

Forschungszentrum
Arbeit und Technik
artec

Hans Dieter Hellige

**Militärische Einflüsse auf Leitbilder,
Lösungsmuster und Entwicklungsrichtungen
der Computerkommunikation**

artec-Paper Nr.15, März 1992

Vortrag auf der Technikgeschichtlichen Jahrestagung
des VDI, 5./ 6.März 1992

"Militärische und zivile Technik : Wechsel-
wirkungen in historischer Perspektive
(erscheint in : Technikgeschichte 4 / 1992)

Universität Bremen

Überblick

Während die Spin-off-Forschung bisher überwiegend Apparate- oder Bauelementetechniken untersucht hat, möchte der folgende Beitrag anhand der Computerkommunikation komplexere Anwendungssysteme unter dem Aspekt des militärisch-zivilen Technologietransfers analysieren.¹⁾ Der Begriff der Computerkommunikation umfaßt dabei sowohl Entwicklung, Betrieb und Nutzung von Daten- und Rechnernetzen als auch die entsprechenden Infrastruktureinrichtungen, und zwar von der lediglich fernmeldetechnischen Verbindung von Computern, Terminals usw. bis zu integrierten Computernetzen, die über den reinen Datentransport hinaus auch den Ressourcen-, Last- und Funktionsverbund realisieren können. Da wesentliche Basis- und Systemtechniken sowie die frühen Anwendungskonzepte vor allem im militärindustriellen Komplex der USA entstanden sind, steht die US-Entwicklung der Computerkommunikation hier im Mittelpunkt. Anhand der beiden wichtigsten militärischen Großvernetzungsprojekte, SAGE und ARPANET, werden verschiedenartige Prägungsformen mit unterschiedlicher Prägungstiefe untersucht. Dabei zeigt sich, daß immaterielle Übertragungsvorgänge wie der Leitbildtransfer und eine generelle (Fehl-)Orientierung des Problemlösungshorizontes von Ingenieuren eine viel folgenreichere Bedeutung haben können als die bisher von der Spin-off-Forschung bisher analysierten unmittelbaren kommerziellen Einflüsse auf Hard- und Software-Techniken

Abstract

Until now the attention of most research studies on spin-off has concentrated on special apparatus and component technologies or on macroeconomic balances. In contrast to them the following article on the military genesis of computer communication networks tries to examine more complex qualitative impacts of military-civilian technology transfer. Focussing on the two most important U.S. computer networking projects, SAGE and ARPANET, different kinds and intensities of impacts on components, system architectures, and application concepts are analysed, resulting in the thesis, that negative effects on the technological and economic development in consequence of the transfer of inadequate military visions (Leitbilder) into civilian environments and general misorientations of the problem solving horizon probably exceed the identified sectoral commercial profits of spin off.

1. Ansätze, Probleme und Defizite der Spin-off-Forschung

Die seit den 60er Jahren in den USA entstandene wissenschaftliche Erforschung der technologischen und volkswirtschaftlichen Effekte von Rüstungsausgaben sucht selbst keine Antwort auf die übergeordnete ethische Frage, ob angesichts der unermeßlichen sozialen und ökologischen Probleme in der Welt die gigantischen Aufwendungen für Destruktionstechniken überhaupt vertretbar sind. Die Spin-off-Forschung versteht sich vielmehr als eine wissenschaftliche Überprüfung der ökonomischen und technologiepolitischen Legitimationsstrategien des militär-industriellen Komplexes für die beanspruchten volkswirtschaftlichen Mittel. Im Zentrum steht dabei die Frage, ob die militärorientierte Forschung und Entwicklung eine wichtige Innovations- und Vorreiterfunktion für die Technikentwicklung insgesamt erfüllt, oder ob sie zur Fehlorientierung bzw. Fehlallokation technisch-ökonomischer Ressourcen und Qualifikationspotentiale führt. Diese Frage wird meist auf zwei Ebenen behandelt : der makroökonomischen und der sektoralen. Beide Untersuchungsebenen werden oft methodisch nicht sauber getrennt, und immer wieder versucht man, aus dem militärisch-zivilen Technologietransfer *einer* Technik bzw. *eines* Sektors makroökonomische Schlußfolgerungen zu ziehen. Dabei kann die Analyse einer Einzeltechnik bzw. -branche zwar herausarbeiten, in welchem Umfang, unter welchen Bedingungen und mit welchen unmittelbaren Folgen Spin-off erzielt oder nicht erzielt wurde, vor allem auch, inwieweit diese Technik durch den militärischen Ursprung zeitweise oder auf Dauer geprägt wurde. Die sektorale Betrachtungsweise kann jedoch keine Antwort auf die Frage geben, ob militärorientierte Innovationsstrategien insgesamt eine volkswirtschaftlich effiziente Form der Technologieförderung darstellen. Denn das Ausmaß, die Streubreite und die Qualität von Spin-off Effekten sind in verschiedenen Techniken höchst unterschiedlich.²⁾ Es bedarf jeweils einer genauen Abwägung der wirtschaftlichen Bedeutung des Sektors, des Transferpotentials, der Nähe zwischen Technologiegeber und Technologienehmer und vor allem auch der jeweiligen Aufwendungen für das Redesign, die infolge des üblichen Abweichens militärischer und ziviler Anforderungsprofile erforderlich sind.

Daß erfolgreiche Spin-offs noch keine Garantie für eine positive ökonomische Bilanz dieser Sektoren und erst recht nicht der Gesamtwirtschaft darstellen, belegt eine Reihe von Langzeitanalysen in den Vereinigten Staaten auf der Ebene der Import - Exportrelationen und der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen. So haben die USA bei militärisch induzierten bzw. geförderten Techniken wie den NC- und CNC-Werkzeugmaschinen, Handhabungsgeräten bzw. Robotern, bei den Speicher-IC's, den anwendungsspezifischen Schaltkreisen (ASIC's) und den oberflächenmontierbaren Bauelementen (SMD-Technik) ihre anfängliche Führungsposition ganz oder weitgehend verloren. Erst recht zeigen makroökonomische Untersuchun-

gen über den Zusammenhang von militärorientierter F & E-Förderung und der Entwicklung der Außenhandelsrelationen, daß trotz positiver Spin-off-Effekte in einigen Hochtechnologie-Bran-chen die Gesamtbilanz negativ sein kann. Die Langzeitstudie von DeGrasse, die "Global Stakes"-Studie, die Literaturlauswertung der Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft und die großangelegte Bestandsaufnahme von Markusen, Hall u. a. über "The Rise of the Gunbelt" führen klar vor Augen, daß der amerikanische Rüstungs-Keynesianismus nur wenigen Regionen, wenigen Industriezweigen und vor allem nur einer kleinen Zahl von Großunternehmen zugute gekommen ist.³) Die negative Gesamtbilanz dieser Arbeiten wird neuerdings durch eine umfangreiche Studie des Office of Technology Assessment (OTA) vom Ende des letzten Jahres bestätigt. Die Kongreß-Behörde kommt darin zu dem Resultat, daß nur der Übergang zu einer stärker zivilen Technologieförderung nach japanischem Muster das weitere Schrumpfen des einstigen amerikanischen Vorsprungs in der Mikroelektronik, Computer- und Telekommunikationstechnik aufhalten könne.⁴)

Die besonders gegenüber Japan, z. T. auch gegenüber Westeuropa eingetretene drastische Verschlechterung der Weltmarktposition der USA selbst in Hochtechnologie-Sektoren werden in den kritischen Studien vor allem auf die folgenden Schwachpunkte der Spin-off-Strategie zurückgeführt:

- Der militärindustrielle Komplex absorbiert nahezu 30 - 50 % der amerikanischen Technisch-wissenschaftlichen Intelligenz und entzieht dadurch der Zivilindustrie vor allem hochqualifizierte Fachkräfte.⁵)
- Der Aufbau des "Gunbelt" abseits, ja gegen die alten Industriezentren verhinderte wichtige Synergieeffekte zwischen den traditionellen Branchen Maschinen- und Fahrzeugbau sowie Elektrotechnik und den neuen Elektronik- und Informationstechnik-Bereichen.
- Die Konzentration auf abgeschottete, risikofreie Rüstungsgütermärkte führt zu einer Trägheit gegenüber Markterfordernissen sowie zu einem Rückzug aus den Massenmärkten wie z. B. der Konsum- und Kraftfahrzeugelektronik.
- Die meist niedrigeren Stückzahlen und die geringere Bedeutung der Kosten bewirken eine Vernachlässigung von Prozeßinnovationen und schließlich einen Rückstand der Produktionsanlagen.

- Die relativ großzügige Mittelausstattung militärischer F&E-Projekte führt oft zu teuren High sophistication-Lösungen und Hochleistungstechniken, die für die zivile Nutzung zu kostenintensiv und überdimensioniert sind.
- Die US-Strategie des nachträglichen "Downgrading" militärischer Spitzentechnik zu vereinfachten Versionen für Konsumzwecke ist der japanischen Methode des allmählichen "Upgrading" konsumorientierter Strong-and-Simple-Lösungen zu komplexeren Qualitätsprodukten eindeutig unterlegen.⁶⁾
- Zusätzlich werden die Eintrittsbarrieren in zivile Märkte noch durch Geheimhaltungsvorschriften und Exportverbote erhöht.

Infolge der Fixierung auf die Rechtfertigungsargumente von Militärs und Rüstungsindustrie ist die Spin-off-Forschung noch immer vorwiegend quantitativ-ökonomisch ausgerichtet. Nur relativ wenige Studien beschäftigen sich mit *qualitativen* Folgen und Langzeitwirkungen. Zu ihnen gehören die Arbeiten von David Noble zur militärischen Genese der NC-Technologie und von Claus Eurich zur kriegerischen Geschichte der Informationstechnik.⁷⁾ Mit Blick auf diese Studien sowie auf neuere Ansätze der Technikgenese- und Leitbildforschung möchte der folgende Beitrag der Frage nachgehen, inwieweit eine Technik durch den militärischen Entstehungskontext qualitativ geprägt bzw. fehlgeprägt wurde, d.h. inwiefern konstruktive Lösungsmuster und Anwendungskonzepte sowie die ihnen zugrunde liegenden technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizonte und Technikleitbilder von Ingenieuren durch den militärisch-zivilen Technologietransfer zeitweise oder auf Dauer beeinflusst werden können. Unter Problemlösungshorizont verstehe ich dabei eine historisch-gesellschaftlich bedingte Eingrenzung des gesamten Wissens- und Erfahrungsbestandes eines Technikbereiches, d.h., im Sinne von T. S. Kuhn, die "disziplinäre Matrix" einer engineering community.⁸⁾ Von diesem horizontbildenden Komplex technischen Wissens, beruflich-professioneller Regeln, Methoden und Konstruktionsprinzipien sowie gesellschaftlicher und technischer Vorgaben und Normen unterscheide ich Technikleitbilder als klar identifizierbare Zielvorstellungen gesellschaftlicher, soziotechnischer oder "rein" technischer Art, die aufgrund von prägnanter Aussageform, Gestaltcharakter oder Bildhaftigkeit auf technische Lösungsmuster, Anwendungskonzepte und organisatorische Ausgestaltungen in besonderer Weise normbildend und entwicklungsleitend wirken *können*. Diese Eingrenzung des Leitbildbegriffes auf konkrete Technikbereiche bzw. engineering communities ist m.E. notwendig, wenn er zu einem soliden Analyseinstrument für die historische und soziologische Technikforschung werden und nicht, wie teilweise in einigen Technikgenese-Ansätzen, zu einer scheinbar alles erklärenden Kategorie der Sozialwissenschaften ausufern soll.⁹⁾

2. Die Anfangsphase der Computerkommunikation im Zeichen militärischer "Central Command and Control-Systems"

Die Geschichte der Computerkommunikation läßt sich grob einteilen in:

- eine Vorlaufphase von 1940 -1952 mit Ad-hoc-Lösungen ohne systematische F&E-Aktivitäten
- eine Anfangsphase von 1952 bis ca. 1965, die bestimmt wurde von zentral kontrollierten Weitverkehrs-Datennetzen in konventioneller Fernmeldephilosophie,
- eine Durchbruchphase von ca. 1965 bis 1975, die durch die Herausbildung des Teilnehmerbetriebes und einer EDV-spezifischen volldigitalen Netzarchitektur gekennzeichnet ist, den paketerorientierten Netzen,
- die folgende Ausdifferenzierungsphase von 1975 bis zum Ende der achtziger Jahre, die geprägt wird durch das Hinzutreten neuer Netzarchitekturen und lokaler Netzwerke (LAN's) und schließlich
- die derzeit anvisierte Integrationsphase, in der, gestützt auf weltweite Normen, die heterogenen Daten- und Computernetze über breitbandige Regional- bzw.Großstadtnetze (MAN's) und durch neue Hochgeschwindigkeits-Weitverkehrsnetze verkoppelt werden sollen.

Militärische Einflüsse und Leitbilder spielten vor allem in den ersten Phasen bis zur Mitte der 70er Jahre eine bedeutende Rolle. Dabei waren es besonders zwei Großprojekte des US-Verteidigungsministeriums, die entscheidend zur Entwicklung der Basistechniken und Systemarchitekturen der Computerkommunikation beitrugen : das SAGE-Projekt von 1949 / 53 - 1963 und

die ARPANET - Projekte von 1967-1975. Da beide Systeme geradezu die Leitfossilien der Entstehungs- und Durchbruchphase der Computervernetzung darstellen, stehen sie auch im Mittelpunkt der folgenden Ausführungen.

