

KRISEN- UND INNOVATIONSPHASEN IN DER MENSCH-COMPUTER-INTERAKTION

HANS DIETER HELIGE

Das Thema Mensch-Maschine-Kommunikation (MMK) bzw. Mensch-Computer-Interaktion (MCI) hat bisher in der Computer- und Informatikgeschichte eine relativ geringe Aufmerksamkeit gefunden. Es gibt nur wenige Spezialmonographien und auch in den »Annals of the History of Computing« muss man lange suchen, bis man auf Beiträge oder Ausführungen zu dieser Thematik stößt. Die Geschichtsschreibung spiegelt dabei aber nur den Sachverhalt wider, dass die Bedienschnittstelle seit jeher mehr als ein Annex und unscharfer Randbereich der Informatik angesehen wird und nicht als eine zentrale Gestaltungsaufgabe, die über Erfolg oder Misserfolg entscheiden kann. Nur sehr langsam setzt sich die Einsicht durch: »The interface between the user and the computer may be the last frontier in computer design.« (Foley 1987, S. 83) Welchen Beitrag die Informatikgeschichte zur Theoriedebatte in der MCI leisten kann, soll zunächst am Beispiel der Begriffsgeschichte, der Disziplin-Genese und der kontroversen Entwicklungsmodelle erörtert werden. Vor diesem Hintergrund wird dann im Hauptteil ein Überblick über die Langzeitentwicklung der MCI gegeben.

1 Die MCI als Gegenstand historischer Langzeitbetrachtung

Die traditionell randständige Positionierung der MCI kommt bereits in gängigen Bezeichnungen der Fachterminologie zum Ausdruck: Langezeit betrachtete man die Mensch-Maschine-Interfaces als Bestandteil der *Computer-Peripherie* und reduzierte sie damit auf bloße Hardware-Anhängsel. Diese Sichtweise entstand bereits 1945 mit der Übernahme des Begriffes »input-output« aus der Elektrotechnik, Elektronik und Automatisierungs-

technik in die frühe Computer Science durch John von Neumann.¹ Im Unterschied zu den frühen Computerpionieren Stibitz, Atanasoff, Eckert, Mauchly, Aiken, die noch keinen eigenständigen Begriff für das Bediensystem kannten, verstand v. Neumann die von ihm »input-output-organs« genannten Bedienschnittstellen als einen abgesonderten Bereich der Computer-Architektur. Doch gegenüber den »active organs« mit logischen Funktionen sah er im »Input-Output« lediglich untergeordnete »organs serving ›memory‹ functions«. Die verschiedenen Bedienprozesse reduzierten sich für ihn auf die bloße Zu- und Abfuhr von Daten- und Programmträgern bzw. die Abwicklung der Aufgabenpakete, und er setzte sie mit dem dem Gehirn dienenden neuronalen Sensorik- und Motorikapparat gleich (Neumann 1945, S. 35; 1958, S. 29). Auch für Alan Turing waren »Input/Output« »external organs«, die er auf der Ebene mechanischer Arbeiten der »servants« und der »girls« verortete, während er die geistigen Tätigkeiten des Planens und Durchdenkens der Programme den »masters« vorbehalten wollte (Turing 1947, S. 118 ff.). Die im frühen Computing entstandene hierarchische Arbeitsteilung bei der Organisation der Ein- und Ausgabe blieb bestimmend für die ganze Mainframe-Ära, sie bewirkte auch nachhaltig eine Geringschätzung der randständigen »terminal facilities« bzw. des »terminal equipment« (Everett 1951, S. 74) und des unmittelbaren Umgangs mit der Anlage, vor allem im kommerziellen Rechneinsatz.

Dass gerade diese Marginalisierung der »input/output devices« sich als ein entscheidendes Hemmnis für die gesamte weitere Computer-Entwicklung erweisen würde, wurde von wenigen so klar durchschaut wie von Frederick P. Brooks. Er forderte in seinem berühmten IFIP-Vortrag von 1965, mit dem er den Begriff *Computer Architecture* in der Community bekannt machte, daß die Computer Architects die Schaffung neuer »input-output devices« zu einer Kernaufgabe machen sollten, denn keine Engineering-Aktivität könne so sehr neue Computeranwendungen stimulieren. Human-Factors-Aspekte im Computing sollten, so forderte er, künftig die gleiche Aufmerksamkeit genießen wie die Cockpits von Militärflugzeugen. Mit Blick auf eine komplexe Designsicht schlug er für diesen Bereich die Bezeichnung »architecture of input-output systems« vor (Brooks 1965, S. 89). Diese war für Brooks ein Teilbereich der Computer-Architektur, die er als das Gesamtinterface zwischen dem Benutzer und dem Computer verstand: »The whole discipline of system architecture has its central concern in the definition of the interface between a com-

1 Nach »The Oxford English Dictionary« (2.Aufl. 1989) wurde »Input-Output« seit dem 18. Jh. für Kapital-Einsatz und -Ertrag, seit dem Ende des 19. Jh. für Stoff- und Energie-Einsatz/-Ertrag verwendet und war seit den 1920er Jahren besonders in der Elektrotechnik und Elektronik verbreitet.

puter system and its users«. Der Interface-Architekt solle sich nicht primär als »scientist« sehen, sondern als »toolsmith«, der die Berührungszone zwischen System und User menschengerecht gestaltet und dabei nach und nach alle Sinne einbezieht: »If we recognize our artifacts as tools, we test them by their usefulness and their costs, as is proper.« (Brooks 1977 S. 626; zum Architektur-Begriff siehe Hellige 2004b, S. 436-448) An Brooks knüpften zwar designorientierte Ansätze an (Carroll 1983; Bennett 1985), doch der Schwerpunkt von Architekturkonzepten im MCI-Kontext verschob sich schnell auf Funktionsebenen-Modelle und Standardisierungsrahmen für eine strukturierte Entwicklung von User Interfaces (z.B. Farber 1989). Letztlich hatte Brooks mit der Propagierung des Architekturbegriffs in dieser Sphäre keinen Erfolg.

Stattdessen bürgerten sich seit den 60er Jahren die weniger design-bezogenen Bezeichnungen *man-machine interface* und *man-computer interface* ein, die in Deutschland »Bedien-« oder »Benutzerschnittstelle« genannt wurden. Der Interface-Begriff bezeichnete schon seit Ende des 19. Jh. Grenzschichten zwischen zwei Flächen oder Komponenten, so zuerst ab 1880 in der Chemie zwischen zwei Flüssigkeiten, und später dann in der Elektrotechnik und Elektronik zwischen physikalischen Teilsystemen (Verbindungselemente wie Stecker, Buchsen und Übergänge zwischen Geräten, Netzteilen).² In der Computertechnik taucht *interface* zuerst im Laufe der 50er Jahre auf. Die anfängliche physikalische Akzentsetzung prägte offenbar auch noch den kurz vor 1960 entstandenen Begriff »man-machine interface«: »Where a complex machine represents the principal artifact with which a human being cooperates, the term ›man-machine interface‹ has been used for some years to represent the boundary across which energy is exchanged between the two domains.« (Engelbart 1962) Doch bald überwog die system- und kommunikationstechnische Perspektive, das »man-computer interface« wurde nun als Grenz- bzw. Übergabestelle zwischen System und Umgebung oder zwischen Systemkomponenten gesehen. Allerdings relativierte sich damit auch seine Bedeutung, es bildete nur noch eines unter vielen »internal and external interfaces«. Der deutsche Begriff »Schnittstelle« postuliert ausdrücklich gemäß DIN 44300, dass es sich hierbei um einen »Übergang an der Grenze zwischen zwei gleichartigen Einheiten handelt.«

Genau diese Annahme einer Grenz- und Trennungsfläche zwischen Mensch und Maschine kritisierten die Pioniere und Promotoren der interaktiven MCI Douglas Engelbart und Joseph Licklider bereits 1962/63 als

2 Face steht hierbei für »surface«; die anthropomorphe Deutung von »interface« im Sinne »von Angesicht zu Angesicht mit dem Computer« entspricht nicht der Wortentstehung, vgl. »The Oxford English Dictionary« (2.Aufl. 1989).

irreführende Vorstellung. Für Engelbart handelt es sich vielmehr um eine Kopplung von menschlichen und technischen Prozessen am »man-artifact interface«, bei der die physikalischen Aktionen mit dem komplexen »matching process between the deeper human processes« verwoben sind: »Quite often these coupled processes are designed for just this exchange purpose, to provide a functional match between other explicit-human and explicit-artifact processes buried within their respective domains that do the more significant things.« (Engelbart 1962; siehe Friedewald 1999, S. 154 f.)

Auch nach Licklider widerspricht die schematische Aufteilung der Bedienfunktionen auf den Nutzer und die Maschine dem synergetischen bzw. symbiotischen Charakter der MCI: »The crucial regions for research and development seem to lie on both sides of the literal interface.« Deshalb hielt er »man-computer intermedium« für den adäquateren Begriff, da das »physical intermedium« sowohl »the user's station«, die Konsole, als auch »the user's entire workspace« umfasse (Licklider 1965a, S. 92 f.). Sie stelle so eine enge mediale Verbindung zwischen dem Computer- und dem Anwendungssystem her. Da Licklider diese grundsätzlichen Betrachtungen und sein Plädoyer für die Bezeichnung »intermedium« anstelle von »interface« nicht in seinen berühmten Aufsätzen brachte, sondern in dem weniger rezipierten Buch »The Library of the Future« von 1965, fand sein Begriff keinen Eingang in die Terminologie der Computer Science. Erst in neuerer Zeit taucht »Intermedium« in der medien- und kulturwissenschaftlichen Debatte wieder auf, allerdings meist mit Multimediabezug. Da sich jedoch neuerdings wieder die Einsicht durchsetzt, dass es sich beim Interface um ein »Medium im Medium« handelt (Grassmuck 1995), bestünde durchaus Bedarf für einen breiter gefassten Intermedium-Begriff.

Als in den 1970/80er Jahren mit den Terminals und ersten Mikrocomputern der »naive Benutzer« in Erscheinung trat und die Computerbedienung Gegenstand systematischer wissenschaftlicher Forschung und bewusster Gestaltung wurde, sprach man zunehmend von »user interface«. Man meinte damit die »I/O devices and processes« und die sie kontrollierende Software, also eigentlich »the computer interface to the user« und gerade nicht »the user interface to the computer« (Grudin 1993, S. 114). »User Interface« wurde bald zum Kernbegriff der »Human-Computer Interaction«. Obwohl sich der Begriff später immer mehr vom »engineering model« auf das »user task model« und die Software-kontrollierte Dialoggestaltung verlagerte und sich die Forschungsperspektive in Richtung eines umfassenden MCI-Forschungsansatzes ausweitete, wurde dennoch an der Interface-Bezeichnung festgehalten. Damit blieb nicht nur die eminent mediale Bedeutung ausgeblendet, sondern es wurde auch

die anfangs dominierende Ingenieurperspektive der Computerbedienung im Begriff festgeschrieben (Grudin 1993, S. 115). Mit der Informatikgeschichte lässt sich also herausarbeiten – was hier nur sehr grob geschehen ist – wie die Fachterminologie ältere fehlorientierende Sichtweisen bis in die Gegenwart bewahren kann.

Die untypische Disziplinentwicklung der MCI

Das Gebiet der physikalischen Intermedien und der MCI bietet noch weit mehr Ansatzpunkte für lohnende historische Langzeitbetrachtungen. So kann eine Rekonstruktion der Disziplinwerdung besonders nützlich sein für die Einschätzung des erreichten Wissenschaftsstatus und des Wissenschaftstypus der MCI. Diese hat sich nach ersten Anläufen wissenschaftlicher Beschäftigung um 1960 und jahrzehntelangem Experimentieren erst Anfang der 80er Jahre zu einer eigenständigen Disziplin entwickelt. Doch während die Professionalisierung, Literalisierung und Institutionalisierung mit der Einrichtung von Lehrstühlen und der Gründung von Fachzeitschriften, Konferenzen und Fachgesellschaften ab 1982/84 recht erfolgreich verlief, kam die systematische Theorie- und Methodenbildung nur sehr langsam voran (nach dem Ansatz von D. v. Engelhardt, vgl. Hellige 2004a, S. 2 ff.). Die Erforschung der Hardware- und Software-Interfaces hat sich zwar von rein deskriptiven Bestandsaufnahmen über Toolkits und vergleichende Effizienz-Messungen zu Klassifikationen des realisierten Interface-Spektrums und schließlich zu kompletten Design-Space-Systematiken vorgearbeitet. So strukturieren die vorliegenden recht unterschiedlichen Taxonomien und Design-Space-Matrizen den Lösungsraum auf der Basis von Raumdimensionen, Aktionsflächen-Bedarf, physikalischen Eigenschaften, Bandbreite der Interaktion, (In)Direktheitsgrad der Operationsweisen sowie von logischen Funktionen und Dialogstilen³. Ebenso hat man versucht, User-Interface-Systeme in Ebenen zu untergliedern, die von der untersten, der physikalischen Ebene, über die lexikalische, syntaktische, semantische und konzeptionelle bis zur höchsten Ebene, dem organisatorischen Kontext, reichen (Jacob 1996, S. 177).

Doch scheiterte bisher der Versuch, Designmerkmale- und –prinzipien theoretisch zu begründen und durch Systematisierung des Interface-Designraums die Basis für einen rationellen Entwurf aus dem Baukasten zu schaffen. Die Gründe dafür erkannte Donald A. Norman schon 1983 bei seinen Versuchen, wissenschaftlich begründete Designprinzipien für die MCI aufzustellen, in deren ausgeprägtem Zielkonflikt-Charakter:

3 Vgl. u.a. Buxton 1983; Hutchins/Hollan/Norman 1986; Foley/van Dam u.a. 1990; Card/Mackinlay/Robertson 1990; Frohlich 1992; Bos 1993; MacKenzie 1995.

»A central theme of our work is that, in design, there are no correct answers, only tradeoffs. Each application of a design principle has its strengths and weaknesses; each principle must be interpreted in a context.« (Norman, 1983, S. 3) Aufstellungen von Designprinzipien, Taxonomien, Designraum-Systematiken und Ebenenmodelle geben zwar analytische Einblicke in das Zusammenspiel der Designdimensionen, doch blenden sie alle akteursbezogenen Kontexte und Trade-offs sowie alle gestalthaften und hermeneutischen Aspekte des Interface-Entwurfs aus. Obwohl bei Software-Interfaces erste Ansätze einer Ordnung der Entwurfsmethoden und einer Strukturierung des Designprozesses erkennbar sind, ist eine wissenschaftlich fundierte Designmethodik noch in weiter Ferne (siehe den Überblick bei Baecker/Grudin/Buxton/Greenberg 1995, Kap. 2). Denn durch die permanente Ausweitung des Nutzerkreises vom Computerspezialisten und professionellen Anwender zum Computerlaien, durch die Verschiebung des »user interface« – vom Rechenzentrum zum Abteilungs- und Arbeitsplatzrechner und weiter in die Alltags- und Lebenswelt – und schließlich durch den Wandel des Computers vom Rechenautomaten zum Werkzeug und »instrumentellem Medium« (Schelhowe 1997) änderten sich auch immer wieder die Designanforderungen und -methoden grundlegend. Man gelangte daher bisher kaum über empirienahe Designleitfäden hinaus zu einer »allgemeinen und eindeutigen Theorie in der HCI«: »Es ist unmöglich zur jetzigen Zeit eine solche abzuleiten; wahrscheinlich wird es nie möglich sein.« (Dix/Finlay/Abowd/Beale 1995, S. 20) Die MCI bleibt somit noch immer wesentlich eine *Design*-Disziplin, eine »black art«, in der »engineering design« und »creative design« mit wissenschaftlichen Methoden zusammenkommen müssen (Wolf/Rode/Sussmann/Kellog 2006). Sie weicht damit noch stärker als die übergeordnete Disziplin Informatik vom klassischen wissenschaftlichen Entwicklungsmuster ab (zur Rolle des Designs in der MCI siehe unten den Beitrag von Oberquelle).

Theoretisierung und Methodisierung scheiterten vor allem auch an dem stark inter- bzw. multidisziplinären Charakter des Gebietes. Denn bei den Mensch-Maschine- und Mensch-Computer-Schnittstellen müssen neben technisch-funktionalen Aspekten eine große Palette ergonomischer und psychologischer Anforderungen sowie soziale Kontexte berücksichtigt werden. Als Brücke zwischen dem technischen System und den Nutzern sind die Interfaces zudem stark von deren Vorerfahrungen und Vorverständnissen der Entwickler und Nutzer abhängig. Die Tastatur, der Joystick und die Maus sind nicht einfach aus mechanischen Konstruktionselementen zusammengesetzt worden, sondern Resultate komplizierter metaphorischer Prozesse und technikkultureller Wechselbeziehungen. In kaum einem Bereich der Informatik spielen daher *hermeneutische* Phäno-

mene wie mentale Modelle, Benutzermodelle, Metaphern und Leitbilder eine so eminente Rolle wie hier. Da diese über Gestaltvorbilder, Technikulturen und Konstruktionsstile in hohem Maße *kulturell* und *historisch* verankert sind, stoßen systematisierende und theoretische Ansätze hier schnell an Grenzen. Historisch angelegte MCI-Forschungsberichte, technikgeschichtliche und technikgenetische Studien bieten demgegenüber einen reichen historischen Erfahrungsschatz über Designstile, über erfolgreiche und gescheiterte Interface-Metaphern, über Leitbild- und Metaphern-Wanderungen zwischen den Techniken sowie über die periodische Wiederkehr von Übertragungen.⁴

Die gegenläufigen Entwicklungslogiken der MCI

Eine historische Langzeitbetrachtung der Intermedien der Informations- und Computertechnik ermöglicht darüber hinaus auch konkretere Einblicke in die spezifische Entwicklungsdynamik von Bedienphilosophien und Bauweisen der Interfaces als sie die bisherigen, relativ schematischen Entwicklungsphasenmodelle bieten. Denn so wie die Wissenschaftsentwicklung der wesentlich gesellschaftlich und kulturell bedingten Gestaltungsdisziplin MCI nicht einfach einem szientistischen Stufenkonzept folgt, so wenig unterliegt ihr zentraler Gegenstandsbereich einer klar definierbaren technischen, ökonomischen, sozialen oder kulturellen Eigenlogik. Für alle vermeintlich eindeutigen Entwicklungsrichtungen lassen sich vielmehr Gegentrends erkennen. So hat man die MCI-Entwicklung als einen unablässig fortschreitenden Prozess der *Miniaturisierung* gesehen: Durch den Übergang von mechanischen, elektromechanischen zu elektronischen Bauelementen mit immer höherer Integrationsdichte gehe die Entwicklung nach Bell's Law zu immer kleineren, breiter verteilten Gerätefamilien, die von entsprechend miniaturisierten Interfaces und Displays bedient werden. (Bell/Chen/Rege 1972; Weiser 1991). Als letzte Konsequenz des Moore's Law würden Computer bzw. Mikroprozessoren samt Interfaces in Alltagsgegenstände eingebettet oder in Gestalt von Sensoren am oder von Nano-Robotern gar im Körper plazierte (Kurzweil 2002). Dem Trend zum ständig verkleinerten und letztlich »unsichtbaren Computer« widerspricht, dass die Miniaturisierung mit der Bedienungsfreundlichkeit kollidiert und dass daher eine Gegentendenz zur Größensteigerung zu beobachten ist, etwa bei Notebooks, bei Großbildschirmen, Walldisplays und Rundumprojektionen in CAVES.

