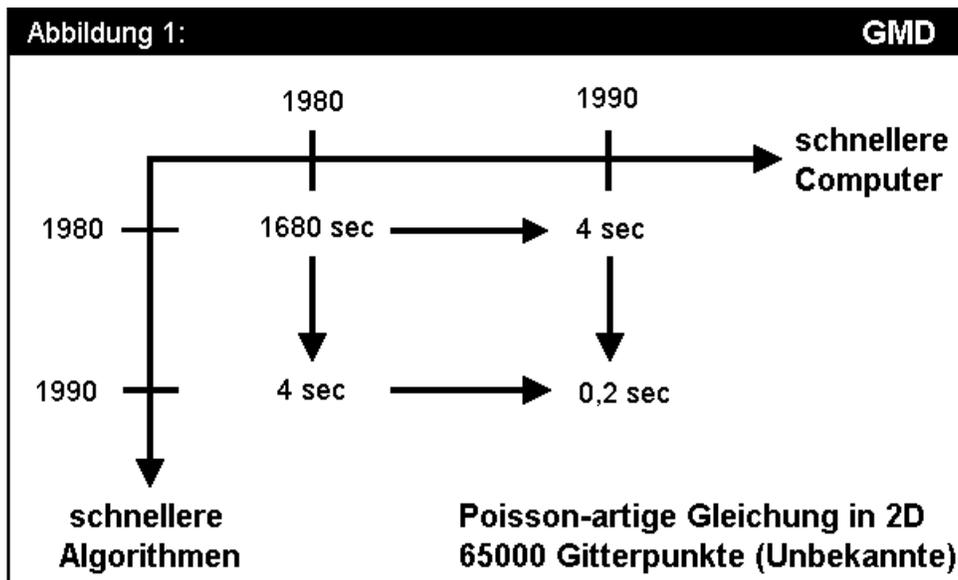
Nicht zu vergessen ist, daß Modularisierung und Hierarchisierung wie in den „klassischen“ Ingenieurwissenschaften auch in der Informatik selbstverständlich wurden (s. hierzu auch <sup>6)</sup>).

### **These 2:** Die Informatik wandelt sich durch die Anwendungen.

Während die Informatik zu Beginn ihrer Entwicklung in starkem Maße damit beschäftigt war, die elektronischen Rechner leichter zum Rechnen und zur „einfachen“ Datenverarbeitung zu bringen und sich dementsprechend mit Programmiersprachen und ihrer Übersetzung, mit Betriebssystemen, Rechnerarchitektur mit möglichst geringem Aufwand und mit den Möglichkeiten des algorithmischen Vorgehens befaßte, ist sie heute sehr viel stärker auf die Anwendungen ausgerichtet. Wenn ich von der Allgegenwart der Rechner spreche, geschieht dies ohne blasphemischen Unterton, sondern bezeichnet lediglich die Situation des Einsatzes von Rechnern in allen, insbesondere aber technischen Bereichen. Und dort werden sie am wenigsten zum Rechnen eingesetzt, sondern zum Steuern und Regeln nach üblicherweise nichtlinearen Vorschriften. Diese reaktiven Systeme verlangen eine Änderung zahlreicher Modelle und erhöhen deren Komplexität vor allem wegen der dabei auftretenden Forderungen nach Verklemmungsfreiheit und nach Realzeitarbeitsweise. Ihr Einsatz in sicherheitskritischen Bereichen, z.B. der Regelung des Luft-, Schienen- und Straßenverkehrs, der Steuerung medizinischer Geräte, . . . ließ „Korrektheit von Programmen“ zu einem Schlüsselbegriff und zu einer unabdingbaren Forderung werden.

Die Nutzung von Rechnern in den Natur- und Ingenieurwissenschaften und vor allem auch in den entsprechenden Industrien erfordert die Entwicklung nicht nur neuer informatischer Methoden sondern auch solche der Numerik und wird teilweise schon unter dem Begriff „Wissenschaftliches Rechnen“ als neue Disziplin gesehen. Ich gehe nicht so weit, bin jedoch überzeugt, daß dabei große Erfolge erzielt wurden, aber auch von seiten der Informatik noch viel zu tun bleibt. <sup>7)</sup>

Aus der folgenden Abbildung (aus [OST97]) wird deutlich, welche Beschleunigungen mit besseren Algorithmen (bei manchen Problemen) erreicht wurden, wenn natürlich auch die durch die Nutzung von Parallelrechnern nicht übersehen werden darf. Oosterlee, Schüller und Trottenberg [OST97] merken dazu an, daß die „Kombination von Adaptivität und Parallelität [. . .] eine der Herausforderungen des Wissenschaftlichen Rechnens“ sei.