Die ersten realisierten Datenfernübertragungen (DFÜ) im Jahre 1940 waren reine ad-hoc-Verkoppelungen von Rechnern bzw. Lochkartenmaschinen mit entfernten Telexgeräten. Sie beruhten, wie im Fall der Vorführung des "Complex-Number Computer" von George Stibitz von den Bell-Laboratorien auf einer zufälligen Situation oder, wie im Falle des Lochkarten-Fernschreibprojektes des Heereswaffenamtes, auf einem kriegsbedingten Engpaß.**10)** Bei Kriegsende hörten die entsprechenden Entwicklungsaktivitäten auf, auch wenn Computer-Erfinder wie Konrad Zuse und Vannevar Bush 1939 bzw. 1945 weitreichende Visionen für eine Fernverarbeitung von Informationen entwarfen.**11)** Es waren neu entstandene Engpässe

bei der Auslastung von Verkehrsflugzeugen und beim schnellen Geldtransfer, vor allem aber eine technische Lücke bei der militärischen Luftraumüberwachung, die in den USA ab 1949 zu gezielten F & E - Aktivitäten führten. Dabei bestanden sowohl bei der technischen Entwicklungsrichtung und den zugrunde liegenden Leitbildern deutliche Unterschiede zwischen zivilem und militärischem Bereich. Die zivilen Konzepte wollten verstreuten Stationen und Büros den Zugriff auf Zentralregister oder Clearingzentralen ermöglichen. Sie dienten der Abstimmung und Beschleunigung von Zirkulationsfunktionen. Die ersten realisierten Systeme der Teleregister Corporation wie der Magnetronic Reservisor von 1952 zur Flugreservierung und das 1953 begonnene Telefile-Projekt für den Geldtransfer begnügten sich dabei noch mit einer bloß additiven Verknüpfung von Magnettrommelspeichern, Rechnern zur Speicherverwaltung und Fernschreibern bzw. Lochkartengeräten als Ein- und Ausgabe-medien.**12)**

Die militärischen Datenfernverarbeitungs-Projekte zielten demgegenüber in die Gegenrichtung. Hier diente die Computerkommunikation dazu, Macht- und Entscheidungsträger mit allen gewünschten Informationen zu versorgen, um ihnen den Überblick über das Gesamtgeschehen und die zentrale Kontrolle über die Peripherie zu sichern. Entwicklungsanlaß für ein derartiges Informationssammel-, Verarbeitungs- und Verteilzentrum war das völlig veraltete manuelle Luftabwehrsystem, dessen Aufspür- und Datenhandhabungskapazität mit der raschen Fortentwicklung der Geschwindigkeiten und Reichweiten der Langstreckenbomber nicht Schritt gehalten hatte. In einem kleinen Kreis von Militärplanern und militärnahen Forschern am MIT, darunter Perry Crawford, Jay Forrester, Robert Everett und George Valley, d. h. bei den führenden Personen des späteren SAGE-Projektes, entstand daher bereits seit 1946/47 das Entwicklungsleitziel eines in Realzeit arbeitenden "Combat Information and Control Systems" auf Digitalrechnerbasis.**13)** Da für die damit verbundenen hochkomplexen und global ausgerichteten Datenkommunikations-Anforderungen die einfache Speicherverwaltung und langsamen Fernschreibkanäle der bestehenden DFÜ-Technik völlig unzureichend waren, wurde das Großprojekt eines nordamerikanischen Luftraumüberwachungssystems zugleich zum Promotor einer Umwälzung der Daten- und Computerkommunikationstechnik. Das in dem "Semi Automatic Ground Environment" erstmals großtechnisch realisierte Konzept eines computergestützten "Central Command and Control Systems" bestimmte durch seine technischen Neuerungen, vor allem aber durch seine Leitbildfunktion die Datenfernübertragung und -verarbeitung bis zum Ende der 60er Jahre maßgeblich. Die unterschiedlichen prägenden Wirkungen des SAGE-Systems, aber auch die Probleme des von ihm ausgehenden militärisch-zivilen Technologietransfers sollen skizzenhaft am Beispiel der Modems, der Terminals, des Time-sharing und der Systemarchitektur gezeigt werden.**14)**

Technologietransfer bei Hard- und Software-Komponenten

Um den Übertragungs-Engpaß für Radarbilder zu überwinden, entwickelte ein Team um John Harrington am MIT von 1949 - 1957 das erste *Modem*, das die digitalen Signale in analoge umsetzt bzw. in digitale zurückverwandelt. Es erlaubte auf Sprachkanälen 750 Bit/S, d. h. die 15-fache Übertragungsgeschwindigkeit einer Telegraphieverbindung. Nach dem Einstieg von Bell-Lab in das Projekt wurden 1959 schon 1.300 bzw. 2.000 Bit/S erreicht.**15)** Im gleichen Jahr eröffnete AT & T auch bereits den ersten öffentlichen "Dataphone"-Dienst auf Modem-Basis.**16)** Der Spin-off erfolgte hier also ungewöhnlich schnell. Obwohl ganz im militärischen Kontext entstanden, handelt es sich beim Modem nicht um eine spezifisch militärisch geprägte Technik. Im Gegenteil, für die Militärs war diese Art der Datenübertragung sehr bald eine unsichere Low-level-Technik, die es schnell zu überwinden galt. Im zivilen Bereich blieb die DFÜ per Modem dagegen lange Zeit die wichtigste, weil billigste Methode der Datenkommunikation. Infolge der mit Hilfe hochintegrierter Schaltkreise auf 19,2 kbit/S erhöhten Modem-Geschwindigkeit und der zunehmenden PC-Vernetzung steigt ihr Anteil, entgegen allen Prognosen, in den letzten Jahren sogar wieder spürbar an.**17)** Das Resultat militärischer Forschung kann also eine Technik sein, die für den zivilen Einsatz besser geeignet ist als für den militärischen.

Die Aufgabe, eine Vielzahl von weiträumigen Flugbewegungen für das Überwachungspersonal überschaubar zu machen, erzwang auch eine Umwälzung der *Bedienungsschnittstelle* zwischen Mensch und Computer. Die bislang verwendeten Fernschreiber oder Ein- und Ausgabegeräte auf Lochkartenbasis waren nach der Feststellung Forresters als "terminal equipment <...> relatively inadequate".**18)** Eine Lösung sah er allein in der Weiterentwicklung der Kathodenstrahlröhre zu einem graphischem Display. Der aus diesen Bemühungen im Whirlwind- bzw. SAGE-Projekt hervorgegangene erste *Monitor* (refresh graphic screen) läßt deutlich den militärischen Ursprung erkennen: seine äußere Gestalt ist klar aus dem Radarbildschirm abgeleitet. Auch die zur Aktivierung einer Spurverfolgung von Bert Sutherland geschaffene "Light gun", die sehr bald in der graphischen Datenverarbeitung und der CAD-Entwicklung Bedeutung erlangte, beruht auf einer militärischen Metapher.**19)** Der spezielle militärische Verwendungszweck, nämlich die Umsetzung der Radar-Informationen in Computer-generierte Bilder und deren Integration zu einem Kontrollbild, führte beim SAGE-Monitor zur Loslösung von den traditionellen Metaphern der Benutzungsschnittstelle in der bisherigen Computertechnik, der Lochkarte als maschinenlesbarer Karteikarte und der Buchungsmaschinen-Tabelle, die noch bis in die frühen 60erJahre in der kommerziellen Datenverarbeitung dominierten. Für die Ein- und Ausgabe von Befehlen mußte jedoch noch zusätzlich ein alphanumerisches Display geschaffen werden, das "Typotron", das sehr stark an

eine Chiffriereinrichtung erinnert. Der darüber abgewickelte "Man-Computer-Dialogue" - der Begriff taucht in diesem Zusammenhang auf - lief in einer militärischen Kürzelsprache ab, die die "commands" (sic!) auf den geringstmöglichen Zeichenaufwand reduzierte. Da bereits der Wechsel eines einzigen Zeichens in der Buchstaben-Ziffern-Kombination völlig unterschiedliche Zustände (eigenes bzw. feindliches Flugzeug) anzeigte und auch das Zusammenspiel zwischen Bildschirm, Lichtgriffel und Typotron Schwierigkeiten bereitete, war das System nicht sehr nutzergerecht und fehlertolerant . 20)

Die Probleme der Terminal-Bedienung und der Arbeitsaufteilung zwischen Mensch und Computer im SAGE-System lösten daher auch umfangreiche arbeitswissenschaftliche und psychologische Forschungen aus. Bei der Gestaltung des Video-Displays wurden bereits Mock-up-Methoden angewandt und die Bedienprozeduren in großen Testserien an fast 600 Operatoren erprobt.21) Insgesamt blieb die *Mensch - Maschine - Kommunikation* im SAGE-System aber dennoch so sehr auf militärische Aufgaben und technisch geschultes Militärpersonal zugeschnitten, daß eine Verwendung dieser Geräte in der zivilen Bürowelt und Industrie noch ausgeschlossen war. Doch wurde der "Mensch - Maschine - Dialog" im SAGE-Projekt neben Fragen der Cockpit-Auslegung bei Kampfflugzeugen ein weiterer zentraler Ausgangspunkt der frühen amerikanischen Human-Factors-Forschung.22) Die größere Komplexität des Systems und die extreme Belastung des Bedienpersonals unter zeitkritischen Bedingungen erzwangen hier eher als in zivilen Anlagen eine Analyse der Ermüdungs- und Fehlerprobleme in technischen Systemen sowie eine bewußte Gestaltung der Mensch - Maschine -Kommunikation. Der dem Luftabwehrsystem beigemessene hohe strategische Stellenwert ließ die Militärtechnik zu einem Initiator von hard- und software-ergonomischen Bestrebungen in der Computertechnik werden, während entsprechende Ziviltechniken die Beeinträchtigungen der Benutzer durch eine unzureichende Gestaltung von Geräten und Benutzungsoberflächen vielfach noch länger in Kauf nahmen. Allerdings war die militärische Human-Factors-Forschung nicht primär auf Arbeitszufriedenheit bedacht, sondern vor allem auf eine Steigerung von Belastungsniveaus bzw. auf die Beherrschbarkeit komplexerer und riskanter Bedienungssysteme. Mit ihrem stark belastungsorientierten, behavioristischen Forschungsansatz kann sie daher nur bedingt als Vorläufer von wirklichen Humanisierungs-Bestrebungen angesehen werden.

Weitere technische Innovationen im SAGE-Projekt ergaben sich aus der großtechnischen Anlage des Systems. Das Problem des Zugriffs vieler Prozesse auf zentrale Ressourcen führte zu den *Anfängen des Time-sharing*.23) Schon in den mehr oder weniger wildwüchsig entstandenen frühen "computer centers" waren Probleme durch den Anschluß immer weiterer Endgeräte an die Zentraleinheit aufgetreten. Bei SAGE mußte nun aber der Zugang von bis

zu 100 Prozessen so effizient organisiert werden, daß der Realzeitcharakter des Systems nicht in Frage gestellt wurde. Time-sharing bedeutete im SAGE-System jedoch noch ausschließlich ein nachrichtentechnisches Konzept zur Bewältigung prozeßlogistischer Engpaßprobleme von Großrechnern und noch nicht, wie später in den 60er Jahren, ein integriertes Kommunikations-, Interaktions- und Organisationsmodell der Datenverarbeitung und -übertragung. Derartige Vorstellungen kamen den auf eine zentralistische Kommando- und Steuerungszentrale fixierten SAGE-Entwicklern auch noch nicht in den Blick.

Außerdem entstand aus den Schwierigkeiten bei der Bewältigung von Großprogrammen mit bis zu 100.000 Instruktionen eine *Vorform des Software-Engineering*. Herbert D. Benington und seine Arbeitsgruppe entwarfen ein 9-Phasen-Modell zur Abwicklung von "big-scale programming" - Aufgaben.**24)** Die gesamte Softwareentwicklung wurde in Anlehnung an die während des 2. Weltkrieges entstandenen Operations-Research-Methoden in strukturierte "program modules" aufgeteilt und mit Hilfe einer "top down system organization" zentral koordiniert und überwacht. Wie bei dem 1968/69 ebenfalls zuerst im militärischen Kontext diskutierten eigentlichen Software-Engineering führten ansatzweise auch im SAGE-Projekt die Bedingungen des militärischen Großvorhabens und nicht zuletzt der gravierende Mangel an ausgebildeten Programmierern zu einer ersten Herausbildung manufakturerer bzw. industrieller Produktionsstrukturen in der bis dahin noch weitgehend künstlerisch-handwerklichen Software-Herstellung.**25)**

Militärische Sicherheitsanforderungen begünstigten schließlich die Einführung fehlererkennender Codes in die Datenübertragung sowie den erstmaligen hot-stand-by-Betrieb eines Parallelrechners.**26)** Generell hatten Fragen der *Datensicherung* in militärischen Kommunikationsnetzen und Informationssystemen einen viel höheren Stellenwert als in der zivilen Datenfernübertragung und -verarbeitung, für die die meisten Sicherheitsvorkehrungen auch noch zu teuer waren. Erst seit dem Ende der 60er Jahre erlangten Datensicherungsmethoden in Rechenzentren von Unternehmen und zivilen Institutionen eine größere Verbreitung. Die ständige Sorge vor Lauschangriffen und Spionage ließ bei den Militärs auch früher als im zivilen Bereich ein Bewußtsein für die Verletzlichkeit von Computernetzen entstehen, so daß es bei ihnen bereits in den 60er Jahren zu intensiven Debatten über die "security and privacy in computer systems" kam.**27)** Militärische Sonderinteressen an einem maximalen Sicherheitsstandard der eigenen Daten machten die militärische Computerkommunikation im Hinblick auf Datenschutz und -sicherheit zu einem besonders gehegten Technikbereich.

Der Transfer von Netzwerkarchitekturen und Leitbildern

Die behandelten technischen Innovationen des SAGE-Projektes lassen zwar deutliche Prägungseinflüsse infolge der militärischen Genese erkennen. Doch gingen diese militärspezifischen Prägungen auf der Ebene der Teilkomponenten in der Regel nicht so tief, daß sie auch noch nach dem Transfer in zivile Umgebungen längere Zeit weiterwirkten. Im Gegenteil, Komponenten wie der Monitor und das Modem emanzipierten sich relativ rasch von ihrem militärischen Entstehungskontext. Dagegen wirkten die prägenden Einflüsse des militärischen Ursprungs auf der Ebene der Systemstruktur und Netzwerkarchitektur von Computernetzen viel tiefer und länger in den zivilen Anwendungszusammenhängen nach, nicht selten zu deren Nachteil. Denn in der ganz auf einen zentralen Computer ausgerichteten Sternnetz-Topologie und der als "master-slave"-Beziehung gestalteten Arbeitsteilung zwischen passiver Pheripherie und aktivem Zentrum waren implizit die damaligen militärischen Hierarchie- und Kommandostrukturen hard- und softwaremäßig abgebildet. Die Verallgemeinerung dieser militärorientierten soziotechnischen Architektur zum universalen Leitbild eines zentralen Überwachungs- und Steuerungsinstrumentes für die Verkehrslenkung und Logistik, für stoffliche und energetische Umwandlungsprozesse sowie für die Automation industrieller Fertigungsabläufe bewirkte einen unfreiwilligen Import militärischer Kommunikations- und Kontrollstrukturen in zivile, marktorientierte Umgebungen.