4 Siehe hierzu die frühen informatischen Überblicke von Carroll/Mack/Kellog 1988; Streit 1988, die MCI-Forschungsberichte von Grudin sowie die technikgenetischen Studien von Mambrey/Paetau/Tepper 1995; Konrad 2004, Kap. 2.; vgl. auch Hellige 1996a, S. 15-35.

In anderen Entwicklungsmodellen steht der Prozess der zunehmenden *Abstraktion* bzw. *Entmaterialisierung* im Zentrum: Von physikalischen Bedienteilen wie Hebel, Schalter, Kurbel, Knöpfen, Schalttafeln und Tastaturen gehe die Entwicklung über Textmenüs, flächenartigen Bedienschnittstellen und virtuellen Schaltflächen zur virtuellen Realität als immateriellem Interaktionsraum (Walker 1990). Doch diesem Trend zum quasi immateriellen Intermedium steht entgegen, dass bei informationstechnischen Interfaces noch immer bestimmte Grundfunktionen mit mechanischen Stellgliedern ausgeführt werden und dass sich Joysticks großer Beliebtheit erfreuen. Zudem wird gegen eine allgemeine Virtualisierung und den Verlust haptisch erfahrbarer Interfaces ein »physical turn« mit »graspable« bzw. »tangible objects« propagiert, also eine Gegenbewegung mit dem Ziel der (*Wieder*)*Vergegenständlichung* (vgl. Fishkin/Moran/Harrison 1998 und unten den Beitrag von Hornecker).

Damit korrespondiert eine Sichtweise, die die MCI-Entwicklung als einen Prozess der *Verräumlichung* der Bedienschnittstellen interpretiert, der von punktuellen, eindimensional-linearen zu 2D und schließlich zu 3D-Interfaces führt (z.B. Meadow 1970, S. 31-34; Johnson 1999, S. 28 ff. und Robben 2006). Das Interface entwickle sich danach zunehmend zu einem »Interplace« (Erickson, 1993). Dieser These vom auf den »graphical turn« folgenden »spatial turn« widerspricht jedoch die schleppe Ausbreitung virtueller Räume und 3D-Interfaces sowie das weitgehende Scheitern immersiver Interaktionsformen. Als weitere Entwicklungstendenz hat man die *Zunahme der Modalität* bzw. eine ständige Ausweitung der Kommunikationskanäle gesehen (Balzert 1988). Danach gehe die Entwicklung von monomodalen textuellen und visuellen Interfaces zu multimodalen Interfaces, die zusätzlich über akkustische, olfaktorische, haptische Schnittstellen alle Sinne ansprechen (vgl. unten den Beitrag von Encarnação/Brunetti/Jähne). Das Ziel sei ein Zustand, in dem der Benutzer nicht mehr in der Lage sei, »to distinguish between actual presence, telepresence, and virtual presence.« (Sheridan 1992) Doch über sehr bescheidene Ansätze in Unterhaltungsmedien hinaus ist der angebliche Trend zum »multisensorischen Computer« bisher noch nicht hinausgelangt, da die technischen Realisierungsprobleme und Kosten immens hoch sind und sich bislang viele Erwartungen in Kombinationen von »natural input modes« als Mythen erwiesen haben (Oviatt 1999). Zudem widerspräche der sensorische Informationsüberschuss perfekter Telepräsenz dem stark situativen und selektiven Charakter alltäglicher Medienutzung (vgl. Dertouzos 1999, S. 113).

Andere Ansätze wiederum sehen in einer Aufhebung der maschinellen Form der Interfaces die vorherrschende Tendenz der MCI, also in einer fortschreitenden *Humanisierung* der Interaktionsformen. Die Entwicklung

gehe von technikgeprägten zu immer natürlicheren Dialogformen mit dem Ziel einer quasi-menschlichen Kommunikation mit dem Computer auf der Basis von Sprache, Gestik und Körpersprache (siehe die Belege unten in Kap. 8). Für einige ist der Endpunkt der Entwicklung ein humanoider Computer in Avatar- oder Robotergestalt, der dem Menschen als Kommunikationspartner gegenübertritt. Der Vermenschlichungs-Tendenz widersprechen andererseits Auffassungen einer zunehmenden *Einbettung* der Interfaces in Alltagsgegenstände, ein Entwicklungstrend, der letztlich in einer Welt von »smart objects« endet, die »sehen« und »denken« können und den Menschen mit Programmintelligenz dienen (siehe u.a. Norman 1998, Denning 2002).

Beide Entwicklungsmodelle überschneiden sich mit einer weiteren Richtung, die in der *Steigerung des Intelligenzniveaus* der Mensch-Computer-Kommunikation den zentralen Entwicklungsfortschritt sieht. Bereits in den 50er und frühen 60er Jahren führten erste Erfolge der KI zu Prognosen der Realisierung des intelligenten Mensch-Computer-Dialogs um 2000 (Turing 1950, Mooers 1959; Ramo 1961) In den 80er Jahren erlebten diese Erwartungen durch Expertensysteme und Rechner der 5. Generation eine Renaissance (Shackel 1985), ebenso beflügelte die Entwicklung von Software-Agenten erneut die Erwartungen in intelligente Bedienschnittstellen (Kay 1984, 1990; Laurel 1990; Negroponte 1997; Maybury/Wahlster 1998). Doch abgesehen von den gewaltigen Umsetzungsproblemen sprechen die mit diesen Ansätzen verbundenen massiven Eingriffe in die Arbeits- und Lebenswelt dagegen, sie als nicht hinterfragbare Entwicklungsrichtung zu betrachten. Aus technikhistorischer und -soziologischer Perspektive werden diese Entwicklungsmodelle vielmehr als konkurrierende Leitbilder und Diskursangebote der MCI-Community gewertet, aber nicht als Leitfaden für die historische Rekonstruktion.

Die folgende Darstellung unterstellt daher keine der beschriebenen Entwicklungslogiken, sondern gliedert die MCI-Entwicklung idealtypisch nach grundlegenden Bedienparadigmen in vier große Abschnitte: in die manuell bedienbare Rechen- und Informationstechnik, in das vorweg arrangierte, automatisch abgewinkelte Computing sowie das Interaktive und Proaktive Computing (in Kurzform: *Manual*, *Automatic*, *Interactive* und *Proactive Computing*). Diese Typen treten zwar zeitlich nacheinander in Erscheinung, sie werden aber nicht als normative Entwicklungsstufen verstanden, sondern als Wahlmöglichkeiten für bestimmte Benutzergruppen und Einsatzzwecke.

Der eigentliche historische Ablauf wird dagegen aus innovationstheoretischer und kulturalistischer Perspektive betrachtet, also unter dem Aspekt von Technologie-Lebenszyklen und sich wandelnden Technikstilen und Benutzerkulturen. Dabei zeigt sich schnell, dass Intermedien und In-

teraktionsformen anderen Entwicklungsmustern folgen als die übrige Hardware. Denn Bedienphilosophien und Bauweisen der Interfaces wälzen sich im Unterschied zu der vom Moore's Law-getriebenen Regelmäßigkeit der Bauelemente-Entwicklung höchst unregelmäßig und auch nur in langen Zeiträumen um. Es gibt hier einen Wechsel von kürzeren Krisen-, Such- und Innovationsphasen, die von einer divergenten Entwicklung unterschiedlicher Interface-Techniken bestimmt ist, und langfristigen Stabilisierungs- und Reifephasen mit ausgeprägt konvergenter Entwicklungstendenz. Im Folgenden möchte ich nun entscheidende Krisen- und Innovationsphasen der Intermedien herausgreifen und dabei die innovations- und diffusionstheoretische Betrachtung mit hermeneutischen Fragestellungen kombinieren.

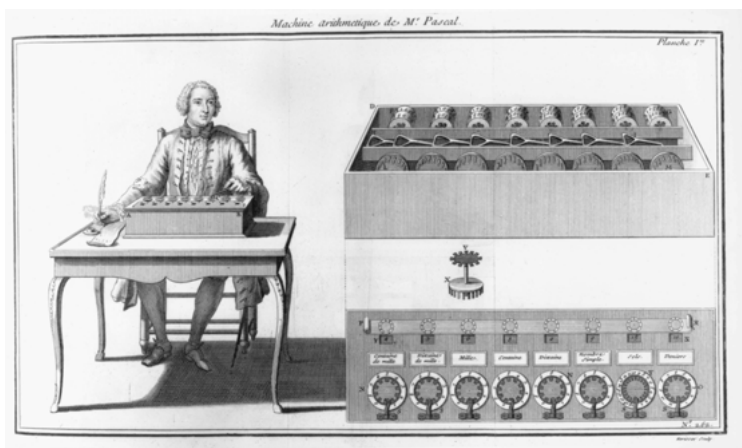
2 Interfaces der manuellen Rechen- und Informationstechnik

Obwohl die Computertechnik nicht aus der Entwicklung der Rechen-, Schreib- und Kommunikationsmaschinen heraus entstanden ist, hat sie stark von deren Interface-Angebot profitiert. Mechanische und elektromechanische Rechenmaschinen können lediglich Einzel- oder Teilberechnungen maschinell durchführen. Ihre funktionale Begrenzung erzwingt deshalb eine interaktive Bedienung im Rahmen eines umfassenden nutzergeführten Rechenplanes. Den Rechengang steuerte der Benutzer der frühen mechanischen Additions- und Subtraktions-Rechenmaschinen über Kurbeln, Schieber, Stellräder und andere direkt mit den Rechengetriebenen gekoppelte Stellelemente. Die Ablesung der Resultate erfolgte über meist aus der Uhrentechnik entlehnte Zahlendisplays. Diese enge Anbindung der Bedienschnittstellen an den Wirkmechanismus entspricht dem genuinen Ingenieurverständnis (»engineering model«), sie ist kennzeichnend für die Frühphase vieler Techniken. Auch bei den Rechenmaschinen bildeten sich erst im Laufe der Entwicklung Bauweisen heraus, die sich stärker am Nutzerverständnis der Bedienung (»user task model«) orientierten und die enge Bindung von Ein- und Ausgabe und Wirkmechanismus lösten (vgl. Gentner/Grudin 1996).

Zuerst wurden bei den Vierspezies-Maschinen besser bedienbare Bauweisen entwickelt, die das Einstellwerk sowie Umdrehungs- und Resultatwerk entkoppelten und so die Zahleneingabe von dem Rechengang mit der Kurbel trennten. Zu vereinzelt Rechenmaschinen-Entwürfen mit Tastatur (Parmelee, Hill) und Klaviatur (Schilt) kam es erst um 1850, der eigentliche Durchbruch erfolgte aber erst mit der speziell für Bürozwecke entwickelten Volltastatur-Addiermaschine von Dorr Eugene Felt

Ende des 19. Jahrhunderts und der Entwicklung der 10er-Block-Tastatur durch Sundstrand nach 1900.⁵ Die Tasteneinstellung rationalisierte besonders bei Büro-Additionsmaschinen wegen der Vorzüge kurzer Stellwege und genormter Einstellwerke die Nutzung erheblich. Schließlich wurden mit dem Übergang zum elektromechanischen Antrieb seit den 1930er Jahren auch die Kurbeln durch Summen- oder Resultattasten abgelöst. Die Kopplung von Interface und Rechengetrieben war damit endgültig gelöst, die Rechenmaschine erhielt den Charakter einer Blackbox, mit der die Nutzer nur noch über das Drücken von Tasten und das Ablese von Resultatfenstern in Verbindung traten. Die Rechenmaschine hatte sich so der Bedienphilosophie der Tastatur-basierten Büromaschinen angepasst, wo der Trend zur Separierung der Bedienebene und zur Schnittstellen-Konvergenz schon Jahrzehnte früher eingesetzt hatte.

Abb. 1: Die Pascal-Rechenmaschine im Gebrauch, überdimensionierte Darstellung in einem Kupferstich im »Recueil des machines et inventions approuvés par l'Academie Royale des Sciences«. Clermont- Ferrand 1735



Das um 1850 in Anlehnung an die Tastenform der Blasinstrumente entstandene Keyboard hatte sich um 1870 gleichzeitig in der Börsenticker-, Fernschreiber- und Schreibmaschinentechnik gegenüber der jahrzehntelang dominierenden Metaphern- und Konzeptvielfalt durchsetzen können. Diese war geprägt durch Rückgriffe auf traditionale Ein-/Ausgabetechniken wie Klaviaturen (Schreibklaviere, Klaviatur-Telegraphen), Kompass- bzw. Uhren-Formen (Nadel-, Zeigertelegraphen) und verschie-

5 Vgl. bes. Martin 1925, S. 66 f.; 91ff.; Lange 1986, S. 87ff.; Marguin 1994, S. 123 ff.; de Beauclair 2005, S. 18-32.

denartige Pen-Devices (Handschrift-Faksimileübertragung und Teleautographen). Im Marktsegment für Laien überlebte die anfängliche Vielfalt der Bauweisen und Metaphern noch lange. Hier war nämlich durch die rein professionelle Morsetelegraphie, die mit einem minimalistischen Eintastenmedium dem Benutzer die gesamte Code-Umwandlung überließ, eine fatale Interface-Lücke in der lokalen und innerbetrieblichen Textkommunikation entstanden. Der Mangel an einer laiengerechten elektromechanischen Textkommunikation bewog auch Erfinder wie Elisha Gray und Thomas Alva Edison zur Vereinfachung der Typendruck-Technik zu von jedermann bedienbaren Börsentickern, Geschäfts- und Stadttelegraphen. Sie ersetzten dabei endgültig die Klaviatur durch die Typentastatur und gaben damit auch das Vorbild für die erste in größeren Serien hergestellte Remington-Schreibmaschine von 1874.⁶

In der professionellen Informations- und Kommunikationstechnik kam es mit der Etablierung der alphanumerischen Tastatur zu einer paradigmatischen Schließung, die bis heute fortwirkt. Denn alle Versuche, die zeitbedingten Designentscheidungen bei der Tastaturbelegung (QUERTY- bzw. QWERTZ-Tastensatz) oder bei der Tastenanordnung (ungeteilte 4-Reihenordnung der Zahlen und Buchstaben) durch alternative Keyboard-Designs (Dvorak-Tastatur, Split-Keyboards, Health Comfort Keyboard) zu revidieren, schlugen fehl (Lewis/Potosnak/ Magyar 1997). Als folgenreich für die verspäteten Ansätze zu einer laiengerechten elektromechanischen Textkommunikation erwies sich auch die seinerzeitige Einführungskonstellation. Denn Markteinführung und -ausbreitung des »Teletypewriter« wurden durch das noch leichter bedienbare »natural speech interface« Telefon verzögert. Durch dieses historische Zusammentreffen wurde die technisch bereits Ende des 19. Jahrhunderts mögliche Kommunikation zwischen Fernschreibmaschinen um Jahrzehnte hinausgeschoben. Die mit Electronic Mail und »Bürofernschreiben« (Teletex) in den 1970er Jahren einsetzende neue Welle der elektronischen Textkommunikation wurde dann aufgrund ihrer anfänglich massiven ergonomischen Defizite von der bewusst laiengerecht gestalteten Telefax-Technik noch einmal um über ein Jahrzehnt zurückgeworfen (Hellige 1995). Dies zeigt, wie folgenreich sich sowohl frühe Festlegungen wie auch strategische Defizite der MMK und MCI auf die Entwicklung von informationstechnischen Märkten auswirken können.

6 Dies beruht auf meinem noch unveröffentlichten Text: »Metaphern und Konstruktionsstile bei der Gestaltfindung der Mensch-Maschine-Schnittstelle in der Telegrafie« (Ms. 1994, siehe unter: <http://www.artec.uni-bremen.de/team/hellige/veroeff/>), der demnächst stark erweitert erscheinen soll.

3 Die Bedientechnik im automatisch abgewickelten Computing

Wie die manuelle Rechen- und Informationstechnik imitierte und variierte auch die Computertechnik in der Pionierphase Bedienschnittstellen etablierter Techniken. Aufgrund ihrer völlig anderen Bedienphilosophie, dem vorrangierten programmgesteuerten Prozessablauf, griff sie aber nicht auf die Interfaces der vom Benutzer manuell interaktiv bedienten Rechenmaschinen zurück, sondern auf die der Webautomaten bzw. Musikautomaten. Denn das »automatic computing« ergab sich nicht einfach aus Entwicklungstrends traditioneller Rechengерäte und –maschinen oder mathematischer Verfahren, sondern entstand aus dem Projekt von Charles Babbage, die manufakturelle Tabellenberechnung von Gaspard Riche de Prony mit Methoden industrieller Arbeitsteilung und Mechanisierung weiterzuführen. Babbage organisierte die maschinelle Ausführung von Rechenplänen (»plans and systems of computing«) mit Hilfe von im Prinzip frei kombinierbaren mechanischen Rechen- und Speicherwerken und realisierte diese ab 1833 in Ansätzen in seiner »Analytical Engine« (Babbage 1832, S. 138; Babbage 1864, S. 110). Für die Programmabwicklung seiner »really automatic calculating machine« griff er auf das Vorbild verketteter Lochkartensätze bzw. Lochstreifen von Jacquard-Webstühlen zurück. Die »communication« von »orders to the machine« erfolgte über »arrangements« verschiedener »sets of cards«, die jeweils Daten, Variablen, Operationen und Arbeitsschritte repräsentierten (Babbage 1837, S. 45 f.). Für die Planung der Rechenoperationen und die Verkettung der Kartensätze entwickelte Babbage bereits eine Tabellen-Darstellung, die Ada Lovelace (1843, S. 73 ff.) noch weiter ausbaute. Hierdurch wurde die Programmierung vereinfacht und von der weniger anspruchsvollen Maschinenbedienung abgesondert. Die Resultate der Berechnung sollten zur Vermeidung von Ablese- und Übertragungsfehlern gleich in Gestalt fertiger Tabellen ausgedruckt werden. Das von Babbage entwickelte Prinzip maschineller Rechenprozesse mit Lochkarten- bzw. Lochstreifen-Eingabe und Tabellen-Ausgabe bestimmte, obwohl von ihm selber nicht realisiert, über ein Jahrhundert die Pläne, Projekte und entwickelten Systeme programmgesteuerter Rechenautomaten und Lochkarten-Maschinen.