Es ist generell festzustellen, daß Finite-Element-Methode und Mehrgitter-Verfahren, die nur durch den Einsatz elektronischer Rechner in dem beobachteten Ausmaß wirksam werden konnten, nicht nur den Ingenieurwissenschaften ungeahnte Möglichkeiten zum Verständnis und damit zum Entwurf komplexer Systeme eröffnen, sondern auch die Informatik durch die *Quantität* der zu behandelnden Daten und die dabei notwendigen Genauigkeiten fordern.

Zur Bedeutung solcher Vorgehensweisen sei auf eine Feststellung von W. K. Bühler [Bü87] verwiesen: „Gauß' Rechnungen waren sehr umfangreich, und er hat wohl mehr gerechnet als jeder andere große Mathematiker [. . .]. Erst in den letzten Jahrzehnten mit der Entwicklungen der numerischen Analysis und insbesondere in den letzten Jahren mit der Entwicklung elektronischer Rechner hat der Wert quantitativer Überlegungen wieder allgemeine Anerkennung gefunden.“

Wenn man bedenkt, daß heutzutage nichtlineare Gleichungssysteme mit mehreren Millionen Unbekannter gelöst werden [OST97], stellt sich die Frage, ob in der Informatikausbildung der Numerik die gebührende Stellung eingeräumt wird.

Auf die wechselseitigen Befruchtungen von Wirtschaft und Informatik kann ich hier nicht eingehen; dies würde auch über unser Thema hinausführen, hat sich doch die Wirtschaftsinformatik zu einem eigenen Fach entwickelt, dessen Verbindungen zur Informatik naheliegenderweise besonders eng sind.

In der Informatik werden ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft thematisiert – und nicht nur ihre positiven. Daß ihr daraus auch eine besondere Verantwortung erwächst, wird nicht allein von den für solche Fragen traditionellerweise zuständigen Institutionen betont, sondern auch z.B. die US-Industrie fordert die Beschäfti-

gung mit ethischen Fragen. Die Gesellschaft für Informatik leistete einen Beitrag dazu mit der Formulierung von Ethischen Leitlinien (s. z.B. [Vo96]).

**These 3:** Die Informatik muß das Erstellen von Software systematisieren.

Auch den Begriff „Software“ will ich nicht zu definieren versuchen. An nur einem Beispiel soll die wirtschaftliche Bedeutung der Software beleuchtet werden: Während vor etwa 25 Jahren Kommunikationseinrichtungen zu 100 % aus Hardware bestanden, sind inzwischen etwa 80 % ihrer Kosten durch Software bedingt.

Betont sei, daß die Produktion von Software quantitativ und – damit verknüpft – in der Komplexität weit über das Schreiben von Programmen hinausgeht. Wie bereits oben erwähnt, war es in der Anfangszeit der Informatik üblich, abgegrenzte Probleme eher einfacher, d.h. bereits formalisiert vorliegender, Art mit Hilfe der Rechner zu bearbeiten, wobei 10 000 Zeilen Programmcode schon durchaus beachtlich waren. Heutzutage sind Programmsysteme mit mehreren Millionen Programmzeilen keine Besonderheit.