Die geringsten Probleme bereitete der Transfer des Central Command and Control-Leitbildes noch dort, wo die Strukturbedingungen relativ ähnlich waren, so bei der *zivilen Luftverkehrsüberwachung* und vergleichbaren logistischen Steuerungsaufgaben, wie sie etwa in Filial- und Vertriebsnetzen anfallen. Bereits die ersten Überlegungen Forresters aus dem Jahre 1948 für eine nicht-militärische Anwendung des Whirlwind-Rechners zur "centralized control of larger systems" konzentrierten sich vor allem auf die Flugverkehrssteuerung und die industrielle Prozeßführung. Doch wurde seine Erwartung einer sehr schnellen Realisierung von vollautomatischen "Air Traffic Control-Systems" sehr bald enttäuscht.²⁸⁾ Die Realzeitrechner konnten zwar Routineaufgaben der Fluglotsen wie die Kontrollstreifen-Verwaltung erleichtern. Bei der viel schwierigeren Verknüpfung von Kontrolldaten und Radarbild und erst recht bei der Entscheidungsfindung für die Staffelbildung zur Vermeidung von Kollisionen waren sie aber noch bis in die 80er Jahre hinein dem manuellen Flugsicherungsverfahren weit unterlegen. Die Bemühungen, mit der damaligen Prozeßrechenstechnik auch den wesentlich komplexeren Bahn- und Autoverkehr zentral zu lenken, scheiterten daher bereits im Ansatz oder kamen über Optimierungsrechnungen bzw. über die Koordination von Ampelsteuerungen nicht hinaus.²⁹⁾ Die zentrale "inventory control" bei großen Filial- und Vertriebsketten mit Hilfe von Online-Systemen funktionierte demgegenüber relativ gut, doch reichte hier die Stapelverarbeitung in den meisten Fällen aus.

Unerwartete Schwierigkeiten traten auch bei der zentralen *Prozeßführung von Energie- und Chemieanlagen* auf. Dabei hatte Forrester gerade in der Überwachung und Steuerung von Ölraffinerien, chemischen Verfahrensanlagen und vor allem Kraftwerken das bevorzugte Einsatzgebiet von "real-time control systems" nach SAGE-Vorbild gesehen.³⁰⁾ Der 1959 beginnende Einsatz von Prozeßrechnern in der Ölindustrie und Chemie führte anfangs zu empfindlichen Rückschlägen. In Kraftwerken wurden seit 1957 in den USA und seit 1964 in der Bundesrepublik Prozeßrechner nur für Off-line-Berechnungs- und Optimierungsaufgaben eingesetzt, während die eigentliche Blockführung noch den konventionellen Meß- und Regelanlagen überlassen blieb. Die vor allem in den USA unternommenen Versuche, Kraftwerke durch einen zentralen Prozeßrechner "top down" an- und abzufahren und zu regeln, gelangen zunächst nur bei Wasserkraftanlagen, während sie bei den ungleich komplexeren Dampfkraftwerken im ersten Anlauf stecken blieben. Es setzte sich schließlich unter Führung der Fa. Siemens eine stärker dezentrale Automatisierungslösung durch, die den gesamten Kraftwerksprozeß in eine mehrstufige Hierarchie von Automatisierungsebenen aufteilte und durch festverdrahtete Funktionsgruppen "bottom up" regelte.³¹⁾ Während die Anhänger der zentralistischen Rechnerlösung auf eine schnelle Datenmodellierung des als Automatenkette begriffenen Umwandlungsprozesses gehofft hatten, erkannten die eher traditionell an den konkreten Anwendungsprozessen orientierten Funktionsgruppen-Anhänger die Unmöglichkeit, bei einem so komplexen Aggregat wie einem Kraftwerk, alle denkbaren Situationen und Störfälle einer einzigen zentralen "black box" anzuvertrauen : "Das Gefühl für den Prozeß, das der gute Betriebsmann besitzt, läßt sich nur schwer in Form von Gleichungen ausdrücken." Anstelle der zentralistischen SAGE-Architektur wählten sie deshalb "ein hierarchisch aufgebautes elektronisches System, in dem viele Entscheidungen bereits in den Untergruppen gefällt werden können. Nur was in der untersten Ebene nicht entschieden werden kann, wird zur Entscheidung in die nächs thöhere Ebene verwiesen." ³²⁾ Die erfahrungsgelitete, schrittweise Automatisierungslösung in Stufen erwies sich gegenüber der abstrakten Datenmodellierung auf einen Streich als die erfolgreichere. Erst *nach* dem langwierigen Aufbau der Automatisierungsebenen-Hierarchie war an eine zentrale Prozeßführung überhaupt zu denken.

Auch die Fabrik wurde sehr bald als ein wichtiges Anwendungsfeld für die Realzeit-Prozeßrechner anvisiert. Der Präsident der Computerpionierfirma Borroughs, J. S. Coleman, entwarf bereits 1955 das Konzept, zentrale Computer für die "industrial process control" bzw. als "tools for management" einzusetzen : so, wie das Department of Defense (DoD) die Probleme von militärischer Logistik und Luftraumüberwachung mit Online-Rechnern gelöst hätte, so sollte auch das Management in der Fabrik per Zentralrechner den Überblick über das Gesamtgeschehen behalten und dann jederzeit steuernd eingreifen können. Coleman glaubte sogar,

daß Realzeitrechner à la SAGE eine neue Stufe des "scientific management" einleiten würden.**33)** Forrester griff diese Vorstellungen eines computergestützten Taylorismus auf und erweiterte sie sogar noch. Er hoffte, daß eine allgemeine Anwendung des SAGE-Ansatzes aus den bisher informellen Informationskanälen "controlled and orderly information links" machte und der Betrieb so endlich zu einem nicht mehr von der Intuition und Erfahrung der Beschäftigten abhängigen, ingenieurmäßig kontrollierbaren und steuerbaren System werden könnte.**34)** Die im militärischen Bereich auf extreme Weise durchgesetzte technokratische Vision einer "total system control" sollte nun auch, nach der Demonstration ihrer Machbarkeit und Wirksamkeit im Großmaßstab, in Industrie und Wirtschaft als ein Management und Engineering integrierendes "enterprise engineering" realisiert werden.

Aus diesem, um 1955 einsetzenden Leitbildtransfer ging eine Fülle von Plänen und Konzepten für die zentralistische *Fabriküberwachung und -steuerung* hervor. Ob unter der Bezeichnung "realtime factory control" oder "computer-based management control" oder unter dem Namen "controlled plant information", alle versprachen eine automatische Datengenerierung vor Ort und eine ebenso automatische Datensammlung und -auswertung im Zentralcomputer.**35)** Infolge der massiven Schwierigkeiten bei der Einlösung dieser Versprechen verschoben sich die Akzente aber sehr bald von der Fabriksteuerung zur Information des Managements und zur Unterstützung des "decision-making". In unmittelbarer Berufung auf die SAGE-Entwickler, die bei der ersten öffentlichen Demonstration 1957 ihr System nicht nur als "real-time-control system" sondern bereits als "real-time-management information system" bezeichnet hatten, entstanden bei IBM, Hughes Aircraft und anderen Großunternehmen des militärindustriellen Komplexes um 1960 die ersten **Management-Information-Systeme** - für kommerzielle Anwendungen.**36)** In Anlehnung an die "total systems view" des militärischen Vorbildes zielten diese Entwicklungen bald auf das "Totale MIS", das mit Hilfe der Systemanalyse und quantitativer Modelle das gesamte dynamische Verhalten industrieller und betrieblicher Prozesse zu erfassen trachtete.**37)** Als wesentlichen Bestandteil sahen diese integrierten Systeme bereits zentrale "personnel information systems" vor, die ihrerseits auf ältere, ebenfalls zuerst im militärischen Bereich entwickelten Personaldaten-Zentralregister-Konzepte zurückgingen.**38)** Alle diese frühen MIS-Ansätze scheiterten jedoch im ersten Ansatz. Einmal, weil die notwendigen technischen Voraussetzungen dafür fehlten, nämlich ausgereifte Datenbanksysteme, benutzerfreundliche Abfragesprachen und eine Aufbereitung der Datenbasis, vor allem aber, weil ein für die Sammlung, Aufbereitung und Auswertung von Radarbildern und Flugbahndaten geschaffenes Informationssystem ein völlig inadäquates Vorbild für die komplexen Arbeits-, Kommunikations- und Entscheidungsprozesse eines Betriebes war.

Ebenso wenig wie zum "scientific logical industrial management" auf der Basis zentraler On-line-Computer **39)** kam es zur *Prozeßrechner-gesteuerten Fabrik*. Die Heterogenität und Komplexität der Fertigungsprozesse war durch zentrale Prozeßrechner nicht beherrschbar. Wie in den Kraftwerken setzten sich auch zunächst dezentral-hierarchische Automatisierungsansätze durch, die anfangs mit festverdrahteten bzw. verbindungsprogrammierten Steuerungen, dann vor allem mit speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) realisiert wurden. Die SPS-Technik wurde 1968 von Richard Morley unter Rückgriff auf konventionelle Relaissteuerungen als bewußtes Gegenmodell zu der Überpendelung der zentralen Prozeßrechnersteuerung in der SAGE-Nachfolge entworfen.**40)** Diese zivile Strong-and-simple-Lösung mit ihren entscheidenden Gestaltungskriterien der Modularität, Robustheit, Billigkeit und der an unterschiedliche Nutzergruppen anpaßbaren Programmiermethodik wurde bis zur Gegenwart eine unerwartet erfolgreiche Automatisierungstechnik. Allerdings ging die Marktführung seit den späten 70er Jahren vom Pionierland auf Deutschland über, das infolge seiner Maschinenbauorientierung noch heute der größte Einzelmarkt ist.**41)** Erst auf Grundlage von SPS und nach dem Aufbau hierarchischer Stufenkonzepte sowie dem Einzug von Minicomputern in die Prozeßrechartechnik konnten Prozeßrechner auch begrenzte Steuerungsfunktionen in der Fabrik übernehmen. Doch wurde und wird ihre Ausbreitung bis zur Gegenwart durch "überdurchschnittliche Software-Komplexitäts- und -Zuverlässigkeitsprobleme" gebremst.**42)** Entgegen den Erwartungen Forresters und anderer Informationssystem-Entwickler der Zeit wurden "real-time control systems" nicht bereits ab 1960 der allgemeine Standard der EDV und DFÜ, sondern sie blieben ein Spezialbereich, der erst Mitte der 70er Jahre ein stärkeres Gewicht erlangte.**43)**

Die hier skizzierte Leitbildkette läßt erkennen, daß das Muster des im Großmaßstab realisierten Central Command and Control Systems in immer komplexere zivile Anwendungsbereiche transferiert wurde. Der spezielle militärische Verwendungszweck des Vorbildes ging dabei mehr und mehr aus dem Blick, ja es wurde so verallgemeinert, daß man unter Informationssystemen generell "vast computer systems under centralized control" bzw. "networks consisting of the central computer function and its remote or slave functions" verstand.**44)** Computer schienen ,wie es das Leitthema der AFIPS-Konferenz vom Dezember 1961 signalisierte, "the Key to Total Systems Control" in fast allen Bereichen von Technik, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zu sein. Ähnlich, wie es Noble anhand der Werkzeugmaschinensteuerung und der industriellen Automatisierung gezeigt hat, verstärkten sich aufgrund der militärischen Genese auch bei der Computerkommunikation die Kontroll- und Herrschaftsperspektive der Leitenden mit technokratisch-kybernetischen Denkweisen von Entwicklern und Konstrukteuren dieser Systeme. Daraus resultierten verkürzte Logistik-Konzepte, denen es allein um die effiziente Lenkung von Stoff-, Energie- und Informationsflüssen ging und die dabei die

Komplexität der konkreten Kommunikations- und Verarbeitungsprozesse verkannten. Diese vom SAGE-Vorbild ausgehende Unterschätzung der Komplexität großer Informationssysteme, die generelle Ausrichtung der Perspektive von System-Designern auf zentralistische Großsysteme, auf die "total system's view" und Alles-auf-einen-Streich-Lösungen, waren vielleicht die problematischste Konsequenz des militärisch-zivilen Technologietransfers in der ersten Phase der Computerkommunikation. Jedenfalls lassen sich in der SAGE-Nachfolge eine ganze Reihe von Fehlschlägen, problematischen System-gestaltungen und sehr langwierigen Implementationen bei zentralistischen Rechnernetzen und Informationssystemen ausmachen.

Die Krise des Central Command and Control-Systems

Sehr bald stellte sich SAGE selbst als eine extrem aufwendige Fehlentwicklung heraus. Nach seiner über 14-jährigen Entwicklungszeit war das 10 bzw. 20 Mrd. DM teure, überdimensionierte System infolge des Aufkommens von Interkontinentalraketen vom Einsatzzweck her obsolet, von seiner technologischen Basis her (Verwendung von Röhren) überholt und von seinen nachrichtentechnischen Eigenschaften her völlig unzureichend **45**): bei einer stärkeren Belastung der Vermittlungsknoten des Durchschaltenetzes war eine Selbstblockierung möglich, bei der extrem zentralistischen Netztopologie drohte bei einem Ausfall oder der Zerstörung zentraler Systemteile sogar der Zusammenbruch des gesamten Netzes. Die aus dem Boden gestampfte Hardware war teilweise so anfällig und die Software so komplex und fehlerhaft, "that many SAGE sites are not exercising their equipments from one inspection to the next, that some have even cellophane overlay over their scopes <...>**46**) Diese weitreichenden Systemmängel und die in der Praxis oft geringe Verfügbarkeit erzwangen schließlich eine parallele Weiterführung des alten "manual system" sowie die Schaffung eines zusätzlichen Netzes kleinerer, weniger anfälliger "control centers" (Back-Up Interceptor Control, BUIC).

Als während der ersten Bewährungsprobe in der Cuba-Krise von 1962 das Luftüberwachungssystem nur sehr unzureichend funktionierte **47**), trat die Kritik auch nach außen: auf der 1964er Frühjahrstagung der amerikanischen Computerwissenschaftler wurde das Versagen der Central Command and Control-Technologie in aller Öffentlichkeit erörtert. Die scharfsichtigste Analyse stammte dabei von Frederick B. Thompson, einem Forschungsmanager der General Electric Co. Er legte dar, daß das Scheitern von SAGE nicht nur auf die allgemeinen Strukturprobleme der "non-profit ivory towers" und der "administrative labyrinths" der Militärforschung zurückzuführen sei, sondern in erster Linie aus dem zugrundeliegenden zentralistisch-hierarchischen Kommunikations- und Entscheidungsmodell resul-

tierte: dieses habe den komplexen kommunikativen und organisatorischen Kontext von Arbeits- und Entscheidungsprozessen vor Ort unterschätzt und zerstört. Anstatt dieses fragwürdige Modell weiterhin als "generally accepted prototype" für die Automation zu betrachten, müßte "a very different kind of system than the great data systems and automated control systems" die kontextgebundenen Entscheidungen wieder dezentralisieren und aus Computern künftig "tools of the staff" werden lassen.⁴⁸⁾ Noch ehe das SAGE-Projekt endgültig abgeschlossen war, setzten mit diesem und ähnlichen Plädoyers für eine abteilungsbezogene Werkzeug-Perspektive in der Datenfernverarbeitung zu Beginn der 60er Jahre bereits die Bemühungen um eine Revision des zentralistischen Großinformationssystem-Leitbildes ein.

