

# Informatik–Impulse

©Forum „Perspektiven der Informatik“

Internationales Begegnungs– und Forschungszentrum für Informatik

Schloß Dagstuhl

Reinhard Wilhelm (Hrsg.) \*

18. September 2001

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung . . . . .	1
1.2	Die Informatik– und Mediensteckdose . . . . .	2
1.3	Komplexe technische Systeme . . . . .	3
1.4	Verteiltes Höchstleistungsrechnen . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Informatik- und Mediensteckdose</b>	<b>5</b>
2.1	Motivation . . . . .	5
2.2	Neue Dienstleistungen durch die Informatik- und Mediensteckdose . . . . .	6
2.2.1	Verbessertes Informationsangebot in Bildung, Arbeit und Alltag . . . . .	6
2.2.2	Kooperatives Arbeiten im Netz . . . . .	7
2.2.3	Dienstleistungen im Handel und Finanzdienstleistungen . . . . .	7
2.2.4	Mediendienste . . . . .	8
2.2.5	Partizipative öffentliche Nutzung . . . . .	8
2.3	Basistechnologien für die Informatik- und Mediensteckdose . . . . .	9
2.3.1	Netze . . . . .	9
2.3.2	Benutzungsschnittstellen . . . . .	10
2.3.3	Multimedia und Visualisierung . . . . .	12
2.3.4	Kooperationstechnologien . . . . .	12
2.3.5	Sicherheit und Zuverlässigkeit . . . . .	13
2.4	Gesellschaftliche Bedingungen, Wirkungen und Folgen . . . . .	14

---

\*Text– und Diskussionsbeiträge kamen von T. Beth, V. Claus, W. Coy, J. Encarnacao, H. Hagen, S. Jähnichen, R. Keil–Slawik, T. Lengauer, P. Marwedel, F. Mattern, H. Müller, D. Roller, G. Rünger, J. Schlichter, O. Spaniol, L. Thiele, R. Wilhelm; organisatorische Hilfe kam von Andreas Hense und Angelika Müller–von Brochowski

2.4.1	Rechtliche Regelungen, Normen und Standards . . . . .	14
2.4.2	Ökonomische und politische Aspekte . . . . .	14
2.4.3	Technikbewertung der Informatik- und Mediensteckdose . . . . .	15
2.4.4	Kulturelle Wirkungen und Folgen der Informatik- und Mediensteckdose . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Komplexe technische Systeme</b>	<b>16</b>
3.1	Motivation . . . . .	16
3.2	Charakteristika, Anforderungen und Beispiele von komplexen technischen Systemen . . . . .	16
3.2.1	Charakteristika von komplexen technischen Systemen . . . . .	16
3.2.2	Anforderungen an komplexe technische Systeme . . . . .	17
3.2.3	Eingebettete Systeme . . . . .	18
3.3	Basistechnologien für komplexe technische Systeme . . . . .	19
3.3.1	Entwurfsunterstützung . . . . .	19
3.3.2	Übersetzer für eingebettete Prozessoren . . . . .	20
3.3.3	Kommunikationssysteme . . . . .	21
3.3.4	Visualisierung . . . . .	21
3.4	Gesellschaftliche Aspekte . . . . .	23
<b>4</b>	<b>Verteiltes Höchstleistungsrechnen</b>	<b>24</b>
4.1	Charakteristik von Parallelrechnern . . . . .	24
4.2	Körnigkeit und Struktur der Parallelität . . . . .	25
4.3	Anwendungen mit grobkörniger Parallelität . . . . .	26
4.4	Portable Implementierung . . . . .	28
4.5	Kooperationsmodell . . . . .	28
4.5.1	Synergie . . . . .	28
4.5.2	Partnerschaft und Projektorganisation . . . . .	29
4.5.3	Leerzeitnutzung . . . . .	30
4.5.4	Organisatorische Aspekte . . . . .	30
4.6	Forschungsaspekte . . . . .	30
4.7	Zusammenfassung . . . . .	31

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Einleitung

Im Laufe seiner Geschichte hat der Mensch gelernt, schwierige Zusammenhänge zu verstehen und immer kompliziertere Lösungsverfahren und zugehörige Geräte zu konstruieren. Auch die Entwicklung der Informatik zeigt dieses Anwachsen der Komplexität. Hardware-/Softwaresysteme immer größeren Leistungsumfangs und damit einhergehend immer größerer Komplexität werden entwickelt und vermarktet. Nur wenn der Anstieg der Komplexität vom Anstieg der Funktionalität abgekoppelt werden kann, bleiben die konstruierten Systeme beherrschbar. Dies bleibt eins der wichtigsten Aufgabenfelder der Informatik.

Die Hardwareentwicklung hat immer größere Rechenleistung beigesteuert, während die Software diese ausgenutzt hat, um die Funktionalität der Systeme stark auszuweiten. Dabei hat der Anteil der Software an der Wertschöpfung in vielen Branchen den Anteil des originären Bereichs bereits erreicht oder überflügelt. Im Maschinenbau errechnet man schon etwa 50% Softwareanteil, in Multimediaprodukten etwa 80%.

In der jüngeren Vergangenheit haben verschiedene Nationen ihre Kompetenz in Informatik verschieden genutzt: So hat sich Japan einen Spitzenplatz in der Herstellung von Hardware-Komponenten erobert, und die USA dominieren den Bereich der Software-Erstellung. Deutschland besitzt zwar eine qualitativ sehr gute Forschung, hat dieses Wissen aber bisher nur unvollkommen in Produkte umgesetzt und internationale Erfolge nur in Teilbereichen (kommerzielle Standardsoftware, eingebettete Systeme) erreicht. Vom Umsetzen von Forschungsergebnissen in industrielle Verfahren und Produkte hängt jedoch die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Wirtschaft in besonderer Weise ab. Daher ist ein verstärktes Engagement in der Schlüsselindustrie „Informationstechnik“ zum einen aus wirtschaftlichen Gründen geboten, zum anderen eröffnet es den notwendigen Spielraum, um zukünftige Entwicklungen nach eigenen politischen und gesellschaftlichen Vorstellungen mitgestalten zu können.

Herausforderungen stellen sich der Informatik in fast allen Fachgebieten. In diesem Papier werden drei zukunftssträchtige Projekte herausgegriffen, die vor allem den ingenieurmäßigen Aspekt betonen. Für jedes Projekt werden Basistechnologien und Anwendungsbereiche herausgestellt, die in nächster Zeit intensiv untersucht werden müssen. Charakteristisch für diese drei Großprojekte sind: An ihrer Durchführung sind verschiedene Arbeitsgebiete der Informatik gleichzeitig zu beteiligen, es ist eine intensive Zusammenarbeit mit mehreren anderen Wissensgebieten erforderlich, sie weisen eine ungewöhnlich hohe Komplexität auf, und sie besitzen eine erhebliche wirtschaftliche Bedeutung.

Ziel dieses Papiers ist es, die Aufmerksamkeit von Industrie, Wissenschaft und potentiellen Förderern auf die industriell relevanten, in diesem Papier beschriebenen Gebiete zu lenken und dadurch eine breite Diskussion zwischen diesen Gruppen anzustoßen. Sollte ein Konsens über die Wichtigkeit dieser Gebiete und den Sinn der vorgeschlagenen Vorgehensweisen erreicht werden, so wäre es an den Förderern und den Verbänden, geeignete Programme zu initiieren oder existierende Programme zu fokussieren. Teilweise werden die vorgeschlagenen Forschungsgebiete von bereits existierenden Förderprogrammen etwa der EU oder des BMBF abgedeckt. Ihre Darstellung in diesem Papier dient dann der Skizzierung einer längerfristigen Perspektive oder einer neuen Herangehensweise.

## 1.2 Die Informatik– und Mediensteckdose

Information ist zwar an einen Träger aus Materie oder Energie gebunden, aber sie ist innerhalb von Trägersystemen orts- und zeitunabhängig verfügbar. Informatik, Nachrichtentechnik und Medienindustrie sind mittlerweile so weit entwickelt, daß durch Integration der verschiedenen Methoden und Techniken die Information überall zugänglich gemacht werden kann und dann wie Wasser, Gas, elektrischer Strom oder Telefon zur Grundversorgung der Bevölkerung gehören wird. Zugleich werden sich neue Formen der Kommunikati-

on ergeben, indem Menschen über Steckdosen oder per Funk zu jeder Zeit über beliebige Entfernungen miteinander in Kontakt treten können. Dies wird das menschliche Zusammenleben, den Ausbildungsbereich, das Arbeits- und Freizeitverhalten und die Struktur von Betrieben und Verwaltungen nachhaltig verändern.

Will man die Vision der „Informatik- und Mediensteckdose“ realisieren, so sind zunächst viele fachliche Probleme der Informatik, der Nachrichtendarstellung und -übertragung und der Mikroelektronik zu lösen. Daran werden sich anwendungsspezifische Probleme im Bereich der Medien, der Kommunikationsformen, der Organisationsstrukturen, der Arbeitsformen und -abläufe, der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen usw. anschließen bis hin zur Entwicklung und Gestaltung geeigneter Geräte, Sicherheitsstandards und Verifikationsinstrumente. Kurzfristig denkbar sind neue Formen der Diskussion und Zusammenarbeit über beliebige Entfernungen und neue Medien- und Informationsdienste. Entscheidend ist, daß die Information zum Menschen kommt und nicht umgekehrt, wodurch die Mobilität der Menschen in vielen Bereichen überflüssig wird (Geschäftliche Besprechungen und Konferenzen, Aufträge an Banken, Verwaltungen oder Läden, Reparaturdienst, Routineuntersuchungen, Weiterbildung usw.). Aber auch das Zusammenleben, der schulische Bereich, kulturelle Veranstaltungen und die Bürgernähe in einer Gemeinde werden sich vermutlich tiefgreifend verändern.

Viele Fragen zu diesem Projekt müssen noch geklärt werden: Wie eröffnet man den Zugang zu den Diensten, in welchen Sprachen kann man Anfragen stellen und kommunizieren, wie kann man unvollständige Informationen „richtig“ weiterverarbeiten, wie identifiziert man Benutzer, wie wird abgerechnet, welche Eigenschaften müssen Netze und Protokolle haben, um gemeinschaftliches Arbeiten zu unterstützen, wie stellt man komplexe Sachverhalte dar, wie muß man solche Systeme (z.B. bequem und sicher) gestalten, welche Standards sind für den Betrieb und für künftige Erweiterungen erforderlich usw.? Weiterhin müssen Modellversuche durchgeführt werden, zum Beispiel um die Akzeptanz und Wünsche der Benutzer, insbesondere die Nachfrage nach den einzelnen Diensten zu ermitteln, die Auswirkungen auf Arbeitsplätze, Betriebe und Märkte abzuschätzen und um rechtliche Regelungen für die sinnvolle Nutzung und gegen Mißbrauch auszuarbeiten.

### 1.3 Komplexe technische Systeme

Prinzipiell kann man das intelligente Auto bauen. Es kontrolliert den Straßenzustand, die Wetterbedingungen, den Abstand zum Vorder- und zum Hintermann, tastet den Straßenrand nach Verkehrszeichen ab und berechnet aus all dem die gebotene Geschwindigkeit. Bremsst es ab, so teilt es dies rechtzeitig den hinter ihm fahrenden Autos mit; möchte es überholen, so warnt es die vor ihm fahrenden. Bei Kolonnenfahrt stimmt es seine Geschwindigkeit mit den anderen Fahrzeugen der Kolonne ab, beim Einbiegen auf die Autobahn schafft es in Koordination mit den ankommenden Fahrzeugen die notwendige Lücke. Es empfängt Satellitensignale, bestimmt daraus seine genaue Position und berechnet aus der Angabe des Fahrtziels und den aktuellen Verkehrsinformationen die günstigste Fahrtroute. Aber die bei der Realisierung auftretenden Probleme werden stets unterschätzt. Komplexe technische Systeme (auch wenn sie wie moderne medizinische Sonden sehr klein sind)

müssen zum einen viele verschiedene Komponenten einheitlich kontrollieren und deren Gesamtfunktionalität sicherstellen, zum anderen müssen sie heterogene Komponenten miteinander koppeln, da sie z.B. aus mechanischen, elektronischen und optischen Teilen und der notwendigen Steuerungssoftware zusammengesetzt sind. Erfolgreiche Entwicklungen wie das Anti-Blockier-System oder der Airbag in Fahrzeugen haben viele Jahre benötigt, vor allem um die jeweils verschiedenen Eigenschaften der Einzelteile und ihrer Materialien, die auslösenden Ereignisse und die zwischen den Komponenten auszutauschenden Informationen zu einer zuverlässigen Einheit zu „verschweißen“. Charakteristisch sind hierfür Informatiksysteme, die auf einen speziellen Anwendungsbereich zugeschnitten sind und in dieser spezifischen Umgebung fehlerfrei und robust arbeiten („eingebettete Systeme“). Für solche Produkte besteht ein hoher Bedarf; der wirtschaftliche Erfolg stellt sich aber nur ein, wenn aus entsprechenden Ideen schnell und ohne große Fehlentwicklungen erfolgreiche Produkte gemacht werden.