Da die als Automatenbeschickung angelegte »Computernutzung« sehr schwerfällig war, suchten Erfinder bereits um 1900 nach flexibleren Formen der Programmeingabe und fanden sie zunächst in der Stecktafel. Nach dem Vorbild der Telefon-Schalttafel erfand Otto Schöffler 1895 den »logischen Vermittlungsschrank«, der ab 1905 auch Bestandteil von Lochkartenmaschinen wurde (Zemanek 1983, S. 100 ff.). Die Einführung des »removable«, »portable« bzw. »automatic plugboard« in der IBM

601 von 1934 und der DEHOMAG D11 erlaubte sogar die Speicherung, Auswechslung und Weitergabe der Steckprogramme (Kistermann 2000, S. 224 f.). Ab 1930 wurden Stecktafeln auch bei Buchungsmaschinen und seit den 40er Jahren schließlich bei Analog- und Digitalrechnern als Programmier- und Bedienschnittstelle eingeführt. Beim ENIAC erstreckte sich die Plugboard-Metapher sogar über die Programmeingabe hinaus auf die aufgabenspezifische Verdrahtung der Rechereinheiten. Die Programmierung, Anlagensteuerung und Maschinenkonfiguration waren bei diesem Typ der Verknüpfungsprogrammierung noch nicht von einander getrennt. Obwohl die manuelle Programmieretechnik recht umständlich und fehlerträchtig war, hielt sie sich noch bis in die 60er Jahre. Denn sie erlaubte vielen Firmen die Weiternutzung alter Lochkarten-Datensätze und bot außerdem die Möglichkeit, die Programmierung statt durch teures DV-Personal durch die mit den Sachproblemen vertrauten Sachbearbeiter vornehmen zu lassen (Trimble 1986, S. 24 ff.; Hellige 1998, 191 ff.). Doch für Laiennutzer war eine derart dicht am technischen Prozess angesiedelte Bedientechnik nicht geeignet.

Auf Dauer aussichtsreicher war ein anderer Ansatz für die Ein- und Ausgabe von Programmen und Daten, nämlich der tastenbasierte Fernschreiber. Der wurde bereits 1908 bzw. 1915 von Percy E. Ludgate und Torres y Quevedo als Ergänzung zur Lochstreifen-Steuerung vorgesehen, doch erst Konrad Zuse, George R. Stibitz und Howard H. Aiken verwendeten ihn in ihren Pioniercomputern als ein reguläres Ausgabe- und gelegentlich auch als Eingabemedium. Samuel Alexander (1948, S. 248) bezeichnete 1947 in dem ersten Gesamtüberblick über »Input and Output Devices« den bereits mit Binärcode operierenden Teletypewriter als *das* geeignete Medium für die Mensch-Computer-Kommunikation: »Thus it was quite natural to borrow from this highly developed communication art for the initial development of input and output devices for conveying information into and out of electronic digital computers.« Durch Vorrichtungen für die automatische Lochstreifen-Fertigung und den Lochstreifen-gesteuerten Papieraussdruck entstanden in dieser Zeit die rechnerangepassten »Flexowriter«, die bis in die frühen 50er Jahre zu den »principle I/O units« avancierten (van Dam 1966, S. 240). Die Computertechnik hatte damit Anschluss an die Standard-Interfaces der traditionellen elektromechanischen Büromaschinentechnik gefunden. Die hierdurch erreichbare Bandbreite der Mensch-Computer-Kommunikation war zwar nur sehr begrenzt, sie reichte aber für die rein alphanumerische Eingabe der Programmbefehle und die Ausgabe numerischer Daten bei dem die frühe Entwicklung bestimmenden »scientific computing« meist aus. Denn noch immer wurden hier Computer überwiegend zur Lösung mathematischer

Berechnungen in der Technik, den Naturwissenschaften und der Mathematik genutzt (Aiken 1956, S. 31).

Abb.2: Bedienkonsole, Teletypewriter, Bandeinheiten und Tafel mit Ablaufplan der Rechenjobs beim ersten UNIVAC am US Census Bureau 1951 (The History of Computing. An Encyclopedia of the people and Machines; www.computermuseum.li/.../UNIVAC-1-Census.htm)



Der Bewältigung größerer Datenmengen, vor allem im »business computing«, dienten nach wie vor Lochstreifengeräte, Lochkarten-Einheiten sowie schnelle Drucker für die alphanumerische Ausgabe. Mitte der 50er Jahre kamen auch erste Plotter und Kathodenstrahlröhren als Kurvenzeichner hinzu (vgl. den Überblick bei Chapin 1962, Kap. 5 u. 6, bes. S. 71). Für die Ein- und Ausgabe sowie Speicherung von Massendaten führten John Presper Eckert und John W. Mauchly 1950/51 beim UNIVAC Magnetbandgeräte ein, die wegen ihrer wesentlich größeren Geschwindigkeit und Leistungsfähigkeit bald zur regulären Ausstattung von Mainframes gehörten. Dennoch hielt sich das seit langem etablierte Hollerith-Input-Output-System einschließlich Stecktafeln als Rechner-»Peripherie« noch lange, da es zuverlässiger und flexibler war und von den Sachbearbeitern unmittelbar gelesen und manipuliert werden konnte (Davies 1954, S. 317 f.). Insgesamt verlief die Entwicklung der Hardware-Interfaces in dieser Zeit in relativ traditionellen Bahnen, größere Fortschritte gab es nur bei den Bedienschnittstellen für Programmierer. Hier wurde die anfangs durchgängige Programmerstellung und -eingabe in Maschinen-code durch die Entwicklung von Assemblern, Compilern und schließlich

durch die Schaffung elaborierter Programmiersprachen deutlich vereinfacht. Die damit erzielte Annäherung an die natürliche Sprache verminderte die bisherige hohe Anpassungsleistung des professionellen Benutzers an die Maschine und nährte schon um 1950 die Illusion einer baldigen Erreichbarkeit der *Konversation* zwischen Mensch und Computer. Doch die tatsächliche Entwicklung der MCI ging in die Gegenrichtung.

Ein folgenreicher Wandel der Organisation der Rechnernutzung ergab sich nämlich aus dem Problem der zeitlichen Abstimmung von Ein-/Ausgabe-Prozeduren und Rechengeschwindigkeiten. Die Input-Outputgeräte waren zwar für immer höhere Leistungen ausgelegt worden, doch sie konnten letztlich nicht mit den ständig steigenden Prozessorgeschwindigkeiten Schritt halten. Man koppelte sie daher vom Rechenbetrieb ab und ließ über Pufferspeicher und Interrupt-Mechanismen viele Ein-/AusgabEinheiten auf den Rechner zugreifen (Sutherland 1967, S. 52). Durch die generell eingeführte Zwischenspeicherung der Programme und Daten auf Magnetbändern, Lochkarten oder Lochstreifen wurde die vom Rechenbetrieb unabhängige Vorbereitung und Stapelung von Jobs wie Ausdruck der Resultate möglich, und im Hinblick auf die Auslastung der extrem teuren Computer auch notwendig. Daraus entwickelte sich im Laufe der 50er Jahre der fließbandartige Stapelbetrieb (batch processing), der zu einer wesentlich besseren Ausnutzung der Rechenkapazitäten führte.

Die Kehrseite der optimierten Mainframe-Ökonomie war freilich eine stark arbeitsteilige Organisation aller Arbeitsgänge. Während die Erbauer der Pioniermaschinen und die frühen Computernutzer noch Programmierer, Maschinen-Benutzer und -Bediener in einer Person waren, führte der Rechenzentrumsbetrieb nun eine strikte Arbeitsteilung ein: Er zerteilte das Computing in die hoch qualifizierte Programmerstellung, die monotone Kartenlochung bzw. Lochstreifen-Fertigung (gemäß der üblichen Arbeitsteilung meist Frauenarbeit), die Programm- und Massendateneingabe sowie die Ausgabe und die Operator-Aufgaben bei der Rechenanlage. Auch die Optimierung der Computerbedienung erfolgte nun getrennt nach diesen Teilprozessen, was zwar die Rationalisierung, nicht aber die innovative Ausweitung der Computernutzung beförderte. Im Gegenteil, denn dem Benutzer wurde durch die fabrikmäßige Organisation des Stapelbetriebes der Zugang zum Computer weitgehend versperrt. Die »user« lieferten nur noch Lochkarten und Programmanweisungen ab und empfangen, je nach Auslastung der Anlage nach Stunden oder Tagen, die Ausdrucke der Ergebnisse zurück. Dies führte nicht nur oft zu akuten Engpässen, sondern auch zu langen Wartezeiten und Wiederholtschleifen bei fehlerhaften Programmen (vgl. bes. Nake 1995, S. 32 ff.).

Nur eine Minderheit von Experten oder Programmierern im »scientific computing« hatte noch direkten Zugang zum Rechner. Als Zugriffs-

medium diente diesen neben den Flexowritern vor allem die *Konsole* (*console, desk*). Die von den Rechen- und Steuereinheiten separierte Computerkonsole war bereits von Zuse in der Z3 (1938-41) und Z4 (1941-45) als zentrales Bedienpult zur Maschinensteuerung und -überwachung, zur Programmabwicklung sowie als Ein-/Ausgabe-Einheit geschaffen worden. Da er seine Rechenautomaten aus Nutzersicht konzipiert hatte, sah er von Beginn an eine integrierte Bedieneinheit vor. Die ersten amerikanischen Pioniermaschinen folgten dagegen mehr dem »engineering model« und verteilten die verschiedenen Input-/Output-Einrichtungen und Bedien-Einheiten wie beim ENIAC über die Anlage (siehe unten den Beitrag von Horst Zuse). Die Bedienebene hatte sich hier noch nicht vom Wirksystem des Rechenautomaten gelöst. Das Vorbild für Zuses Konsolen-Design wie auch der späteren Pioniermaschinen bildeten die Steuerpulte von Maschinen bzw. die Leitstände der Anlagentechnik, die sich ihrerseits an die Form der Orgelkonsole (»organ console«) angelehnt hatten. Unabhängig von Zuse entstanden das Control Panel beim britischen Colossus (1943) sowie die Konsolen beim Model V des Bell-Computers von Stibitz (1946/47) und beim Harvard Mark II und III von Howard Aiken (1947 bzw. 1949). Der Begriff Konsole bürgerte sich auch nur langsam seit 1948 ein und erst seit dem UNIVAC und LEO (1951) und der IBM 701 und 702 (1952) gehörten »operator's consoles« zur Standard-Ausstattung von Mainframes.

Im Zuge der Entwicklung des Rechenzentrums und des Stapelbetriebes wurde das Input-/Output-System von der Operator-Konsole abgetrennt und beides nun in klimatisierten Räumen von den unmittelbaren Nutzern abgeschottet. Nur wer in den Genuss des direkten Zugangs zur Rechenanlage kam, konnte seine Programme ausprobieren und interaktiv »debuggen«: »Dieser ›User‹ war voll beschäftigt, die Maschine nach seinem Wunsche laufen zu lassen. [...] Dieser ›User‹ hatte ein Programm, das er fast persönlich durch den Computer zog.« (Alberts 2005, S. 208). Als mit dem Größenwachstum der Mainframes der Kreis der Privilegierten des »Open-Shop-Betriebes« immer kleiner wurde und die Unzufriedenheit der »Kunden« des »Closed-Shop« zunahm, wurde die gravierende Interface-Lücke des maschinenzentrierten Computerbetriebes offenbar. Zum fehlenden Direktzugang kam die noch immer höchst restriktive, von der Maschine diktierte monologische Form der »Kommunikation« mit dem Rechner über lange maschinenlesbare Befehlssequenzen hinzu: »Most machines are still a complex interconnection of logical elements provided with relatively primitive input-output facilities, usable by human beings only through a very *detailed* set of instructions from them that are almost micrological in nature.« (Carr 1962, S. 158) Es setzte daher in den 50er Jahren eine Suchphase nach dialogischen, »symbiotischen« Interfaces ein,

die in der Lage wären, dem Benutzer wieder einen direkten Zugang zum Rechner und interaktive Eingriffsmöglichkeiten in Rechen- und Verarbeitungsprozesse zu bieten und so die weitgehende Arbeitsteilung bei der Rechnernutzung wieder zurückzuschrauben (zum Wechsel vom Monolog zum Dialog siehe Meadow 1970, S. 3-15).

4 Die Anfänge des Interaktiven Computing

Als Entgegnung auf die Rechenfabrik entstanden um 1950 die anthropomorphen Leitideen eines »man-computer dialogue« bzw. einer »man-computer communication« nach dem Vorbild der »human conversation«: »The computer system should optimize around the characteristic variabilities of real time human norms for effective system performance rather than try to fit the human into an alien pace that may ostensibly be more convenient from program and equipment considerations.« (Sackman 1967, S. 435 und Kap. 9) Die Bemühungen um eine technische Realisierung des »conversational principle« waren dabei sehr breit angelegt, das Suchfeld zur Schließung der Interface-Lücke erstreckte sich von weitreichenden KI-Visionen eines bald erreichbaren natürlichsprachigen Dialogs mit dem Rechner über die rein textuelle Konversation bis zu einer ganzen Reihe neuartiger grafischer Interaktionsformen (zum Leitbild des »conversational computing« siehe Pflüger 2004, S. 370-379).

Frühe Visionen einer natürlichen Konversation mit dem Computer reichen allerdings bereits in die Anfänge des modernen Computing zurück. Schon 1933-45 entwarf der große Pionier der analogen Computertechnik Vannevar Bush mit seinem berühmten hypothetischen Desktop »Memex« das Szenario eines persönlichen Text-, Bild- und Sprachverarbeitungs- und Austauschsystems (Bush 1945, siehe auch unten den Beitrag von Müller-Prove). Er legte seiner medienkombinatorischen Fiktion allerdings noch traditionelle Informationstechniken wie Trockenfotografie, Lochkarten-, Mikrofilm- und Faxtechnik zugrunde, er dachte aber auch schon an Erweiterungen mit mobilen Miniaturkameras und Sprachverarbeitung. Doch Leitbildfunktion erhielt diese Vision eines interaktiven Hypermediums erst um 1960, als mit der Time-Sharing-Technologie die computertechnischen Voraussetzungen gegeben waren (Hellige 1996b, S. 207; Oinas-Kukkonen 2007). Die Idee einer Konversation mit dem Computer ist implizit auch schon bei John v. Neumann und Alan Turing erkennbar. Sie betrachteten die Kommunikation mit dem Computer als Überwindung von Sprachdifferenzen durch eine Kette von logischen und physikalischen »translations«: »[...] problems can be coded, i.e. prepared in the language the machine can understand [...] a unit which can un-

derstand these instructions and order their execution.« (Burks/Goldstine/v. Neumann 1946, S. 34 f.) Wegen unterschiedlicher Intelligenzanforderungen der verschiedenen Übersetzungsvorgänge hielt Turing deren arbeitsteilige Organisation vorerst für notwendig. Doch für die Zukunft erwartete er schon 1947 eine Zunahme des Sprachvermögens der Computer, so dass in wenigen Jahrzehnten eine quasi natürliche Konversation zwischen Mensch und Maschine möglich würde (Turing 1947, S. 122).

Abb. 3: Der Mark III-Computer von Aiken in einer Karrikatur von Boris Artzybasheff im Time-Magazine (Bd. 55, 4, 23.1.1950); sie symbolisiert die Erwartungen einer Lösung der Interface-Krise durch KI und Kybernetik.



Die Erwartungen in die möglichen Dialog- und Übersetzungsleistungen von Computern schaukelten sich dann im Laufe der 50er Jahre immer weiter hoch. So beabsichtigte Harry Huskey 1949/50 mit seinem Computer »ZEPHIR« den Bau »eines Dolmetscher-Gehirns, das jeden beliebigen Text aus dem Englischen automatisch in drei Fremdsprachen übersetzen kann« (Strehl 1952, S. 33 ff.). Der IBM-Forschungsmanager Rex Rice sagte in dem Szenario »Computers of the Future« von 1959 voraus, dass als Folge der »Microminiaturization« schon in 10-15 Jahren »Micro-Minature Computers« Programme in »self-organizing-systems« erstellen und auf diese Weise die direkte Übersetzung der menschlichen Sprache in Maschinensprache leisten würden. Der führende Pionier für Information Retrieval Systems Calvin N. Mooers glaubte 1959 sogar, dass in ca. zwan-

zig Jahren der Informationssucher in natürlicher Sprache den Computer im »Information Center« um Auskunft über ein Fachproblem bitten und dieser mit einem maschinell formulierten State-of-the-Art-Report in dem zuvor gewünschten Umfang mündlich oder schriftlich antworten wird.

In den 50er Jahren kam auch die Idee eines »phonetic typewriters« auf, der jeden gesprochenen Satz verstehen und als generelles »natural communication link between men and machines« fungieren sollte. Zwar wollte man damit auch die »serious bottlenecks« in den großen militärischen Computersystemen beseitigen, doch das Hauptinteresse galt der weiteren Automatisierung der Büroarbeit: »The ultimate goal of workers in the area of automatic speech recognition is the construction of a device which, in effect, replaces a secretary taking dictation [...]« (Marill 1961, S. 34). Bereits die ersten zwischen 1952 und 1960 von Harry F. Olson (1975, S. 16-18) bei RCA entwickelten Prototypen eines »phonetic typewriter« verfolgten das Ziel, die Arbeit der Sekretärin auf die Korrektur der Ausdrucke zu reduzieren. Doch so sehr auch die Vision des Sprechschreibers die Forschung über Sprachverarbeitung beflügelte, gelangte man über eine noch recht unzuverlässige, mit viel Trainingsaufwand verbundene Erkennung einzelner Lautgruppen und festdefinierter Sprachbefehle nicht hinaus (Rabiner/Juang 1993, S. 6-10).

So kam es im Laufe der 60er Jahre zu einer großen Ernüchterung, denn »despite many illuminating discoveries, the physical realization of automata that will recognize natural speech seems still far away.« (Lindgren 1965, S. 114) Man musste erkennen, dass die schnellen Erfolge bei der Frequenzerlegung der Sprache und der Einzellauterkennung in den 50er Jahren nur ein erster Schritt zur Spracherkennung waren und dass die wirklich komplizierten Probleme der Sprachverarbeitung, die Phonem-, Wort- und Satzerkennung und gar das Sprachverstehen noch völlig ungeklärt waren. Daniel Bobrow (1967, S. 52, 55), einer der führenden Forscher auf dem Gebiet der »natural language communication«, warnte seine Kollegen vor einer Unterschätzung der Komplexität natürlicher Sprache, die sich gerade durch variierende Aussprache, fehlende Präzision, vage Anspielungen und Spontaneität auszeichne. Er stellte auch die Grundannahme der Forschung in Frage, dass »natural language« immer »the most natural medium for communications« sei, eine Erkenntnis, die in der Speech-Interface-Community jedoch bald wieder in Vergessenheit geriet.