Diese werden im allg. nicht alle neu entwickelt, sondern es werden in Bibliotheken vorhandene Programme benutzt. Aber nicht nur deren Einbindung kann zu Schwierigkeiten führen, weil z.B. die Beschreibung lückenhaft ist, fehleranfälliger ist die sog. Problemspezifikation. Mit ihr soll ein reales System – und wir haben bereits gehört, wie komplex dies sein kann – in seiner statischen und dynamischen Struktur so beschrieben werden, daß es möglich wird, in algorithmischer Weise bestimmte Ziele, z.B. – bewußt vage formuliert – größtmögliche Pünktlichkeit der Züge, zu erreichen. Dieser Vorgang, der mit einer Systemanalyse beginnt, ist im allg. nicht automatisierbar: Die Einflußgrößen sind oft nicht vollständig bekannt bzw. derart vielfältig, daß nicht alle berücksichtigt werden können. Vom Auftraggeber werden – ihm, aber nicht dem Software-Ersteller – selbstverständliche Abhängigkeiten und Gesetzmäßigkeiten nicht explizit genannt – und oft ist ihm auch die genaue Zielsetzung nicht klar. In der Informatik wurden wohl zahlreiche Methoden und Werkzeuge entwickelt, um zumindest die Aufgabenstellung in „justitierbarer Form“ festzulegen. Damit wird aber manchmal nur die Verantwortung fixiert – was erstrebenswert ist, ist jedoch das Lösen des Problems in einer Weise, die den Intentionen des Auftraggebers entspricht. Hier auch für Nicht-Fachleute – die wesentlichen Anteil an der Entwicklung haben (sollten)<sup>8)</sup> – einsichtige Vorgehensweisen zu schaffen, ist eine Aufgabe der Informatik.

Das Erstellen der Programme birgt natürlich weitere Fehlermöglichkeiten, insbesondere wenn man sich bewußt macht, daß dies üblicherweise nur in Teams vor

sich gehen kann. Rust [Ru94] schreibt dazu: „Die große Anzahl von interagierenden Komponenten führt nach Leveson bei Programmen zu einem mehr als linearen Anstieg von entwurfsbedingten Ausfallursachen, die auf menschliche Fehler zurückzuführen sind. Eine in anderen Gebieten gegebene Möglichkeit, solche Fehler zu vermeiden, ist die Verwendung bewährter Elemente, für die man über Erfahrungen hinsichtlich des Ausfallverhaltens verfüge. Programme seien aber gewöhnlich Spezialanfertigungen, so daß man nicht auf solche Erfahrungen zurückgreifen könne.“

Die Entwicklung der in diesem Zitat m.E. zu skeptisch gesehenen „bewährten Elemente“ ist *ein* Weg, die angesprochenen Probleme zu lösen. Ein anderer, dessen erste Strecke durchaus schon erfolgreich beschritten wurde, ist der der automatischen Umsetzung von formal spezifizierten (Teil-) Aufgaben in korrekte Programme. Überhaupt muß betont werden, daß die Informatik mit Methoden zur Programmverifikation und Model Checking Beachtliches geleistet hat, daß aber eine breite industrielle Anwendbarkeit noch nicht gegeben ist.

Schlagwortartig muß das Ziel sein, von der Programmierkunst zur Software-Produktionswissenschaft zu gelangen.

Dazu muß die Software-Technologie fortentwickelt werden, vor allem im Hinblick auf

- eine Verkürzung der Produktionszeit
- eine größere Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten
- Erhöhung der Robustheit und
- eine leichtere Wartbarkeit.

Wie auch im übrigen industriellen Bereich in Deutschland wird auch in der Software-Branche die Steigerung der Produktivität von essentieller Bedeutung sein, gerade auch im Hinblick auf die dort gezahlten Gehälter. Bekanntlich wird hier ja keine „Massen-Software“ erzeugt, sondern es werden spezialisierte, hochqualitative Produkte hergestellt, die meiner Einschätzung nach auch international einen guten Ruf besitzen. Diese Situation erleichtert aber das Erreichen des Zieles der Produktivitätserhöhung nicht gerade. Deshalb ist hier die Informatikforschung herausgefordert. (Für tiefere Einsichten in die Probleme der Software-Erstellung sei auf [Ze97] verwiesen.)

**These 4:** Die Informatik muß sich (wieder) verstärkt der Rechner-Entwicklung zuwenden.

Vorab sei dazu bemerkt, daß unter „Rechner-Entwicklung“ das gesamte Gebiet der Hardware verstanden wird; daß dabei Hand in Hand mit der Elektrotechnik vorzugehen ist, soll erwähnt werden, war aber erfreulicherweise zumindest an den Technischen Universitäten selbstverständlich.