Hierfür ist es notwendig, Wissen aus dem zugrunde liegenden technischen Bereich mit Kenntnissen aus der Informatik zu verbinden und geeignete Entwurfsstrategien und –werkzeuge zu besitzen. Die rasch erstellten Prototypen, die zuvor in Simulationsläufen bereits auf ihre Eignung untersucht wurden, lassen sich dann auf Systemeigenschaften und ihre Alltagstauglichkeit (Echtzeitverhalten, Qualität der Bilderkennung, Dauerhaftigkeit der Werkstoffe, Stabilität der Schnittstellen usw.) testen. Die Informatik erhält hierbei eine doppelte Aufgabe: Sie muß den Entwurfsprozeß wirkungsvoll unterstützen, und sie ist für die Qualität der im Produkt enthaltenen Rechnersysteme verantwortlich. Daher sind hier mehrere Forschungsbereiche angesprochen, beispielsweise:

- Die Entwicklung einer Methodologie für die Erstellung von Werkzeugen, mit deren Hilfe eine schnelle Durchführung, Dokumentierung und Bewertung von Entwürfen möglich wird,
- die Modellierung, Darstellung und Simulation von eingebetteten (heterogenen) Systemen und
- die Erstellung von Verifikationsmethoden, z.B. zur Qualitätssicherung.

## 1.4 Verteiltes Höchstleistungsrechnen

Es gibt viele Probleme, zu deren Lösung die heute beim einzelnen Anwender verfügbare Rechenleistung nicht ausreicht. Beispiele sind die Wettervorhersage, die Vorhersage oder Analyse von Umweltverschmutzungen oder die Vorausberechnung von Eigenschaften großer Moleküle. Eine Steigerung der Rechenkapazität verspricht man sich von parallelen oder verteilten Berechnungsverfahren und deren Ausführung auf parallelen bzw. verteilten Rechnern.

Dabei stellen sich mehrere Fragen und Probleme: Wie sieht die *Architektur* des Rechners aus, d.h. wie ist seine Speicherorganisation, wie das Verbindungsnetzwerk? Wie kann man die vielen Prozessoren bzw. Rechner in ihrer Arbeitsweise koordinieren? Welche Lösungsverfahren mit genügend großem Potential an Parallelismus gibt es für die Ausgangsproble-

me? Wie ist die Feinheit, nach der diese Verfahren in kleinste parallelisierbare Einheiten unterteilbar sind? Die immer populärer werdenden Rechner mit verteiltem Speicher lassen sich nur sinnvoll für Verfahren mit relativ „grobem Korn“ einsetzen. Eine Liste von Problemgebieten, in denen Lösungsverfahren mit solch grobem Korn vermutet werden, wird im Abschnitt 4 angegeben.

Für die Kommunikation in verteilten Rechnern werden derzeit rechnertypunabhängige Bibliotheken entwickelt. Da sie auf den meisten Workstationstypen und Höchstleistungsrechnern verfügbar sind, werden sich Berechnungen sogar auf Netzen von heterogenen Rechnern ausführen lassen. In solchen Netzen kann man Workstations in ihren Leerzeiten nutzen. Hierzu wird im Abschnitt 4.5 ein interessantes Kooperationsmodell vorgeschlagen.

Hochleistungsrechnen wird derzeit vom BMBF im HPSC-Programm gefördert. Eine Fokussierung, wie sie im Abschnitt 4 beschrieben wird, wäre möglich. Außerdem möchten wir auf die vom BMBF in Auftrag gegebene HIPERCON-Studie, High Performance Computing Network, hinweisen, die ebenfalls als langfristiges Ziel das (überregional) verteilte Höchstleistungsrechnen hat.

## 2 Informatik- und Mediensteckdose

### 2.1 Motivation

Nach einigen Jahrzehnten erfolgreichen Aufbaus steht die Informatik nun vor der Aufgabe, ihre Integration in die künftigen digitalen Medien bewältigen zu müssen. Dieser Prozeß wird von unterschiedlichen, in sich jeweils bedeutenden Kräften betrieben: Der Medienindustrie, der Nachrichtentechnik und der Informatik. Nur durch deren Integration sind die anstehenden Aufgaben zu meistern. Es gilt Industrie- und forschungspolitische Weichen zu stellen, um diesen Prozeß aktiv und führend zu betreiben.

Zwar sind in einigen Überlappungsbereichen wie z.B. der Telekommunikation, der Übertragungs- und Vermittlungstechnik, in der Mikroelektronik, der Speichertechnik und der Entwicklung von Endgeräten bereits Formen intensiver und fruchtbarer Zusammenarbeit zu erkennen, es fehlt aber an einer grundsätzlichen Debatte und Ausrichtung der einzelnen Kräfte auf das gemeinsame Ziel, Information und digitale Medientechnik und die entsprechende Rechenleistung als allseits verfügbare nationale Ressource bereitzustellen. Dieses Ziel läßt sich durch das Schlagwort „Information aus der Steckdose“ charakterisieren.

Dabei ist davon auszugehen, daß in nicht allzu ferner Zukunft neben der Erweiterung verkabelter Medienangebote „Rechnerleistung aus der Steckdose“ als neue vernetzte Infrastrukturleistung wie Wasser, Licht, Telefon, Entsorgung überall zur Verfügung steht. Dies kann zuhause, in der Schule, im Beruf, im Verkehr, im Einkauf, kurz: überall sein, wobei der Zugang mit Hilfe moderner Funkübertragungstechniken nicht auf eine herkömmliche verkabelte Steckdose beschränkt sein muß. Es wird sich dabei eine Mischung aus breitester Vernetzung (ähnlich dem heutigen Telefonnetz) und globaler Verfügbarkeit von Rechnern als „ubiquitous computing“ ergeben. Information und Rechenleistung kommt dann „aus der Steckdose“ und steht allen überall und jederzeit zur Verfügung. Da die Anforderun-

gen durch die sehr breit gefächerte Nutzung sehr komplex und heterogen sein werden, werden alle Informationstypen integriert und verfügbar gemacht, d.h., diese zukünftigen Informationssysteme werden nicht nur global vernetzt, sondern auch multimedial sein, um Schnittstellen zu bieten, die rechnervermittelte Mensch-Mensch-Kommunikation angemessen unterstützen.

Die Entfaltung der Vision einer überall vorhandenen, für alle verfügbaren und von allen nutzbaren „Informatik- und Mediensteckdose“ wird über die Digitalisierung bisheriger Telekommunikations- und Medienangebote neue Mediendienste, völlig neue Dienstleistungen wie kooperatives Arbeiten im Netz, umfassende Informationsangebote in Bildung, Arbeit und Alltag, erweiterte Dienstleistungen im Handel (z.B. Teleshopping) und Finanzdienstleistungen (Telebanking) oder verschiedene interaktive und individualisierte Mediendienste (Video on Demand, Netzspiele, Diskussionsgruppen, Nachrichtendienste, elektronische Publikationen u.ä.) anbieten. Dies werden neue Formen der Mensch-Rechner- und der Mensch-Mensch-Kommunikation und neue Arbeits-, Bildungs- und Infrastrukturparadigmen zur Folge haben. Eine besondere Komponente mag sich durch die Möglichkeit partizipativer Nutzung im öffentlichen Raum ergeben (z.B. Stadtinformationssysteme im elektronischen Kiosk, Bürgerinformation, elektronischer Zugriff auf die öffentliche Verwaltung).

Wesentliches Kennzeichen dieser Entwicklungen ist die Entfaltung neuer Dienste, deren technische Voraussetzungen in enger Verbindung mit den Basistechnologien zu definieren und bereitzustellen sind. Hier muß eine enge Abstimmung mit den technischen Möglichkeiten und Entwicklungspfaden einerseits und den Anwendungspotentialen und deren rechtlichen, politischen und kulturellen Verträglichkeiten andererseits erreicht werden. Viele dieser Basistechnologien, wie Netze, neue Benutzungsschnittstellen, Multimedia und Visualisierungstechniken, Kooperation in Netzen oder Techniken zur Erhöhung von Sicherheit und Zuverlässigkeit sind nicht nur für die Informatik- und Mediensteckdose von Bedeutung, sondern dienen der gesamten technischen Infrastruktur.

Der gesamte Prozeß der Einführung der Informatik- und Mediensteckdose wird erhebliche gesellschaftliche Wirkungen zeigen, die rechtlicher wie politischer Regelung bedürfen und die angesichts weltweiter ökonomischer, politischen und kultureller Folgen weit über die nationalen Aspekte hinaus globaler Absprachen bedürfen. Eine sorgfältige Technikbewertung im Rahmen des Möglichen ist geboten.

## **2.2 Neue Dienstleistungen durch die Informatik- und Mediensteckdose**

### **2.2.1 Verbessertes Informationsangebot in Bildung, Arbeit und Alltag**

Durch heutige Internet-Dienste wie WWW, aber noch stärker unterstützt durch die im Aufbau befindlichen Datenautobahnen wird es prinzipiell möglich, zu jeder Zeit auf das weltweit elektronisch erfaßte, publizierte Wissen zuzugreifen. Die Angebotsformen des im Netz gespeicherten Wissen reichen dabei von speziellen Dokumenten über elektronische Nachrichtendienste, Online-Datenbanken und -Bibliotheken, über elektronische Publikationen bis zu Video on Demand und den interaktiven Formen des Wissensaustausches in News-

groups und anderen Diskussionsgruppen. Um diesen enormen Wissensbestand tatsächlich nutzbar zu machen, sind aber noch eine Reihe informatischer Probleme zu lösen.

Dazu gehört die rechnergestützte Erfassung und Indizierung von Dokumenten. Eine Automatisierung dieser Vorgänge, soweit sie möglich ist, würde neu anfallendes Wissen breit und billig verfügbar machen. In der erfaßten Form muß es möglich werden, Wissen „ungefähr“ nachzufragen. Dazu notwendige Verallgemeinerungen und Spezialisierungen müssen von Wissensverwaltungsprogrammen vorgenommen werden können.

Der Zugang muß auch für nicht informatisch vorgebildete Benutzer möglich werden. Weder das Wissen über die internen Darstellungsformate, noch über die Lokalität der Ablage können diesen Nutzern abverlangt werden. Wissen aus heterogenen Quellen muß auf Anfrage hin gefunden und kombiniert werden, wobei der Wissensbestand nach außen homogen aussehen soll. Nicht nur Texte, auch nicht-textuell dargestelltes Wissen, etwa Graphik, Audio, bewegte Bilder, muß recherchierbar werden und Metawissen, also Wissen über die Verfügbarkeit von Wissen, muß nachgefragt werden können.

### **2.2.2 Kooperatives Arbeiten im Netz**

Neben einem verbesserten Zugang zu Informationen bietet eine umfassende Vernetzung auch die Möglichkeit gemeinsamen Arbeitens im Netz (CSCW - Computer supported cooperative work, rechnergestützte Gruppenarbeit). Dazu sind eine Vielzahl arbeitsunterstützender Techniken zu entwickeln und zu verbessern. Dokumentenaustausch und Dokumentenhaltung bedürfen der Möglichkeit eines kooperativen Arbeitens mehrerer Personen an einem Dokument oder Vorgang im Document Conferencing, das mit multimedialen Hilfen zur Videokonferenz erweitert werden kann.