Eine ähnliche Enttäuschung erlebte man bei dem Versuch, den Rechner zur Schrifterkennung zu nutzen und so per Mustererkennung mit diesem zu kommunizieren. Turing ging schon 1950 davon aus, dass Computer demnächst »written language« verarbeiten könnten. Auch Andrew D. Booth (1956, S. 18 f.), ebenfalls englischer Computerpionier, sah in der Erkennung gedruckter und handschriftlicher Eingaben nach Loch-

streifen, Lochkarten und Magnetbandeinheiten »the next form of input to a computing machine, in order of sophistication«. Nach ersten Erfolgen bei der Buchstabenerkennung rechneten viele schon für die späten 50er Jahre mit der breiten Einführung von Lesemaschinen. Ebenso erwarteten Licklider und Pioniere des interaktiven Time-Sharing wie Herbert Teager um 1960, dass die User sehr bald an einer Konsole handschriftliche Eingaben machen könnten, die der Computer in Realzeit verarbeitete. Doch trotz erster Systeme der »Intelligent Machine Research Corporation« für das Lesen genormter Buchstaben ab 1953 gelangen Versuche mit einer noch sehr groben Erkennung handschriftlicher Eingaben auf einem Bildschirm oder einem Digitalisieretablett erst Mitte der 60er Jahre. Der wirkliche Durchbruch der *Optical Character Recognition* (OCR) kam sogar erst in den 70er Jahren, wobei es sich aber um eine sehr spezielle Zusatzeinrichtung zum Rechner für Maschinen- und Druckschrift-Erkennung handelte und nicht um das ersehnte handschriftliche »computer graphics user/machine interface« (Rubenstein 1957; Hornbuckle 1967, Mori/Suen/Yamamoto 1992).

Da diese ersten Bemühungen, in einem Gewaltstreich die »Sprachlücke« zwischen Mensch und Computer über dessen Anpassung an die natürlchsprachige oder schriftliche Kommunikationsweise zu schließen, scheiterten, suchte man nach anderen Wegen, das Leitbild des »conversational computing« zu realisieren. Eine Richtung setzte auf die entgegengesetzte Strategie: die Anpassung der menschlichen Sprache an die Maschine. So hielt es Douglas Engelbart seinerzeit für denkbar, dass die Computernutzer sich den Maschinencode so weitgehend aneigneten, dass die teuren CRT Displays und Buchstabengeneratoren vermieden werden könnten (Engelbart 1963, S. 20). Noch weiter ging der Chef des US-Computerherstellers TRW Simon Ramo (1961, S. 49 f.) mit seiner Forderung, durch die Schaffung einer neuen computergerechten Symbolsprache den die Entwicklung hemmenden Rückstand der »input output devices« auszugleichen: »A new type of English will come into common use, based on quantitative or logically qualitative expressions, with a controlled vocabulary to back it up, with rigid syntax and grammar, with phonetic spelling. [...] As man-machine communication becomes common, this language will become the »natural« one to use.« Die binäre »universal language of the future«, die auch keine Dezimalzahlen mehr kennt, würde unterstützt durch Bedeutung tragende Farbcodes auf dreidimensionalen »visual displays« und »standard rythmical acoustic patterns.« Am Ende sollte der Computer alle banalen Alltagsaufgaben automatisch abwickeln und so den Zwang, mit der Maschine zu kommunizieren, auf komplexe Probleme, Normabweichungen und übergeordnete statistische Analysen reduzieren (ebda., S. 51). Ähnlich sah Andrew D. Booth (1960, S. 360) die Ab-

lösung eines Großteils der Ein-/Ausgabe-Arbeit voraus: »Thus computers of the future will communicate directly with each other and human beings will only be called on to make those judgements in which aesthetic considerations are involved.«

Realisten dagegen, die weder an eine baldige Vermenschlichung der Computersprache noch an eine Maschinenanpassung der natürlichen Sprache glaubten, setzten auf bewährte alphanumerische Ein-/Ausgabetechniken der traditionellen Büromaschinentechnik. Sie wollten mithilfe eines telegrammartigen Schreibmaschinen-Dialogs mit dem Rechner kommunizieren. Die Tastaturen wurden durch zusätzliche Funktionstasten für Standard-Operationen und Overlay-Folientasten für Spezialfunktionen noch stärker auf den Computer zugeschnitten. Neu an diesem an sich konservativen Lösungsansatz war das Abgehen vom vorab erstellten vollständigen Programm zugunsten eines kleinschrittigen Problemlösens im Wechsel mit dem Computer, wie es beim Debugging an der Konsole schon länger praktiziert worden war. Im Entwicklerteam des Whirlwind am MIT entstand daraus 1951/52 die »keyboard interaction«. Ab 1952 wurde am ORDVAC bereits ein »1024-spot display« mit Licht- und Tonsignalen für das interaktive Erstellen und Testen von Programmen erprobt (Davis 1965, S. 26). Seit 1953 entwickelte sich aus diesen Ansätzen im MIT-Projekt »Memory Test Computer« das Konzept des »interactive computing« und des Direktzugriffs der User auf den Rechner (»hands-on approach«, vgl. Friedewald 1999, S. 81, 110; Waldrop 2001, S. 144 ff.).

Computer wurden in diesem Kreis von Gegnern des Lochkartenbasierten Closed-Shop-Betriebes um Wesley Clark vorrangig als Werkzeuge gesehen, die der Benutzer von der Konsole aus ganz selbständig im »interactive use« bedienen sollte. Die »keyboard interaction« an der Konsole oder am Terminal wurde sehr bald die vorherrschende Form des »conversational computing«, 1967 schätzte Licklider, dass mehr als 95% aller »consoles« Teletypewriter waren (Licklider 1968, S. 211). In Time-Sharing-Systemen wurde sogar die Kommunikation von Keyboard zu Keyboard möglich, so dass Moores 1963 von »reactive typewriters« sprach: »a device as cheap to have and as easy to use as the phone.« (zit. nach Van Dam 1966, S. 279) Doch so bahnbrechend dieser neue interaktive Bedienmodus auch war, so sehr zeigten sich vor allem im militärischen Bereich die Grenzen der weitgehend textuellen Interaktion. So kam es hier zu den ersten Ansätzen für grafische Interfaces: Mit klar erkennbarer militärischer Metaphorik entstanden um 1950 im Rahmen des computergestützten Realzeit-Informationssystems SAGE zur Radarüberwachung der CRT-Monitor sowie die ersten Tracking- und Pointing-Devices für eine zweidimensionale Mensch-Computer-Kommunikation.

5 Die militärische Frühphase der »graphical communication devices«

Die Aufgabe, eine Vielzahl von weiträumigen Flugbewegungen für das Überwachungspersonal überschaubar zu machen, erzwang eine Umwälzung der Bedienschnittstelle zwischen Mensch und Computer. Die bislang verwendeten Flexowriter und »hard copy output devices« sowie die Ein- /Ausgabegeräte auf Lochkartenbasis waren nach der Feststellung des Whirlwind-Chefdesigners Jay Forrester bei militärischen Realzeitrechnern als »terminal equipment [...] relatively inadequate«. Eine Lösung sah er allein in der Weiterentwicklung der Kathodenstrahlröhre zu einem Video Display. Der aus diesen Bemühungen hervorgegangene Monitor (»refresh graphic screen«), der in ersten Vorläufern an der Wende 1948/49 im Whirlwind I entstanden war und seit 1951 als reguläres Ausgabemedium diente, ähnelte anfangs noch stark einem Radarbildschirm. Seit 1952/53 wurde er im Cape Cod-Sector, dem Vorläufer des SAGE-Systems, regulär zur interaktiven Spurverfolgung von Flugbahnen eingesetzt.

Abb. 4: Die interaktive Bildschirmeingabe mit »light gun« im Radarüberwachungssystem SAGE (IBM-Archiv; http://www03.ibm.com/ibm/history/exhibits/vintage/vintage_4506VV2216.html)



Als erstes Tracking-Device wurde Ende der 40er Jahre im Rahmen von SAGE der Joystick zum Computer-Eingabemedium weiterentwickelt. Er imitierte in Gestalt und Funktionsweise den bereits Anfang des 20. Jahrhunderts entstandenen »control stick« von Autos und Flugzeugen. Unmittelbares Vorbild des Joysticks war der bereits 1942 in Deutschland als Lenkwaffen-Steuerungssystem für Flugzeug-Cockpits entstandene »Steuerknüppel« (Henschel Hs 293). Die aus dem Slang der Piloten stammende, 1917 zuerst belegte sexuell-anzügliche Bezeichnung »Joystick« erschien spätestens 1955 auch in amerikanischen Patentschriften im Zusammenhang mit Positioniergeräten (Robert H. Peterson, RCA). Wie später auch bei der »Maus« und beim »Puck« setzte sich die bildhafte Namensgebung gegen alle technischen Bezeichnungen durch, ja die zusätzliche Metapher aus der Lebenswelt förderte nicht unwesentlich die Akzeptanz des Eingabemediums bei den Nutzern.

Doch als Positionsgeber reüssierte im SAGE-System nicht der wenig zielgenaue Joystick, sondern die an der Jahreswende 1948/49 entstandene »light gun«. Deren Erfindung wird aufgrund der späteren Selbstzuschreibung meist dem »overall system designer« von SAGE Robert Everett zugesprochen, ohne dass der je ein Patent dafür beantragt hat. Nach Norman Taylor, einem der führenden SAGE-Entwickler, sei das Problem der Ansteuerung eines nicht ansprechbaren Bildschirmpunktes der Anlass für Everetts Idee gewesen.⁷ In seinem 1957 angemeldeten und 1962 erteilten Patent für ein interaktives »Data Processing System« taucht eine »light pen« zwar als Eingabegerät auf, allerdings mit dem Verweis auf das 1956 angemeldete Patent der »Light Gun Assembly« von Ralph G. Mork von IBM.⁸ Die Benennung der »light gun« ging entweder auf die »electron gun« zurück, d.h. die Fokussierungsvorrichtung in der Kathodenstrahlröhre, oder sie war, was wahrscheinlicher ist, eine Anspielung auf die Funktionalität des Eingabemediums. Denn die bestand in einem symbolischen Beschießen verdächtiger Flugobjekte, um dem Rechner zu signalisieren, welche Flugbahnen er kontinuierlich verfolgen und auf dem Bildschirm als Graphen abbilden sollte. Als Gestaltvorbild ist auch relativ ein-

7 Norman Taylor (1989) schildert die Erfindung so: »So Bob Everett, our technical director, said ›we can do that easily. All we need is a light gun [sic] to put over the spot that stops and we'll get a readout as to which one it is.‹ So he invented the light gun that afternoon and the next day we achieved man machine interactive control of the display — I believe for the first time.«

8 Siehe die US Patente Nr. 3037192 und 2915643 sowie »A Perspective on SAGE«, S. 391. Carl Machover (1978, S. 38) schreibt die Erfindung Ivan Sutherlands Bruder Bert zu. Die Idee, mit einem »Electronic Tracing System« auf einem CRT-Bildschirm zu schreiben, war übrigens schon 1946 von Lloyd Espenschied von den Bell Labs patentiert worden (US Patent 674395).

deutig eine Handwaffe erkennbar: »The Whirlwind light gun was shaped like a backward pistol.« (Ross 1988, S. 64)

Die Prägung durch den militärischen Entstehungskontext konnten diese Ein- und Ausgabemedien jedoch schon bald zu einem großen Teil abstreifen. Der Monitor näherte sich dem rechteckigen Erscheinungsbild etablierter informationstechnischer Bildschirmsysteme, nämlich dem Fernseher und dem Library-Screen von Mikrofilm-Lesegeräten. Aus der unhandlichen »gun« entwickelten Benjamin Gurley und Charles E. Woodward (1959) am MIT-Lincoln Laboratory 1957/58 mithilfe der Halbleiter-Bauweise eine leichtere und besser bedienbare Miniaturversion, die sie Light »pen« nannten. Parallel dazu schufen Skramstad, Ernst und Nigro (1957) ein Erprobungssystem für die zivile und militärische Objektverfolgung an Bildschirmen einen »*Light Pencil*« in sehr ähnlicher Technik. Die für das SAGE-System charakteristische starre Einbindung des Bedienungspersonals in die halbautomatische Ablaufkette von »detection, decision and response« wurde von dem Studenten Dom Combelec im Rahmen einer Master-Thesis zu einem offenen interaktiven Designprozess umgewandelt. Dieses wohl allererste CAD-Programm ließ schon 1950 erkennen, »that interactive displays were the real tool to link people with computers« (Taylor 1989, S. 20). Douglas T. Ross, der 1954 sein erstes Programm für die manuelle Grafikeingabe per Lightgun geschrieben hatte, entwickelte ab 1959 zusammen mit Steven A. Coons am MIT das zivile »pen-tracking« und die interaktive graphische Objekt-Erzeugung am Bildschirm zu den ersten CAD-Systemen weiter (Ross 1988, S. 68 f.).

Die Kombination von Monitor-Display und Lightpen-Eingabe galt sehr bald als die ideale »workstation« für die interaktive Computergrafik (Gilmore 1989, S. 46). Doch die Lightpen blieb wie ihr Vorläufer ein reiner Pulsdetektor und somit kein »natürliches« Schreib oder Zeichengerät, wie es der Name suggerierte. Ihre noch immer bestehende Unhandlichkeit und vor allem ihre vertikale Nutzungsweise sah Licklider noch 1976 (S. 94) als eine Erbe der Lightgun an: »The result was to tire the user's arms, to fail to take advantage of their years of experience with pens and pencils on horizontal surfaces, and to doom the light pen to an early grave.« Gleichwohl blieb die Lightpen noch bis weit in die 80er Jahre ein besonders im CAD und der grafischen Datenverarbeitung verwendetes Eingabemedium, ja in Automatisierungssystemen, Operationssälen und Wahlmaschinen wird sie bis heute als Alternative zur Maus verwendet.

Beim Joystick blieb die militärische Metaphorik zwar in der Folgezeit durch den häufigen tatsächlichen Einsatz bei Waffensystemen oder die virtuelle militärische Verwendung in Computerspielen immer erhalten. Dennoch wurden Joysticks auch in vielen nicht-militärischen Umgebungen zur Maschinen-, Geräte- und Fahrzeugsteuerung eingesetzt. So fan-

den sie besonders in Automatisierungssystemen zur Bahnensteuerung, in Kränen und Aufzügen und in Flugzeugen (Fly-by-wire-Systemen) Verwendung. Später wurden sie auch aus Platzgründen als Mausekursor in Keyboards integriert. Demnach kann bei Mensch-Computer-Schnittstellen, die vorwiegend auf einer *Gestaltmetapher* beruhen, der Zusammenhang zum Ursprungsmilieu gelöst und mit völlig abweichenden Funktionalitäten verbunden werden.

Anders verhielt es sich dagegen mit dem zentralen Kontrollraum des SAGE-Systems, dem Urbild des computergestützten Kontrollzentrums. Es bestand aus der Großbildanzeige, die die einzelnen Überwachungszonen der Monitore zu einem kontinentalen Lageplan zusammenrechnet und mit der sogenannten »light cannon« auf die Wand projizierte.⁹ In ihm kamen alle wichtigen Informationen zusammen, es war daher auch das militärische Entscheidungszentrum, so wie es die traditionellen »map tables und counters« noch im Zweiten Weltkrieg gewesen waren. Das »control center« mit dem »wall-display« war im Unterschied zu den *Gestaltmetaphern* Lightgun und Joystick vorwiegend *Funktions- und Systemmetapher*. Der Übertragungsvorgang betraf hier in hohem Maße Aspekte der Arbeitsteilung und -organisation im Gesamtsystem, der Hierarchie und Entscheidungsstrukturen. Das Ursprungsmilieu wurde damit über die Metaphernverwendung teilweise mitübertragen. Die Lösung aus dem militärischen Entstehungskontext erfolgte deshalb beim Kontrollzentrum erst sehr viel später. Nach gescheiterten Bemühungen von SAGE-Entwicklern wie Jay Forrester und Angehörigen des militärisch-industriellen Komplexes, in den späten 50er und frühen 60er Jahren, die »War Rooms« als Lösungsansatz für die zentrale Überwachung und Steuerung aller großen Firmen und Organisationen durchzusetzen, gelang es erst in den 80er Jahren mit den Group Decision Support-Systems, die »War-Rooms« in »Konferenzräume« umzuwandeln. In ihnen repräsentierten die Wall Displays nun keine Lagepläne mehr, sondern Wandtafeln und Whiteboards für die Gruppenkooperation. Es erscheint mir ein lohnendes Aufgabenfeld für die Technikgeschichte und die HCI-Forschung zu sein, die Prägnanzen von Metaphern durch den Entstehungskontext und die jeweils mögliche Dekontextualisierung vergleichend zu analysieren.

9 Das SAGE-Kontrollzentrum hatte bereits einen bisher nicht beachteten Vorläufer, das von der RCA 1945/46 entwickelte TELERAN »Traffic Control Center«, das die Radar-Flugraumüberwachung verschiedener Bereiche zu Lagebildern integrierte und für dichte Verkehrszonen bereits den Computereinsatz vorsah (Ewing/Smith 1946/47, besonders die Abb. der Computer-Version auf S. 611).

6 Die Innovationsphase grafischer Interfaces und der mehrdimensionalen Interaktionswelt

Die vom militärischen Computing ausgelösten Nachfrageimpulse hatten die Suche nach interaktiven Mensch-Computer-Interfaces angestoßen. Der Whirlwind II Computer und das SAGE-Project waren, wie Licklider es formulierte, »the fountainheads of oscilloscopes with light pens (guns) and man-computer interaction« (Licklider 1965b, S. 477). Doch für den erforderlichen grundlegenden Wandel der Hardware- und Software-Intermedien reichten sie allein nicht aus. Es bedurfte eines komplexen Zusammenspiels personeller und institutioneller Innovationsbedingungen, damit der Paradigmenwechsel in der Mensch-Computer-Beziehung gelingen konnte. Dazu gehörte eine mit dem »Closed-Shop-Betrieb« unzufriedene »programmer opposition« als Rekrutierungsfeld für ein innovatives Entwicklerpersonal. Diese universitäre Subkultur von Programmierern, die nach Alternativen zu den erstarrten Bedienphilosophien der kommerziellen Computerhersteller suchte, erfuhr in den USA eine im MCI-Bereich bisher beispiellose staatliche Förderung (zu deren Bedeutung siehe Myers 1998).