In diesem Zusammenhang sind einige historische Bemerkungen angebracht, die mit dem Namen Konrad Zuse beginnen müssen:

Er stellte nach Vormodellen 1941 mit der Z3 den (mit den Worten F.L. Bauers [Zu84]) „ersten vollautomatischen, programmgesteuerten und frei programmierten, in binärer Gleitpunktrechnung arbeitenden“ Computer fertig. Die Z3 wurde im Zweiten Weltkrieg zerstört, und in der Nachkriegsperiode war das Klima in Deutschland für die Informatik – vorsichtig ausgedrückt – nicht günstig. Deshalb wurden der Entwurf und die Konstruktion von Computern erst wieder in den fünfziger Jahren an einigen Universitäten und in einigen Firmen aufgenommen. In den fünfziger und in den frühen sechziger Jahren hatte die deutsche Computer-Industrie einige bemerkenswerte Systeme anzubieten: Standard Elektrik Lorenz entwickelte die ER56 mit einem Kreuzschienenverteiler, Telefunken produzierte mit der TR4 den schnellsten europäischen Großrechner, und Siemens verfügte mit der 300-Serie über sehr gute Prozeßrechner. Nicht vergessen werden darf dabei Zuses Computerfirma, die insbesondere die Universitäten belieferte.

Nach diesem guten Beginn verschlechterte sich die Situation deutlich. Als derzeit letzter Wendepunkt zum Schlechteren sei der wirtschaftliche Mißerfolg des SUPRENUM-Projektes erwähnt, das in wissenschaftlicher Hinsicht weitestgehende Anerkennung genießt.

Dies hat meiner Einschätzung nach zu einer gewissen Resignation in den Hochschulen geführt. Erfreulicherweise hat die deutsche Industrie bei der Chip-Fertigung wieder aufgeholt, sie muß aber unterstützt werden durch die Ausbildung auch in solchen Gebieten, in denen sie derzeit wenig Marktchancen sieht.

Ein von der Industrie erfolgreich besetzter Sektor ist der der Produktion von kundenspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs). Die Entwicklung und die Produktion solcher maßgeschneiderter Chips für spezifische Aufgaben, insbesondere für die Steuerung von Prozessen, muß in einer kurzen Zeit und zu einem geringen Preis geschehen. Die Forderung an die Integrationsdichte ist weniger streng als z.B. für Speicherchips. Es wird aber eine höhere Flexibilität des Entwurfsprozesses gefordert. Außerdem sollten auch kleine und mittelgroße Unternehmen in der Lage sein, sie zu produzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, die Entwurfstechniken (die natürlich CAD-Techniken sein müssen)

zu verbessern. Wie dies generell der Fall ist, ist es dabei nicht ausreichend, nur allgemeines theoretisches Wissen zu besitzen, vielmehr muß ein tiefes Verständnis der physikalischen Grundlagen und der technologischen Prozeduren verfügbar sein, wenn alle Möglichkeiten solcher Komponenten ausgeschöpft werden sollen. Deshalb ist es m.E. für unser Land unabdingbar, über die Möglichkeit zur Produktion solcher Komponenten, zumindest für den heimischen Markt, zu verfügen; unter anderem deshalb, weil es natürlich Interaktionen zwischen dem Entwurf und dem Inhalt des Entwurfs gibt und es nicht immer ratsam scheint, zu viel Wissen über Prozesse oder Systeme außer Haus zu geben. Analog zu dem zur Software-Produktion Gesagtem spielt auch hier die Produktivitätserhöhung, stärker aber noch die Zeit zwischen der Idee und der Realisierung eine Rolle. Systeme in der Art des am Karlsruher EISS entwickelten IDEAS [BKMN95] können hier Verkürzungen erlauben.