Die rechnergestützte Gruppenarbeit umfaßt die einfache, nicht synchronisierte Haltung gemeinsamer Daten, aber auch die komplexe synchronisierte Modellierung und die rechnergestützte gruppeninterne Interaktion. Es besteht die Hoffnung, daß mittels rechnergestützter Gruppenarbeit die Effizienz innerbetrieblicher Kommunikation gesteigert wird und Beschränkungen der Kommunikation und Information sowohl innerhalb der Organisation als auch nach außen überwunden werden. Des weiteren können temporäre Teams unterstützt werden, die problemorientiert arbeiten können und nicht dauerhaft in die hierarchische Organisationsstruktur integriert werden müssen. Rechnergestützte Gruppenarbeit erlaubt auch eine stärkere Verzahnung unterschiedlicher Aktivitäten z.B. im Entwicklungsbereich (simultaneous engineering).

Neben den Geräte- und Netzvoraussetzungen werden dazu vernetzte Editoren und entsprechend erweiterte Benutzungsschnittstellen benötigt, aber auch Versionsverwaltungsprogramme, wie sie in der Programmierung bereits für Quellkodekontrollsysteme (SCCS - source code control systems) bekannt sind.

### **2.2.3 Dienstleistungen im Handel und Finanzdienstleistungen**

Viele Dienstleistungen, die bereits in den jetzt verfügbaren Netzdiensten Telefon oder Datex-J angeboten werden, können durch die Informatik- und Mediensteckdose erweitert

und verbessert werden. Zukunftsträchtige Dienste sind im Handel und im Finanzdienstleistungsbereich zu erwarten. Banken sind jetzt schon willens, einen wesentlichen Anteil des Schalterverkehrs auf das Telefon und Datex-J zu verlagern. Dies wird durch eine geeignete Rechnerschnittstelle mit ausgeprägter Formularbearbeitung vertieft werden (Telebanking). Dahinter stehen wesentliche Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen wie Verfahren zur Kryptografie und zur digitalen Unterschrift, die informatisch nicht trivial sind. Die multimedialen Ausprägungen einer Informatik- und Mediensteckdose werden dem Handel die wichtige Möglichkeit bieten, für ihre Produkte auch optisch zu werben und sie per Netz zu verkaufen (Teleshopping). Die jetzt gelegentlich begonnene Werbung per TV mit telefonischer Bestellung oder per CD-ROM, aber auch erste elektronische Verkaufsstellen im Internet finden hier eine schlüssige und erfolgsträchtige Erweiterung.

#### **2.2.4 Mediendienste**

Es hängt von der Gestaltung der Netze ab, wie die Informatik- und Mediensteckdose mit den TV-Dienstleistungen verknüpft wird. Die bisher von den Kommunikationsdiensten Telefon, Fax oder Modem genutzten Telefon- und ISDN-Leitungen bleiben möglicherweise von den rückkanallosen Kabelfernsehleitungen getrennt. Entwicklungen im Internet und anderen rechnergestützten Kommunikationsnetzen zeigen jedoch, daß digital übertragenes Fernsehen und Video im Prinzip auch als multimediale Erweiterung dieser Kommunikationsdienste angeboten werden können und daß diese ersten Versuche genutzt werden. Unabhängig davon, ob die Signalwege des Kabelfernsehens und der Rechnervernetzung locker oder eng gekoppelt werden, ergeben sich komplexe informatische Gestaltungsfragen, um eine Nutzung von Mediendiensten in Zweiwegkommunikation zu ermöglichen. Dies kann von Video on Demand und entsprechende Abrechnungsdienste bis zu Formen interaktiven Fernsehens reichen, wie sie weltweit erprobt werden. Aus informatischer Sicht stehen dahinter erhebliche Probleme z.B. der Datenhaltung, der Datenübertragung, der Protokollierung und der Gestaltung geeigneter Benutzungsschnittstellen.

#### **2.2.5 Partizipative öffentliche Nutzung**

Es scheint nützlicher, die Information zum Menschen zu transportieren, als den Menschen zur Information. Vernetzung auf Gemeinde- oder Regionalebene bietet die Chance zu einem erheblich verbesserten Informationsangebot. Nicht nur langfristig geltende Informationen über städtische, kommerzielle und private Dienstleistungen werden zugreifbar, sondern vor allen Dingen können Informationen mit kurzfristigem Charakter und großer Änderungsfrequenz im jeweils aktuellen Stand angeboten werden. Dazu gehören Ausleihinformationen der städtischen Bibliotheken ebenso wie Programmänderungen und Kartenverfügbarkeit bei Theatern und sonstigen kulturellen Veranstaltungen. Dies kann in der Form öffentlicher Informationskioske ebenso wie durch Verteilung in die häusliche Mailbox geschehen.

Wenn die notwendigen juristischen und technischen Voraussetzungen getroffen sind, kann auch ein Teil des Behördenverkehrs, soweit er keine persönliche Anwesenheit des Bürgers im Amt erfordert, über Netz abgewickelt werden. Dies hätte die Vorteile wegfal-

lender Fahrten und Wartezeiten, i.a. kürzerer Bearbeitungszeiten sowie einer effizienteren Verwaltung, da z.B. die Mehrfacherfassung von Daten überflüssig würde. Der interaktive Behördengang würde schnell Anhänger finden.

Der Verkehr wird durch solche Informations- und Kommunikationssysteme entlastet, wenn ein Teil des Verkehrs durch Erledigung von Arbeit über Netz bzw. Netzanfragen statt persönlicher Nachfragen ersetzt werden kann. Ein vielfältiger nichtkommerzieller Markt für Angebot und Nachfrage kann sich auf einem solchen Netz neben den kommerziellen Anbietern etablieren. Notfallsituationen werden besser beherrschbar, wenn Bürger im Zusammenspiel mit Behörden die Mitwirkung bei Hilfsmaßnahmen organisieren können. Für diese Art koordinierter Maßnahmen existiert derzeit überhaupt kein Äquivalent.

Eine Vernetzung auf Gemeindeebene bietet die Chance auf verbesserte Teilnahme der Bürger am politischen Prozeß. Einerseits können die Behörden die Bürger besser informieren; andererseits können die Bürger im Vorfelde politischer Entscheidungen effektiver am Prozeß der Entscheidungsfindung teilnehmen. Insgesamt könnte damit ein größeres Engagement entstehen, wodurch interessante Ideen in die Gemeindepolitik einfließen. Ein solches Gemeindefeld könnte zu einer größeren Identifikation des Bürgers mit seiner Gemeinde führen.

Durch dieses neue Medium würde die regionaler Pressevielfalt gesteigert, auch die persönliche Meinung kann direkt im Medium geäußert werden. Es versteht sich, daß eine Netzkultur und die zugehörigen Regelungen zu entwickeln sein werden, die in Analogie zu etablierten Einschränkungen der Meinungsfreiheit Standards für Äußerungen im Netz setzen.

Es ist nicht abzusehen, welche Nutzungen vernetzte Stadtstrukturen noch haben können. Da sie eine neue Art des Zusammenwirkens der Bürger einer Stadt ermöglichen, sind sogar kooperativ erstellte kulturelle Werke vorstellbar. Man denke etwa an kommunale Geschichtschroniken, Archive von elektronisch erfaßten lokalhistorischen Photographien oder regionale Kochbücher.

## **2.3 Basistechnologien für die Informatik- und Mediensteckdose**

### **2.3.1 Netze**

Neue Kommunikationstechnologien werden mit Schlagworten assoziiert wie Breitband-ISDN, Mobilfunk, Multimedia-Kommunikation oder Daten-Autobahn (Information Super Highway), die längst nicht mehr nur Fachleuten geläufig sind. Mit solchen Techniken können Millionen Bits in Sekundenbruchteilen übertragen werden — selbst über Kontinente hinweg. Diese enorme Übertragungskapazität ist in vielen Fällen tatsächlich notwendig: denn, um nur ein Beispiel zu nennen, für ein stehendes Bild auf einem Farbmonitor müssen etwa 10 Millionen binäre Signale übertragen werden, wenn man auf Kompressionsverfahren verzichtet.

Der Fortschritt auf dem Gebiet der Kommunikationsnetze wurde in erster Linie durch neue Übertragungsmedien ermöglicht (Glasfasertechnologie). Hierdurch lassen sich wesentlich mehr Daten erheblich billiger übertragen. Von den vielen absehbaren zukünftigen Ent-

wicklungen werden zwei besonders richtungweisend sein: Multimediale Netze und mobile Kommunikationssysteme.

Multimedia-Systeme ermöglichen im Gegensatz zur herkömmlichen Datenkommunikation, bei der nur Daten jeweils eines Typs erlaubt sind (also z.B. Sprache oder Text oder Bilder oder Video), das gleichzeitige Übertragen verschiedener Informationsarten; das führt zu komplexen Randbedingungen bezüglich der Synchronisation, weil die einzelnen Informationsarten sehr unterschiedliche Quality of Service-Anforderungen an die Übertragungstrecke haben).

In naher Zukunft werden mobile Endgeräte den Zugang zu nationalen und internationalen Kommunikationsnetzen und den Zugriff auf weltweit verteilte Informationen erleichtern, die Nutzung von Netzen (auch von Nicht-Mobilfunknetzen!) wird sich dadurch wesentlich erhöhen. Schon heute kann man erste Anzeichen einer steigenden Mobilität auf dem Gebiet der Kommunikation beobachten (Mobiltelefone, tragbare Computer,...). Ein anderer besonders wichtiger Anwendungsbereich von mobilen Kommunikationssystemen ist der Straßenverkehr (automatische Gebührenerfassung, Wegführung, Notfallwarnung, Ankündigung von Fahrmanövern,...).

Die Integration von multimedialen und mobilen Kommunikationssystemen ist ein für die nahe Zukunft anstehender Entwicklungsschritt, bei dem noch längst nicht alle technischen Fragestellungen gelöst sind.

Eine weitere Entwicklungsstufe besteht in einer umfassenderen Integration verschiedener Kommunikationssysteme, welche u.a. auch Kabel- bzw. Satellitenfernsehen einbezieht. Der „Fernseher“ der Zukunft wird also eine Kombination von TV, Telefon und Computer sein, der es dem Benutzer ermöglicht, ein individuell zusammengestelltes Programm zu empfangen, Bildtelefongespräche oder auch Videokonferenzen zu führen, elektronische Briefe zu versenden, weltweit auf Informationsdatenbanken zuzugreifen, sich interaktiv an internationalen Vorgängen zu beteiligen (z.B. an Börsengeschäften); den sich abzeichnenden Möglichkeiten sind (fast) keine Grenzen gesetzt.

Weitere technische Fragen, die in Zukunft zu lösen sein werden, betreffen die Übertragungstechnik (Design, Installation und Erprobung von Gigabit-Netzen) sowie den Entwurf und die Verifikation von Übertragungsprotokollen. Die Notwendigkeit für weitere Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Kommunikationsdienste und -protokolle ergibt sich nicht zuletzt daraus, daß die Mehrzahl heute verwendeter Dienste und Protokolle für Situationen konzipiert wurden, die mit heutigen Gegebenheiten nichts mehr gemein haben (Übertragungskapazität, Fehlerrate, Anwendungsszenarien, Interoperabilitätsforderungen,...). Eine einfache Anpassung durch Skalierung bestehender Verfahren ist nicht sinnvoll; es müssen vielmehr in zahlreichen Fällen völlig neue Konzepte entwickelt werden.

### **2.3.2 Benutzungsschnittstellen**

Das große Potential interaktiver Techniken liegt in der Tatsache begründet, daß dem Menschen eine wahrnehmbare und handhabbare Arbeitsumgebung zur Verfügung gestellt wird, bei der ihm Auswahl, Steuerung, Veränderung und Kombination von Funktionen und Objekten unterliegen. Betrachtet man die Differenziertheit der menschlichen Wahrnehmung



Mechanismen zur Versionsverwaltung und Dokumentenanpassung entscheidend verbessert werden.

Alle vier hier skizzierten Visionen, 3-D-Visualisierung und -Navigation, Integration von Ein/Ausgabegeräten, durchgängig objektorientierte Systemkonzeption und Verschmelzung von Autor-Leser-Zyklen lassen sich nur vor dem Hintergrund entsprechender Standards und einer angemessenen Gestaltungs- und Benutzungskompetenz produktiv entfalten.