Die konzeptionelle und strategische Initialzündung erfolgte dabei durch Schlüsselfiguren wie Licklider und Robert Taylor, die im entscheidenden Augenblick für die Forschungsfinanzierung im Computerbereich zuständig waren. Bei ihnen handelte es sich um multidisziplinäre Gatekeeper, die als eigentlich Fachfremde zwischen den Entwicklern und Nutzern der Technik standen und die früh die zentrale Bedeutung der Mensch-Computer-Interaktion für die Ausweitung der Computernutzung in Denk- und Arbeitsprozessen erkannten (Friedewald 1999, S. 121). Es ging beiden gerade nicht um eine bloß *technische* Optimierung von Interfaces, sondern um neue *mediale* Nutzungsweisen von Computern, bei denen nicht mehr programmgesteuerte Berechnungen, sondern die Informationsbeschaffung und -verarbeitung, die dynamische Repräsentation von Ideen sowie die Kooperationsunterstützung im Mittelpunkt standen. Alles zusammen sollte menschliches Denken und Problemlösen auf eine neue Stufe stellen: »Through such interaction, the heuristic capabilities of men and the algorithmic capabilities of computers - the highest capabilities of the cooperating partners - can be melded together to produce what may turn out to be a significant augmentation of intellectual power.« (Licklider 1967, S. 40)

Die medienkombinatorische Erneuerung der MCI

Das MCI-Erneuerungsprogramm von *Joseph C. R. Licklider* beruhte auf praktischen Erfahrungen mit Computern und Time-Sharing-Versuchen, auf einer Auswertung des SAGE-Projektes sowie auf einer ganzen Reihe von eigenen Aufsätzen und State-of-the-Art-Reports über Interfaces und Computer-Bedienung. All dies verdichtete er in theoretischen Studien und Grundsatzartikeln, von denen einige wie »Man-Computer Symbiosis« von 1960 Leitbild-Funktion für das Interactive Computing erhielten. Er entwickelte in diesen Schlüsseltexten die Methode einer Kombination neuer Interfaces und Medien aus bekannten Mustern, denn für ihn stand fest: »A new concept is achieved, not by creating a new schema *ab initio*, on a custom basis, but by adapting an old schema or, if necessary, arranging several refurbished schemata into a new, complex structure.« (Licklider 1965a, S. 3) Um sich dabei aber von bekannten Techniken zu lösen, formulierte er die »schemata« abstrakt, denn dann war es möglich »to break them down and recombine them into new configurations, always on the lookout for new elements, if one is to progress.« (Ebda., S. 92 f.)

Auf der Basis ergonomischer Bewertungen vorhandener Interfaces und der Projektion zu erwartender technischer Verbesserungen spielte er verschiedene Arrangements von »intermedia« durch. So untergliederte er den MCI-Designraum in ein grafisches Interaktionsschema (»The Oscilloscope-and-Light-Pen Schema« einschließlich diverser Pointing Devices), in eine textuelle Interaktionsform (»The Typewriter-Hardcopy-Display Schema«), in ein der klassischen Tafel entsprechendes »Group-Computer-Interaction Schema« sowie das am gewohnten »writing desk« orientierte »Consoles and Workspaces Schema«, das bereits in Richtung »Desktop-Computer« wies (Licklider 1960, S. 9 ff.; 1965a, S. 93-104). In ihm sah er für die Zukunft auch das größte Potential, da es der Leitidee der »man-computer symbiosis« schon sehr nahe komme: »Devise an electronic input-output surface on which both the operator and the computer can display, and through which they can communicate, correlated symbolic and pictorial information.« (Licklider/Clark 1962, S. 121) Die »general-purpose console« künftiger Zeiten beschrieb Licklider (1965c, S. 508) als ein multimediales Universal-Interface, das neben Bildschirm und Tastatur auch Light-Pen, Digitalisier-Tablett, Kamera, Projektor, Mikrophon, Lautsprecher, Telefon, Uhr sowie für die 3D-Ansteuerung einen »bowling ball« aufweisen sollte. Die von ihm anfangs stark favorisierte kombinierte Sprach- und Handeingabe, wie sie Herbert Teager nach dem Vorbild des »Memex« von Vannevar Bush plante, betrachtete er Mitte der 60er Jahre dagegen nur noch als ein *Fernziel*, ebenso mobile Interfaces in der Art von Electronic Paper »for fast, natural, nonconstraining, effective interaction«:

»If I had three wishes, one would be for a thin sheet of plastic - sensitive to a stylus, capable of bright display in colour with selective erasure, controllable by computer, and inexpensive.« (Licklider 1968, S. 210)

Neben den Rekombinationen neuartiger Intermedien aus vorhandenen Komponenten erwog Licklider Mitte der 60er Jahre auch bereits grafische Dialogtechniken, etwa visuelle Symbole und menügesteuerte Dialoge. So wollte er dynamisch im Programmablauf sich ändernde Schaltfelder (»light buttons«) auf den Bildschirm bringen und durch Lightpen oder Joystick ansteuern. Ebenso forderte er unterschiedliche Interaktionssprachen für Experten und Anfänger, wobei er schon den Grundgedanken der »Direkten Manipulation« vorwegnahm: »The computer should continually tell the neophyte what options are open to him and, when an instruction is partly defined, what additional arguments are required.« (Licklider 1967, S. 63, 67) Derartige Überlegungen flossen unmittelbar in die ARPA-Förderungsprogramme für neue Programmierkonzepte und graphische Interaktionstechniken ein, so wie er auch mit Forschungsgeldern die Entwicklung und Erprobung neuer Interfaces gezielt vorantrieb.

Die künftigen Nutzungskonzepte für das »dynamic medium computer« entwarf Licklider aber nicht aus den kombinatorischen Arrangements von Hard- und Software, sondern aus grundlegenden Anwendungsszenarien. Er unterschied dabei die lokale Kooperation (»project meeting as a model«), die individuelle Kommunikation über ein Computernetz (»face to face through a computer«), die On-line-Bibliothek und den universalen Zugang zum Wissen (»library of the future«, »distributed intellectual resources«) und schließlich die sich selber organisierenden Nutzergemeinschaften (»on-line interactive communities«) (Licklider/Taylor 1968, S. 23 ff.). Damit wurde wie bereits in Bushs Memex-Aufsatz die Medienkombinatorik auf der Anwendungsebene durch die Generierung praxisnaher Szenarien ergänzt. Hierdurch wie durch sein stark Grafik-orientiertes Interaktions-Konzept hatte sich Licklider endgültig von seinen früheren KI-basierten anthropomorphen Visionen einer direkten Konversation mit dem Rechner freigemacht und war auf die pragmatischen Ansätze eingeschwenkt, wie sie besonders Engelbart und die Pioniere der graphischen Datenverarbeitung vertraten. Ihre Entwicklungsaktivitäten wurden dann auch neben Time-Sharing-Systemen und Computernetzen der dritte Hauptschwerpunkt des ARPA-Förderungs-Programms.

Auch *Douglas C. Engelbart* legte als Quereinsteiger in die Computing Community das Hauptgewicht nicht auf Berechnungen, sondern auf die Informationsverarbeitung, auf das »Individual as a User, Generator, and Retriever of Information« (Engelbart 1961) Er hatte sich schon ab 1958 im Rahmen von Überlegungen über ein »technical information center« näher mit dem Memex-Aufsatz beschäftigt und in den Folgejahren

gründlich rezipiert (Bourne/Engelbart 1958 und Oinas-Kukkonen 2007, der aber die frühen Aufsätze nicht heranzieht). Er übernahm von Bush nicht nur die Idee eines »Microdocumentation System« und einer persönlichen Arbeitsstation, sondern auch dessen Methode, »to combine lower-level technologies into a simple machine with a higher level function.« (Engelbart 1961; Nyce/Kahn 1991, S. 44). Ganz im Gegensatz zum damaligen KI-gläubigen Mainstream der Computer-Community bildete die Entwicklung neuer Interfaces und die Schaffung einfacher Werkzeug-Kombinationen für die Informationsverarbeitung den Ausgangspunkt seiner MCI-Forschung, denn hiervon erwartete er eine bedeutende Erweiterung intellektueller Tätigkeiten. Dabei ging er bei der Auslotung des physikalischen Design-Space der Interaktionstechniken im Gegensatz zu den in der Interface-Entwicklung üblichen Ad-hoc-Entwurfsmethoden sehr systematisch vor.¹⁰

Nach frühen Designstudien für Feedback-Lernmaschinen Ende der 50er Jahre spielte Engelbart 1962/63 alle menschlichen Dateneingabemöglichkeiten durch. Von den bekannten »man-machine interfaces« hielt er allein die Standard-Tastatur für die Interaktion mit dem Computer geeignet, während Morsetaste und das »keyboard-shorthand system« den Benutzer überforderten. Die so viel propagierten »most natural« Interface-Techniken, die Handschriftenerkennung und die »voice communication« schieden ebenfalls für ihn aus, denn »we have no way of knowing how long it will be before a system-applicable speech recognition machine will be able to decode full English transmission.« (Engelbart 1963, S. 14-16) Die Alternativen für die alphanumerische Eingabe sah er in einer 5-Tasten-Einhand-Tastatur (»chording device«) bzw. in einem daraus abgeleiteten Datenhandschuh (»glove«) für die Eingabe von »five-key codes«. Für die Ansteuerung eines von ihm »indicator mark« benannten Cursors erprobte er vergleichend die bekannten Positionsgeber Lightpen, Joystick und Trackball und konzipierte selber mit »fiber-optic light pipes« « bestückte Datenhandschuhe. Neben den manuellen »screen-select devices« entwickelte sein Team »feet control devices« (später kamen noch »nose-pointing control« und »knee control« hinzu) und erwog sogar schon »eye position tracking schemes« (Engelbart 1963, S. 23-25; English/Engelbart/Berman 1967, Engelbart 1988, S. 194 ff.).

Engelbart ordnete für komparative Konzeptstudien und Vergleichstests alle »input devices« in einer mehrdimensionalen Matrix an: »Much as the periodic table of the elements has characteristics which define groups

10 Siehe hierzu wie zum Folgenden vor allem Friedewald 1999, S. 168-185; ihm verdanke ich auch eine Kopie des Briefes bzw. Memorandums von Engelbart an Robert Taylor vom 5.4.1963 aus der Douglas C. Engelbart Collection, Stanford University Library.

along rows and columns, we laid out a grid of existing devices. And just as the periodic table's rules have led to the discovery of certain previously unknown elements, this grid ultimately defined the desirable characteristics of a device that didn't exist. That device was the mouse.» (Maisel/Engelbart 1996; ähnlich schon im 3. Engelbart-Interview, März 1987) Aber beim Antrieb der Maus knüpften er und William English direkt an ein konkretes historisches Vorbild an, das Planimeter mit zwei orthogonalen Laufrädern, ein Designfehler, der erst 1973 durch die Ballmouse von Ronald Rider behoben wurde (Rider 1974, Aford 1990, S. 395). Doch insgesamt erfolgte die Umsetzung seines von Licklider und Taylor geförderten Forschungsprogramms für neue Interaktionsmedien und die graphische Computerkommunikation bereits auf der Basis einer ersten Systematik des Input-/Output-Equipments und einer frühen Interaktions-Design-Methodik.

Auf der medialen Eben kombinierte Engelbart die Interfaces Bildschirm, Maus, Keyboard und Chording Device zu einer Arbeitsstation für professionelle Informationsverarbeitung. Durch Software-Tools für Textverarbeitung, Grafiken, hypertextartige Dokumenten-Organisation entstand daraus ein viele PC-Errungenschaften vorwegnehmendes dynamisches Medium (»dynamically cooperative man-machine intelligent team«, Engelbart 1960) Die kombinatorische Synthese erfolgte dabei wie bei Bushs »Memex« nicht aus dem Gerätepark, sondern von praktischen Nutzungsszenarien her und auf der Basis einer »hypothetical description« des Systems der »Intelligenzverstärkung«. Das Ergebnis seiner medienkombinatorischen Entwicklungsmethode präsentierte er in der berühmten Demo von 1968, bei der er die ganze Spannweite seiner medialen Neuschöpfungen vorführte (Textverarbeitung, E-Mail, Hypertext, Tele-/Videoconferencing). Die Bilanz dieser Vorgehensweise war eine außergewöhnliche Verbreiterung des Such-, Experimentier- und Entwicklungsfeldes für innovative Interfaces und die Entdeckung und Erprobung des Computers als eines dynamischen Mediums während der 60er und 70er Jahre.

Die Interface-Innovationen der 60er Jahre

Aufgrund dieser Anstöße und der optimalen Innovationsbedingungen kam es zu dem erstaunlichen Sachverhalt, dass im Laufe nur *eines* Jahrzehnts ein Großteil der physikalischen Intermedien und Software-Interfaces entstanden, die noch heute die Grundlage des interaktiven Computing ausmachen. Dazu gehörten neben verbesserten Lightpen- und Joystick-Bauweisen die grafischen Koordinatengeber *Maus*, *Puck* und *Trackball*. Wie die Maus beruhten auch Puck und Trackball auf Gestalt- und Bedienmetaphern aus dem Bereich der Zeichengeräte und mathemati-

schen Instrumente. Der Maus-ähnliche Puck, auch Sensor Probe genannt, der per Lupe und Fadenkreuz eine weit genauere Ansteuerung von Punkten auf Bildschirmen, Grafiktablets oder Menutablets ermöglichte, lehnte sich eng an bestehende Präzisionszeichengeräte an, er wurde demgemäß auch überwiegend als professionelles Interface beim CAD eingesetzt. Vorläufer des Trackballs (Tracker Ball, Roller Ball, Bowling Ball) waren bereits in der Mitte des 19. Jahrhunderts analoge Rechengeräte für die »harmonische Analyse« wie die Kugelkalotte bzw. das Kugel-Rollplanimeter. Eine neue Welle von »ball type computing devices« entstanden im Zweiten Weltkrieg für Feuerleitsysteme, Scheinwerfer-Steuerungen und Flugbahnberechnungen. Obwohl »ball computers« bereits Ende der 40er Jahre auch für Werkzeugmaschinen-Steuerungen verfügbar waren, wurden die ersten »control balls« für das Bildschirm-Tracking und zur Cursor-Lenkung erst 1961 bzw. 1966 patentiert (Alexander 1961; Laman 1966).

Im gleichen Zeitraum führten die erheblichen Mängel der Lightpen-Bedienung zu dem Digitalisiertablett mit Stifteingabe, dem »input drafting table for handwritten and drawn programs« von 1961, nach ihrem Erfinder auch Teager-Table genannt. Durchgesetzt hat sich aber erst das von Malcolm R. Davis und Thomas O. Ellis (1964) in der Rand Corporation geschaffene Rand-Tablet, aus dem sich bis heute unzählige Varianten von Pen-Tablets entwickelten. Die Spannweite reicht von kleinen Sketchpads bis zu Digitizern im Zeichenbrett-Format. Die Koordinationsmängel zwischen Ein- und Ausgabe wurden einerseits Anlass für eine Direktverkopplung von Monitor und Tablet (»GRAIL-Console« bei Rand) und andererseits zu einer Verlegung des elektrischen Koordinaten-Gitters auf den Bildschirm. Damit wurde 1962 durch Christian Paul Charles Lesage von der »Compagnie des Machines Bull« auch die Touchpanel- und Touchscreen-Entwicklung angestoßen. Sein »manually controlled coding device« (U.S. Patent 3.220.00, 23.11.1965) sollte untrainierten Laien die Bedienung von Computern ohne die Zwischenschaltung komplizierter Eingabegeräte erlauben. Der Touchscreen gilt seither aufgrund seiner Bedienung durch einfache Zeigegesten als der einfachste und natürlichste aller Positionsgeber, denn »there is no spatial mapping between input device and the screen.« (Douglas/Mithal 1997, S. 72) Ben Shneiderman brachte gar die Entstehung dieses elementarsten aller Eingabemedien mit Michelangelos Darstellung der Erschaffung des Menschen in Verbindung: »Inventors of the touchscreen in the 1960s may have been inspired by this image in their cultural unconscious. Touchscreens have an unrivaled immediacy, a rewarding sense of control, and the engaging experience of direct manipulation.« (Shneiderman 1991, S. 93)

Auch dem Pen-basierten Grafik-Tablett sagte man damals eine große Zukunft voraus, da es dem natürlichen Schreiben und Zeichnen am

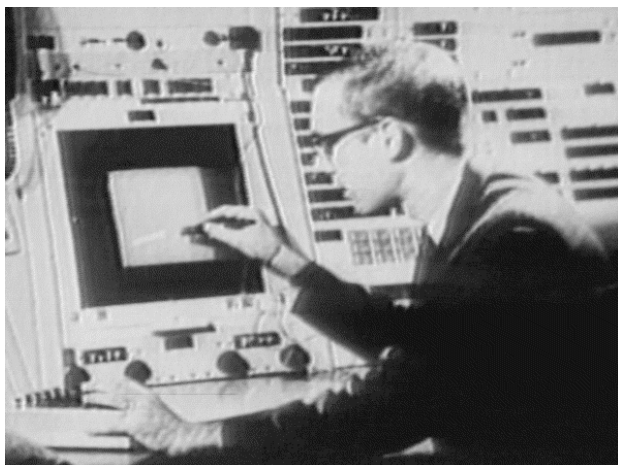
nächsten käme, denn »the nearer the operator action approaches the natural act of writing or drawing the more successful is the man/machine relationship.« (Evans 1969, S. 11). Doch die Trennung von Ein- und Ausgabemedium ließ die Tablets mit Graphic Pencil bzw. Stylus bis heute nicht über eine professionelle Nischentechnik hinauskommen. Auch der »Berührbildschirm« blieb wegen seiner starren Dialogführung lange Zeit auf Public Access Systeme beschränkt. Sein Einsatz im industriellen Umfeld wurde zudem bis vor kurzem durch die mangelnde Genauigkeit der Ansteuerung kleinerer Ziele mit dem Finger behindert. Hier wie in der professionellen grafischen Datenverarbeitung blieb es lange bei Lightpen- oder Stift-basierten Eingabesystemen. Für den Allgemeinbedarf fügte man um 1965 in die Tastatur »cursor control keys« (Schreibmarken-Tasten, Pfeiltasten) ein, die bei Buchungsmaschinen schon seit den 50er Jahren üblich waren (Lange 1986, S. 107 ff.). Später kamen noch der drehknopfartige »Pro Pointer« und »spin-wheels« als in Keyboards integrierbare Positionsgeber hinzu. Mit diesen nachgeschobenen fortschrittlich-konservativen Lösungen wurde auch das weit verbreitete Standard-Interface mit begrenzten, aber preiswerten 2D-Interaktions-Möglichkeiten ausgestattet.