3. Die Durchbruchphase der Computerkommunikation im Zeichen von "Large Central Time-Sharing-Systemen"

Anknüpfungspunkte für eine Überwindung der Systemmängel der frühen militärorientierten Computerkommunikation boten nicht zuletzt die recht erfolgreichen Reservierungssysteme der zivilen Fluggesellschaften und andere zivile computergestützte Auskunft- und Clearing-Zentralen, die parallel zu den militärischen Großprojekten aus der Lochkartentechnik entstanden waren. Auch sie wiesen eine zentralistische Struktur auf, jedoch war das Zentrum bei ihnen passiv, es diente im wesentlichen als Server für die aktiven dezentralen Abfragestationen. Technisch waren die *Flugreservierungssysteme* gegenüber SAGE viel einfacher aufgebaut: die Terminals bestanden im wesentlichen aus Fernschreibern, "matrix cards"-Apparaten auf Lochkartenbasis oder speziellen elektromechanischen Formularlesegeräten, die jeweils per analoger Datenleitung mit einem zentralen Magnettrommel- oder Kernspeicher verbunden wurden.⁴⁹⁾ Durch ihre Anknüpfung an die traditionellen Arbeitsprozesse und Arbeitsmittel der Buchungsbüros erzielten diese Reservierungssysteme sehr bald eine hohe Akzeptanz, denn sie ermöglichten dem angestammten Personal, ohne spezielle DV-Kenntnisse einen sofort durchschaubaren Dialog mit dem zentralen Computer. Allerdings waren diese Systeme meist teure Sonderanfertigungen mit einem technisch bedingt sehr langsamen Antwortverhalten.

In die Richtung einfacher, interaktiver Abfrage- und Dialogsysteme auf einem verbesserten technischen Niveau gingen dann auch die Überlegungen jener kritischen Informationssystem-Designer, die nach einer Alternative zu den wenig nutzerfreundlichen halbautomatischen Central Command and Control Systems Ausschau hielten. Der einflußreichste unter ihnen, John C.R. Licklider, entwickelte 1960 im Auftrag der Behavioral Sciences Division der U.S. Air Force als neues "paradigm" der Computerkommunikation die "Man-Computer-

Symbiosis". Am Beginn stand eine schonungslose Analyse der frühen militärischen Systeme : "*<...> the SAGE System, the pioneer among computerized military systems, is ^computer.centered^<...> and that fact has had a strong influence upon man-computer interaction in military contexts. The computers and their programs have tended to dominate and control the patterns of activity. The scope for human initiative has not been great. Men have been assigned tasks that proved difficult to automate more often than tasks at which they are particularly adept.*" **50)** Während die bisherigen "large computer-centered information and control systems" die Benutzer lediglich als "humanly extended machines" eingesetzt hätten, sollten seiner Meinung nach künftige Mensch-Maschine-Systeme partnerschaftlichen Charakter haben und wirkliches gemeinsames Problemlösen erlauben : an die Stelle der üblichen Übertragung der nicht automatisierbaren Restaufgaben auf den Menschen, zielte die "symbiotic relation between a man and a fast information-retrieval and data processing machine" auf eine "*cooperative interaction*", die menschliche Denkprozesse unmittelbar unterstützt. Die massiven konzeptionellen Probleme der ersten Phase der Computerkommunikation führten also dazu, daß kritische Modernisierer des militär-industriellen Komplexes selbst die technische Grundlage für die nächste Phase legten.

Die Angst vor einem atomaren Pearl Harbor verschaffte den Kritikern der etablierten zentralistischen Command and Control-Philosophie nicht nur Gehör, sondern auch Finanzmittel. Dabei wurde die 1958 nach dem Sputnik-Schock geschaffene ARPA- bzw. DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) unter Licklider und Robert Taylor die entscheidende Koordinationsstelle. Die DARPA-Behörde ist noch heute das wichtigste Lenkungsgremium für militärische F & E-Förderung. In diesem Kreis um Licklider wurden auch die neuen Leitbilder für die Netzarchitektur und die Computerkommunikation formuliert, nämlich das auch unter extremen Bedingungen überlebensfähige, robuste Computernetz (survivable network) mit einer langfristig integrierten Daten-, Text-, Bild- und Sprachkommunikation sowie das Time-sharing-System als "thinking-center"**51)**, auf das die Benutzer selbst mit bedienungsfreundlichen, inter-aktiven Terminals zugreifen können. Die nach 1960 einsetzende Durchbruchphase der Computerkommunikation beseitigte dann im folgenden Jahrzehnt auch wesentliche Konstruktionsmängel und immanente Engpässe des Grundkonzeptes der 50er Jahre und zwar durch folgende Entwicklungsschwerpunkte :

- die Herstellung wirklicher Interaktivität mit Hilfe des Teilnehmerbetriebes
- eine durchgängige Digitalisierung zur Harmonisierung von Daten- und Kommunikationstechnik
- eine stärker verteilte Netzwerkarchitektur auf Basis der Paketvermittlung sowie Ansätze für eine digitale Integration verschiedener Netze und Dienste.

Die Entwicklung ziviler Benutzungsoberflächen, Metaphern und Leitbilder

Der erste Entwicklungsschwerpunkt, der sich aus dem ARPA-Gesamtprogramm ergab, war die *Entmilitarisierung der Mensch-Maschine-Kommunikation* bzw. der Benutzungsoberfläche. Das offensichtliche Mißverhältnis zwischen der Leistungsfähigkeit digitaler Rechenanlagen und der starren Organisation des Batchbetriebes veranlaßte bereits 1958/59 Christopher Strachey in England und John McCarthy vom MIT zu ersten Prinziplösungen für ein interaktives Programmieren und Debugging im Vielfachzugriff auf den Zentralrechner.⁵²⁾ Die weitergehenden Überlegungen Lickliders ließen ab 1960 dann aus dem Instrument für Programmierer und Programmtester das allgemeine Leitbild des *interaktiven Realzeit-Teilnehmerbetriebes* entstehen, in dem zentrale Computer als stets verfügbare Hilfsmittel für dezentrale Informationsarbeiten und Auskunftswünsche fungieren. Die gewaltige Aufgabe, die gesamte Rechnerarchitektur und Software auf den Time-Sharing-Betrieb umzustellen, wurde vor allem durch zwei von Licklider initiierte und hauptsächlich von der DARPA und anderen militärischen Stellen finanzierte Großprojekte am MIT übernommen : das von Robert Fano und Fernando Corbató geleitete MAC-Projekt von 1962-75, das die grundlegende Lösung des **Multiple-Access-Computer** erarbeitete, sowie das zusammen mit Bell durchgeführte MULTICS-Projekt von 1963/65 - 1972, das das Time-Sharing-System in kommunikationstechnischer Hinsicht durchgestaltete.⁵³⁾ Nachdem die anfängliche, noch ganz in militärisch-technokratischer Tradition stehende Konzeption einer strikten Benutzerführung, bei der das "klügere System" dem Benutzer die Fragen stellt, fallengelassen worden war, entstanden die ersten Ansätze einer benutzerfreundlichen Dialoggestaltung mit Selbsterklärungsfähigkeit, Help-Funktionen und menschengemäßigem Antwortverhalten, die bald zum Standard des Teilnehmerbetriebes gehörten. Die aufwendigen MIT-Projekte bewirkten "a fundamental reorientation of computing around man-machine-interaction" ⁵⁴⁾: der rigide Batch-Betrieb der Rechenzentren wurde zurückgedrängt, die Arbeitsteilung zwischen Zentrale und Peripherie wurde umgewichtet, so daß der Nutzer nicht mehr nur als Erfassungsinstrument des "Elektronengehirns" diente. Den damaligen Wandel in der Mensch-Maschine-Kommunikation charakterisierte Karl Ganzhorn 1965 als " Weiche Welle": "In den Beziehungen zwischen den Menschen und ihren Maschinen ist, wenn nicht alles täuscht, eine Entspannung eingetreten, die sich wohltuend von der Verbissenheit der letzten Jahre abhebt. War noch bis vor kurzem der harte, militärische Jargon gang und gäbe in diesen Beziehungen (die sich dementsprechend in bloßen Befehlen und Vollzugsmeldungen ausdrückten), so sind heute gepflegtere Umgangsformen zu beobachten." ⁵⁵⁾

Diese Entmilitarisierung der Mensch-Computer-Interaktion schlug sich auch in den den Anwendungskonzepten und Systemarchitekturen zugrundegelegten *Metaphern* nieder. An die

Stelle des Kontrollraums und der Überwachungs- bzw. Befehlszentrale des Central Command and Control-Systems traten die zivile Metapher der Bibliothek und vor allem das 1961 von McCarthy formulierte "computer utility model": Wie eine öffentliche Bibliothek stellt das Rechenzentrum dem Nutzer Programme und Informationen bereit, wie Kraft- oder Gaswerke versorgen Informations- und Dokumentationszentren die Allgemeinheit über Dialogstationen oder gar über "Home Terminals" mit gespeichertem Wissen.⁵⁶⁾ Bereits im Rahmen des MAC-Projektes tauchte auch die Metapher der Elektronischen Post auf, bei der der persönliche Nachrichtenaustausch über Elektronische Briefkästen in der Time-sharing-Zentrale läuft. Eine praktische Bedeutung erlangte Electronic Mail jedoch erst, nachdem Lawrence G. Roberts als erster 1970 im ARPANET ein reguläres Mailbox-Programm eingerichtet hatte. Im selben Jahr entwickelten Murray Turoff und Starr Roxanne Hiltz aus dem Teilnehmerbetriebsmodell von ARPANET und MAC auch das erste Computer Conferencing-System. Anfangs als Instrument für militärische Entscheidungen und für das Krisenmanagement bei landesweiten Streiks, Unruhen oder Katastrophen gedacht, wurde es bald als ein überregionales Management-Informationssystem und politisches Entscheidungsforum („Electronic Townhall“) propagiert. Schließlich sollten „Electronic Meetings“ ein alltägliches Medium der Individualkommunikation werden. Doch die hohen Erwartungen in dieses Spin-off-Produkt wurden schwer enttäuscht, die Konferenzmetapher war bei Führungskräften und erst recht bei der Allgemeinheit wesentlich weniger erfolgreich als der Mailbox-Ansatz mit seinen weitaus höheren kommunikativen Qualitäten.⁵⁷⁾

Die "information pools" und die Utility-Konzepte wurden in der Folgezeit Ausgangspunkt weiterer wirkungsmächtiger Produktphantasien, Visionen und Leitbilder. Ähnlich wie beim SAGE-System läßt sich auch hier eine Leitbildkette feststellen. Nach der Realisierung des Teilnehmerbetriebes im Großmaßstab schossen vor allem informationstechnische Großnetzvisionen wie "Network Communities", "Wired Society" und "Network Nation" regelrecht aus dem Boden. Man kann direkt von einer SAGE-Renaissance auf der Basis des Time-sharing sprechen. So schlug etwa der ITT-Forschungsmanager J.W. Halina vor, das gesamte Spezialwissen eines Gebietes jeweils in wenigen, automatisch arbeitenden Informations- und Auswertezentren zentral zu speichern: "Das Ganze stellt eine Art Anpassung der Grundidee von SAGE auf die riesige und bislang chaotische Welt der Information dar." Als Fernziel tauchte bereits eine Vernetzung aller Rechenzentren und Teilnehmerstationen zu einem einzigen "giant computer system" auf. Die Autoren dieser Konzepte wie Licklider, James Martin, Robert Fano, Harold Sackman und Alec Reeves kamen nicht selten aus jenen militärischen und zivilen Großforschungseinrichtungen, die die neue Basis für eine vernetzte Rechnerwelt gelegt hatten.⁵⁸⁾ Auch ihre Leitbilder und Anwendungskonzepte, die sie nach der Beseitigung der Mängel und Probleme der allzu militärisch-technokratischen Computerkommunika-

tion der 50er Jahre dem zivilen Bereich erneut anboten, ließen noch deutlich die Herkunft aus der militärischen Großforschung erkennen, sei es in der weiterhin dominanten Orientierung auf Großrechenzentren und Großorganisationen, auf zentralistische, hierarchisch-verteilte Systemarchitekturen, in denen Ansätze für ein "local" bzw. "distributed personal computing" keinen Platz hatten, sei es in dem unerschütterlichen Glauben an eine schnelle Realisierung von bahnbrechenden Lösungen der Künstlichen Intelligenz für die Mensch-Maschine-Kommunikation wie etwa automatische Schrift- und Spracherkennung, Übersetzung und allgemeines Problemlösen. **59)**

Die Entwicklung von EDV-spezifischen Netztechniken und -architekturen

Der zweite Entwicklungsschwerpunkt war die Digitalisierung der Computer-Kommunikation. Der Übergang zur *Pulse Code Modulation (PCM)* für die Digitalisierung aller Analogsignale sollte das bisherige Mißverhältnis zwischen digitaler Datenverarbeitung und analoger Übertragungs- und Vermittlungstechnik beseitigen. Die PCM-Technik war nach Vorläufern in den 20er und 30er Jahren 1937 von Alec H.Reeves in den Pariser ITT-Laboratorien vor allem im Hinblick auf die militärische Funkübertragung entwickelt worden.**60)** Wegen der noch fehlenden leistungsfähigen Bauelemente hatte die Erfindung zunächst keine praktische Bedeutung, nur das Militär konnte sich die teuren Versuchssysteme leisten. Das starke militärische Interesse an PCM als Verschlüsselungstechnik hemmte anfangs auch den Transfer in zivile Anwendungen, doch war das Bauelementeproblem bis ca. 1954/55 das entscheidende Hindernis für eine breitere Anwendung der PCM. Die dann seit 1952 auf Transistorbasis im Bell-Lab unternommenen Entwicklungsarbeiten mündeten 1962 in den regulären Einsatz von digitalen Vermittlungsnetzen (Electronic Switching Systems,ESS) sowie von PCM-Multiplexsystemen in überlasteten großstädtischen Telefonnetzen. Für den militärischen Bereich wurde eine "survivable" Version mit höherem Sicherheitsstandard entwickelt, das 1959-63 errichtete "Automatic Voice Network" (AUTOVON).**61)** Während bei der Digitalisierung von Sprachdiensten militärische und zivile F&E parallel liefen, war die um 1960 beginnende Entwicklung der digitalen Datenübertragung überwiegend militärisch orientiert. Hier sollte die durchgängige Digitalisierung Verschlüsselungsmöglichkeiten, Beschleunigung und vor allem die Beseitigung des Engpaßfaktors Modem bringen. Erstes Ergebnis war das 1963 von der Western Union geschaffene AUTODIN, ein allerdings noch recht langsames und sehr teures Speichervermittlungsnetz für die Telex- und Datenübertragung des Pentagon. Durch das spätere ARPANET-Projekt wurde dann mit der dort erreichten Übertragungsgeschwindigkeit von 50 kBit/s der Vorsprung der militärischen DFÜ gegenüber der zivilen erheblich ausgebaut. Auch in der Folgezeit blieben maximale Übertragungsraten eines der cha-

rakteristischen Entwicklungsziele der militärischen Datennetze, wie es heute vor allem in der massiven DARPA-Förderung für die Gigabitnetze zum Ausdruck kommt.**62)**