### **2.3.3 Multimedia und Visualisierung**

Die qualitative Neuerung der Vernetzung in der Informatik- und Mediensteckdose liegt in der Integration unterschiedlichster medialer Formen wie Text, Bild, Grafik, Animation, Film oder Ton, die alle in digitaler Form vorliegen oder leicht in diese gewandelt werden können. Deshalb sind sie auf der untersten Ebene der Speicherung und Verarbeitung Computerprogrammen zugänglich und können einfach verändert oder integriert werden. Die Bearbeitung einzelner Medienausprägungen und ihre Integration sind informatische Forschungsfragen, die von der Suche nach besseren Algorithmen und Verfahren wie nach der Gestaltung besserer Benutzungsschnittstellen geprägt sind. Ein besonderer Stellenwert kommt der Datenkompression und damit der schnellen Übertragung und der kompakten Speicherung zu. Der enorme Vorteil des Rechners, schnell in digitalisierten Texten zu suchen, kann bei entsprechender Aufbereitung auf die anderen medialen Formen übertragen werden. Diese prinzipiellen Möglichkeiten sind allerdings von der Informatik noch nicht umfassend erforscht.

Visualisierung spielt eine besondere Rolle für die Medien. Animation, grafische Darstellung, multimediale Integration von Text, Bild und Animation, aber auch die vielfältigen Formen digital bearbeiteter Filme werden hier zu Basistechniken. Vieles davon betrifft allerdings auch andere Schwerpunkte wie komplexe Systeme oder paralleles Rechnen, so daß die dort getroffenen Aussagen sinngemäß auch hier gelten.

### **2.3.4 Kooperationstechnologien**

Um für die rechnergestützte Gruppenarbeit eine höhere Dichte und eine bessere technische Unterstützung von kommunikativen Prozessen zu erreichen, sind Fortschritte in den Bereichen Kommunikationstechnik, Mensch-Maschine Schnittstelle, Informationssystemen und Multimedia nötig. Zur Klassifikation von CSCW-Systemen wird am häufigsten die Raum/Zeit-Matrix herangezogen, die die örtliche Verteilung in gleicher/verschiedener Ort und die zeitliche Verteilung in gleiche/verschiedene Zeit unterscheidet. Hinsichtlich der zeitlichen Verteilung spricht man oft auch von synchroner und asynchroner Gruppenarbeit. Systeme für gleiche Zeit/gleicher Ort unterstützen Sitzungen, wie sie meist im Kontext einer Gruppenentscheidungsfindung oder eines Brainstorming eingesetzt werden. Die Situation verschiedene Zeit/gleicher Ort ist mit einem schwarzen Brett vergleichbar, das oft bei der Unterstützung von administrativen Abläufen Anwendung findet. Systeme für gleiche Zeit/verschiedener Ort erleichtern die synchrone Kooperation zwischen entfernten Gruppenmitgliedern. Beispiele sind Telekonferenzen, gemeinsames Editieren von Dokumenten

oder gemeinsame Bildschirmfenster. Der letzte Fall verschiedene Zeit/verschiedener Ort zielt auf die Verbesserung der Koordination der Gruppenarbeit ab. Ein Beispiel dafür ist die elektronische Post, ein weiteres interessantes Beispiel das zeitlich und räumlich verteilte Bearbeiten von Dokumenten. Durch die wachsende Bedeutung der Mobilfunk-Kommunikation ist in Zukunft eine statische Unterscheidung in gleicher/verschiedener Ort nicht mehr sinnvoll, sondern verschiedener Ort muß unterteilt werden in verschieden, aber bekannt und in verschieden und nicht vorhersehbar.

Das gemeinsame Benutzen und Austausch von Informationen ist integraler Teil der Gruppenarbeit. Die Kontrolle der Nebenläufigkeit ist daher essentiell, um die Informationen konsistent zu halten. Zu den Aspekten, die im Rahmen der Betrachtung der Nebenläufigkeit berücksichtigt werden müssen, zählen u.a. die replizierte Haltung von Informationen, die Verteilung der Informationen im Weitverkehrsnetz und die Robustheit gegenüber Maschinenabstürzen und Kommunikationsfehlern. Damit sich die Benutzer der Gleichzeitigkeit bewußt sind, benötigt die Nebenläufigkeitskontrolle geeignete Mechanismen zur Benachrichtigung der Gruppenteilnehmer bei Veränderungen von Informationen.

Gruppenarbeit findet typischerweise in einer heterogenen Umgebung statt; Gruppenmitglieder haben oft unterschiedlichen Wissensstand und Erfahrungen, aber auch unterschiedliche Präferenzen hinsichtlich der Benutzung eines CSCW-Systems. Hierzu kommen die üblichen Heterogenitäten bei Hard- und Software, wenn verschiedene Partner interagieren. Damit ein CSCW-System erfolgreich eingesetzt werden kann, muß es flexibel sein, damit es jeweils an das Verhalten und die Wünsche der einzelnen Gruppenmitglieder angepaßt werden kann.

Rechnergestützte Gruppenarbeit ist eine gebietsübergreifende Anwendung. Sie kann als eine Synergie zwischen der Informatik, der Mathematik, der Kommunikationstechnik, den Informationswissenschaften, der Organisationstheorie und Soziologie gesehen werden.

### **2.3.5 Sicherheit und Zuverlässigkeit**

Das Gebiet Datensicherheitstechnik, von vielen gleichgesetzt mit der Problematik der Kryptographie, umfaßt nach heutigem Verständnis die Gebiete Sicherheit (im Sinne von safety), Sicherung (im Sinne von security) sowie das Gebiet der Zuverlässigkeit und Verlässlichkeit von Kommunikationsnetzen und Rechenanlagen. Der Bereich der Sicherung, kurz security, wiederum läßt sich unterteilen in die drei wesentlichen Teilgebiete: Authentifikation, Integrität und Vertraulichkeit.

Die klassische Maßnahme der Kryptographie bezieht sich im ursprünglichen Sinne nur auf die Gewährleistung der Vertraulichkeit bzw. der Geheimhaltung von Daten, wie sie aus dem typischen Szenario von wohldefinierten End-zu-Ende-Verbindungen militärischer oder diplomatischer Übertragungstechnik historisch gesehen herstammte.

Neu im Kontext allgemeinen Netzzugangs ist die Frage der Rollen, die einzelne Teilnehmer in einzelnen Verarbeitungs- und Kommunikationsprozessen spielen. Kryptographische Verfahren zur Herstellung von gesicherten End-zu-Ende-Verbindungen sind seit der Bereitstellung des Data Encryption Standards durch das NBS der Vereinigten Staaten im Jahre 1976 international in breitem Maße diskutiert worden. Von der deutschen Informatik wur-

den hierzu nicht unwesentliche Beiträge geliefert.

Durch Aufkommen der verteilten offenen Netze wurden Anforderungen deutlich, die durch die nahezu gleichzeitige Erfindung der Public-Key-Verfahren als lösbar angesehen wurden. Ein zentrales Forschungsthema der Kryptographie war daher die Erforschung und Entwicklung von effizienten und sicheren Public-Key-Verfahren zum Schlüsselaustausch sowie die Herstellung von Signatur- und Authentifikationsverfahren.

## **2.4 Gesellschaftliche Bedingungen, Wirkungen und Folgen**

### **2.4.1 Rechtliche Regelungen, Normen und Standards**

Im nationalen Rechtsraum greifen Informatik, Nachrichten- und Medientechnik durch ihre Entwicklungen in vielfältiger Weise in die Rechtsordnung ein. Rechtliche Rahmenbedingungen folgen politischen Vorgaben und Randbedingungen, aber auch der technischen Entwicklung und sie müssen diese antizipieren oder doch zumindest auf solche Entwicklungen vorbereitet sein.

Neben Fragen des Wirtschafts-, Vertrags- und Arbeitsrechts hat die Diskussion um Bürgerrechte wie Datenschutz oder informationelle Selbstbestimmung die informationsrechtliche Diskussion der Vergangenheit geprägt. So unterschiedliche Fragen wie das Recht auf kryptographische Verschlüsselung oder Produkthaftung gehören zu diesem eher prozeßhaft zu behandelnden Bereich der Rechtsinformatik. Die Weiterentwicklung des Informationsrechts muß die durch die Informatik- und Mediensteckdose geprägten rechtlichen Fragestellungen antizipieren und in angemessener Weise beantworten. Dies sollte in einem breit angelegten interdisziplinären Diskurs von Informatik, Politik und Rechtswissenschaft geschehen.

Hinter diesen Fragen der Rechtsordnung stehen letztlich politisch formulierte Wert- und Bewertungsentscheidungen, die zumindest im Rahmen berufsethischer Gestaltung zu reflektieren sind. Rechtliche und ethische Aspekte sind Teil der politischen Herausforderungen durch die Informatik.

Neben den gesetzlichen Regelungen unterliegt eine Infrastruktur wie die Informatik- und Mediensteckdose einer Vielzahl von verbindlich oder de facto geregelter nationaler wie internationaler Normen und Standards, die einen technischen Kern, aber auch Arbeits- und Verfahrensweisen oder Qualitätsanforderungen festlegen. Exemplarisch sind diese im Abschnitt über Netze vorgestellt worden. Für die Formulierung solcher rechtlicher Regelungen bedarf es der aktiven Mitarbeit der Informatik im interdisziplinären Verbund.

### **2.4.2 Ökonomische und politische Aspekte**

Es sind die politischen, rechtlichen und ökonomischen Aspekte der Informatik, also Fragen der Rechts- und der Wirtschaftsordnung aus der Sicht fortschreitenden Einsatzes informationstechnischer Mittel in enger Zusammenarbeit mit den entsprechenden Wissenschaften zu reflektieren. Mit der fortschreitenden Vernetzung wird die Basis gelegt für eine Vielzahl neuer digitaler Medien, die wie Kabel- und Satellitenfunk alte Medien erweitern, aber auch

wie Fax, Datex-J, E-Mail, mobile computing oder die vielfältigen Versuche zum interaktiven Fernsehen neue Medienformen schaffen. Mit diesen neuen digitale Medien geht eine radikale Neuordnung der gewachsenen Wissensordnung einher.

Der Ausbau des elektronischen Publikationswesens bedarf nicht nur des einfachen technischen Zugriffs, den die Informatik mit der Informations- und Mediensteckdose bereitstellen kann, sondern auch grundsätzlich neuer Regelungen der Zugriffsrechte. Hier wird die Informatik im Verbund mit anderen Wissenschaften Techniken zum Zugriff auf das Äquivalent zu den bewährten öffentlichen Bibliotheken entwickeln (digital libraries).

National gesicherte Zugänge zu Bibliotheken, Archiven oder Schulen werden durch diese internationalen Entwicklungen in Frage gestellt. Ihre Ökonomisierung wie ihre national unterschiedlich gehandhabte Politisierung bilden eine bedeutende Herausforderung an die Gestaltung internationaler Beziehungen. Neben der internationalen Rechts- und Wirtschaftsordnung wird mit den Worten des Philosophen Helmut Spinner die Festlegung einer internationalen (und natürlich auch einer nationalen) Wissensordnung durch die informationstechnische Entwicklung gefordert. Neben Zugangsregelungen zum gespeicherten Wissen gehören Fragen der Normierung und von Standards, des Patentrechts und des Urheberrechts zu dieser neuen globalen Wissensordnung.

### **2.4.3 Technikbewertung der Informatik- und Mediensteckdose**

Zum Kern notwendiger Untersuchungen gehört es, Auswirkungen und Folgen des Einsatzes von informatischen Systemen zu erkennen und nach Möglichkeit abzuschätzen. Die Schwerpunkte des Informatikeinsatzes liegen noch immer in der Arbeitswelt, in Industrie, Büro, Verwaltung oder Handwerk. Fragen der Arbeitsgestaltung, wie z.B. der Software Ergonomie oder der rechnergestützten Gruppenarbeit, aber auch Fragen des rationalen Einsatzes dieser Technik wie ihrer rationalisierenden Wirkung sind Grundthemen des Forschungsgebietes Informatik und Gesellschaft. Sie sind immer wieder unter dem Aspekt des Technological Assessment (Technikfolgenabschätzung oder Technikbewertung) behandelt worden. Das Themenfeld Informatik- und Mediensteckdose gibt Anlaß zur Aktualisierung und Fortschreibung dieser Fragestellungen.