Die 2D und 3D-Grafik-Revolution in der MCI

Neben den diversen neuen Hardware-Interfaces entstand im Laufe der 60er Jahre auch der Grundstock an graphischer Interaktions-Software. Hier war es vor allem Ivan Sutherlands Pioniersystem »Sketchpad« von 1962/63, das den Umgang mit dem Computer auf eine neue Stufe stellte: »Heretofore, most interaction between man and computers has been slowed down by the need to reduce all communication to written statements that can be typed. In the past, we have been writing letters to rather than conferring with our computers.« (Sutherland 1963, S. 329 und unten *Nake*) Mit den interaktiven Grafik-Programmen von Sketchpad wurde es hingegen möglich, dass der Benutzer direkt mit dem Computer konferierte »through the *medium* of line drawings.« Der Übergang von den Programmzeilen zur grafischen 2D-Interaktion wurde von Sutherland nicht nur als eine bedeutende Ausweitung der Bandbreite in der Mensch-Computer-Interaktion gesehen, sondern als ein grundlegender medialer Wechsel: »The Sketchpad system, by eliminating typed statements [...] in favor of line drawings opens up a new area of man-machine communication.« Durch die verwendete »picture language perfectly natural to the human« könne der Nutzer komplizierte Zusammenhänge viel leichter überschauen und verstehen. Es entstehe ein »novel communication medium«, dessen Einsatzspektrum von der mathematischen Modellierung über Konstrukti-

onszeichnungen und Schaltkreisentwürfen bis zu »artistic drawings«, Karikaturen und animierten Grafiken reiche (Sutherland 1962, S. 9, 18; 1967, S. 61).

Abb. 5: Ivan Sutherlands Grafiksystem Sketchpad von 1963, das die interaktive grafische Kommunikation mit dem Rechner revolutionierte (Machover 1999)



Wie Sutherland und andere Pioniere der grafischen Datenverarbeitung erwartete auch Licklider vom Übergang vom »one-dimensional stream of alphanumeric characters« zur Kommunikation mit zwei- und dreidimensionalen grafischen Skizzen und Bildern eine Erschließung breiter Nutzerschichten: »[...] I think that it will probably be realistic graphics that dominates the mass introduction of computing into the lives of the people.« (Licklider 1967, S. 41; 1976, S. 95) Licklider war derart überzeugt von der grafischen Wende der MCI, dass er als Organisator der Forschungsförderung im Computerbereich die Grafik zu einem Kern seines Forschungsprogramms machte und sogar zur Absicherung dieses Schwerpunktes Sutherland zu seinem Nachfolger berief (Norberg/O'Neill 1996, S. 125 ff.).¹¹ Als Leiter der ARPA-Computer-Abteilung formulierte dieser nun seinerseits strategische Überlegungen für den MCI-Bereich und Zukunftsszenarien für Online-Systeme und die grafische Interaktion. Ein Schwerpunkt waren darin »neuartige Eingabegeräte«, denn diese »können dem

11 Auch dessen Nachfolger Robert W. Taylor war sehr an der Computergrafik und der MCI interessiert, vgl. Taylor 1968; Norberg/O'Neill 1996, S. 131 ff.

Computer eine größere Vielfalt an Informationen zuführen«. Auch von besseren Computer Displays sowie neuen Visualisierungs- und Simulationstechniken erwartete er eine Erweiterung des menschlichen Wahrnehmungshorizontes, (Sutherland 1967, S.; 1970, S. 57). So wie er durch die Verknüpfung von Darstellung, Bearbeitung, Speicherung, Simulation, Animation und Übertragung grafischer Informationen ständig neue mediale Möglichkeiten erkundet hatte, so wollte jetzt über die Verbesserung und Kombination von Interfaces und Interaktionstechniken dem Computer ein breiteres Anwendungsfeld in Wissenschaft, Technik und Schulwesen eröffnen.

Nach der erfolgreichen Erschließung der 2D-Welt gab Sutherland noch während der 60er Jahre auch den Anstoß für eine erste Inangriffnahme des dreidimensionalen Interaktionsraumes. Bereits 1963/64 nutzten John E. Ward und Douglas Ross im interaktiven Grafik-Projekt »Kludge« am MIT das Ball-Computing-Prinzip in einem 3D »rate-control joystick«, den sie »chrystal ball« bzw. »globe« nannten. Sie manipulierten mit ihm dreidimensionale CAD-Grafiken auf einem Bildschirm, »so that one can get a feeling of the figures from all sides.« (Lindgren 1966, S. 65 f.; Wildes/Lindgren 1985, S. 350 f.) Lawrence G. Roberts, der erste Chefentwickler des von Licklider und Taylor angeregten *Arpanet*, baute die Lightpen durch Ultraschall-Sensoren zu einem 3D-Tracking-Device aus und erweiterte zusammen mit Timothy E. Johnson die Sketchpad-Software in den 3D-Bereich (Roberts 1989). Von dem Übergang zur Dreidimensionalität versprach sich Roberts (1964) eine weitere Erleichterung der Mensch-Computer-Kommunikation, denn: »A graphical language is tremendously powerful because it is a natural form of human representation and it derives richness and economy from its multi-dimensional character.« Sutherland selbst ging Mitte der 60er Jahre dann den nächsten Schritt von *statischen* 2D- und 3D-Objekten zu einer *dynamischen* Modellierung dreidimensionaler Räume.

Er schuf im Anschluss an frühe Helm-Display-Konstruktionen von Flugsimulatoren, wie sie Comeau und Bryan (1961) für die U.S. Airforce entwickelt hatten, und an multisensorische 3D-Kino-Systeme von Morton Heilig (Halbach 1994; Schröter 2004, S. 180 ff.) in den Jahren 1965-68 das erste Computer-gesteuerte »Head-Mounted Device« (HMD) mit zwei Miniatur-CRTs. Er experimentierte auch bereits 1966/67 mit durch Kopfhaltung gesteuertem Navigieren in virtuellen 3D-Räumen, die durch Drahtgitter angedeutet waren. Trotz der noch primitiven Visualisierung begriff er dieses Display bereits als Einstieg in eine völlig neue Interface-Welt, in der der Benutzer sich schwerkraftlos in mathematischen Räumen bewegen kann. Die Bedienung sollte nicht mehr durch Tastaturen, Knöpfe, Joysticks, Grafiktablets oder sonstige »manual input devices« erfolgen,

sondern durch »natürliche« Muskel- und Körperbewegungen, die über Sensoren erfasst würden. Selbst die Eingabe über die Augenstellung (»measure rotation of the eyeball«, Sutherland 1968, S. 757) wurde erwogen, aber wegen technischer Schwierigkeiten zunächst aufgegeben.

Ähnlich wie bei Engelbart und Licklider kulminierte Sutherlands kombinatorische Erkundung des MCI-Designraums in einem fiktiven Intermedium, das alle neuen »methods of controlling machines« integrierte. In dem Essay »Ultimate Display« von 1965 beschrieb er ein »kinesthetic display«, das mit einem Joystick mit »force feed back capability«, mit Hand-, Arm- bzw. Ganzkörperbewegungen oder Sprache gesteuert wird und daher auch über eine exquisite Audioausgabe verfügt. Dieses neuartige Computer-Display sollte nach Möglichkeit das gesamte natürliche Sinnesspektrum ansprechen und dadurch zugleich die physikalische Welt wie auch fiktive Modellwelten abbilden können. So wie das Mikroskop die mikroskopische Welt und das Fernrohr die makroskopische Welt erschlossen habe, so würden Computer-Displays den Menschen befähigen, die Strukturen der vom Menschen erzeugten mathematischen Welt in einem elektronischen Mechanismus zu simulieren und zu erkunden, wobei es gleichgültig sei, ob die simulierten und manipulierten Objekte den Naturgesetzen folgten oder nicht:

»If the task of this display is to serve as a looking-glass into the mathematical wonderland constructed in the computer memory, it should serve as many senses as possible. [...] The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter [...] With appropriate programming such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked.« (Sutherland 1965a, 507 f.)

Viele Hardware- und Software-Komponenten wie auch Nutzungskonzepte der Virtual Reality waren somit bei Sutherland schon in der zweiten Hälfte der 60er Jahre vorweggenommen, es fehlte nur noch der Begriff. Hier blieb er noch langezeit auf die literarischen Metaphern des »looking glass« und des »mathematical wonderland« fixiert. Doch auch ohne einen konkreten Leitbegriff lenkte Sutherland die MCI-Community in die Richtung multimodaler Interaktionsformen. Er erweiterte die von Engelbart erschlossene zweidimensionale Matrix der Ein-/Ausgabemöglichkeiten, die noch stark an Texten, statischen Grafiken, hierarchischen Begriffsnetzen und klassischen Kommunikationsmedien orientiert war, zu einem nahezu unerschöpflichen mehrdimensionalen multisensorischen Designraum und gab damit wichtige Anstöße für die spätere Natural Interface-Forschung. In der Praxis galt allerdings wegen der hohen Kosten und der unzureichenden Speicher- und Prozessorkapazitäten bis in die 80er und 90er Jah-

re hinein die Hauptaufmerksamkeit nicht den umfassenden Visionen von dreidimensionalen Datenräumen, Computer-simulierter multisensorischer Telepräsenz und ›Virtueller Realität‹, sondern den »conventional interfaces, working in flatlands« (Blundell/Schwarz 2005, S. 10).

Am Ende trieb Sutherland seine kombinatorischen Überlegungen über die Interfaces und Medien hinaus auf die Ebene der On-Line-Systeme. Denn von einem Zusammengehen der sich bisher getrennt entwickelnden »Process Control«, »Inquiry Systems«, »Problem-Solving«- und »Instrumentation-Systems« versprach er sich ungeahnte neue Möglichkeiten der Arbeitserleichterung, Arbeitsteilung und Wissensbeschaffung. Resultate wären »automated libraries«, die die Informationswünsche der User kennen, »on-line programming systems« einschließlich »program sharing« und räumlich verteilte »on-line design systems«: »We have yet to combine the functions of the design system and the inquiry system [...] The time is ripe to collect the techniques of pattern recognition, process control, and heuristic programming together to gain a new capability« (Sutherland 1965b, S. 11 f.). Durch fortschreitende Integration von »process control on-line studies« und »automatic problem-solving work« könnten in Zukunft »automata« die menschliche Interaktionsarbeit immer mehr ersetzen. Die Computer würden Wissen über ihre jeweilige Umgebung erlangen, den Benutzer von sich aus fragen und selber aktiv werden. Im Unterschied zu Licklider und vor allem zu Engelbart rechnete Sutherland nämlich mit einer relativ kurzen Übergangsperiode der ›symbiotischen‹ Online-Interaktionswelt. Daher beschäftigte er sich bereits 1965 mit dem Gedanken eines Menschen und Dinge verkoppelnden proaktiven Computing als Grundlage einer zukünftigen »leisure society«: »What I am predicting is that today's interest in systems in which a man and a machine get together on-line will be replaced in the distant future by interest in systems in which a computer gets directly on-line with the real world, sensing and interacting with it directly through transducers. The ›real world‹ with which such systems interact will include human beings, of course.« (Ebda., S. 13) Er gelangte damit noch Mitte der 60er Jahre wohl als einer der Ersten zu der Vision einer sich selber regelnden Welt von ›intelligenten‹ Dingen und Alltagsprozessen.

Die medienkombinatorische Synthese der PC-GUI-Welt

Mit der durch die neuen Positionsgeber und Zeigeeinstrumente ermöglichten grafischen Manipulation von 2D- und 3D-Objekten auf einem Rasterbildschirm wurden nicht nur die Grenzen der bisherigen zeilengebundenen textuellen Interaktion gesprengt, es erschloß sich nun auch ein nahezu unendlicher Raum von Software-Interfaces. Denn durch bloßes

Zeigen auf einen Punkt, eine Linie, eine Fläche, ein Wort, ein Feld mit Schaltfunktion oder ein Symbol konnten die unterschiedlichsten Software-Objekte und -Prozesse angewählt und Aktionen ausgelöst werden.¹² Das Zeigeelement entwickelte sich so zu einem Navigator zwischen virtuellen Schaltflächen wie Windows, Icons, Menus und Softkeys, mit denen sich verschiedene Bedeutungsebenen ansteuern, Zeichenprozesse aktivieren und mediale Funktionen realisieren ließen (siehe dazu unten den Beitrag von Nake). Dadurch entstanden völlig neuartige, Hardware-unabhängige symbolische Interaktionsmöglichkeiten. Sie erst verliehen dem Computer den Charakter eines dynamischen Mediums, das neben die klassischen Informations- und Kommunikationsmedien trat. Zu den bisherigen *Geräte-* und *Hardware-*Interface-Metaphern trat so eine Fülle von *Software-*Metaphern, die vor allem durch Sutherlands Schüler Alan Kay in der Ende der 60er Jahre konzipierten »Desktop-Metapher« gebündelt und im »graphical user interface« zu einem multifunktionalen »metamedium« integriert wurden (siehe Friedewald 1999, S. 249 ff; Barnes 2007).

Kay setzte sowohl die graphische wie auch die multimodale Entwicklungsrichtung seines Lehrers fort, doch ging es ihm nicht um synthetische Räume und ein mathematisches Wunderland, sondern um ein universelles Mikrocomputer-Lernmedium, das im Gegensatz zur passivisierenden TV-Berieselung und behaviouristischen Lernautomaten Wissens- und Phantasieräume aktiv und spielerisch erschließt und so die kreative Entfaltung fördert. Unter dem starken Einfluß der Reformpädagogik der 60er Jahre und in bewusster Anknüpfung an die Medienfiktionen von Bush, Licklider, Engelbart und Sutherland entwickelte er seine Vision eines »personal, portable information manipulator« ebenfalls in Form eines Zukunftsszenarios und einer »fantasy machine« (Kay 1972). Diese sollte den medialen Spielraum ausloten und zugleich als »Holy Grail version« des zukünftigen »personal computer« die Designer in ihren alltäglichen Entwicklungsarbeiten immer wieder an die ursprünglichen Zielsetzungen erinnern (Kay 1975, S. 4). Bei der Konkretisierung der Medienvision griff er weder auf das »Ultimate Display« Sutherlands noch auf die Electronic Library- und »Public Information Utility«-Konzepte der 60er Jahre zurück, sondern orientierte sich in Anlehnung an McLuhans Medientheorie an der Buchmetapher. So nannte er seine von einem grafischen Terminal ausgehende Medienprojektion ausdrücklich »*Dynabook*«. Als ein »carry anywhere device« sollte dieses aktive, dynamische Medium langfristig viele alte Medien in sich aufnehmen und völlig neue, noch nicht erfundene ermöglichen:

12 Um 1975 prägte David Canfield Smith im Rahmen seiner von Kay betreuten Dissertation für das generalisierte Konzept symbolischer Schaltfelder den Begriff »icon« (Perry/Voelcker 1989, S. 50).

»Imagine having your own self-contained knowledge manipulator in a portable package the size and shape of an ordinary notebook. How would you use it if it had enough power to outrace your senses of sight and hearing, enough capacity to store for later retrieval thousands of page-equivalents of reference materials, poems, letters, recipes, drawings, animations, musical stores, waveforms, dynamic simulations, and anything else you would like to create, remember, and change?« (Kay 1975, S. 2)

Obwohl Kay seine »Fantasy amplifier«-Vision und das »Personal Computing«-Szenario durchaus auch als »science fiction« verstanden wissen wollte, war er doch bei deren technischer Umsetzung darum bemüht, sich ganz realistisch an verfügbare Interfacetechniken zu halten (Kay 1972). Denn er setzte, auch hier den medienkombinatorischen Vorbildern folgend, nicht auf Technologiesprünge in der Zukunft, sondern auf die Neukombination erprobter Techniken. Auch er glaubte nicht an schnelle Erfolge der KI, denn »nobody knows whether artificial intelligence is a 10-year problem or a 100-year problem.« (Kay/Postman 1999) Er wollte die Interface- und Interaktions-Techniken nicht intelligenter machen, sondern ähnlich wie Bush und Engelbart in Fortführung erkennbarer Trends der vorhandenen Techniken mit Computern völlig neue Repräsentationsmöglichkeiten für Ideen schaffen: »We haven't gotten any smarter, we've just changed our representation system. We think better generally by inventing better representations; that's something that we as computer scientists recognize as one of the main things that we try to do.« (Kay 1989, S. 6) Über das Manipulieren von Repräsentationen sollten sich die Dynabook-Nutzer eigene Denk- und Phantasieräume aufbauen und mit anderen kommunizieren: »External mediums serve to capture internal thoughts for communications and, through feedback processes, to form the paths that thinking follows.« (Kay 1977, S. 231). Seinen eigenen Anteil an der Entstehung dieser »Personal Dynamic Media« (Kay/Goldberg 1977) erblickte Kay daher auch nicht so sehr in einer radikalen Neuentwicklung als vielmehr in der Integration von bereits Bestehendem, im Aufgreifen von Nutzerwünschen der Computerlaien sowie im Zusammenfügen von objektorientierten Softwaretools, symbolischen Interaktionsansätzen und neueren Interfaces zu einem universellen Spiel-, Wissens-, Design-, Planungs- und Kommunikations-Medium: »All the ingredients were already around. We were ready to notice what the theoretical frameworks from other fields of Bruner, Gallway, and others were trying to tell us. What is surprising to me is just how long it took to put it all together.« (Kay 1990, S. 196, siehe zu Kay unten den Beitrag von Pflüger)

Mit der Integration der graphischen Interaktionstechniken und der neuen grafikorientierten Interfaces bzw. Intermedien zur Desktop-GUI-

Welt fand die medienkombinatorische MCI-Revolution der 60er Jahre ihren Abschluss. Während *vor* Kay alle Neuerungen im Umgang mit Computern noch fast ausschließlich professionellen Anwendern galten, ermöglichte nun ein Angebot leicht zu bedienender Werkzeuge, mit Analogiebildungen, die die Computerbedienung viel enger an die Büro- und Alltagswelt heran rückten, selbst Kindern, die Funktionen und Inhalte des Metamediums selbst zu bestimmen und auszufüllen. Kays Designstrategie lief ja darauf hinaus, die Nutzer zu befähigen, sich ihre »personal tools« aus Bausteinen und Objekten selber zusammenzusetzen: »The burden of system design and specification is transferred to the user. This approach will only work if we do a very careful and comprehensive job of providing a general medium of communication which will allow ordinary users to casually and easily describe their desires for a specific tool.« (Kay/Goldberg 1977, S. 40 f.) Die neue Welt von Software-Interfaces befreite auf diese Weise die Computernutzung von den bisher dominierenden Zwängen vordefinierter algorithmischer Prozesse und Programmieranforderungen, sie lastete ihm damit aber auch die Mühe eines kleinschrittigen Vorgehens auf, ein Problem das Kay schon bald veranlasste, wie seine Lehrer Sutherland und Minsky nach intelligenter Entlastung des Users durch Automaten zu suchen.