Was über eine gewisse Breite in der Ausbildung und die geradezu nötige „sinnliche“ Erfahrung mit Chip-Entwicklungen gesagt wurde, gilt – eher noch verstärkt – für die Rechnerarchitektur. Schon nach einer nur kurzen Periode der Stagnation und Abstinenz kann der Kontakt zu den Marktführern kaum wiedergewonnen werden. Wenn auch ein hinreichend großer Markt in Deutschland vielleicht nicht vorhanden ist, kann sich dies z.B. bei der Einführung des Euro ändern – vor allem aber könnten neuartige Systeme die Situation wenden. Daß dies möglich ist, war vor fast einem Jahrzehnt an den Transputersystemen zu sehen. Überhaupt traue ich der Entwicklung von Parallelrechnern – die ja jetzt wenigstens rudimentär schon in Workstations realisiert sind – Überraschungen zu. Ihr Vorteil liegt nicht nur im Erreichen höherer Geschwindigkeiten, die für manche Anwendungen unerläßlich sind, sondern auch in der adäquateren Beschreibung von Problemen ebenso wie in ihrer Fehlertoleranz.

Vor allem aber können jetzt noch nicht vorhersehbare technische Resultate Chancen für völlig andersgeartete Rechner eröffnen, denken wir beispielsweise an eine kostengünstige Realisierung sehr großer Assoziativspeicher oder sog. Vollassoziativspeicher [Hä62].

Lassen Sie mich diese These mit einem Zitat von 1953(!) schließen: „Die Erstellung von Großrechenanlagen gehört meines Erachtens ebenso zum Aufbau der deutschen Technik wie der Ausbau von Berg- und Hüttenwerken. Ein Land, das in dieser Entwicklung zurückbleibt, wird seine Versäumnisse bald am Rückgang seines Exportes sehr schmerzlich spüren.“ [Cr53]

Wenn auch heute die Vergleichsindustrie etwas anders gewählt würde, bleibt

doch m.E. die Aussage richtig.

Und nun sind wir an einem Punkt, an dem ich von Thesen zu einem Plädoyer übergehen will:

**Plädoyer:** Die Informatik muß (auch) für spekulativ erscheinende Forschungen offen sein.

Um zunächst wieder möglichen Mißverständnissen vorzubeugen sei betont, daß ich darunter nichts „Esoterisches“ verstehe. Meiner Auffassung nach ist „spekulativ erscheinende Forschung“ fast ein Pleonasmus: Liegen zu Beginn einer Arbeit die Ergebnisse bereits auf der Hand, so wird man eher von Entwicklungstätigkeit sprechen müssen, was durchaus nicht negativ zu sehen ist. Andererseits besteht wohl auch der Hauptteil der „reinen“ Forschung aus der Verfolgung sichtbarer Wege – und ich habe im Bisherigen des öfteren auf solche Notwendigkeiten hingewiesen, und ich möchte ausdrücklich betonen, daß ich dies keineswegs als zweitklassig oder auch nur als einfacher ansehe. Wollen wir aber das uns oft vorgeworfene nur marginale Verbessern überwinden und genuin neue Methoden und Produkte entwickeln, so müssen auch Richtungen eingeschlagen werden, die ein Scheitern wahrscheinlicher machen als einen Erfolg. (Über die dabei zu überwindenden gesellschaftlichen Hürden kann ich aus Zeitgründen nicht sprechen.) Um Ihnen wenigstens einen Anhaltspunkt zu geben, wofür ich plädiere, will ich lediglich die Stichwörter Quanten-Computing und DNA-Computing erwähnen, aber auch darauf verweisen, daß ich im biologischen, insbesondere im physiologischen Bereich Ansätze sehe (– im Sinne des schon Ende der sechziger Jahre von den Erlanger Professoren Händler und Keidel initiierten Projekts „Datenverarbeitung in Rechenautomaten und Organismen (DORA)“).

U.U. könnten dabei auch Teillösungen für die doch sehr verbesserungsbedürftige Interaktion zwischen Mensch und Computer gefunden werden.

Explizit bin ich noch nicht auf meine Ausgangsfrage nach den notwendigen Ausbildungsinhalten eingegangen, ich denke aber, daß Sie aus meinen bisherigen Ausführungen meine Meinung dazu herauslesen konnten. Ich will deshalb abschließend nur noch einige Bemerkungen zum Bild der Informatik (und damit speziell ihrer Absolventinnen und Absolventen) in der Öffentlichkeit machen: Zunächst einmal scheint es etwas diffus. Dies hängt damit zusammen, daß es immer noch nur eine relativ geringe Zahl von „richtigen“ Informatikerinnen und Informatikern gibt, so daß nur wenige Leute einen Informatik-Profi von Angesicht zu Angesicht kennenlernten. Dies hat Rückwirkungen auf diese und drückt sich oft in einer schwachen Identifikation mit ihrem Beruf aus.