### **2.4.4 Kulturelle Wirkungen und Folgen der Informatik- und Mediensteckdose**

Neben den Aspekten sozialer Wechselwirkungen in der Arbeitswelt werden mit der rasch zunehmenden Digitalisierung der Medien und der enormen Verbreitung der PCs im Alltag die langfristigen kulturellen Wechselwirkungen der Informatik thematisiert. Mit der Medien- und Informationssteckdose erweist sich die Informatik stärker als zuvor als Kulturtechnik, die die bisher entwickelten Medien ergänzt und erweitert.

Es werden sich Folgen in der Bildung wie der Arbeitswelt, aber auch im alltäglichen Umgang mit dieser Technik zeigen. Die Informatik steht damit vor interdisziplinären Fragestellungen, mit denen die daraus resultierenden Elemente des gesellschaftlichen Wandels zu identifizieren sind, soweit dies möglich ist. In Kooperation mit den Geistes- und Gesellschaftswissenschaften gilt es, die Rolle der Bildung in einer durch eine allgegenwärtige In-

formationsinfrastruktur geprägten Umgebung neu zu bestimmen. Visuelle Medien und der einfache Zugriff auf elektronische Publikationen werden die bisher vom Lehrbuch und Schule dominant eingenommene Stellung neu bestimmen. Hier gilt es im Rahmen einer breiten Zielbestimmung die technischen Instrumente wie Benutzerschnittstellen, Programm- und Geräteunterstützung zu entwickeln, die die Informations- und Mediensteckdose für Bildung und Ausbildung nutzbar machen. Dies betrifft die Erziehung und Ausbildung in Schule und Hochschule ebenso wie die berufliche Fort- und Weiterbildung.

Neben den erheblichen Folgen im Bildungsbereich entsteht ein neuer kultureller Umgang mit Informatik und Medien, wie dies in Jugendsubkulturen oder in der Kunst bereits erkennbar ist. Auch hier entstehen interdisziplinäre Fragestellungen, zu denen die Informatik ihre technisch fundierten Einsichten über Konstanz und Dynamik von Entwicklungslinien beitragen wird. In der Kunstbereich ist seit Jahren ein wachsendes Interesse am Experiment mit der Informatik, vom Rechner und Drucker bis zu Video und digitalem Netz, erkennbar, wobei immer häufiger Kooperationen zwischen Informatikern und Künstlern entstehen. Die Phantasien virtueller Realitäten oder der zeit- und ortsungebundenen Netzkommunikation geben diesen Entwicklungen einen starken Auftrieb. Die Informatik wird sich solchen kulturellen Herausforderungen nicht verschließen.

## **3 Komplexe technische Systeme**

### **3.1 Motivation**

Wachsender Konkurrenzdruck zwingt die deutsche Wissenschaft und Wirtschaft zur verstärkten Grundlagenforschung und Entwicklung auf dem Gebiet neuartiger Techniken. Um wettbewerbsfähig zu bleiben und um den Lohnkostenanteil zu senken, müssen fortgeschrittene Technologien schnell eingeführt werden. Beispiele für diese Bereiche sind öffentliche Transportsysteme, Luftfahrt-Kontrollsysteme, flexible Produktionseinrichtungen, verteilte Sensorsysteme für die Umwelttechnik oder multimediale Kommunikationsnetze zur Übertragung von Daten, Ton und Bildinformationen. In allen Bereichen ergeben sich Anforderungen und Perspektiven für technische Disziplinen. Diese Probleme können nicht mehr von einem Fachgebiet allein gelöst werden, sondern erfordern intensive Zusammenarbeit.

An ausgewählten Beispielen soll die wirtschaftliche und wissenschaftliche Bedeutung der Kooperation zwischen Informatik und angrenzenden technischen Disziplinen verdeutlicht werden.

### **3.2 Charakteristika, Anforderungen und Beispiele von komplexen technischen Systemen**

#### **3.2.1 Charakteristika von komplexen technischen Systemen**

Die Komplexität technischer Systeme hat zwei unterschiedliche Ursachen: einmal die *Anzahl* der Komponenten, aus denen das System zusammengesetzt ist, zum anderen ihre *Heterogenität*. Als Beispiel eines Systems, das seine Komplexität vor allem durch die riesige

Anzahl *homogener* Komponenten erhält, seien integrierte Schaltungen genannt: Diese bestehen aus vielen Millionen Einzelementen, die jedoch alle in ähnlicher Weise arbeiten und in einem homogenen technologischen Prozeß (aus Silizium) hergestellt werden. Die enorme wirtschaftliche Bedeutung dieser Schlüsseltechnologie für fast alle anderen technischen Bereiche ist unbestritten. Der Entwurf integrierter Schaltungen ist ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Informatik und Elektrotechnik. Durch Methoden der Abstraktion sowie durch Entwicklung effizienter Algorithmen können wesentliche Probleme des Entwurfs als gelöst betrachtet werden, wie zum Beispiel Simulation, Test- und Verifikationsverfahren sowie rechnergestützte Syntheseverfahren.

*Heterogene* Systeme sind etwa im Bereich der Verkehrstechnik zu finden, z.B. ABS und Airbag. Die Beherrschung solcher Systeme ist aufwendiger, weil unterschiedliche Technologien zusammenspielen müssen (verschiedenartige Komponenten und Interaktionen: analog-digital, mechanisch-elektronisch, Hardware-Software, Sensorik-Aktorik-Mikrosystemtechnik).

### **3.2.2 Anforderungen an komplexe technische Systeme**

Neben den funktionalen Eigenschaften eines komplexen technischen Systems stehen Fragen wie Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Redundanz und Selbstdiagnose im Vordergrund. Diese Anforderungen werden offensichtlich in Zusammenhang mit (öffentlichen) Transportsystemen, wie Flugzeug, Bahn oder Auto. In Zukunft werden jeweils autonome Sensor-Elektronik-Aktor-Systeme verantwortlich sein für Bremsfunktion, Motorsteuerung, Federungssysteme, Kupplung, Getriebe und für vieles andere mehr. Hier werden bereits analoge und digitale Hardware mit Software-Systemen und mechanischen Komponenten verbunden. Alle Teilsysteme stehen zusätzlich über ein Kommunikationsnetzwerk miteinander in Verbindung. Bereits vor Ausfall eines Aggregats muß durch Auswertung der entsprechenden Sensorinformationen auf die drohende Gefahr hingewiesen werden. Wichtig hierbei ist auch, daß der Bediener des Systems in die Vorgänge einbezogen wird. Nach einem Ausfall sind durch Redundanz die Funktionstüchtigkeit lebensnotwendiger Komponenten zu gewährleisten. Systeme dieser Art müssen sich also selbst testen. Selbstdiagnose im laufenden Betrieb vor Ausfall einer Komponente ist entscheidend für die Akzeptanz sicherheitskritischer Systeme.

Andere Beispiele dieser Art finden sich in der Haustechnik (Steuerung des Energieverbrauchs), bei verteilten Produktionssystemen (verteilte Sensor-Aktor-Systeme) sowie im Telekommunikationsbereich (mobile Endgeräte, multimediale Netze).

Außer beim Entwurf und der Diagnose solcher Systeme entstehen auch erhebliche Anforderungen an die Qualität und Umweltverträglichkeit ihrer Produktion. Dadurch werden industrielle Prozesse zunehmend komplexer. So müssen Steuerung und Prozeß-Monitoring ausgeführt werden, um den an neue Produkte gestellten Qualitätsanforderungen gerecht zu werden. Die Entwicklung führt hin zur verteilten, flexiblen Produktion, in der Fertigungseinrichtungen schnell rekonfiguriert werden können, um sich veränderten Produktanforderungen anzupassen. Die Komplexität des Produktionsvorgangs wird außerdem dadurch gesteigert, daß schon bei der Planung und beim Entwurf eines technischen Systems der ge-

samte Lebenszyklus einbezogen werden muß, wie zum Beispiel kostengünstige Produktion, Produktionstest, Selbstdiagnose. Die Informatik hat für diesen Problemkreis bereits wichtige Beiträge geliefert, z.B. Konzepte für verteilte, zuverlässige Echtzeitbetriebssysteme zum Einsatz in der Fertigung sowie bei CAD-Systemen zum Entwurf technischer Systeme.

Die Umweltverträglichkeit stellt zusätzliche Anforderungen wie energie- und umweltschonende Produktion und eingeplante Abfallverwertung des Produkts.

Schon beim vergleichsweise homogenen Entwurf integrierter Schaltungen ist die enge Kopplung zwischen Technologie und Entwurfswerkzeugen unverzichtbar. Zudem werden bei wachsender Komplexität der Schaltungen der Entwurf und die verwendeten Werkzeuge immer abhängiger von der speziellen Anwendung, z.B. Signalverarbeitung, Bildverarbeitung, Sensor-Aktor-System. Es kann in Zukunft nicht mehr erwartet werden, daß ein einzelner Anbieter alle erforderlichen Entwurfswerkzeuge und Technologien bereitstellen kann; stattdessen werden mehrere örtlich getrennte Gruppen gemeinsam an der Entwicklung eines Systems arbeiten. Als Konsequenz werden sich in vielerlei Hinsicht grundlegend veränderte Anforderungen an Softwaresysteme ergeben, wie zum Beispiel verteilte konsistente Entwurfsbibliotheken, Einigung auf eine gemeinsame Softwarebasis (Framework, Normung), Versendung von Entwurfsagenten aus Entwurfssoftware und Herstellerdaten sowie Fragen der Kostenabrechnung.

### **3.2.3 Eingebettete Systeme**

Eingebettete Systeme sind die Informatikbestandteile komplexer technischer Systeme, also Rechensysteme, die in einer meist aus technischen Komponenten bestehenden Umgebung arbeiten. Sie sind meist auf einzelne Anwendungen oder auf einen Anwendungsbereich zugeschnitten. So läßt sich bereits ein Prozessor, der ein festes Programm abarbeitet, als einfacher Spezialfall eines eingebetteten System auffassen. Anwendungsbereiche für eingebettete Systeme sind weitverbreitet, angefangen von der Haushaltstechnik (prozessorgesteuerte Waschmaschine) über die Konsumelektronik (CD-Spieler) bis hin zu Kommunikationssystemen (Fax-Geräte, mobile Endgeräte). Bei den eingesetzten Rechnerkomponenten handelt es sich z.B. um vorgefertigte digitale Signalprozessoren oder um (generische) Prozessoren aus Zellbibliotheken. Der Systementwurf mit solchen Komponenten zeichnet sich gegenüber voll-kundenspezifischen Schaltkreisen (ASICs) durch größere Flexibilität sowie durch erheblich bessere Testbarkeit aus. Durch diese Eigenschaften wird die Entwicklung und die Akzeptanz von Standards erleichtert. Alles zusammen führt dann zu einer wesentlichen Verkürzung der Zeit bis zur Markteinführung (reduced time-to-market), was entscheidend dafür ist, im internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

Teile eines eingebetteten Systems können auch allgemein programmierbare Prozessoren, Sensoren, Aktoren, Signalverarbeitungskomponenten sowie die Kommunikationsverbindungen sein. Bereits am einfachen Beispiel einer Waschmaschine wird deutlich, daß im allgemeinen viele unterschiedliche Komponenten zusammenspielen müssen, u.a. Sensoren, Aktoren und Kontrollprozessoren.

Eingebettete Systeme dienen oft dazu, Funktionen als Antwort auf bestimmte Signale auszuführen. Es handelt sich dabei meist um zeitkritische Anwendungen, bei denen eine

Reaktion innerhalb bestimmter Zeitschranken erfolgen muß (Echtzeitsysteme). Geeignete Steuerungssysteme müssen kritische Informationen zwischen autonomen Teilsystemen unter Einhaltung von Zeitschranken zuverlässig austauschen.