7 Die Selektions- und Stabilisierungsphase des Interactive Computing

Alle wesentlichen Neuerungen bei Hard- und Software-Interfaces der 60er Jahre erfolgten noch in der Welt der Time-Sharing-Systeme. Erst im Laufe der 70er Jahre trat neben das an einen Mainframe oder Minicomputer angeschlossene Terminal der »Personal Computer« als geschlossene Hardware-Software-Konfiguration. Die Idee von »personal computers«, »personal consoles« bzw. »personal terminals« entstand zwar bereits kurz nach 1960 in der Time-Sharing-Community, doch handelte sich dabei nur um »remote input-output consoles which have all characteristics of a user's own personal computer with respect to access.« (Teager 1961 und weitere Belege bei Hellige 1996b, S. 218 f.) Erst Ende der 60er Jahre vollzog Kay den Bruch mit der Time-Sharing-Technologie und setzte nun voll auf Mikrocomputer und die LSI-Technik als Basis seines »personal computing medium«. Prototypisch wurde dieses Konzept erstmals 1971-76 in dem »Alto« am Xerox PARC realisiert, doch erst in der zweiten Hälfte der 70er Jahre begann die Markteinführung von Workstations und PCs. Hierdurch änderte sich der Umgang mit Computern grundlegend, denn: »data processing was liberated from centralized, fortress-like clean-rooms attended

by men in white coats, to appear on nearly every desktop and in millions of homes.« (Netravali 1999, S. 202)

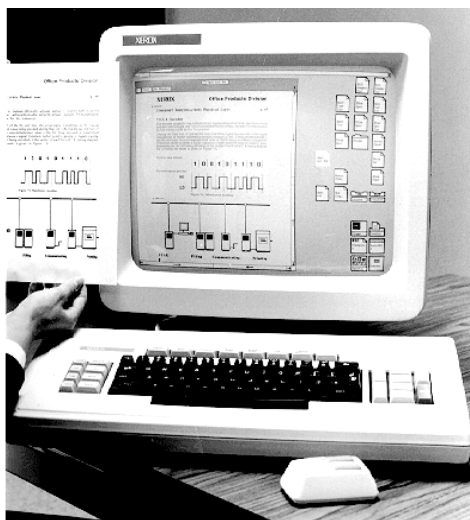
Die durch die Fortschritte der Mikroelektronik forcierte PC-Ausbreitung profitierte in technischer Hinsicht entscheidend vom MCI-Innovationsschub der 60er Jahre, sie selber gab der Evolution der physikalischen Intermedien aber zunächst keine wesentlich neuen Anstöße. Vor allem aus Kostengründen dominierte in der PC-Entwicklung noch bis zum Anfang der 80er Jahre die *textuelle* Interaktion mit Keyboard und Drucker als wichtigsten Ein-/Ausgabemedien. Bildschirme waren anfangs die große Ausnahme, auch Maus, Joystick und Trackball blieben kostenbedingt auf professionelle Anwendungen beschränkt, die eher auf Mainframes und Workstations liefen. So beklagte Sutherland 1971 das Ausbleiben der Graphik-Revolution: »But today, after nearly ten years, we don't find acres of draftsmen using computer output terminals; we don't see widespread application of computer graphics in architecture, mechanical design, or even in numerical parts of programming. Why does it take so long for these very good ideas to catch on?«¹³ So kam es, dass die Massenausbreitung der graphischen Interface-Innovationen der 60er Jahre erst 15-20 Jahre später einsetzte. Ende der 80er Jahre hatte der Normal-PC-Besitzer, wie Roberts (1989, S. 65) voller Erstaunen feststellte, nahezu dieselbe grafische Hardware- und Software-Ausstattung, über die die Pioniere bereits in den 60igern verfügten: »So today, one has more or less the same capability even though the computers are a lot faster. And so you see a lot of the same programs, in terms of drawing programs and the like as Sketchpad originated.« Dies zeigt einmal mehr, mit wie langen Zeiträumen man bei der tatsächlichen Einführung und breiten Durchsetzung neuer Intermedien und Interaktionstechniken zu rechnen hat.

Die nun einsetzende *Diffusion* veränderte die Entwicklungsbedingungen und -richtungen der MCI grundlegend, es kam zu einer paradigmatischen Schließung der Interface-Entwicklung. Auf der Hardware-Seite führte das Massenprodukt PC zu einer starken Einengung der anfänglichen Vielfalt der Hardware-Schnittstellen auf die Standardkonfiguration »Bildschirm-Keyboards-Maus«. Während der noch nicht als marktfähiges Produkt geschaffene »Alto« die Wahl zwischen »mouse«, »joystick«, »stylus« und »tablet« offen ließ, sah das kommerzielle Folgeprojekt, der zwi-

13 Alan Kay ergänzte sein berühmtes »Predicting the Future«-Zitat von 1989 mit einer ähnlichen Feststellung: »Another way to predict the future is to realize that it takes a very long time – about 10 to 20 years – to get a technology out of the research lab and into everyday life. It's very difficult to get brand new ideas out in less than a decade; in the case of the transistor, it took almost 25 years. No matter what you do, it may take several companies, several different groups of people, several different areas of venture capital funding and more before you get something back.« (Kay 1989)

schen 1977 und 1981 als »office automation system« entwickelte »Xerox Star« nur noch die Maus als Eingabeinstrument vor (Johnson u.a. 1989). Die Maus hatte damit aufgrund ihrer relativ günstigeren ergonomischen Eigenschaften gegenüber den anderen Positionsgebern gesiegt, sie wurde zum universalen Ansteuerungsinstrument. Die Maus erlebte zwar eine Reihe von Verbesserungsinnovationen, doch trotz der Entwicklung von der Räder- über die Rollmaus zur drahtlosen Optomaus, trotz der Variation bei ihren Funktionstasten und der gelegentlichen Hinzufügung eines Rollrades oder eines Trackballs blieb die grundlegende Funktionalität als Instrument der Cursor-Ansteuerung bis heute nahezu unverändert. Das Papier blieb, obwohl es ursprünglich durch das »Electronic Paper« auf dem CRT-Display abgelöst werden sollte, neben dem Bildschirm weiterhin das wichtigste Ausgabemedium und ein wesentlicher, meist verdrängter Bestandteil der sich etablierenden intermedialen Konstellation. Diese blieb über mehr als 20 Jahre nahezu unverändert, obwohl sich Prozessorleistung, Arbeitsspeicher- und Festplattenkapazität eines PC in diesem Zeitraum weit mehr als vertausendfachten (Baudouin-Lafon 2004, S. 15).

Abb.6: Xerox Star 1810, der 1981 als erster kommerzieller PC mit grafischer Benutzungsoberfläche herausgebracht wurde. (Quelle Xerox-PARC-Archiv; img.zdnet.com/techDirectory/_STAR1.GIF)



Während die Hardware-Innovationen stagnierten, verlagerte sich die Entwicklungsdynamik in diesem Zeitraum zu den Software-Interfaces hin. Es entstand hier eine immer vielfältigere Welt von virtuellen Objekten und Operationen im zwei- und bald auch dreidimensionalen Datenraum, die

der Benutzer per Mausklick ansteuern bzw. auslösen konnte (ausführlich dazu unten Müller-Prove). Durch die zunehmende Visualisierung verschob sich der Anteil der Eingabe-/Ausgabeoperationen am Gesamtvolumen der Computerbefehle beträchtlich. Lag der Input-/Output-Anteil in den 70er Jahren noch bei ca. 10%, stieg er bis zur Mitte der 90er Jahre auf rund 85%: »Die Rechnersysteme scheinen uns auf merkwürdige Weise zu imitieren, indem sie mehr und mehr ihrer Leistungsfähigkeit der Ein- und Ausgabe widmen, denn drei Viertel unserer Hirnrinde dienen dem Sehen, also unserem wichtigsten Sinnesorgan.« (Dertouzos 1999, S. 107) Doch auch die technische Evolution der Software-Interfaces beruhte während der Selektions- und Stabilisierungsphase noch immer weitgehend auf dem Innovationsschub der späten 60er und frühen 70er Jahre: »Most of the code in modern desktop productivity applications resides in the user interface. But despite its centrality, the user interface field is currently in a rut: the WIMP (Windows, Icons, Menus, Point-and-Click) GUI based on keyboard and mouse has evolved little since it was pioneered by Xerox PARC in the early '70s.« (Van Dam 1999) Selbst im Jahre 2006 ergab eine Bestandsaufnahme der HCI-Entwicklung nur geringe grundlegende Fortschritte seit dem noch immer vorbildlichen »Xerox-Star«-Design von 1981: »HCI hasn't produced major innovations in the last 20 years; the WIMP interface today is almost identical to what it was in the 1980s.« (Canny 2006, S. 26)

Die Monopolstellung der Maus unter den Positioniergeräten blieb bis in die 90er Jahre unangetastet. Erst durch den Aufstieg der Portables in den späten 80er Jahren und der mobilen Computer seit den frühen 90ern erlebten Joystick und Trackball, aber auch der Touchscreen eine größere Verbreitung. Waren diese bis dahin weitgehend auf Nischenanwendungen wie den Spielektor, professionelle Spezialanwendungen oder öffentliche Terminals beschränkt, so ersetzten sie nun als »built-in pointing devices« in Laptop- und Notebook-Keyboards die Maus (Reinhardt 1991). Die ergonomischen Defizite der reinen Formen führten bald zu einer vielgestaltigen Variation und Rekombination verschiedener Zeigeinstrumente und miniaturisierter Grafiktablets zu neuen Mischformen.

Den Anfang machten noch in den 80er Jahren die »Wobbleplate«, die bei Xerox (US-Patent 431113) als Verbesserung der getrennten Pfeiltasten-Bedienung entwickelt wurde, sowie Touch Tablet und Touchpad, die Hewlett-Packard und Epson aus der Kombination von Softkey-Prinzip und miniaturisiertem Touchscreen schufen. Der von Ted Selker für die IBM-Notebooks entwickelte »Trackpoint« verkleinerte den schon seit den 60er Jahren verwendeten drucksensiblen isometrischen Joystick und platzierte ihn inmitten der Tastatur. Doch trotz einer nahezu zehnjährigen aufwendigen Entwicklung und mannigfacher Imitationen bei anderen

Computerherstellern gelang dem Trackpoint weder die erhoffte Totalverdrängung der Maus noch eine führende Stellung bei den »keyboard pointing devices« (Thompson 1996). In den 90er Jahren folgten noch weitere Kombinationen taktile Zeigeinstrumente, die wie Twintouch, Touchmouse, Isopoint, Keymouse, Unmouse und Touch-Trackball als Mausersatz bei Notebooks und Handhelds dienen sollten oder die wie Puck Pointer, Ballpoint-Pen und Trackmouse nur ein sehr begrenztes Navigierungsfeld benötigten (Hinckley/Sinclair 1999). Aus der Interface-Lücke, die durch den Aufstieg miniaturisierter mobiler Computer entstanden war, ging so ein ganzes Feld von Interface-Varianten hervor, die mit ihren mannigfachen Kreuzungen, Rekombinationen und Mimikry-Effekten ein Musterbeispiel evolutionärer Technikgenese darstellen, wie sie Basalla (1988) theoretisch entwickelt hat.

Für eine noch weitergehende Schrumpfung der Computergröße reichten aber auch diese Größenanpassungen und evolutionären Weiterentwicklungen bestehender Ein-/Ausgabemedien nicht mehr aus. Eine Unterschreitung der durch das Bedienfeld als kritischem Engpassfaktor definierten Gerätegröße war nur möglich durch Lösungsansätze, die den Bereich grafikorientierter Hardware-Interaktionstechniken hinter sich ließen. Neben der Miniaturisierungs-Problematik bei der Bedienfläche gab es seit der Mitte der 80er Jahre aber noch weitere Anlässe für eine Suche nach Alternativen zum sich gerade etablierenden Desktop- und WIMP-Paradigma. Da war die zunehmende Ausbreitung von Public Access Systemen wie Informations-Kioske, Online-Kataloge und Selbstbedienungsterminals, bei denen weder die Maus noch komplizierte GUI-Dialoge geeignet sind. Doch auch beim Desktop-Computing selber bewirkte das kleinschrittige Vorgehen der »Direkten Manipulation« mit zunehmender Komplexität der Anwendungs-Software immer mehr Verdruss. Infolge der aus Marktstrategien resultierenden Hardware-Software-Spirale bei PCs und der skalenökonomisch bedingten geringen Spezialisierung wuchs die Funktionalität der Softwarepakete derart, dass die Errungenschaften des Graphical User Interface, Visualisierung und sequentielle Eingaben mit ständigem Feedback, immer dysfunktionaler wurden (Norman 1998, S. 72 ff.). Schließlich nahm infolge der vermehrten multimedialen Ausstattung von Workstations und PCs, des Einsatzes von Wall-Displays und 3D-Visualisierungen, insbesondere von Virtual Reality-Systemen, die Asymmetrie zwischen Eingabe- und Ausgabetechniken ständig zu: »Computers today are deaf, dumb, and blind. They communicate with their environment principally through an slow serial line to a keyboard and mouse.« (Pentland 1995, S. 71) All dies löste noch in den 80er Jahren ein Interesse an breitbandigeren Eingabe-Systemen und »natürlicheren« Formen des »Mensch-Computer-Dialogs« aus, der sich in verstärkten Ent-

wicklungsaktivitäten auf den Gebieten der Sprach-, Schrift-, Blick- und Gestenerkennung niederschlug. Hieraus entwickelten sich nach 1990 als neue MCI-Leitbilder das »Non-WIMP-User-Interface«, die »Post-Mouse-Era« und, positiv gewendet, die »Natural User Interfaces«.

8 Natural User Interfaces als Alternative zum Desktop-Paradigma

Die Hoffnung auf eine baldige Realisierung einer quasi natürlichen Kommunikation mit Computern wurde trotz permanenten Scheiterns nie aufgegeben. So plädierte Raymond S. Nickerson 1969 für eine Umkehrung der HCI-Forschung: »the need for the future is not so much for computer-oriented people as for people-oriented computers« (zit. nach Newell 1985, S. 231). Fünf Jahre später verkündete Morton I. Bernstein (1974, S. 194) das neue Entwicklungsziel: »With the tremendous developments in computing which we have witnessed in the past two decades, it is now time that computers should be ›humanized‹ and that many men and woman be liberated from distance between men and machines.« Schon 1980 sollten Ein- und Ausgaben in der natürlichsten Weise erfolgen: »One will speak those things normally spoken and draw pictures and write equations for those things normally drawn and written. The computer's response will be the spoken word, perhaps a song where appropriate, pictures, graphs, and charts, and even the printed word.« (Ebda., S. 183). Wenige Jahre später formulierte Peter F. Jones als neues MCI-Design-Prinzip, »that the human interface with the computer is best when it resembles human communication as much as possible.« (zit. nach Newell 1985, S. 231) Im Jahre 1987 verkündete dann der IBM-Forschungschef den natürlichen Umgang mit Computern als ein wesentliches Charakteristikum der »Next Computer Revolution«: »A considerable fraction of the computer's power will go to making the machine easier to use by accommodating a natural human-machine interaction based for example on voice and handwriting.« (Peled 1987, S. 40) In der ersten Hälfte der 90er Jahre wurden die anfangs noch separaten Bestrebungen zur Realisierung von »natural language« bzw. »natural gesture interfaces« unter den Begriffen »Natural I/O« und »Natural User Interfaces« zu einem neuen Leitbild mit hohen Erwartungen erhoben: »Natural I/O is the ultimate user-friendly interface. It places the burden of communication squarely on the computer rather than on the human: Instead of the user having to learn the computer's preferred interface, the computer must deal with the user's preferences.« (Caudill 1992, S. 135)

Sprach- und Gesten-Interfaces als Hoffnungsträger

Im Mittelpunkt der Bemühungen um eine natürlichere MCI stand noch immer die Sprachverarbeitung. Da selbst nach der ersten großen Ernüchterung in den 60er Jahren die Sprache weiterhin als die natürlichste Kommunikationsform auch zwischen Mensch und Rechner galt, wurden die Forschungen zu »speech interfaces« auch in den folgenden Jahrzehnten kontinuierlich weitergetrieben. Daraus gingen in den 70er Jahren erste noch sprecherabhängige Spracherkennungssysteme mit kleinem Vokabular und Einzelworteingabe hervor (Norberg/O'Neill 1996, S. 224-239). Die aus jedem Fortschritt folgenden Versprechungen der Entwickler und Anbieter vom endgültigen Durchbruch endeten jedoch regelmäßig in einer Ernüchterung: »Over the past four decades it has often been felt that the solution to the problem of ›machine recognition of speech‹ is just around the corner.« (Hogan 1983, S. 178)

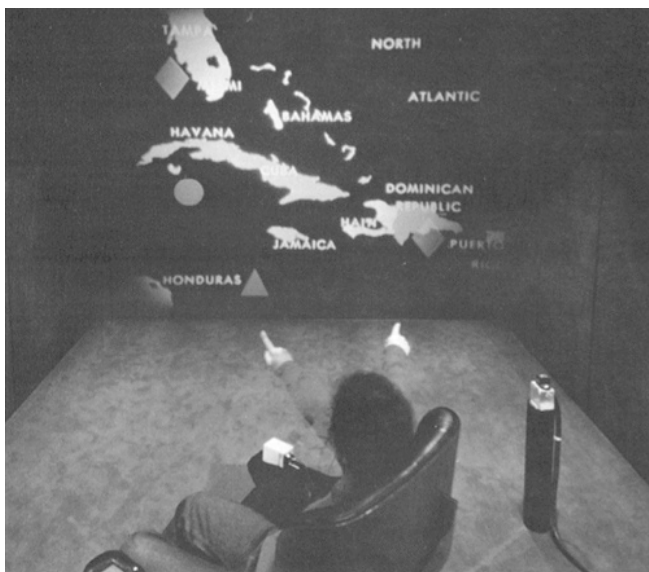
Höhere Speicher- und Prozessorleistungen ermöglichten seit Mitte der 80er Jahre die Verwendung größerer Wörterbücher und erste Kontextabgleiche auf der Basis statistischer Überprüfungen von Worthäufigkeiten und Wortkombinationen, dies alles lief freilich noch immer auf Großrechnern. Erst seit den 90er Jahren kamen erste Produkte für PCs und Workstations auf den Markt, die allerdings erst Ende des Jahrzehnts für den Allgemeingebrauch geeignet waren (vgl. u.a. Rabiner 1995). Nach 2000 begann die Einführung von Sprachverarbeitungssystemen für mobile Geräte, diese haben aber mit ähnlichen Ressourcenproblemen zu kämpfen wie vordem die stationären PC-Systeme. Doch trotz ständig leistungsfähigerer Prozessoren und erfolgreichem Einsatz von statistischen Methoden (Markov-Ketten) bietet die Verarbeitung sprecherunabhängiger fließender Sprache noch immer für den Alltagsgebrauch von Diktier- und Dialogsystemen unbefriedigende Erkennungsraten. Nur die Sprachsteuerungs- und -dialogsysteme mit begrenztem Befehlssatz arbeiten schon relativ zuverlässig. Die gegenüber den GUI-Interfaces langsamere Sprachein-/-ausgabe, fehlendes oder unzureichendes Feedback sowie umständliche Korrekturprozeduren lassen »speech interfaces« für den Benutzer noch immer nicht als die natürliche Alternative zur WIMP-Welt erscheinen, als die sie seit langem propagiert wurden. Rabiners Erwartung (1993, S. 495), dass in den Jahren nach 2000 die natürlichsprachige Interaktion mit »totally unrestricted vocabulary, syntax, and semantics, including the capability of translating telephony« erreicht würde, hat sich so wie die früheren Prognosen für die Sprachverarbeitung als zu optimistisch erwiesen. »Human-human relationships«, so das ernüchterte Resultat von Ben Shneiderman (2000, S. 63), »are rarely a good model for designing effective user interfaces. Spoken language is effective for human-human interaction but often

has severe limitations when applied to human computer interaction.« Auch die Bestandsaufnahmen von Kato (1995, S. 10060) und Ogden/Bernick (1998, S. 150 ff.) stellten fest, dass die jahrzehntelange Erfahrung gezeigt habe, dass Voice Interfaces sehr spezieller Natur seien und daher nicht als generelle Lösung des »man-machine interface« taugten, zumal den »Voice-Processing Technologies« der für die zwischenmenschliche Kommunikation charakteristische Kontextbezug fehle. Trotz dieser Einsichten werden Speech-Systems in den meisten MCI-Zukunftsszenarien nach wie vor als *die* Patentlösung für die Mensch-Computer-Kommunikation gehandelt.