Der dritte Schwerpunkt zielte auf eine dezentrale bzw. verteilte Netzwerkarchitektur, die die Ausfall- und Selbstblockierungsgefahr zentral vermittelter Durchschaltenetze des traditionellen Fernmeldewesens, auf denen auch das SAGE-System noch basierte, beseitigen sollte. Der Zwang zu einer neuen Netzarchitektur wurde durch das Aufkommen des Time-sharing noch verschärft, da die kurzen Übertragungsstöße des interaktiven Datenverkehrs die Wählleitungen überproportional beanspruchten. Bereits 1961 begannen in der Air Force-eigenen RAND-Corporation Forschungsarbeiten über "the use of redundancy as one means of building communications to withstand heavy attacks". Im Rahmen dieses RAND-Projektes er fand Paul Baran nach gründlichen netztopologischen Studien 1962 als erster die *Paketvermittlungstechnik*.**63)** Er ersetzte die zentrale Vermittlungsstelle und die durchgeschalteten Verbindungen durch eine verteilte Speichervermittlung ("hot-potato-Prinzip"). Dabei wird jede Nachricht mit einer Adresse versehen und von Netzknoten zu Netzknoten weitergeben. Um den Durchsatz zu steigern, teilte Baran die ganze Nachricht noch in kurze Blöcke auf. Er hoffte, mit diesem Prinzip der später Pakete genannten "standard message blocks" auch Sprache übertragen zu können und so zu einem "All-digital distributed system" zu gelangen. Eine Kombination von Kabel-, Richtfunk-, Mobilfunk- und Satelliten-Kanälen sollte schließlich absolute Übertragungssicherheit bieten. Das hochredundante Systemdesign war insgesamt als Nachweis gedacht, "that highly survivable system structures can be built, even in the thermo-nuclear era".**64)** Dieses Worst-case-Design war jedoch für das zivile Fernmeldewesen der Zeit völlig hypertroph, es überstieg sogar die technischen und ökonomischen Möglichkeiten des DoD. Baran's erstaunlich frühes Konzept eines diensteintegrierenden, schmalbandigen Digitalnetzes (ISDN) auf Paketbasis scheiterte zudem an der schlechten Sprachübertragungsqualität. Erst die seit 1983 erzielte höhere Geschwindigkeit des Fast Packet Switching überwand die Probleme der asynchronen digitalen Sprachübertragung. Seitdem wurde die breitbandige Dienstintegration auf Paketbasis wieder ein zentrales F & E - Ziel der Militärs. Bis zur Mitte der 80er Jahre entwickelten sich Paketnetz- und ISDN-Technologie aber getrennt.

Da das Nebeneinander von Sprach- und Datennetzen im militärischen Einsatz besonders lästig war, engagierten sich die Militärs auch sehr stark bei synchronen *ISDN-Versuchsnetzen*, so die US-Army ab 1962/63 im UNICOM-Projekt und wenig später auch das französische Heer im RITA-Netz.**65)** Der Einsatz von Glasfasern zur Ausschaltung der Gefahr eines Elektromagnetischen Pulses (EMP) spielte jedoch, entgegen Eurichs Annahme, beim Einstieg der Militärs und der Telekom-Gesellschaften in die ISDN-Technik noch keine Rolle, da Licht-

wellenleiter erst ab 1970 das erforderliche Dämpfungsverhalten und erst Ende der 70er Jahre die

ausreichende Wirtschaftlichkeit aufwiesen. Insgesamt hatte auch beim ISDN die militärische F&E-Förderung eher eine Anschubfunktion, während die eigentliche Entwicklung und Standardisierung seit Mitte der 70er Jahre überwiegend im Umfeld der zivilen Netzbetreiber erfolgte. Die von dem CCITT zwischen 1976 und 1984 beschlossene Netzarchitektur war mit ihrem separaten Steuerkanal und dem Verzicht auf besondere Sicherheits- und Netzmanagementdienste ganz auf die Rationalisierung und Erweiterung des zivilen Fernmeldenetzbetriebes ausgerichtet und wich daher auch beträchtlich von den Strukturen digitaler Datennetze im militärischen Bereich ab.

Die Baran'sche Idee der Paketdatentechnik wurde nach anfangs heftigen Widerständen der Militärs und zivilen Nachrichtentechniker 1965 am MIT aufgegriffen und in dem 1967 - 1973 laufenden Großprojekt des ARPANET erstmals großtechnisch realisiert. Das ARPANET war ein Hochschulen, militärische und zivile Forschungsinstitute und die NASA verbindendes Großforschungs- bzw. Militärforschungsnetz, das 1967 konzipiert wurde und 1969 in Betrieb ging. **66)** Der Leitgedanke der vor allem von Lawrence G. Roberts entworfenen Hostrechner-Netzarchitektur mit dezentraler Steuerung war das *Resource-Sharing*. Dieses Prinzip des Betriebsmittelverbundes einschließlich des Last-, Daten- und Funktionsverbundes sollte nicht nur die Ausfallprobleme zentralistischer Netze oder isolierter Rechenzentren überwinden, sondern auch ein entscheidendes Dilemma der militärischen EDV beseitigen: die fehlende Vernetzung der Standorte machte jeweils eine "duplication of resources" notwendig und ließ aus Kostengründen nur eine Hard- und Software-Ausstattung auf mittlerem Niveau zu. Ein möglichst großräumiges Computernetz sollte eine Arbeitsteilung größerer und stärker spezialisierter Systeme und damit wieder den Einsatz von Spitzen- und Hochleistungstechnik erlauben. **67)** Schon vom Ansatz her wurde das ARPANET so als Lösungsmuster für weiträumig agierende Institutionen und Unternehmen konzipiert. In der tatsächlichen Nutzung des Militärforschungsnetzes stand jedoch nicht der erwartete weiträumige Last- und Ressourcenverbund im Mittelpunkt, sondern, sehr zur Verwunderung der ARPANET-Konstrukteure und -Betreiber, der von Roberts lediglich als ein Zusatzdienst konzipierte Mailbox-Dienst.

Der anvisierte Großmaßstab eines weltweiten Netzes unzähliger Hosts schuf zusammen mit der reichlichen Finanzierung durch das Pentagon hier die Gelegenheit, sehr viele *technische und theoretische Grundlagenprobleme* einer volldigitalen, softwaregesteuerten Vernetzung von Großrechnern zu lösen, so die Warteschlangen-Effekte (Queueing theory), die Leitwegesteuerung (Routing) und die Korrektur von Übertragungsfehlern. Auf der Grundlage der Gra-

phentheorie, der Informationstheorie und des Operations Research entstand hier auch eine allgemeine system-theoretische Netzwerkanalyse, die, ausgehend von den militärisch-logistischen Kalkülen für gesicherte Datenübertragungen, zu einem allgemeinen mathematischen Modell von Informations-, Energie- und Transportnetzen gelangte.⁶⁸) Unter Rückgriff auf Methoden der in der zweiten Hälfte der 60er Jahre entstandenen, strukturierten Programmierung und des Software-Engineerings wurde auch im ARPANET zuerst ein *Schichtenmodell* entworfen, das den gesamten Kommunikationsvorgang hierarchisch in untere, stärker transport- und verbindungsorientierte und höhere, stärker anwendungsbezogene Protokolle aufgliederte. Dieses Ebenenkonzept wurde von dem damals führenden europäischen Paketvermittlungs-Projekten, dem MARK II-Netz des National Physical Laboratory in Teddington und dem französischen Forschungsnetz "CYCLADES" weiterentwickelt und von IBM in der bekannten Systems Networks Architecture (1974) perfektioniert ⁶⁹). Diese Strukturierungs-Bestrebungen mündeten schließlich in dem von 1977-1983 vor allem in europäischen Normungsgremien erarbeiteten und von der ISO standardisierten 7-Schichten-Modell für die "offene Kommunikation" (OSI-Referenzmodell), das heute die Normungsgrundlage der gesamten Telematik und Computerkommunikation geworden ist. Auch in diesem "layered approach" ist die von Michael Mahoney beim Software-Engineering analysierte Übertragung von Vorstellungen wiederverwendbarer Bausteine und hierarchischer Arbeitsteilung in Softwarestrukturen zu beobachten. Wie in Fords Fließbandmodell erfüllt dabei jede Schicht ein bestimmtes Aufgabenpaket und reicht dann die mit zusätzlichen Steuer- und Protokolldaten versehene Nachricht an die nächste Schicht weiter. Im Unterschied zum Software-Engineering, das die Arbeitsabläufe von Software-Entwicklern konkret strukturiert und organisiert, haben Fließband und Austauschbau im Schichtenmodell aber lediglich metaphorischen Charakter, der für den Benutzer einer transparenten Datenübermittlung kaum noch von Bedeutung ist. Selbst die bei einfachen Anwendungen oft störende höhere Komplexität der OSI-Protokolle, eine Folge der einstigen Ausrichtung des Modells auf die Großrechner-Kommunikation, verschwindet im Zuge seiner allgemeinen Durchsetzung schließlich in Chip-Lösungen. Aus den Prägungen durch den Entstehungskontext kann also, zumal bei Informations- und Kommunikationstechniken, nicht automatisch auf entsprechende Prägungen im Anwendungszusammenhang geschlossen werden.

Das Paketvermittlungs-Prinzip und das Ebenenmodell der digitalen Kommunikation sind zwar zuerst in der militärischen Großforschung entstanden. Die parallel oder in unmittelbarer Folge zum ARPANET laufenden Entwicklungsaktivitäten an zivilen britischen und französischen Forschungszentren zeigen aber, daß sie höchstwahrscheinlich mit gewisser Verzögerung auch unter rein zivilen Anforderungen entstanden wären. Die Genese im militärisch-industriellen Kontext der USA führte jedoch von Beginn an zu Besonderheiten im Entwick-

lungsstil und bei der Gestaltung. Die stärkere Betonung militärisch-strategischer Gesichtspunkte schlug sich bei den DARPA-Projekten in einer systematischeren Vorgehensweise und Grundlagenforschungs-Orientierung nieder. Sie beeinflusste auch die konkrete *Ausgestaltung* der Netzarchitektur : die amerikanischen Paketnetze nach dem ARPANET-Muster entsprachen mit ihrem verbindungs-losen Datagramm-Prinzip auf den unteren Ebenen noch viel stärker den militärischen Anforderungen an ein "survivable network" mit den vorrangigen Leitzielen Robustheit, Datensicherheit und Verfügbarkeit auch unter extremen Bedingungen. AT&T und die europäischen Telekom-Gesellschaften waren demgegenüber bei ihren Paketnetzen vor allem an einer besseren Ökonomie der teuren Fernmeldeleitungen und an möglichst geringen Betriebskosten interessiert und suchten deshalb nach einem Vermittlungsprinzip, das die Vorteile des verbindungslosen "Packet switching" und des verbindungsorientierten "Circuit switching" kombinierte. Sie übernahmen daher sehr bald das 1971 von A.G. Fraser bei den Bell-Laboratories entwickelte virtuelle Schaltkreisprinzip, das durch den Aufbau einer *logischen* Verbindung zwischen den Endpunkten den großen Overhead reiner Datagramm-Netze - jedes Paket muß dort mit voller Adresse versehen werden - vermied und zugleich den hohen Routing-Aufwand reduzierte.⁷⁰) In den öffentlichen Paketdatennetzen setzte sich damit ein Kompromiß zwischen der Durchschaltephilosophie des traditionellen Fernmeldewesens und dem neuen Paketvermittlungsprinzip durch, der aber mit den verbindungslosen Militär- und Großforschungnetzen nicht mehr kompatibel war. Dieses zivile Redesign hatte also zur Folge, daß, zum großen Bedauern der U.S. Militärs, die Computerkommunikation in unterschiedliche Protokollwelten zerfiel, nämlich in die PTT-, die IBM- und die DoD-Welt.⁷¹)

Der schnelle Erfolg des ARPANET-Konzeptes bewirkte sehr bald auch dessen Ausdehnung auf andere Übertragungsmedien, und zwar auf Satellitenkanäle, mobilen Funk und breitbandige Koaxialkabel für militärische, staatliche und kommerzielle Anwendungen. Dabei mußten die ARPANET-Protokolle jeweils an die unterschiedlichen Übertragungscharakteristiken angepaßt werden. Die Konkurrenz verschiedener Hersteller und Netzbetreiber verstärkte diesen Trend zu einer heterogenen, nicht oder nur teilweise kompatiblen Netzlandschaft. Gerade der Erfolg von ARPANET führte so zu einer Situation, die Kritiker treffend "a new version of the Tower of Babel" nannten.⁷²) Da diese naturwüchsige Eigendynamik der militärischen Strategie zuwiderlief, im Spannungs- oder Kriegsfall alle Netze zu nutzen oder zu kontrollieren, startete die DARPA schon 1973 das *Internetting*-Programm mit dem Ziel, Techniken und Protokolle "for a flexible and robust packet network interconnection" zu entwickeln. Bei diesen Arbeiten entstand unter der Leitung von Vinton G. Cerf und Robert E. Kahn Ende 1973 das erste "Gateway", eine Schnittstelle zur Protokollumsetzung zwischen heterogenen Netzen, die sehr bald in der zivilen Bürokommunikation ihr Hauptanwendungsfeld fand.⁷³) Dar-

über hinaus ging aus diesem Programm die Internetwork-Protokollfamilie hervor, die über zusätzliche Adressierungen den Transport von Datagrammen zwischen Netzen verschiedener Hersteller garantiert. Diese auch TCP/IP-Standard genannten Protokolle wurden seit 1980 allen welt-weiten ARPANET- bzw. Internet-Nutzern vorgeschrieben und schließlich zur verbindlichen DoD-Norm erhoben.⁷⁴⁾ Mit ihren massiven Versuchen, die aus dem ARPANET heraus entwickelte Netzarchitektur als Quasistandard durchzusetzen, traten die DARPA-Netzplaner den IBM-Bestrebungen, SNA zur weltweiten Industrienorm zu erheben, ebenso entgegen wie den europäischen Normungsanstrengungen für eine wirklich "offene Kommunikation". Die strategische Netz- und Protokollpolitik des Pentagon bzw. der DARPA führte so zu einer Dreiteilung der Normungslandschaft, sie geriet dadurch aber zugleich immer tiefer in das Dilemma, sich zwischen den spezifisch-militärischen Anforderungsprofilen und Gestaltungskriterien für Daten- und Rechnernetze und dem militärischen Leitbild eines weltweit zugänglichen "Supernetwork" entscheiden zu müssen. 1987 beschloß das Pentagon schließlich die Migration zur OSI-Architektur, wobei aber aufgrund der massiven Vermarktung der TCP/IP-Produkte deren Weiterbestehen auf der Basis von Standard-Übersetzungen sichergestellt war. Das militärische Engagement hat damit kurzfristig zu einer Störung und langfristig zu einer komplizierteren Struktur der Normungslandschaft in der Computerkommunikation geführt.