### 3.3 Basistechnologien für komplexe technische Systeme

#### 3.3.1 Entwurfsunterstützung

Der Entwurf komplexer technischer Systeme erfordert in steigendem Maße Rechnerunterstützung. Der Entwurf integrierter Schaltkreise beruht bereits seit geraumer Zeit hauptsächlich auf Modellierungen, Simulationen und Optimierungen im Rechner. Das liegt zum einen an der hohen Komplexität dieser Systeme, die einen Entwurf im Labor grundsätzlich ausschließt. Zum anderen sind heute rechnergestützte Modelle für diese Systeme mit ausreichender Genauigkeit verfügbar.

Sobald das technische System neben elektronischen auch andere Komponenten — etwa mechanische, chemische oder biologische — enthält, erschwert das die Aufgabe der Modellierung im Rechner erheblich. Das liegt zum einen daran, daß mechanische Systeme schwerer zu simulieren und zu modellieren sind. Zum anderen werden die anfallenden Daten jetzt auch heterogener, und Modellübergänge sind schwer in den Griff zu bekommen. Nichtsdestoweniger sind gerade solche Entwurfsaufgaben heute von vorrangigem Interesse, etwa im

- Automobilbau, wo elektronische, chemische, mechanische, ergonomische und psychologische (etwa ästhetische) Aspekte eine zentrale Rolle für Leistung, Sicherheit, ökologische Verträglichkeit und Akzeptanz durch den Käufer spielen,
- Flugzeugbau, wo Fragen der Sicherheit und Bedienbarkeit im Vordergrund stehen,
- Architektur und Bauwesen, wo neben Wirtschaftlichkeit und Sicherheit die möglichst naturgetreu animierte Visualisierung des Gebäudes im Rechnermodell verlangt wird,
- Medizintechnik, wo die Miniaturisierung der mechanischen Elemente und die Anforderungen an Bioverträglichkeit Besonderheiten darstellen.

Zur Umsetzung dieser Aufgaben bedarf es neuer Forschung in den Bereichen

- Modellierung und Simulationsverfahren für komplexe heterogene Systeme, die mechanisch–elektronische, analog–digitale sowie Hardware–Software–Komponenten enthalten. Hierbei sind auch Randbedingungen durch die Produktion einzubeziehen, z.B. Montierbarkeit und Wartbarkeit. Hierzu ist eine Weiterentwicklung der rein geometrischen Modellierung zur echten Feature–Modellierung nötig. Feature–basierte Modellierer stellen Eigenschaften eines Produktes (z.B. optimalen Ausleuchtungsgrad eines Scheinwerferreflektors) in den Vordergrund des Entwurfsprozesses und sehen die Geometrie und die Topologie des Produkts als reines Hilfsmittel an. Feature–basierte Modellieransätze sind eine Schlüsseltechnologie auf dem Weg zum intelligenten CAD–System.

- Verfahren zum Entwurfs- und Fertigungstest sowie zur Diagnose. Diese Techniken werden in den nächsten Jahren zu einer durchgängigen Qualitätskontrolle des Gesamtprozesses erweitert. Dieses Vorgehen muß gekoppelt werden mit geeigneten Visualisierungstechniken zur Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit.
- Beiträge zur Entwurfsmethodik, z.B. auf der Grundlage formaler Spezifikationen, effizienter Algorithmen und Abstraktionsmechanismen. Hier sind insbesondere die Fragen des parametrisierten Entwurfs aktuell, bei dem gewisse Steuergrößen beim Entwurf variabel gehalten werden und erst zu einem späten Zeitpunkt geeignet festgelegt werden. Ferner ist die Verifikation kritischer (meistens kleiner) Systemteile mit rechnergestützten Beweisverfahren zur Erhöhung der Systemsicherheit erforderlich.

Da komplexe technische Systeme meist aus räumlich verteilten Komponenten bestehen (Beispiele hierfür sind etwa Produktionsanlagen, Telekommunikationssysteme oder Steuerungssysteme im KFZ- und Verkehrsbereich) und insbesondere eingebettete Systeme oft die Einhaltung von strikten Zeitschranken erfordern (man denke z.B. an Flugkontrollsysteme), ergeben sich auch neue Anforderungen an Entwurfsmethoden für solche Systeme: Aspekte wie Verteiltheit, Realzeit, Ausfallsicherheit etc. müssen bereits in frühen Phasen des Entwurfs berücksichtigt werden und sich auch in integrierten Validierungs- und Testwerkzeugen niederschlagen, da nur so der notwendige Grad an Korrektheit und Robustheit der oft sicherheitskritischen Systeme erreicht werden kann. Trotz mancherlei existierender Ansätze (z.B. Prozeßkalküle, Petrinetze) besteht hier noch ein erheblicher und dringender Forschungsbedarf, wobei insbesondere auch die Umsetzung in die industrielle Praxis mit ihren spezifischen Randbedingungen (wie Heterogenität, Systemgrößen, Systemhistorien etc.) eine besondere Herausforderung darstellt.

### 3.3.2 Übersetzer für eingebettete Prozessoren

Der Entwurf mit eingebetteten Prozessoren wird zur Zeit nur unzureichend unterstützt. Dementsprechend ist die Programmierung solcher Systeme in Assemblersprache mit ihren Konsequenzen für Zuverlässigkeit und Wartbarkeit immer noch die herrschende Realität. Hardware-Software-Codesign als vielversprechende Vorgehensweise wird durch die vorhandenen Übersetzer nicht ausreichend unterstützt. Verbesserungen am Entwurfsprozeß, die mit speziellen problemangepaßten Übersetzern möglich wären, werden kaum ausgenutzt.

Übersetzer sind nur für Standard-Signalprozessoren verfügbar, und auch diese werden wegen zahlreicher Mängel häufig nicht genutzt. Anforderungen an Übersetzer in diesem Bereich sind u.a.:

- Die Erzeugung von extrem effizientem Code. Jede Ineffizienz muß mit höheren Taktraten und deshalb mit entsprechend reduzierter Batterie-Lebensdauer bezahlt werden. Damit liegen grundsätzlich andere Verhältnisse als im Mainframe-, Workstation- und PC-Bereich vor.

- Realzeitbeschränkungen sollten möglichst schon durch den Übersetzer beachtet werden. Dazu sind die Zielmaschinen-Modelle zu erweitern. Weiter sollten Realzeitbeschränkungen des zu übersetzenden Programms spezifizierbar sein.

Auf diese Weise ließen sich viele zeitaufwendige Simulationen einsparen, die das Einhalten von Echtzeitbedingungen ohnehin nur an Fallbeispielen überprüfen können. Auch viele Iterationen in der Hardware/Software-Partitionierung könnten auf diese Weise vermieden werden.

- Übersetzer in diesem Bereich sollten für unterschiedliche Typen von Zielmaschinen einsetzbar sein, zumindest für den durch generische Parameter einstellbaren Bereich von Zellbibliotheks-Prozessoren. Weitergehend wünscht man sich eine Unterstützung zum Übergang auf andere Zielmaschinen.
- Spezialitäten von eingebetteten Prozessoren wie inhomogene Registersätze und VLIW-artige Parallelität sollten berücksichtigt werden.

Diese Anforderungen sind stärker als im Workstation- und PC-Bereich. Andererseits spielen Geschwindigkeit und Preis des Übersetzers eine geringere Rolle, da sie über große erwartete Stückzahlen amortisiert werden.

Die Unterstützung der Entwicklung von Systemen mit eingebetteten Prozessoren kann heute als aussichtsreiches Feld europäischer Forschung und Entwicklung angesehen werden. Im Gegensatz zum Workstation- und PC-Bereich ist hier bislang keine außereuropäische Dominanz gegeben. Viele Produkte europäischer Hersteller werden nur bei verstärkter Integration von Mikroelektronik wettbewerbsfähig bleiben.

### **3.3.3 Kommunikationssysteme**

Für viele Aufgaben im Entwurfsprozeß, insbesondere wenn dieser verteilt erfolgt, benötigt man leistungsfähige Kommunikationssysteme mit Multimediafähigkeit. Diese wurden bereits im Abschnitt 2.3.1 ausführlich dargestellt.

### **3.3.4 Visualisierung**

Wissenschaftliche Visualisierung ist ein Forschungsgebiet, das sowohl in der praktischen, als auch in der angewandten Informatik von großer Bedeutung ist. In der praktischen Informatik gibt es im wesentlichen zwei Schwerpunkte:

- Software-Visualisierung
- visuelle Programmierung

In der Software-Visualisierung geht es darum, das Verständnis komplexer Software-Systeme zu fördern. Aspekte hierbei sind die Visualisierung des statischen Software-Aufbaus und des dynamischen Verhaltens des Systems in Ausführung.

Gegenstand der visuellen Programmierung ist der graphisch- interaktive Programmwurf. Das Ziel dabei ist, die visuellen Fähigkeiten des Menschen bei der Systementwicklung verstärkt einzusetzen. Zukünftige Forschungs- und Entwicklungsaufgaben liegen u.a. in der Integration dieser Konzepte in Software-Entwicklungswerkzeuge.

In der angewandten Informatik hat sich das Teilgebiet „wissenschaftliche Visualisierung“ („Scientific Visualization“) etabliert. Ihr Ziel ist es, durch Aufbereitung und graphische Darstellung zur Interpretation von Daten und Prozessen beizutragen. In vielen Anwendungsbereichen ist ohne derartige Verfahren der „Informationsgehalt“ nicht erkennbar. Dies liegt meistens am Umfang und der „Unstrukturiertheit“ der Daten. Derzeit hochaktuelle Themen sind:

- Visualisierung und Modellierung großer Datenmengen,
- Volumenvisualisierung und
- Visualisierung von Vektor- und Tensorfeldern.

Die Anwendungsfelder sind sehr vielfältig; einige sollen hier aufgelistet werden:

Medizinische Bildverarbeitung, Umweltschutz, Strömungssimulation, Geowissenschaften, Meteorologie, Qualitätsanalyse in der CAD/CAM-Technologie sowie photorealistische Simulation (Virtuelle Realität). Von Seiten der Informatik ist im Hinblick auf die obigen Aufgabenbereiche und Anwendungsgebiete die Entwicklung von Soft- und Hardware-Werkzeugen zu leisten. In einem Visualisierungssystem sind vier Schichten zu identifizieren: Datengenerierung und -verwaltung, Datenmodellierung, Bildsynthese (Rendering) und Darstellung. Im einzelnen treten folgende Aufgaben auf:

*Datenverwaltungsschicht:* Entwicklung von Datenbanksystemen und Kommunikationsprotokollen für sehr große Datenmengen, die sich für die in wissenschaftlichen Berechnungen auftretenden Datentypen (z.B. reguläre und irreguläre Gitter und Netze mit skalaren, vektoriellen oder tensoriellen Attributen) eignen und die mit der u.U. hohen Generierungsrate der Datenquellen zurechtkommen.

*Datenmodellierungsschicht:* Umsetzung der Daten in reduzierte Form, z.B. Datenverbesserung (speziell Bildverbesserung), Dimensionsreduktion, Datenkompression mit tolerablem Informationsverlust, Abbildung auf geometrische Repräsentationen unter Einsatz von Methoden der geometrischen Modellierung (CAGD) und der digitalen Bildverarbeitung (multidimensionale Verallgemeinerung), Berücksichtigung ergonomischer Gesichtspunkte.

*Bildsyntheseschicht:* Bilderzeugung inklusive Bewegtbild und Ton (Animation, auch on-line), Verdeckungsrechnung, Beleuchtungssimulation für heterogene geometrische Datentypen (Oberflächen, Volumen), Integration von Simulationsdaten- und Realdaten.

*Darstellungsschicht:* Zusammensetzen von Bildern, Text und Ton, Speicherung, Dokumentation, und visuelle Publikation (z.B. auf CD), Bildverbesserung, Mensch-Maschine Interaktionstechniken (dreidimensionale Darstellung und Manipulation, virtuelle Realität), Telekommunikation.

Das anzustrebende Ziel ist zum einen, anwendungsbezogene Visualisierungsverfahren und entsprechende Algorithmen und Datenstrukturen zu entwickeln. Zum anderen sind

offene Systeme, Schnittstellen und Protokolle zur Integration der Verfahren notwendig. Besonders zu berücksichtigen sind dabei die verteilte und parallele Verarbeitung und die Mensch-Maschine-Interaktion.