Die Schwierigkeiten mit einem klaren Berufsbild hängen (paradoxe Weise) mit dem Erfolg der Informatik zusammen: Die Informatik spielt eine so bedeutende Rolle in so vielen Anwendungsgebieten, daß die Absolventinnen und Absolventen über einen breiten Bereich von Firmen, Verwaltungen und Forschungsinstituten verteilt sind, eine Tatsache, die es ihnen auch in wirtschaftlich weniger guten Zeiten leicht machte, einen Arbeitsplatz zu finden und die derzeit zu einer besonders starken Nachfrage führt. Zum anderen verhinderte die geringe Größe „reiner Informatik-Unternehmen“ in Deutschland die Herausarbeitung eines klaren, einfachen Bildes.

Hier Änderungen zu bewirken, klar zu machen, wie stark die Informatik das tägliche Leben beeinflußt und damit auch für das Studium zu werben, insbesondere unter den unverständlicherweise und geradezu skandalös stark unterrepräsentierten Frauen, sollte uns allen angelegen sein.

Statt einer definitiven Antwort auf meine Ausgangsfrage darf ich ein Wort von Franz von Baader zitieren:

„Alles Leben steht unter dem Paradox,  
daß wenn es beim alten bleiben soll,  
es nicht beim alten bleiben darf.“

## Literatur

- [ACM95] ACM Computing Surveys, vol. 27, no. 1, 1995
- [ACM96] ACM Computing Surveys, vol. 28, no. 4, 1996
- [Ad87] T. W. Adorno: Über Technik und Humanismus. In: H. Lenk, G. Ropohl (Hrsg.): Technik und Ethik. Stuttgart, 1987, 22-30
- [Ba97] F. L. Bauer: The might of formulas and their limits. In: C. Freksa, M. Jantzen, R. Valk (Eds.): Foundations of Computer Science -Potential-Theory-Cognition. Springer, Berlin, 1997, 1-8
- [Be95] L. A. Belady: The disappearance of the 'pure' software industry. ACM Computing Surveys, vol. 27, no. 1, 1995, 17-18
- [BKMN95] T. Beth, A. Klappenecker, T. Minkwitz, A. Nüchel: The ART behind IDEAS. In: J. van Leeuwen (Ed.): Computer Science Today. Springer, Berlin, 1995, 141-158
- [Bü87] W. K. Bühler: Gauß – Eine biographische Studie. Springer, Berlin, 1987
- [Br95] G. Brassard: Time for another paradigm shift. ACM Computing Surveys, vol. 27, no. 1, 1995, 19-21
- [Cr53] H. Cremer: Vorwort. In: H. Cremer (Hrsg.) Probleme der Entwicklung programmgesteuerter Rechengерäte und Integrieranlagen. RWTH Aachen, Aachen, 1953, XI
- [GV97] J. Gruska, R. Vollmar: Towards Adjusting Informatics Education to Information Era. Techn. Report FIMU-RS-97-03, Masaryk University Brno, 1997. In etwas veränderter Form auch in: C. Freksa, M. Jantzen, R. Valk (Eds.): Foundations of Computer Science -Potential-Theory-Cognition. Springer, Berlin, 1997, 49-67