Innovationsleistungen und Grenzen der "Large Central Time-Sharing Systems"

Die skizzierte Genese der Paketvermittlungs-Technik legt im Unterschied zu David Nobles Analyse der Entstehung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen im Umkreis von US-Luftwaffe und MIT die Annahme eines mehrstufigen und teilweise widersprüchlichen Prägungsvorganges nahe. In ihm kommt es aufgrund unterschiedlicher Interessenlagen der Akteure zu Anpassungen an zivile Anwendungskonzepte, zu Neuprägungen und Ausdifferenzierungen, die die militärischen Erstentwickler wiederum zu Modifikationen und Erweiterungen der eigenen System- und Netzarchitekturen zwingen. Im ganzen gesehen hat die massive militärische F & E-Förderung in der Durchbruchphase der Computerkommunikation entschieden dazu beigetragen, viele Mängel zentralistischer Informations- und Kontrollnetze zu überwinden. Die Dezentralisierung von Vermittlungs- und Steuerungsprozessen machte erstmals große Computernetze beherrschbar und schuf dadurch auch die Möglichkeit für einen effektiven Rechnerverbund. Die digitale Paketdaten-Übertragungstechnik verbesserte und verbilligte die DFÜ bzw. DFV vor allem für große und mittlere Anwender. Die stärker nutzerorientierte Gestaltung des Time-Sharing schuf darüber hinaus Zugriffsmöglichkeiten einzelner Kleinanwender über Teletypewriter-Terminals auf zentrale Datenbestände und Rechnerkapazitäten. Insgesamt blieb in dieser Phase jedoch die Orientierung auf Großrechner und Rechenzentren

bestimmend : alle Anstrengungen zielten letztlich darauf, die Ausfallprobleme, die daten- und prozeßlogistischen Schwierigkeiten und Auslastungsschwankungen von Mainframes mit Hilfe eines Großrechner-netzes nach dem Vorbild des "National Grid" zu beheben. Wie beim Energieverbundnetz sollte auch der Rechnerverbund die zuvor gehemmte Größensteigerung der Mainframes und die Expansion der Rechenzentren wieder vorantreiben. Analog zum Verdopplungsgesetz bei Kraftwerksaggregaten galt hier das bereits 1953 formulierte Grosch-Law, das bei einer Verdopplung des Aufwandes für zentrale Computer-Hardware jeweils eine Vervierfachung der Rechenleistung als ein unumstößliches Gesetz annahm.⁷⁵) Die konsequente Ausrichtung auf Größenvorteile (economies of scale) und das massive Interesse der Militärs an Höchstleistungsrechnern verstärkten sich wechselseitig zu einer Strategie permanenter Größerdimensionierung und Leistungssteigerung, an der bis heute weitgehend festgehalten wird, selbst wenn dies auf dem Superrechner-Sektor zu Überpendelungen bzw. zu diseconomies of scale geführt hat. ⁷⁶) Das Größenwachstum bei den Zentraleinheiten ging und geht einher mit einer gewaltigen Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeit und des Bandbreitenbedarfs der Netze, die zusammen wiederum die Erhöhung der Integrationsdichte bei den Halbleiterbauelementen antrieben. Indem die militärische F&E-Förderung das gegenseitige Hochschaukeln dieser Prozesse forcierte, verstärkte sie zugleich die Ungleichgewichte der informations- und kommunikationstechnischen Entwicklung, die insbesondere in dem ständigen Nachhinken der Software, in dem vielbeklagten Anwendungsstau und in vermehrten Kompatibilitätsproblemen zum Ausdruck kommen.

Aufgrund dieser ausgeprägten "mainframe and high-speed-mentality" behinderte die militärorientierte Computerkommunikation aber auch den Trend zur Dezentralisierung von Ressourcen und Anwendungen. Die Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen der Militärs an die Datenkommunikation, das Konzept eines unter allen Extrembedingungen "survivable network" hatten zwar in der Großforschung den Anstoß zur Entwicklung stärker dezentraler Netzarchitekturen gegeben. Die strukturelle Blickverengung der F&E-Apparate des militär- bzw. großindustriellen Forschungskomplexes verhinderte bzw. hemmte jedoch zugleich eine gezielte Entwicklung von Lösungsmustern und Produkten, die für überschaubare Einsatzfelder in Büro und Werkstatt geeignet waren. Aufgrund der Weitverkehrsorientierung, der für Militärprojekte typischen Kostenintensität und des hohen level of sophistication war die ARPANET-Technik für die lokale Bürokommunikation nicht anwendbar. Wegen der Fixierung auf die Host- bzw. Mainframe-Kommunikation fehlten vor allem dezentrale Zugriffsverfahren auf das Netz. Es bedurfte erst einer Absetzbewegung kritischer Entwickler weg vom militärindustriellen Komplex, um kleine Systeme wie den Personalcomputer (PC) und das lokale Netzwerk (LAN) als Gegenwelt zur Großrechner-Landschaft hervorzubringen. Das 1970 gegründete technisch-avantgardistische Palo Alto Research Center (PARC) von Xerox,

eines Außenseiters der Com-puterindustrie, wurde zum Sammelbecken von Unzufriedenen und Innovativen und schließlich zum Gegenpol der militärtechnischen Hochburgen von ARPA und MIT.⁷⁷⁾ Am PARC gelang dem früheren MAC-Mitarbeiter Robert M. Metcalfe 1973 - 1976 als Ergänzung zum ersten PC, dem "Alto", auch die erste Realisierung eines paketorientierten lokalen Netzes, des Ethernet, während IBM, AT & T und andere Großfirmen, obwohl sie die meisten Bausteine für ein LAN parat hatten, wegen ihrer Großnetzorientierung zunächst zur Herstellung eines marktfähigen Produktes nicht bereit oder in der Lage waren.⁷⁸⁾ Der Erfolg Metcalfe's beruhte auf einem ganz auf Downsizing, Vereinfachung und Verbilligung ausgerichteten Redesign der bisherigen, "large central time-sharing-systems". An die Stelle der implizit an weiträumig agierenden Organisationen in Militär Staat und Wirtschaft orientierten vernetzten Großrechnern bzw. Rechenzentren für den Massendatentransport traten beim Ethernet das Leitbild des "personal distributed computing" sowie neuartige lokale Topologien und Netzarchitekturen. Letzlich war es das grundsätzlich andere soziale Modell eines lokalen Arbeits- und Kooperationszusammenhanges, das die Grenzen der bisherigen, militärisch dominierten Phasen der Computerkommunikation überwand. Die Ansätze für die dezentralen Netzarchitekturen waren noch im militär-industriellen Komplex entstanden, konnten sich dort aber nicht entwickeln und entfalten. Im Gegenteil, die militärisch-großindustrielle Mainframe-Großnetz-Community setzte den neuen dezentralen Ansätzen anfangs starken Widerstand entgegen und versuchte sie erst dann zu vereinnahmen, als ihre Ausbreitung nicht mehr aufzuhalten war.

4. Schlußfolgerungen für die Spin-off- und Technikgenese-Forschung

Die Spin-off-Forschung hat komplexere qualitative Folgen des militärisch-zivilen Technologietransfers bisher zu wenig berücksichtigt. Wie am Beispiel der Computerkommunikation gezeigt wurde, können nämlich einer relativ positiven ökonomischen Bilanz im Zielbereich der militärischen F&E-Förderung aufgrund einer Fehlorientierung bzw. Verengung des Problemlösungshorizontes höchst nachteilige qualitative Folgewirkungen in den Ausstrahlungsbereichen des Technologietransfers gegenüberstehen, die u.U. zu einer negativen Gesamtbilanz führen. Um aber qualitative Einflüsse zu ermitteln, muß die bisher relativ undifferenzierte Prägungsanalyse ausgebaut und verfeinert werden. Die in der Spin-off-Forschung vielfach anzutreffende Annahme einer weitgehend neutralen Wirkung von transferierten Techniken auf die zivilen Anwendungsbereiche ist ebenso wenig haltbar wie die These Eurichs, sämtliche "informations-technischen Erfindungen, Geräte und Systeme vom Altertum bis zum Jahr Zweitausend" seien aufgrund ihrer ausschließlich militärischen Herkunft von einem "per se militärischen", herrschaftsorientierten und maschinenzentrierten Denken geprägt.⁷⁹⁾ Die hier

am Beispiel der Computerkommunikation dargelegten unterschiedlichen Prägungsvorgänge widersprechen sowohl der Neutralitätserwartung wie auch der prinzipiellen Prägungsthese. Denn das "social shaping of technologies" läßt die Technikstrukturen weder unbeeinflußt noch spiegelt es soziale Strukturen und Interessen in materiellen Gebilden unvermittelt wider. Die technischen Konstrukte und die sie konstituierenden Elemente sind zwar nicht beliebig gestaltbar, aber doch in unterschiedlichem Maße modifizierbar, dekontextualisierbar und rekonfigurierbar. Das heißt aber, besonders bei Informations- und Kommunikationstechniken, daß die prägenden Momente beim Technologietransfer und die spezifische Tiefe bzw. Reichweite der Prägungsvorgänge jeweils empirisch im konkreten Zusammenhang ermittelt werden müssen und nicht vorab definiert oder geleugnet werden können.

Gegenüber den von Noble ausgehenden Prägungsanalysen, die die primäre "technical" bzw. "social choice" als allein ausschlaggebend betonen, ist möglicherweise von stärker prozeßartigen, sich über längere Zeiträume erstreckenden Prägungsvorgängen auszugehen. In ihnen kommt es gegenüber der ursprünglichen Pfadentscheidung zu oft erheblichen Korrekturen oder Umgestaltungen. Dies zeigt etwa die Entmilitarisierung der Mensch-Maschine-Kommunikation und die Dezentralisierung der Netzarchitektur im Rahmen der militärischen DARPA-Projekte am MIT. Dabei sind auch die Wechselwirkungen zwischen zivilen und militärischen Techniken in der Regel viel komplizierter, als es der reine "choice"-Ansatz suggeriert.

Die Spin-off-Forschung hat bisher zu wenig berücksichtigt, daß beim militärisch-zivilen Technologietransfer nicht nur konkrete Hard- und Software-Techniken übernommen werden, sondern daß es daneben viel folgenreichere immaterielle Übertragungs- und Prägungsvorgänge gibt : den Leitbild-Transfer und die Orientierung von technisch-wissenschaftlichen Problemlösungshorizonten. So hat etwa das verabsolutierte Central Command and Control-Leitbild zu gravierenden Fehlentscheidungen und Fehlentwicklungen in der industriellen Automatisierungs- und Steuerungstechnik sowie in der Büro- und Verwaltungsautomation geführt. Denn alle zivilen Systemgestaltungen, die sich an die SAGE-Architektur anlehnten, übernahmen nicht nur für ganz andere Informations- und Organisationsstrukturen geschaffene Problemlösungsmuster, sie erbten auch die internen Strukturprobleme und Widersprüche des zentralistisch-hierarchischen Vorbildes. Die Analyse der Struktur- und Milieuunterschiede zwischen militärischem Herkunfts- und zivilem Zielbereich kann hier mögliche Anhaltspunkte für inadäquate Metaphern und problematische bzw. inakzeptable Leitbildübertragungen liefern. Aus der historischen Analyse von Leitbildketten und der durch sie ausgelösten Vererbungsvorgänge könnte so vielleicht ein analytisches Bewertungsinstrument geschaffen werden, mit dem begrenzte prospektive Technikgenese-Aussagen möglich sind.

Ein derartige Leitbild-Analyse erfaßt jedoch nur Teilmomente der komplexen Orientierungswirkungen militärischer F&E auf das Problemlösungsverhalten und den Wissens- und Erfahrungshorizont von engineering communities. Es ist daher eine wichtige Aufgabe künftiger Spin-off-Forschungen, charakteristische Verengungen und Fehlorientierungen von wissenschaftlich-technischen Problemlösungshorizonten systematisch herauszuarbeiten. Die Computerkommunikation hat gezeigt, daß militärorientierte Technikentwickler gleich zu Beginn zu überdimensionierten Lösungen tendieren und daß sie an Größerdimensionierungs-Strategien und Leistungssteigerungen auch dann festhalten, wenn dies zu riskanten Techniken oder unwirtschaftlichen Überpendelungen führt. Sie bevorzugen Alles-auf-einen-Streich-Lösungen, die aus einer Totalperspektive heraus möglichst alles vorab planen und kontrollieren wollen. Dadurch neigen sie auch zu abrupten Sprüngen in der Technikentwicklung, die den Benutzern weder allmähliche Übergänge noch die Erhaltung ihres Erfahrungswissens ermöglichen. Die Überschätzung der "total systems control" geht einher mit einer massiven Unterschätzung der Komplexität von Informations-, Kommunikations- und Arbeitsprozessen vor Ort. Insgesamt tendiert die militärorientierte Forschung- und Entwicklung zum "design of overly sophisticated systems",⁸⁰ die beim Transfer in den zivilen Bereich Ingenieure und Konstrukteure immer wieder dazu animieren auch bei alltäglichen technischen Anwendungen mit Kanonen auf Spatzen zu schießen.

Anmerkungen

1) Der Beitrag steht in Zusammenhang mit meinem Projekt "Technikgenese und Technikgestaltung von Netzen und Systemen der Computerkommunikation" am Forschungszentrum Arbeit und Technik der Universität Bremen (artec). Vgl.den Projektaufriß : Technikgenese, Entwicklungsmuster und Gestaltungsprinzipien von Daten-, Rechner- und Informationsnetzen im Vergleich mit traditionellen Telekommunikationstechniken, artec-Arbeitspapier 5, Mai 1990 und. meinen Beitrag: Akteure, Leitbilder und Entwicklungsrichtungen in der Geschichte der Computerkommunikation, in: Workshop Technohistory of Electrical Information Technology, Deutsches Museum, München Dezember 1990, Preliminary Papers, hrsg. von Oskar Blumtritt und Hartmut Petzold, Februar 1991 (erscheint demnächst bei MIT Press).

2) Vgl. hierzu die Literaturlauswertung von T. Kausel von der Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft i. A. des BMFT: Ziviler Nutzen militärisch motivierter Forschung und Entwicklung, Ottobrunn 1985, S.1-8.