### 3.4 Gesellschaftliche Aspekte

Die geschilderten technischen Systeme bieten unter verschiedenen Aspekten Stoff für die politische und gesellschaftliche Diskussion:

- Komplexität vs. Zuverlässigkeit

Die ständig steigende Komplexität informatischer Prozesse und Produkte steht dem zentralen Wunsch nach Erhöhung der Zuverlässigkeit dieser Prozesse und Produkte entgegen. Die bisherigen theoriegeleiteten Forschungen zur Komplexität haben dieses Phänomen nicht erfaßt. Sinnvoll wäre es, die Komplexität technischer Systeme unter dem Aspekt ihrer Einbettung in den Alltag, ihrer Risiken und deren Bewältigung zu analysieren und dabei Wechselwirkungen wie z.B. die zwischen Zuverlässigkeit und Komplexität genauer zu bestimmen. Da der Begriff der Komplexität keineswegs nur in der Informatik verwendet wird, muß eine solche Untersuchung interdisziplinär angelegt werden.

- Sicherheit

Mit zunehmender Vernetzung werden vorbeugende Maßnahmen gegen mögliche Versuche zur Verletzung der Datensicherheit immer wichtiger. Daher werden zuverlässige und effiziente Techniken zur Verschlüsselung von Daten sowie zur Authentifizierung von Systembenutzern gebraucht.

Der Kunde muß ein hohes Maß an Vertrauen dafür gewinnen, daß die von ihm eingesetzten Schutzmechanismen nicht bereits in kurzer Zeit wertlos zu werden drohen (weil sie durch geschickte Attacken evtl. leicht gebrochen werden könnten).

- Benutzungsschnittstellen

Die zunehmende Informationsmenge macht es ständig schwieriger, die relevanten oder auch nur die aktuell interessierenden Informationen aus dem gesamten „Wust“ von Daten herauszufiltern. Ein Großteil der Bevölkerung - vor allem die ältere Generation - steht zahlreichen vergleichsweise einfachen technischen Systemen hilflos gegenüber und weigert sich, sie zu nutzen.

Damit solche für die Gesellschaft kostspieligen Fehlentwicklungen in Zukunft reduziert oder - im Idealfall - vermieden werden, müssen - vereinfacht gesprochen - Informationen möglichst benutzerfreundlich dargestellt und aufbereitet werden. Um diese ebenso simple wie weitreichende Forderung zu erfüllen, müssen Benutzungsschnittstellen konstruiert werden, welche den Umgang mit einem erheblich vergrößerten Informationsvolumen ermöglichen und gegenüber heutigen Systemen sogar deutlich erleichtern. Bedingungen für solche geeigneten Benutzungsschnittstellen sind unter

anderem, daß sie einerseits einfach zu bedienen, andererseits aber nicht einschläfernd sind oder gar als Versuch zur Entmündigung des Benutzers aufgefaßt werden könnten.

- Arbeitsplätze

Durch zum Teil bereits im Aufbau befindliche Infrastruktur-Maßnahmen (fiber to the home) wird man in Zukunft vom Wohnzimmer aus weltweit kommunizieren können (siehe Informations- und Medien-„Steckdose“). Das ist verbunden mit entscheidenden Vorteilen, aber auch mit Risiken für Arbeitswelt, soziales Umfeld und für viele andere Lebensbereiche. Die Konsequenzen für Zahl und Struktur der Arbeitsplätze werden groß sein. Zusammen mit der Einführung neuer komplexer technischer Systeme muß ihre Auswirkung auf die Umgestaltung des Umfelds sorgfältig beobachtet werden, damit unerwünschte Begleiteffekte frühzeitig erkannt werden und sich deshalb nicht negativ auswirken.

## 4 Verteiltes Höchstleistungsrechnen

Der gesteigerte Bedarf an Rechenleistung hat in den 80er Jahren die Entwicklung im Bereich der Parallelverarbeitung stark vorangetrieben. Dies umfaßt zum einen die Entwicklung von neuen Mikroprozessoren mit höherer Parallelität auf einem Chip. Durch die Begrenzung von der dem Chip pro Zeiteinheit verkraftbaren Datenmenge sind solchen Architekturen jedoch Grenzen gesetzt. Deshalb wurden vorrangig herkömmliche Prozessoren — wie sie auch in Workstations vorkommen — mit Kommunikationsfähigkeiten und -leistungen ausgestattet, die es ermöglichen,

- in speziellen Anwendungen einige Prozessoren zum Erreichen notwendiger Rechenleistung zu kombinieren; Multiprozessorsysteme in der schnellen Bildverarbeitung und in komplexen Steuerungssystemen mit Realzeitanforderungen sind Beispiele dafür;
- für ein breit gestreutes Anwendungsspektrum solche Prozessoren zu Hunderten in einem Netzwerk zusammenzuschalten.

Durch die Erforschung und die Akzeptanz von Einsatzmöglichkeiten von Parallelrechnern vor allem im wissenschaftlichen Umfeld ist *massiv paralleles Rechnen* aus dem Bereich *Höchstleistungsrechnen* nicht mehr wegzudenken und wird teilweise sogar schon mit diesem identifiziert.

### 4.1 Charakteristik von Parallelrechnern

Unter dem Begriff *Parallelrechner* werden Rechner zusammengefaßt, die mehrere zueinander parallel arbeitende Mikroprozessoren besitzen. Hinter diesem Begriff verbergen sich jedoch eine Vielzahl von unterschiedlichen Prinzipien der Parallelverarbeitung hinsichtlich

- der zeitlichen Anordnungen von parallelen Berechnungen, d.h. Berechnungen, die gleichzeitig auf verschiedenen Prozessoren ausgeführt werden,

- der räumlichen Anordnung der Mikroprozessoren und
- der Organisation des Speichers für die Daten von (parallelen) Berechnungen.

Der Einsatz von Parallelrechnern begann in den siebziger Jahren mit dem Bau von Vektorrechnern und setzte sich mit der Entwicklung von synchron arbeitenden datenparallelen Parallelrechnern, sogenannten SIMD-Rechnern (*single-instruction multiple-data*), fort. Die heutigen Parallelrechner sind üblicherweise asynchron arbeitende MIMD-Rechner (*multiple-instruction multiple-data*), in denen jeder Prozessor einen eigenen Befehlsstrom ausführt.

Die Vernetzungsstruktur von Mikroprozessoren in Parallelrechnern wird als *Topologie* bezeichnet. Beispiele sind Würfel- oder Baumstrukturen.

Abhängig von der verwendeten Speicherorganisation werden die Parallelrechner in Rechner mit *gemeinsamem Speicher* und Rechner mit *verteiletem Speicher* unterschieden. Rechner mit gemeinsamem Speicher verwenden einen globalen Speicher, auf den jeder Prozessor zugreifen kann. Die Kommunikation zwischen den Prozessoren wird über diesen globalen Speicher abgewickelt. Rechner mit gemeinsamem Speicher benutzen üblicherweise nur eine kleine Anzahl von Prozessoren, da der Zugriff auf den gemeinsamen Speicher schnell zum Engpaß werden kann.

In einem Rechner mit verteiltem Speicher hat jeder Prozessor einen lokalen Speicher, auf den die anderen Prozessoren nicht direkt zugreifen können. Der Zugriff auf Daten im Speicher eines anderen Prozessors muß durch das Verschicken von Nachrichten realisiert werden. Der die Daten besitzende Prozessor muß dazu eine Sende-Operation ausführen, der anfragende Prozessor die zugehörige Empfangs-Operation. Rechner mit verteiltem Speicher haben den Vorteil, mit einer großen Anzahl von Prozessoren betrieben werden zu können. Ihr Nachteil besteht in dem zeitaufwendigen Verschicken der Nachrichten, das die Laufzeit eines parallelen Programms erheblich beeinflussen kann. Für ungeeignete Anwendungen kann dies sogar dazu führen, daß die erhöhte Rechenleistung eines Parallelrechners nicht zum Tragen kommt, weil zwischen den Berechnungen zu viele Daten ausgetauscht werden.

Zu den Rechnern mit verteiltem Speicher können auch Workstations gerechnet werden, die mit einem Netzwerk untereinander verbunden sind. Der Unterschied zu den eigentlichen Parallelrechnern besteht darin, daß das Verschicken von Nachrichten noch langsamer ist. Üblicherweise wird etwa ein Faktor von 10 gegenüber den Verbindungsnetzwerken in Parallelrechnern angenommen.

## 4.2 Körnigkeit und Struktur der Parallelität

Der erfolgreiche Einsatz von Parallelrechnern, der hauptsächlich an der Reduzierung der Gesamtrechenzeit gemessen wird, hängt erheblich vom *Grad der Parallelität* des zu bearbeitenden Problems und der *Körnigkeit* des gewählten Verfahrens ab. Der Grad der Parallelität drückt die Möglichkeit aus, gewisse Teilberechnungen, deren Ergebnisse voneinander unabhängig sind, gleichzeitig auszuführen. Die Körnigkeit der Parallelität eines Verfahrens beschreibt qualitativ die Größe der unabhängigen Teilberechnungen, die dieses Verfahren typischerweise aufweist. Im einzelnen werden Verfahren *feiner, mittlerer und grober*

Körnigkeit unterschieden, womit ausgedrückt wird, daß die Größenordnung der ohne zwischenzeitliche Synchronisation auszuführenden Instruktionen einige wenige sind, zwischen 10 und 100 liegen oder sich weit über hundert bewegen.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt wird durch den zeitlichen Zusammenhang dieser unabhängigen (parallelen) Teilberechnungen- bzw. Teilaufgaben beschrieben, der bereits im Algorithmus festgelegt ist.

- **Synchrone Verfahren:** Die Teilaufgaben werden mit der gleichen zeitlichen Geschwindigkeit ausgeführt, indem gleiche Instruktionen auf jedes Datum einer vorgegebenen Datenmenge angewandt werden (Lösung von partiellen Differentialgleichungen, wobei der physikalische Raum die Datenmenge darstellt).
- **Schwach synchrone Verfahren:** Die einzelnen Teilaufgaben werden zeitlich voneinander unabhängig ausgeführt, jedoch gibt es festgelegte Synchronisationen, die typischerweise nach einem Zeitschritt oder an einem Iterationsende stattfinden (zusammengesetzte physikalische Simulationen, deren Teile durch wohlbekannte numerische Verfahren simuliert werden).
- **Asynchrone Verfahren:** Teilberechnungen werden zeitlich voneinander unabhängig mit wechselndem Zusammenwirken ausgeführt (Realzeitanwendungen, reaktive Systeme, irreguläre Probleme).
- **Unabhängige Verfahren:** Die Teilaufgaben sind aufgrund ihrer Struktur unabhängig, und der Berechnungsgraph zerfällt daher in unabhängige Teilberechnungen, die keine zeitliche Synchronisation benötigen (statistische Methoden für physikalische Simulationen).
- **Komplex zusammengesetzte Metaverfahren:** Diese Verfahren sind aus den unterschiedlichsten „Modulen“ zusammengesetzt, die jedes für sich ein eigenes Verfahren darstellen.

Im folgenden geht es um Anwendungen, für die schwach synchrone Verfahren bekannt sind oder bei denen man die Existenz solcher Verfahren vermutet.

### 4.3 Anwendungen mit grobkörniger Parallelität

Entsprechend der Entwicklung von Parallelrechnern und der Untersuchung von Parallelisierungsprinzipien hat sich die Forschung erfolgreich mit der parallelen Implementierung von konkreten Anwendungen beschäftigt. Bis heute treten hier insbesondere Simulationen technischer und naturwissenschaftlicher Systeme und Prozesse auf. Die dabei gemachten Erfahrungen kann man in industriellen Anwendungen nutzen. Der Grund hierfür ist, daß in diesen Bereichen zum einen hohe Rechenanforderungen auftreten und zum anderen die Probleme numerisch in einer Art und Weise formuliert werden können, die sich verhältnismäßig leicht parallelisieren läßt. Weitere Anwendungsfelder für Parallelverarbeitung sind

rechenintensive Aufgaben der Informationsverarbeitung, wie z.B. die Bildverarbeitung oder komplexe Berechnungen auf großen Datenvolumina.