- [Hä62] W. Händler: Lernprozesse als Leitbild bei der Programmierung. Annales Universitatis Saraviensis, Naturwissenschaften-Scientia-X-4-1962
- [Ha95] J. Hartmanis: Turing Award Lecture: On computational complexity and the nature of computer science. ACM Computing Surveys, vol. 27, no. 1, 1995, 7-16
- [HL92] J. Hartmanis, H. Lin (Eds.): Computing the Future. National Academy Press, Washington D.C., 1992S.
- [Hm97] R. W. Hamming: The Art of Doing Science and Engineering. Gordon and Breach, Amsterdam, 1997
- [Ho81] G. Hotz: Laudatio zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. W. Händler. In: Arbeitsberichte des Instituts für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung (IMMD), Band 14, Nr. 6, Erlangen, 1981
- [McN96] J. McNealy: Interview Die dritte Welle in der Computertechnologie. Outlook, 6. Jg., 1996, 9-12
- [Ne97] B. Neumann: Computerintelligenz heute – unser Thron wackelt. Spektrum der Wissenschaft. Dossier 4/97, 6-10
- [OST97] K. Oosterlee, A. Schüller, U. Trottenberg: Durchbruch im Wissenschaftlichen Rechnen durch adaptive Mehrgitterverfahren auf Parallelrechnern. Der GMD-Spiegel 3, 1997, 15-18
- [Ru94] H. Rust: Zuverlässigkeit und Verantwortung. Vieweg, Braunschweig, 1994
- [Sa95] J. E. Savage: Will computer science become irrelevant? ACM Computing Surveys, vol. 27, no. 1, 1995, 35-37
- [Vo96] R. Vollmar: Ethische Leitlinien in der Informatik – etwas Besonderes? In: Schinzel, B. (Hrsg.): Schnittstellen. Braunschweig/Wiesbaden, 1996, 243-255
- [Wi96] R. Wilhelm: Informatik: Grundlagen – Anwendungen – Perspektiven. Beck, München, 1996
- [Ze97] H. Zemanek: Hardware – software. An equivalence and a contradiction. In: C. Freksa, M. Jantzen, R. Valk (Eds.): Foundations of Computer Science -Potential-Theory-Cognition. Springer, Berlin, 1997, 9-19

## Anhang

<sup>1)</sup> „The Federal government, especially through the military, supported most of the early machines, and great credit is due to them for helping start the Computer Revolution.“ [Hm97]

<sup>2)</sup> „I very strongly believe that the time is ripe for yet another paradigm shift. Both probabilistic and deterministic computation are notions based on classical physics that take no account of the most important discovery of twentieth-century physics: quantum mechanics. Increasing evidence has recently been found that quantum computers may be qualitatively more powerful than classical machines.“ [Br95]

<sup>3)</sup> „Somewhere in the mid-to-late 1950s in an address to the President and V.Ps of Bell Telephone Laboratories I said, 'At present we are doing 1 out of 10 experiments on the computers and 9 in the labs, but before I leave it will be 9 out of 10 on the machines'.“ [Hm97]

<sup>4)</sup> „. . . for a while, content and nothing but content, without any formalism, may be observed. This may happen in application-oriented fields at the beginning of an investigation. The danger is that such exercises in 'applied mathematics', 'applied logic', or 'applied informatics' become separated from progress and deprive themselves of their sharpest instruments. Again, this may be admissible for a while, but pursued too far it leads to muddy defeat and loss of clear vision.“ [Ba97]

<sup>5)</sup> „Zu Beginn einer neuen Entwicklung herrschen große Perspektiven und auch große Unsicherheit im Detail. Es ist schwierig, in dieser Zeit das wirklich Machbare zu sehen. Dies nimmt sich oft doch zu winzig aus vor den weitgesteckten Zielen.“ [Ho81]

<sup>6)</sup> „As observed earlier, computer science work is permeated by concepts of efficiency and search for optimality. The 'how' motivation of computer science brings engineering concepts into the science, and we should take pride in this nearness of our science to applicability. [. . .] I am deeply convinced that we should not try to draw a sharp line between computer science and engineering and that any attempt to separate them is counter-productive.“ [Ha95]

<sup>7)</sup> „It is no longer sufficient to focus on generic computer science problems. [. . .] If we fail to interact with those who need our knowledge and skills, we risk the accusation of irrelevance.“ „And now a word of advice to those using computer science. If computer scientists are to contribute to your fields, it is essential to

welcome them into your midst. Too often turf wars result from the migration of professionals from one area to another. We must recognize that we have more to gain from working together than we do from working in isolation.“ [Sa95]

Der letzte Absatz gilt natürlich auch vice versa.

<sup>8)</sup> „The development of software is now very widespread and is no longer restricted to any single category of software. Today most noncomputer products and services contain software components. These components cannot be developed by specialized software factories. They must be designed, built, tested, and operated as a system of computer and noncomputer parts. The people involved with those systems must be experts in both information processing and the particular industry within which the system is built and applied.“ [Be95]