- 3) Seymour Melman, *The Permanent War Economy: American Capitalism in Decline*, New York 1974; Gert Krell (Hrsg.), *Die Rüstung der USA. Gesellschaftliche Interessen und politische Entscheidungen*, Baden-Baden 1981; Robert W. DeGrasse Jr., *Military Expansion-Economic Decline. The Impact of Military Spending on U.S. Economic Performance*, 2. Aufl. New York 1983; James W. Botkin, Dan Dimanescu, Ray Stata, *Global Stakes. The Future of High Technology in America*, Cambridge/Mass. 1982; Gerd Junne, *Das amerikanische Rüstungsprogramm: Ein Substitut für Industriepolitik*, in: *Leviathan* 13(1985)12, S.23-37; Kausel, a.a.O.; Ann Markusen, Peter Hall u.a., *The Rise of the Gunbelt*, New York, Oxford 1991.
- 4) Vgl. VDI-Nachrichten vom 13.12.1991 : USA verlieren technologisch an Boden.
- 5) DeGrasse, a.a.O., S.14f.; Botkin, a.a.O.; Markusen, a.a.O., S.42 ff.
- 6) Vgl. die Erklärung für den japanischen Erfolg gegenüber der militärorientierten U.S.-Elektronik in : *Electronic Industries Association of Japan, Japan's Electronics Industry in Perspective*, 1985, S.2 : "The U.S. approach stressed technological sophistication regardless of cost. The Japanese approach stressed functional innovation at the lowest price <...>."
- 7) David F. Noble, *Social Choice in Machine Design, and a Challenge for Labour*, in : *Politics and Society* 8(1978), S.313-347; ders., *Forces of Production. A Social History of Industrial Automation*, New York 1984; Claus Eurich, *Tödliche Signale. Die kriegerische Geschichte der Informationstechnik von der Antike bis zum Jahr 2000*, Frankfurt a.M. 1991.
- 8) Vgl. H.D. Hellige, *Die gesellschaftlichen und historischen Grundlagen der Technikgestaltung als Gegenstand der Ingenieurausbildung*, in : *Technikgeschichte* 51(1984)4, S.281ff.
- 9) Vgl. besonders Meinolf Dierkes, Ute Hoffmann, Lutz Marz, *Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen*, Berlin 1992.
- 10) Vgl. George Stibitz, *Early Computers*, in : N. Metropolis, J. Howlett, Gian-Carlo Rota, *A History of Computing in the Twentieth Century*, New York, London 1980, S. 479-483; E. G. Andrews, *Telephone Switching and the Early Bell Laboratories Computers*, in : *The Bell System Technical Journal (Bell S.T.J.)* 42, März 1963, S. 341-353; Hartmut Petzold, *Rechnende Maschinen (Technikgeschichte in Einzeldarstellungen, Band 41)*, Düsseldorf 1985, S. 68 ff., S. 246 ff.; ders., *Moderne Rechenkünstler. Die Industrialisierung der Rechentechnik in Deutschland*, München 1992, S.212ff.

- 11) Vgl. Petzold, *Rechnende Maschinen*, a.a.O., S. 317 ff., S. 346 ff., und Vannevar Bush, *As we may think*, in: *The Atlantic Monthly* 176 (1945), No. 1, S. 101-108, wiederabgedruckt in: Irene Greif, *Computer-Supported Cooperative Work. A Book of Readings*, Cambridge/San Mateo 1988, S. 17-34.
- 12) Vgl. u.a. A.P.Hendrickson u.a. *Message Storage and Processing with a Magnetic Drum System*, in : *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference*, Dez.1954, S.74-78; E.L.Fitzgerald,*Computers with Remote Data Input*, in: ebda., Nov.1955,S.69-75; M.Sanders,*Telefile.A Case Study of an Online Savings Bank Application*,in :*Communications of the ACM* 6(1963)12,S.708-712,S.45-49; Timothy Johnson, *Network Communities*, London 1971,S.17ff.
- 13) Vgl.das SAGE-Sonderheft der *Annals of the History of Computing*, Bd 5, Nr. 4, vom Oktober 1983: Aussage von Jay Forrester, in: *A Perspective on SAGE: Discussion*, S.375-380 sowie die erste offizielle Darstellung von Robert R. Everett, C. A. Zraket, Herbert D. Benington, *SAGE. A Data-Processing System for Air Defense* , in : *American Federation of Information Processing Societies, Conference Proceedings (AFIPS)*,EJCC Dezember 1957, S. 148-155 ,Wiederabdruck in den *Annals*, a.a.O. 5 (1983) 4, S. 330-339 sowie George E. Valley, *How the SAGE-Development Began*, in: *Annals*, a.a.O. 7 (1985) 3, S. 196-226 und die Kapitel über Whirlwind und SAGE in Karl L. Wildes, Nilo A. Lindgren, *A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 1882-1982*,Cambridge/Mass.,London 1985 ,S.228-300.
- 14) Hierzu und zum folgenden siehe auch H.D.Hellige, *Die Entstehungsphase der Computerkommunikation im Zeichen militärischer "Central Command and Control Systems"* in : Manfred Möhring (Hrsg.), *Informatik in Deutschland. Vergangenheit und Gegenwart einer Wissenschaftsdisziplin*, 2.Ribnitzer Informatikhistorisches Kolloquium (September 1991), Rostock 1992.
- 15) Vgl. John V. Harrington, *Radar Data Transmission*, in: *Annals*, a.a.O. 5 (1983) 4, S. 370-374 ; W.Koenig, *Coordinate Data Sets for Military Use*,in : *Bell S.T.J.* 36, Mai 1958, S.166-170; R. G. Matteson, *High-speed Data Transmission Systems*, in : *AFIPS*, Bd.18, EJCC, Dez.1960 S.97-101.
- 16) A.A.Alexander,R.M.Gryb, D.W.Nast, *Capabilities of the Telephone Network for Data Transmission*, in:*Bell S.T.J.*39 (1960)3,S.431-476; S.Millman (Hrsg.), *Communications Sci-*

ences (1925-1980), in : A History of Engineering and Science in the Bell System, Bell Telephone Laboratories 1984, S.419-426.

17) Jan Westerbarkey, Noch ist das Modem nicht verloren,in:Funkschau 8/1989,S.31-34; Mariusz Roznowski, Grenzen der analogen Übertragung, in:Elektronik 5/2.3.1990,S.138-144. Da aus technischen Gründen die maximale Übertragungskapazität auf 30 kBit/s begrenzt ist, hängt das weitere Überleben der DFÜ per Modem von der Ausbreitung des 64-kBit/s-ISDN-Netzes ab.

18) Jay W.Forrester, Digital Computers:Past and Present, in : Review of Electronic Digital Computers.Joint AIEE-IRE Computer Conference Dez.1951, New York 1952, S.113.

19) Vgl. Everett, Zraket, Benington,SAGE, a.a.O.,S.334ff.; Carl Machover, A Brief, Personal History of Computer Graphics, in : Computer 11 (1978) 11, S.38-45.

20) Harold Sackman, Computer, System Science and Evolving Society. The Challenge of Man-Machine Digital Systems, New York/London/Sydney 1967, S.155ff.

21) C.Robert Wieser,The Cape Cod System,in: Annals, a.a.O. 5 (1983) 4, S.362-369,bes.S.367 f.; Sackman, Computer,a.a.O.,bes.S.151-167 (Sackmans Studie ist eine Zusammenfassung von mehreren empirischen Untersuchungen im Auftrag der militäreignen System Development Corporation.

22) H.K.Skramstad,A.A.Ernst,J.P.Nigro, An Analog-Digital Simulator for the Design and Improvement of Man-Machine Systems,in:AFIPS, EJCC,Dez.1957,S.90-96; Alphonse Chapanis, Cosmopolitanism : A New Era in the Evolution of Human Factors Engineering, in: Ethnic Variables in Human Factors Engineering, Baltimore,London 1975,S.2-5; Harold E. Price, The Allocation of Functions in Systems, in : Human Factors 27(1985)1,S.33-45 und Michael Paetau, Mensch-Maschine-Kommunikation. Software, Gestaltungspotentiale, Sozialverträglichkeit , Frankfurt a. M., New York 1990, S.26-42.

23) Vgl.Everett,Zraket,Benington,SAGE,a.a.O.,S.339.

24) Herbert D. Benington, Production of Large Computer Programs, in: Annals, a.a.O. 5 (1983) 4, S. 350-361; A Perspective on SAGE, a.a.O., S. 386 f. (Beiträge Beningtons und Wiesers).

- 25) Benington, a.a.O., S. 355 ff.; Sackman, Computers, S. 267, und Michael Mahoney, Software and the Assembly Line, in: Workshop Technohistory, a.a.O.
- 26) P.R.Vance,L.G.Dooley,C.E.Diss, Operation of the SAGE Duplex Computers,in : AFIPS, EJCC Dez.1957, S.160-163.
- 27) Vgl. die SJCC Session von 1967 über "Security and Privacy in Computer systems",auf der sich drei Beiträge der RAND Corporation für eine Übernahme der militärischen Sicherheits-standards durch die Wirtschaft aussprachen, AFIPS Bd.30,S.279-299.
- 28) Wildes, Lindgren, A Century, a.a.O.,S.290; Forrester,Conference Summary,a.a.O., S.96; Vernon Weihe,Computer Application in Air Traffic Control, in : AFIPS,WJCC 1953,S.18-22.; G.E.Fenimore, Real-Time Data Processing for CAA Air Traffic Control, in : AFIPS, EJCC Dez.1957,S.169-172; Heinz Ebert,Digitale Datenverarbeitung in der Flugsicherung,in : Computer-Praxis, 7/1971,S.149-158.
- 29) Vgl. D.L.Gerlough, Control of Automobile Traffic - A Problem in Real-Time Computation,in : AFIPS,EJCC Dez.1957,S.75-79; W.F.Bauer, D.L.J.W.Granholm, Advanced Computer Applications, in : Proceedings of the IRE,Jan.1961,S.301-304; Harold Chestnut u.a., Communication and Control for Transportation, in: Proceedings of the IEEE,Bd.56 (1968) 4,S.544-557.
- 30) Forrester,Conference Summary,a.a.O.,S.96; zum folgenden vgl.auch Otfried Mickler, Eckhard Dittrich,Uwe Neumann,Technik,Arbeitsorganisation und Arbeit,Frankfurt a.M. 1976,S.95 ff..
- 31) B.Schmid,Die Automatisierung von Wärmekraftwerken,in : Aus der Geschichte der Elektrotechnik im Hause Siemens nach 1945,4 Bde.,als Ms.gedruckt,München 1977-81,Bd.3, S.53-59;A.Hofmann,Die Automatisierung im Wasserkraftwerk, ebda.,S.79-85; H.J.Fiedler,L.K.Kirchmayer, Automation Developments in the Control of Interconnected Electric Utility Systems,in: Proc.IEEE 57(1969)5,S. 744 ff.
- 32) F.Bergmann,Digitale Rechenanlagen im Dampfkraftwerk, in : V.I.K.- Berichte,Nr.157, Okt.1964,bes.S.6-8, Zitat auf S.6; Schmid,a.a.O.,S.57; H.Kruse,Einsatz elektronischer Prozeßrechenanlagen in Dampfkraftwerken,in : Brennstoff-Wärme-Kraft 16 (1964)5, S.3-9.
- 33) J.S.Coleman, Computers as Tools for Management,in : AFIPS,EJCC,Nov.1955,S.8-11

- 34) Jay Forrester, Conference Summary, a.a.O., S.95-100, bes. S.97 und ders., Common foundations underlying engineering and management, in : IEEE spectrum (1964) 9, S. 66-77.
- 35) Alan J. Rowe, Computer-Based Management Control, in AFIPS Bd.19, WJCC Mai 1961, S.587-591; Donald R. Pardee, Real-Time Management Control at the Hughes Aircraft Company, ebda., S. 603-607.
- 36) Vgl. Anm. 35 und Everett, Zraket, Benington, SAGE, a.a.O., S.331; Louis L. Sutro, Emergency Simulation of the Duties of the President of the United States, in : AFIPS, WJCC 1959, S.314-323; W.W. McDowell, Will Electronic Principles Make Possible a Business Revolution, in : AFIPS, WJCC Feb. 1954, S.9-15; T.C. Malia, G.W. Dickson, Management problems unique to on-line real-time systems, in: AFIPS Bd. 37, FJCC 1970, S. 569-579; D.G. Malcom, A.J. Rowe (Hrsg.), Management Control Systems, New York 1960, bes. S.187-207 (Malcom, Exploring the Military Analogy-Real-Time Management Control).
- 37) Vgl. hierzu Richard E. Sprague, Electronic Business Systems, New York 1962; Erwin Grochla, Die Entwicklung computergestützter Informationssysteme als Herausforderung an Forschung und Praxis, in: adl-Nachrichten, H.82/1973, S.11; Michael S. Scott Morton, Management-Entscheidungen im Bildschirmdialog, Essen 1972.
- 38) Vgl. u.a. Rolf Strehl Die Roboter sind unter uns. Ein Tatsachenbericht, Oldenburg 1952, S.196 f.; N. Nisenoff, Design of distributed communications system-A case study, in : AFIPS, FJCC 1969, S.637-653.
- 39) Forrester, Conference Summary, a.a.O., S.97; ders., Common Foundations, a.a.O., S.66 f.
- 40) Vgl. u.a. Achim Scharf, Speicherprogrammierbare Steuerungen : Mehr Leistung und Komfort, in : Hard and Soft 6 (1989) 7/8, S.9ff.; Alwin Kröck, SPS, der Schlüssel zur Automatisierung, in : Technische Rundschau, 47/1991, S.68-73.
- 41) Simon Guggisberg, Tendenzen bei SPS, in : etz 107 (1986) 9, S.380-385; W. Klinker, atp-Marktanalyse: SPS, in : automatisierungstechnische praxis 32 (1990) 4, S.153ff.
- 42) Vgl. G. Krüger, Prozeßrechner und Informatik 1984 (Informatik-Fachberichte 86), Berlin, Heidelberg, New York 1984, S.2-21, Zitat auf S.2.

43) Vgl. u.a. Donald F. Blumberg, *Computer Applications for Industry and the Military. A Critical Review of the Last Ten Years*, in : AFIPS Bd. 23, SJCC 1963, S.179-181; Willi Zander, *Übersicht über Leistungseigenschaften, Aufbau und Entwicklungstendenzen von Prozeßrechnern* in: *messen + prüfen* März 1971, S.111 f.; Max Syrbe, *Messen, Steuern, Regeln mit Prozeßrechnern*, Frankfurt a.M.1972, S.10-12.