Einige der vorrangigen – bis heute erst ansatzweise verwirklichten – Parallelisierungsaufgaben im Bereich der Simulation sind:

- Strömungssimulation, etwa im Flugzeug- und Fahrzeugbau,
- Simulation von Elektrizitäts- oder Gasversorgung zur Optimierung der Produktion, Planung der Investition und Fehlervermeidung,
- Simulation von Kommunikations- und Rechnernetzen,
- Simulation von klimatischen und ökologischen Prozessen (Wetter, Umweltverschmutzung)
- Simulationen molekularer Systeme in der Chemie und Biochemie (ab-initio Verfahren der Quantenmechanik, molekulardynamische Methoden)

Die für derartige Simulationsverfahren benötigten numerischen Methoden sind für sequentielle Rechner erschlossen. Sie werden zur Zeit auf parallele Rechner umgestellt. Solche Verfahren haben häufig eine zweischichtige Struktur; auf einer Schicht mit regelmäßigen Berechnungen (etwa aus der linearen Algebra) sitzt eine Schicht mit unregelmäßiger Struktur (etwa iterative Methoden). Daher ist die Implementierung auf verteilten Systemen (asynchrone MIMD-Rechner mit verteiltem Speicher oder Workstation Cluster) sinnvoll. Außerdem bietet sich eine Berechnung auf einem Netz von Höchstleistungsrechnern an. Diese sind meist für regelmäßige Berechnungen optimiert. Die obere, unregelmäßige Schicht wird dann über das Netz balanciert verteilt. Über die numerischen Verfahren hinaus gibt es Einsatzbereiche für parallele Rechner, die neuartige methodische Elemente, zum Teil aus der diskreten Modellierung und Optimierung erfordern. Hierzu gehören:

- Integrierter Entwurf von Fertigungsanlagen,
- Entwurf neuer Medikamente in der pharmazeutischen Industrie,
- Analyse von genomischer Information sowie von großen Biopolymeren (RNA, Proteine),
- Entwurf neuer chemischer Werkstoffe, z.B. von organischen Polymeren oder anorganischen Gläsern,
- Herstellung von Animationen für Ausbildung und Unterhaltung (virtual world),
- geographische Informationssysteme,
- komplexe Auswertung von Massendaten, z.B. Datenbanken für medizinische Zwecke,
- Server in Multimedia-Netzwerken.

Die Behandlung derartiger Probleme auf Parallelrechnern erfordert grundlegende Forschung, da hier Lösungen oft eine Vielzahl von Randbedingungen erfüllen müssen, was bei ungeeigneter Organisation auf Parallelrechnern ein hohes Maß an überflüssigen Rechnungen nach sich zieht.

Techniken der wissenschaftlichen Visualisierung werden eingesetzt, damit

- die parallelen Abläufe kontrolliert werden können, und damit
- die Ergebnisse der Berechnungen verständlich dargestellt werden können.

Sind die zu visualisierenden Datenmengen sehr groß und die Visualisierungstechniken aufwendig, so kann die Visualisierung ihrerseits Gegenstand der Parallelisierung sein.

## 4.4 Portable Implementierung

Wie oben dargestellt wurde, können Parallelrechner und zu parallelisierende Probleme sehr unterschiedliche charakteristische Merkmale aufweisen, weshalb in der Vergangenheit oft Anwendungen für einen besonders geeigneten Rechner oder Rechnertyp parallelisiert wurden. Eine Portierung auf einen anderen Rechner war wegen der unterschiedlichen Kommunikations- und Speicherverwaltungsmechanismen dann nicht möglich, was bei dem schnellen Wandel der Architektur zu hohen Kosten führte. Daher ist das Ziel einer *portablen* Implementierung allgemein anerkannt.

Für eine portable Implementierung sind die rechnercharakteristischen Kommunikations- und Speicherverwaltungsmechanismen durch allgemeine Befehle zu ersetzen, die aus einer sogenannten *Kommunikationsbibliothek* entnommen werden. Derzeit gibt es verschiedene Kommunikationsbibliotheken, die von verschiedenen Gruppen entwickelt wurden und auf einer ganzen Reihe von Rechnern verfügbar sind, darunter sind z.B. Express, PARMACS, P4, PVM. Die mit diesen Systemen gewonnene Erfahrung ist in ein neues Message Passing Interface (MPI) eingeflossen.

Da diese Kommunikationsbibliotheken sowohl auf verschiedenen Typen von Workstations als auch auf Höchstleistungsrechnern implementiert sind, kann man nach der Entwicklung einer Anwendung auf einem Netz von Workstations, wenn notwendig, für die Lösung realistischer Probleme auf ein evtl. räumlich verteiltes Netz von Höchstleistungsrechnern übergehen.

## 4.5 Kooperationsmodell

### 4.5.1 Synergie

Spitzenforschung kann ohne den Parallelrechner nicht auskommen. Dennoch wird der Markt für solche Höchstleistungsrechner immer relativ beschränkt sein. Daher ist es von außerordentlicher Wichtigkeit, daß die Entwicklung von Hardware und Grundsoftware für Parallelrechner sich eng an den Erfordernissen der Anwendungen orientiert.

Zur Umsetzung dieses Ziels ist Wissen aus den unterschiedlichsten Gebieten erforderlich. Diese umfassen neben der numerischen Mathematik, der angewandten Informatik,

Simulationstechniken, dem Entwurf von parallelen Algorithmen sowie Kenntnissen über Parallelrechner auch eingehende Kenntnis des entsprechenden Fachgebietes, aus dem die Anwendung stammt (Strömungsmechanik, Klimatologie, Molekularbiologie, Chemie etc.). Da dieses gesamte Fachwissen derzeit nicht als Forschungsgebiet gelehrt wird und daher auch selten in einer Forschungseinrichtung bzw. in einem industriellen Unternehmen zur Verfügung steht, sind diese Aufgaben nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit entsprechender Partner zu bewältigen. Dabei bietet es sich an, daß ein industrieller Partner oder naturwissenschaftliche Akademiker das Wissen und die Motivation für ein entsprechendes Anwendungsproblem einbringt und akademische Partner aus der Informatik die in Forschungsprojekten erworbene Erfahrung über Parallelisierung beisteuern.

#### **4.5.2 Partnerschaft und Projektorganisation**

In den Verbundvorhaben des BMFT und ähnlich in den ESPRIT-Projekten der EU haben sich häufig unter dem Druck der vorgegebenen Randbedingungen zu viele Partner zusammengefunden. Dies bedeutete meist große Reibungsverluste und oft mangelnde Offenlegung von wichtigen technischen Informationen, sofern Partner mit konkurrierenden wirtschaftlichen Interessen in einem Projekt kombiniert wurden.

In dem hier vorgeschlagenen Programm reichen in der Regel zwei Partner aus, der Anwender, der ein Problem mit großem Rechenaufwand hat, und der Parallelisierer, der Kompetenz und evtl. große Rechnerleistung hat. Was ist dabei das jeweilige Interesse und der jeweilige Einsatz der beiden Partner? Der Anwender hofft, daß sein Problem gelöst wird. Sein Einsatz sind im wesentlichen die Einweisung des Parallelisierers in die Problemstellung und die Aufbereitung von Testdatensätzen für Experimente. Dazu kommt die Bezahlung von Rechenzeit für Produktionsläufe. Der Parallelisierer braucht i.a. den Nachweis der Anwendungsnahe. Er zahlt meist dafür, daß er nicht ein selbstgestelltes, aus jedem hinderlichen Kontext gelöstes Problem bearbeitet, sondern mit der Problemstellung auch einige Randbedingungen des Anwenders akzeptieren muß und vor allem eine Lösung vorweisen muß, die das Problem auch in realistischen Größenordnungen löst. An dem Projekt beteiligtes wissenschaftliches Personal wird in einer solchen Partnerschaft i.a. mehr Aufwand pro Publikation treiben müssen, als in rein akademischer Forschung. Dafür sollte der akademische Partner eine Kompensation erhalten. Die sollte mit Fug und Recht vom Anwender erwartet werden. Leider wird man nicht sehr viele potentielle Anwender für solche Projekte gewinnen können. Teilweise haben sie die notwendigen finanziellen Mittel nicht. Teilweise warten sie erst auf den Beweis, daß durch die Parallelisierung größere Problemgrößenordnungen lösbar werden, und daß dadurch wieder die vorher verwendeten nichtquantitativen Verfahren abgelöst werden. Das zu erreichende Ziel wird eine Verbesserung des Produkts oder der Dienstleistung des Anwenders sein.

Das Stiften von Partnerschaften sollte mit Hilfe der im Abschnitt 2 beschriebenen Kommunikationsmittel unterstützt werden. Zu Beginn wird eine nationale Newsgroup zum Parallelisierungsprogramm diesen Zweck erfüllen. Parallelisierer werden ihre Kompetenz mit Referenzprojekten und evtl. Publikationen dort belegen und mögliche Dienstleistungen beschreiben. Anwender werden ihre Probleme darstellen. Verhandlungen werden dann über

Netz beginnen.

### 4.5.3 Leerzeitnutzung

Es steht nur wenigen industriellen Partnern, schon gar nicht den hier besonders wichtigen mittelständischen Firmen, eine Rechenleistung zur Verfügung, die für Probleme relevanter Größenordnung notwendig ist. An den Universitäten und Forschungseinrichtungen dagegen sind die für Entwicklungsaufgaben benutzten Workstations in der Regel nachts und am Wochenende ungenutzt. Der industrielle Anwender, der es sich nicht leisten kann, gewaltige Rechenleistung für evtl. nur wenige aufwendige Berechnungen pro Jahr vorzuhalten, könnte zusammen mit der Beratung durch den universitären Parallelisierungsexperten Leerzeit von dessen Workstations kaufen. Dies würde die universitäre Seite zusätzlich motivieren, da sie ihre Rechnerausstattung unabhängig von langwierigen Antragsverfahren teilweise refinanzieren könnte.

### 4.5.4 Organisatorische Aspekte

Der Verkauf von Leerzeit bedarf einiger organisatorischer Maßnahmen. Unproblematisch dürfte die Entwicklung von fairen, gegenüber dem Käufer glaubwürdigen Abrechnungsverfahren sein. Wird der Paralleisierer nämlich zu teuer, verliert er seine Kunden. Schwieriger ist es, dem Anwender den Schutz seiner evtl. schutzbedürftigen Daten zu garantieren. Hier kommen juristische und technische Aspekte zusammen. Lösungen kann man durch den Einsatz geeigneter kryptographischer Verfahren erwarten.

## 4.6 Forschungsaspekte

Hat man das Problem der Parallelisierung eines Verfahrens gelöst, stellt sich als nächstes die Frage, wie sich das parallele Verfahren in einer Programmiersprache formulieren läßt. Die meisten in der (akademischen) Praxis verwendeten Programmiersprachen, insbesondere die verschiedenen parallelen Fortran-Dialekte, decken nur die oben erwähnte Schicht regelmäßiger Berechnungen ab. Die darüber liegende Schicht unregelmäßiger Berechnungen muß durch explizites Programmieren von Datenverteilung, Lastenverteilung und Kommunikation beschrieben werden. Ziel weiterer Forschung wird es sein,

- geeignete Sprachkonstrukte für die Beschreibung unregelmäßiger Berechnungen zu identifizieren und existierende Programmiersprachen damit zu erweitern,
- neue Sprachen „aus einem Guß“ für wichtige Anwendungsbereiche zu entwickeln,
- dem Programmierer für die oben erwähnten Aufgaben Lastenverteilung, Datenverteilung und Kommunikation automatische Unterstützung zu geben. Diese wird Zeitanahmen für Berechnungs- und Kommunikationsschritte benutzen, um Zeitabschätzungen für Teilberechnungen bei gewählten Lastenverteilungen und Datenverteilungen zu berechnen.

## 4.7 Zusammenfassung

Parallele Berechnungsverfahren bieten sich für viele Probleme an, wenn die Problemkomplexität und die Problemgröße keine sequentiellen Lösungsverfahren in akzeptabler Zeit gestatten, und wenn die Natur des Problems eine Parallelisierung zuläßt. Die Erstellung paralleler Software ist noch Expertensache. Es gilt, diese Experten mit den Nachfragern großen Rechenbedarfs zusammen zu bringen.