44) Siehe die Definitionen für "computer systems" bei W.H.Tetley, *The Role of Computers in Air Defense*, in: *Proceedings of the Eastern Joint Conference*, 1956, S.15-18. Zum folgenden vgl. AFIPS, Bd.20, EJCC 1961.

45) Sackman, *Computers*, a.a.O., S. 101, beziffert die Gesamtkosten einschl. Sensoren, Waffen, EDV und Kommunikationssysteme auf 10 Mrd. Dollar. James Fellows, *National Defense*, New York 1981, S. 59 und nach ihm Eurich, *Tödliche Signale*, a.a.O., S. 111 f. kommen auf insgesamt 20 Mrd. Dollar bis in die sechziger Jahre. Zur Fehlerrate der Röhren vgl. Morton M. Astrahan, John F. Jacobs, *History of the Design of the SAGE-Computer. The AN/FSQ-7*, in: *Annals*, a.a.O., S. 340-349, bes. 349 (Angabe von 3,8 Stunden pro Jahr an, allerdings ohne zeitliche Spezifizierung). Zu den Softwareproblemen siehe auch Sackman, *Computers*, a.a.O., S. 418-443; Eurich, *Tödliche Signale*, a.a.O., S. 111.

46) Frederick B. Thompson, *Fractionization of the Military Context*, AFIPS Bd.25, SJCC 1964, S. 219-230, Zitat S.222.

47) Zum Versagen der "so called command-and control systems" und zur Verzweiflung des Pentagon jetzt sehr anschaulich das Interview von Karen Frenkel mit Fernando J. Corbató in : *Communications of the ACM* 34(1991)9, S.86.

48) Ebda., S.222ff., 229f.

49) F.J.Gaffney, S.Levine, *Design Techniques for Multiple Interconnected On-Line Data Processors*, in: AFIPS, Dez.1957, S.172-177; R.A.McAvoy, *Reservations Communications Utilizing a General Purpose Digital Computer*, in : ebda. S.178-183; James Martin, *Design of Real-Time Computer Systems*, Englewood Cliffs, N.J. 1967, S.195-212.

50) John C.R.Licklider, *Man-Computer Symbiosis*, in : *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, Bd.1 (März 1960), S.4-11; ders., *Welden E.Clark, On-line Man-Computer Communication*, in : AFIPS Bd.21, SJCC 1962, S. 113-123; siehe auch Andrew Vazsonyi, *Automated Information Systems in Planning, Control and Command*, in : *Management science* 11(1965)4, S.B2-41.

51) Licklider,ebda.,S.7.

52) Vgl.bes.Wildes, Lindgren, A Century, a.a.O.,S.342-353; M.V. Wilkens, Time-Sharing-Betrieb bei digitalen Rechenanlagen, München 1970; W. Ribbeck, Grundlagen der Time-Sharing-Anwendung, Düsseldorf 1973, S. 2 ff.; Robert Fano, Fernando J.Corbató, Das Time-Sharing-Verfahren,in : Information, Computer und künstliche Intelligenz, Frankfurt a.M.1966, S:83-100.

53) Siehe Fernando J.Corbató,On Building Systems that Will Fail,in : Communications of the ACM 34(1991)9,S.72-81 und das Interview mit ihm ebda,S.83-90; ders.,On the Evolution of Computing and Project MAC,in : Albert R.Meyer u.a., Research Directions in Computer Science,Cambridge,Mass., London 1991, S.1-7; Peter Elias, A Timeline History of Project MAC, ebda. S.447-481; F.J.Corbató,C.T.Clingen, J.H.Saltzer, Multics - the first seven years, in : AFIPS,SJCC 1972,S.571-583.

54) Corbató,On the Evolution,a.a.O.,S.3.

55) Karl Ganzhorn,Weiche Welle,in : Elektronische Rechenanlagen 7(1965),S.222 f.

56) Vgl. Robert M.Fano,The MAC system: the computer utility approach,in : IEEE spectrum 2(1965)1,S56-64; ders.,On the Social Role of Computer Communications,in : Proc.IEEE 60(1972)11,S.1249-1253; Harold Sackman, Norman Nie, The Information Utility and Social Choice, Montvale 1970 und Norbert Szyperski, Klaus Nathusius, Information und Wirtschaft, Frankfurt a.M./New York 1975, S. 179 ff.

57) Fano,Corbató,Das Time-Sharing,a.a.O.,S.88 ff. Vgl. zur Entstehung von E-Mail allgemein u.a. Stephen A.Caswell, E-Mail, Boston,London 1988, S.39 ff.,153-162 und Jacques Vallee, Computer Message Systems, New York 1984, S.52 ff, 69-79; Starr Roxanne Hiltz,Murray Turoff, The Network Nation. Human Communication via Computer, Reading,Mass.1978; Robert Johansen,Jacques Vallee,K.Spengler, Electronic Meetings : Technical Alternatives and Social Choices, Reading/Mass, Amsterdam 1979.

58) J.W.Halina,Datenübertragung.Entwicklungstendenzen und Zukunftsaussichten,in : Elektr.Nachr.wesen 41(1966)2,S.190-209,bes.S.206 ff.; J.C.R.Licklider,Albert Vezza, Applications of Information Networks,in : Proc. IEEE 66(1978)11, S.1330-1346; James Martin, The Wired Society, Englewood Cliffs 1978; Harold Sackman, Nie, The Information Utility, a.a.O. und ders., A public philosophy for real time information systems, in: AFIPS, Bd. 33,

FJCC 1968, S. 1491 ff.; Fano, On the Social Role ,a.a.O.; Fano, Corbató, Das Time-Sharing-Verfahren, a.a.O; Deloraine,Reeves, 25 Jahre Pulsecode-modulation,a.a.O., S.442 ff.

59) KI-Ansätze für den Time-Sharing-Computerdiallog, die bereits Licklider in Erwägung gezo-gen hatte (Man-Computer Symbiosis,a.a.O.), wurden in dem MAC-Teilprojekt "Ma-chine-Aided Cognition unter der Leitung von Marvin Minsky bearbeitet ,vgl.jetzt Elias, A Timeline, a.a.O.

60) Vgl. u.a. E.Maurice Deloraine, Alec H. Reeves, 25 Jahre Pulsecodemodulation, in: Elektrisches Nachrichtenwesen 40 (1965) 4, S. 434-447; Friedrich-Wilhelm Hagemeyer, Die Entstehung von Informationskonzepten in der Nachrichtentechnik. Eine Fallstudie zur Theoriebildung in der Technik in Industrie-und Kriegsforschung, Phil.Diss.Berlin 1979, S.382-386.

61) W.C.Sain,PCM-Systeme in Nordamerika,in:Elektr.Nachr.wesen 48 (1973),1/2,S.61-64; Amos E.Joel u.a.,Switching Technology (1925-1975),in : A History of Engineering and Science in the Bell System,Bell Telephone Laboratories 1982,S.199-305,bes.S.266 ff.; Robert J.Chapuis,Amos E.Joel, Electronics,Computers and Telephone Switching (Studies in Tele-communication,Bd.13), Amsterdam,New York,Oxford 1990, S.293-339.

62) Vgl. Robert W.Lucky,The gigabit network : who needs it,in : IEEE spectrum, Sept.1989, S.8; Vinton G.Cerf,Netztechnik,in : Spektrum der Wissenschaft,Nov.1991,S.68-77,bes.S.76; Die Initiative "High Performance Computing and Communications" in den USA, in : Informatik- Spektrum, 14 (1991),S.168.

63) P. Baran, On distributed communication networks, in: IEEE Transactions on Communication Systems, COM-12, 1964, S. 1-9; ders., Some Perspectives on Networks. Past, Present and Future, in: IPIP Congress Series, Vol. 7 (1977), S. 459-464;Vinton G.Cerf, R.E.Lyons,Military Requirements for Packet Switched Networks and Their Implications for Protocol Standardization,in : Computer networks 7(1983),S.294 ff.

64) Baran,On distributed, a.a.O.,S.55 f.

65) J.D.O'Connell,A.L.Pachynski,L.S.Howeth, A Summary of Military Communication in the United States (1860 to 1962),in : Proceedings of the IRE,Mai 1962,S.1249; Chapuis, Joel,Electronics,a.a.O., S.312;Jean Le Corre,Alfred Pirotte,Vollautomatisches Fernmelde-system mit Pulsecodemodulation für militärische Zwecke, in : Elektr. Nachr.wesen,42 (1967)3, S.216-223; Alfred Pirotte,P.Mary,RITA-ein automatisches taktisches integriertes

Fernmeldesystem,in : ebda.50(1975)3, S.207-213; Eurich,Tödliche Signale,a.a.O.,S.141 ff.; ders., Die Megamaschine, Darmstadt 1991, S.82-91.

66) Vgl. hierzu u.a. Lawrence G. Roberts, Barry D. Wessler, The ARPA-Network, in: Norman Abramson, Franklin F. Kuo (Hrsg.), Computer-Communication Networks, Englewood Cliffs, N.J. 1973,S.485-500; John M. McQuillan, David C. Walden, The ARPA Network Design Decisions, in: Computer Networks 1 (1977), S. 243-289; die zahlreichen Artikel über ARPANET in den AFIPS Proceedings ab 1970, bes. Bd. 36, SJCC 1970 und Bd. 40, SJCC 1972 und vor allem auch die grundlegende Studie von Martin Campbell-Kelly, Data Communications at the National Physical Laboratory (1965-1975), in: Annals of the History of Computing 9 (1988) 3/4, S. 221-247; Arthur Norberg und Judy O'Neill arbeiten an einer Studie über die (D)ARPA-Projekte.

67) Vgl. Lawrence G. Roberts, Barry D.Wessler ,Computer network development to achieve resource sharing, in : AFIPS Bd.36,SJCC 1970,S.543.549; Lawrence G. Roberts, The Evolution of Packet Switching, in: Proceedings of IEEE, 55 (1978) 11, S. 1307-13, bes. S. 1308; Robert E.Kahn,Resource-Sharing Computer Communications Networks,in : ebda, S.1397-1407.

68) Vgl. Leonard Kleinrock, Queueing Systems,2Bde. New York 1974/76; John M.McQuillan, Adaptive Routing Algorithms for Computer Networks, Bolt,Beranek and Newman Co. 1974; Howard Frank, Ivan T. Frisch, W. Chou, Topological considerations in the design of the ARPA computer network, in: AFIPS, Bd.36, SJCC 1970, S. 581-587; Howard Frank, Ivan T. Frisch, Communication, Transmission and Transportation Networks, Reading, Mass. 1971; dies., Planning Computer-Communication Networks, in: Abramson, Kuo, a.a.O., S. 1-28.

69) Vgl. u.a. D.W. Davies, D.L.A. Barber, W.L. Price, C.M. Solomonides, Computer Networks and Their Protocols, Chichester, New York 1979, S. 5 ff.; Martin Campbell-Kelly, Data Communications at the National Physical Laboratory (1965-1975), Department of Computer Science, University of Warwick, Research Report 82, Aug. 1986, S. 23 ff; John D. Day, Hubert Zimmermann, The OSI Reference Model, in: Proc. IEEE, Vol. 71, 1983, No. 12, S. 1334 ff.; Anton Meijer, Paul Peeters, Computer Network Architectures, Rockville, Maryland, London 1982,S.14-28,83-143 und zum folgenden Mahoney,Software,a.a.O.

- 70) A.G.Fraser, The Present Status and Future Trends in Computer-Communication Technology, in : Communications Society 14 (1976)5,S.10-19; vgl. auch S.Millman (Hrsg.), Communications,a.a.O.,S.346,381,395.
- 71) Cerf, Lyons,Military Requirements , a.a.O.,S.293; Philip S.Selvaggi,The Department of Defense Data Protocol Standadization Program,in : Computer networks 7(1983),S.319-328.
- 72) Vgl. Thomas Bartee's "Remarks on Standards for DoD Network Application,in : Panel on Military Data Networks : Present Plans and Future Requirements, 6th Data Communications Symposium, Nov.1979, S.229.
- 73) Vgl. Vinton G.Cerf, Robert E.Kahn, A Protocol for Packet Network Intercommunication, in : Transactions on Communications,Vol. COM-22 (1974)5,S.637-648; Carl A. Sunshine,Interconnection of computer networks,in : Computer Networks 1(1977),S.175-195; Vinton G.Cerf, Protocols for Interconnected Packet Networks, in : Computer Communication Review 10(1980)4,S.10-57,Zitat auf S.11
- 74) Siehe Anm.73 und Vinton G.Cerf,Edward Cain, The DoD Internet Architecture Model,in : Computer Networks 7(1983),S.307-318; Harald Hug, Die TCP/IP-Architektur, Teil 1, in : DATACOM 11-12 / 1987,S.96-101; Steve Spanier,Verbreitung von TCP / IP,in : ebda.3 / 1988,S.66-71 und Andrew S.Tanenbaum, Computer-Netzwerke, Attenkirchen 1990, S.43,518-524.
- 75) Vgl. Haim Mendelson,Economies of Scale in Computing : Grosch'sLaw Revisited,in : Communications of the ACM 30(1987)12,S.1066-1072; zum Verdopplungsgesetz bei Kraftwerksaggregaten siehe meine Beiträge Die Größensteigerung von Elektrizitätsversorgungsunternehmen : eine kritische Bestandsaufnahme aus technikhistorischer Sicht, in : Lehren & Lernen-Berufsfeld Elektrotechnik 2(1985)H.6,S.111-133 und Entstehungsbedingungen und enegietechnische Langzeitwirkungen des Energiewirtschaftsgesetzes von 1935,in : Technikgeschichte Bd.53 (1986)2, S.142 ff..
- 76) Vgl.Wolfgang Coy, Weiße Flecken im "Zukunftskonzept Informationstechnik", in :Frank-furter Rundschau vom 2.8.1990,Dokumentation,S.16.
- 77) Vgl.bes. Adele Goldberg, A History of Personal Workstations, New York 1988; Douglas K.Smith,Robert C.Alexander, Das Milliardenenspiel.Xerox's Kampf um den ersten PC, Düsseldorf,Wien,New York 1989,bes.S. 93-101; Peter Mambrey,August Tepper, Metaphern und

Leitbilder, Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, Sankt Augustin 1992, S.52-60.

78) Robert M. Metcalfe, David R. Boggs, Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Networks, in: Communications of the ACM, 19 (1976) 7, S. 395-404; R.M. Metcalfe, Stellungnahme: Ethernet zum 15. Geburtstag, in: DATACOM 10/1988, S. 94-96; vgl.auch meinen Beitrag Akteure, Leitbilder,a.a.O.S.13-17.

79) Eurich, Tödliche Signale,a.a.O.,S.10 f.

80) Vgl. die prägnante Kritik dieser Fehlorientierung bei : James C.Emery, Where do we stand in implementing information systems ?,in : AFIPS Bd.40,SJCC 1972.S.1167ff.