Als die nach der Sprachverarbeitung »natürlichste« Interaktionstechnik galt und gilt die Gesteneingabe. Da in der zwischenmenschlichen Verständigung mit sehr einfachen, aber aussagekräftigen Hand- und Körpergesten sehr komplexe Sachverhalte kommuniziert werden können, erhofft sich die MCI-Forschung vom gezielten Gesteneinsatz eine vereinfachte Handhabung der zunehmend komplexeren Anwendungsprogramme. Als Gesten dienen dabei sowohl vereinbarte Hand- und Fingerstellungen, Kopf- oder Körperbewegungen als auch »drawing gestures« nach dem Muster von Korrekturzeichen oder stenografischen Kürzeln (Huang/Pavlovic 1995). Die Entwicklung von Gesteneingabetechniken setzte bereits in den 60er Jahren ein, zunächst mit dem Schwerpunkt »pen-based gestures« im Anschluß an die »Light-pen gestures« in Sutherlands »Sketchpad« und die Gestenerkennung auf dem Rand-Tablet. Um 1970 kam dann auch die maschinelle Interpretation von Handgesten ins Spiel, hier führte das Problem der Interaktion mit Walldisplays, die speziell beim US-Militär eingesetzt wurden, zu ersten Entwicklungen von Gesture-Systemen.

Im militärischen Kontext entstand ab 1976 auch das bahnbrechende »Put That There-System« der »Architecture Machine Group« am MIT um Nicholas Negroponte und Richard Bolt. Hier wurde das Muster eines »Media Room« geschaffen, in dem der User von einem Sessel aus über kombinierte Sprachbefehle und Zeigegesten »command events« auf einem visualisierten Einsatzfeld auslöste (Bolt 1980, siehe die Abb. 7). Das als »image of an office of the future« geplante System wurde zwar durch ein »spatial data management« zu einem persönlichen Dokumentenbearbeitungs- und Lesemedium ausgebaut (»Dataland« und »Books without pages«), aber mit seinem zentralen Steuerstand im abgedunkelten Raum und der Interaktion mit dem Walldisplay per Zeige-, Touch- und Sprachkommandos ähnelte es eher noch den Command-and Control-Interfaces der SAGE-Ära als den immersiven Virtual Environments der 80/90er Jahre (Bolt 1979; Brand 1990, S. 170 ff.; Wagner 2006).

Abb. 7: Das »Put-that-there-System« der »Architecture Machine-Group« am MIT kombinierte erstmals Sprach- und Gesten-Erkennung (Bolt 1980)



In den 80er Jahren wurde das Anwendungsspektrum der Gesteneingabe stark ausgeweitet. Die Kombination der Zeigefunktion mit Menüs ermöglichte bald die direkte Manipulation von beliebigen Text-, Grafik- und Multimedia-Dokumenten. Doch erst die Einführung von Datenhandschuhen und Videokameras für das Tracking und Erkennen von Gesten erschloss über die bloßen Zeigegesten hinaus den Bereich emblematischer bzw. semiotischer Gesten, d.h. symbolischer Handbewegungen mit kulturell tradierter oder vorab definierter Bedeutung. Der Datenhandschuh, den Engelbart bereits als Eingabemöglichkeit erwogen hatte, entstand zuerst 1976/77 an der School of Art & Design der University of Illinois in Chicago. Die Computerkünstler und Interface-Entwickler Daniel J. Sandin und Thomas A. DeFanti entwickelten den »Sayre Glove«, benannt nach dem Anreger der Idee Richard Sayre, um damit Sound- und Lichteffekte bei elektronischen Musik- und Multimedia-Performances zu »dirigieren« (Sturman/Zeltzer 1994).

Auch die Gestenerkennung per Videokamera ging aus der Nutzung des Computers zu künstlerischen Zwecken hervor. Myron W. Krueger setzte 1969/70 als erster Videokameras zum Tracking von Hand- und Körpergesten ein, da er Sutherlands HMD und die 3D-Zeigergeräte in seinen experimentellen »responsive environments« als zu störend empfand.

Er schuf durch die Projektion von Gesteneingaben auf eine Wand zwischen 1969/70 und 1987 eine ganze Reihe von interaktiven Rauminstallationen, die als Vorformen der Virtuellen Realität angesehen werden können. In der hierdurch erreichten Kombination von »gesture input« mit Großdisplays sah er die Basis für ein »new aesthetic medium«, für das er Mitte der 70er Jahre den Begriff »Artificial Reality« prägte (Krueger 1991, S. XIII). Bereits 1970 hatten er und Sandin sogar schon an eine Rundumprojektionsfläche für 3D-Visualisierungen gedacht. Unter Kruegers Einfluss entwickelten Sandin, Cruz-Neira und DeFanti dann 1991 tatsächlich das »CAVE Automatic Environment« (Turner/Krueger 2002). Damit waren Computerkünstler und Mediendesigner als eine neue Gruppe von Innovatoren auf dem Gebiet der Bedienschnittstellen und Interaktionsmedien hervorgetreten, die vor allem der Simulation virtueller Räume, der Ganzkörpergestik und der multimodalen Ausweitung der Interaktionsformen neue Impulse gaben.

Die Virtual Reality als Kombinationskonzept für die »Natural Interfaces«

Durch die Mediendesigner erweiterte sich das bis dahin stark auf HMDs und Cockpit-Simulationen fixierte 3D-Interface-Forschungsprogramm der US Air Force unter der Leitung von Thomas A. Furness in Richtung auf weniger kostspielige, auch zivil verwendbare »virtual spaces« bzw. »virtual worlds«. Doch letztlich gelang die Öffnung der Entwicklung erst nach 1989 im Rahmen der zivilen Ausgründung des »Human Interface Technology Lab« (Furness 1986 und 1988; Rheingold 1991, Kap. 9). Erfolgreicher bei der Zusammenführung der 3D-Simulationsentwicklungsrichtungen wurde so ein weiterer Akteur, die NASA. Sie war besonders an Flugsimulatoren für das Astronauten-Training auf der Erde sowie an Teleaktorik- und Telepräsenz-Medien für Raummissionen interessiert und wollte deshalb Interfacetechniken wie Datenhandschuhe, Videokameras, Head- und Helmet-Mounted Devices, die Methoden der Gestensteuerung Computer-generierter Objekte und der 3D-Visualisierung zu einem funktionsfähigen Gesamtsystem integrieren (Ellis 1995, S. 21 ff.). Sie initiierte ab 1981 die Entwicklung verbesserter Head- bzw. Helmet-Mounted Devices auf LCD-Basis (»Virtual Visual Environment Displays«), die die ergonomischen Mängel der in der Air Force verwendeten HMDs überwand, und unterstützte besonders die Weiterentwicklung von Thomas G. Zimmermans »optical flex sensor« (1981/82, U.S. Patent 4.542.291, 17.9.1985) zu einem marktfähigen Produkt.

Den zwischen 1985-87 geschaffenen »DataGlove« verstanden seine Entwickler Thomas Zimmerman und Jaron Lanier (1987, S. 192), nun

nicht mehr nur als ein spezielles Gesteninterface, sondern als eine »natürliche« Alternative zu Maus und Joystick in der Manipulation von 2D- und 3D-Objekten und als Zugang zur neuen Welt der Computersimulation: »Just as speech is our natural means of communication, the human hand is our natural means of manipulating the physical world. As computer systems begin to simulate the physical world, the technologies presented in this paper suggest a broad spectrum of possibilities to a wide variety of users. It is increasingly important that we shape the simulated world of our computer in ways which reflect our human universe, rather than allow ourselves to be shaped by our machines.« Das Erscheinen des DataGlove auf dem Markt wird in historischen Abrissen meist als das Schlüsselereignis für die Genese der »Virtual Reality« gewertet und in unmittelbarem Zusammenhang mit der von Jaron Lanier beanspruchten Prägung des Begriffs gebracht.¹⁴ Doch entgegen Laniers Selbststilisierung als VR-Guru war es vor allem der Leiter des Virtual Environment Workstation Project (VIEW) am NASA-Ames Research Center Scott S. Fisher, der die entscheidenden Weichen für die Integration der einzelnen Entwicklungsstränge stellte.

Der »artist-engineer« Fisher verknüpfte ab 1981 die Stereoskopie- und 3D-Simulations-Konzepte der Architecture Machine Group, die vorwiegend aus der militärischen Sphäre stammenden HMD-Entwicklungen und die künstlerische Richtung kollaborativer Telepräsenz-Experimente Myron Kruegers (Rheingold 1991, Kap. 6). Durch stufenweise Integration der einzelnen Eingabe-/Ausgabe-Techniken schuf er ein »three-dimensional visual environment« (1982) bzw. ein »virtual environment display system controlled by operator position, voice and gesture« (Fisher 1986, S. 1) Wie Morton Heilig und Sutherland wollte er am Ende alle Sinne in die »Telepresence«-Simulation einbeziehen, also auch »auditory feedback«, »tactile interaction«, »eye-tracking«, »full arm and body interac-

14 Das erste Auftreten des Fachbegriffs ist nach wie vor ungeklärt. Lanier behauptete 1999, er habe den Begriff »in the early days of our company« (1985 gegr.) zur Abgrenzung von Sutherlands »virtual worlds« geprägt, um den Vernetzungsaspekt zu betonen. 2001 datierte er vager auf »in the mid-to-late 1980s«. In dem bekannten Vortrag auf der CHI '87 (Zimmerman/Lanier 1987) ist nur von »virtual objects« bzw. »environments« die Rede, erst 1989 taucht »virtual reality« in Laniers Texten auf, als schon andere Autoren den Begriff verwendeten (Lanier 1989). Die im Oxford English Dictionary nachgewiesene erste Verwendung durch Yaak Garb (1987) knüpft an den Begriff der »virtual machine« an und bezieht sich ohne jeden Hinweis auf die 3D-Interaktion nur allgemein auf die zunehmend abstrakter werdende Computertechnik. Die Menschen operieren am Ende nur noch fern der »physical reality« in »virtual realities«, d.h. im »mind space« und in »selfcontained symbolic worlds« (Vgl. allgemein hierzu Schroeter 2004, S. 206 ff.; 216 ff.).

tion« (Fisher 1990, S. 429 ff.). Seine Ziele waren dabei eine »operator interface configuration that features human matched displays and controls for transparent, natural system interaction« und »collaborative virtual environments.« (Fisher 1986, S. 1) Die »virtuellen Räume« wurden so zu einem Integrationskonzept für alle Einzeltechniken der »natural interfaces« und zu einem Schmelztigel vieler Medien, ja am MIT Media Lab sah man darin den Inbegriff eines User Interface: »Interactive virtual environments provide perhaps the greatest generalization of the notion of a user interface, as they seek to »immerse« a user into a machine-made world. A user should be able to interact with objects or agents in these environments in as natural a manner as possible.« (Darrell/Pentland 1995, S. 135)

Die in Prototypen erreichte Konvergenz vieler Interface- und Sensortechnologien ließ sehr bald die Erwartung aufkommen, die Verwirklichung des »ultimate display« bzw. des »final interface« stünde unmittelbar bevor. Die »Virtuelle Umgebung« erschien als »eine neue Epoche der Mensch-Maschine-Kommunikation«, die das Potential besitze, Industrie, Gesellschaft und den Alltag der Menschen innerhalb kurzer Zeit völlig umzuwälzen (Astheimer/Böhm u.a, 1994, S. 282; Walker 1990; Jacobson 1992). Auf dem Höhepunkt des 1988/89 abrupt einsetzenden Hypes entwickelten sich die VR-Leitbilder zu einer regelrechten Heilsbotschaft:

»Does this mean that VR represents the early stages of the arrival of the ultimate medium? Or, as in the past, are we just projecting this longstanding desire for the essential copy and for physical transcendence - for a dream machine - onto another promising but inadequate technology? [...] It is fitting that VR appears at the end of the millennium. One suspects that the ultimate display wears a messianic crown of thorns; it is a technoGodot, long awaited but yet to arrive. It may even be an expression of our desire to assume a Godlike control of reality.« (Biocca/Levy 1995, S. 13)

Doch die bereits ab 1991/92 erkennbare »interface crisis« bei Virtual Environments machte die Grenzen der VR deutlich, und der Höhenflug war schon nach wenigen Jahren zu Ende (Bowman/Kruijff 2005, S. 13). Man mußte einsehen, dass trotz erreichter Fortschritte »the major technical problems that existed in the late 1960s remain with us today« (Holloway 1992, S. 180). Denn HMDs, Datenhandschuhe und Bodysuits waren für die Alltagsnutzung zu invasiv, und die Immersion isolierte den Nutzer völlig von seiner Umgebung. Die extrem hohen Einstiegskosten schränkten das Anwendungsspektrum stark ein und ließen die VR wie ein Jahrzehnt zuvor die Computergrafik zu einer »solution in search of a problem« werden (Machover/Tice 1994, S. 15). Der »Cyberspace« als Gegenwelt zum bestehenden Interface-Repertoire und als finales Medium wurden so

entmystifiziert zu »Spatial Input« und »3D User Interfaces«. Diese entwickelten sich zu einer zunehmend erfolgreichen Spezialtechnik, die *neben* die bestehenden Intermedien trat, diese aber nicht verdrängte. Der integrale Ansatz der multisensuellen und multimodalen Virtual Environments wurde wieder zurückgestellt zugunsten einer intensiveren Erforschung der einzelnen Natural Interface-Techniken.

Die zweite NUI-Welle: Augen, Gesicht und Hirn als Eingabemedien

Die Gesture-Eingabetechniken, die sehr vom VR-Hype profitiert hatten, litten besonders stark unter dessen Ende: Statt der favorisierten Datenhandschuhe und HMDs wurden 3D-Erweiterungen der klassischen Positioniergeräte Maus, Trackball, Joystick und Grafiktablett, also Spacemouse, Spaceball, 3D-Joystick und 3-Draw-System zu Standard-Eingabegeräten der nun das Gebiet beherrschenden »Desktop-VR«.¹⁵ Auch die Stilisierung des mit skriptuellen Gesten gesteuerten Pencomputers zum universalen intelligenten Informations- und Kommunikationsmedium, das den Desktop-PC endgültig ablösen sollte, scheiterte schon nach wenigen Jahren kläglich an den Mängeln der Handschriftenerkennung und des Gestendialoges. Erst neuerdings erleben einzelne, als *Zusatztechnik* verwendete Zeigegesten bei mobilen Geräten größere Verbreitung. Von dem nach der Markteinführung des »DataSuit« 1987 ausgelösten Body-suit-Mythos blieb nur ein bescheidenes Randgebiet des Arm- und Bodytracking übrig. Der Schwerpunkt von Forschung und Entwicklung verlagerte sich stattdessen zu Input-Techniken mit kürzeren Stellwegen, zum Head-, Face- und Eye-Tracking sowie zum Lipreading, das als Ergänzung der Sprachverarbeitung gedacht war.

Die Computerbedienung mit den Augen schien dabei besonders vielversprechend, da Augenbewegungen schneller als alle anderen Eingabemedien sind. Seit der Verfügbarkeit von Eye-Tracking-HMDs ab 1948 gab es daher viele Bemühungen, Blicke für Bombenabwürfe und Gerätesteuerungen, aber auch für Marktforschungen und HCI-Usability-Studien zu nutzen (Jacob/Karn 2003). Für die Computerbedienung kamen Eye-Tracking-Systeme erst seit den 80er Jahren infrage, als die Aufzeichnung weniger störend per Videokamera erfolgte (zum Pioniersystem siehe Bolt 1982). Doch die ständigen unbewussten Lidbewegungen und die schwierige Realisierung von Maustasten-Funktionen machen die Blick-

15 Die 2003 als eine die Internetwelt umwälzende Massenapplication konzipierte virtuelle Multiuser-Plattform »Secondlife« muss gar wegen der geringen Verbreitung von 3D-Positioniergeräten für das Teleportieren von Avataren noch auf Pfeiltasten zurückgreifen.

auswertung am Ende aufwendiger, langsamer und unzuverlässiger als die klassischen manuellen Eingabetechniken. Ähnlich wie bei den Speech Interfaces tauchten auch beim Eye-Tracking in jedem Jahrzehnt seit 1950 neue Probleme auf, dadurch wurde auch diese Technik zu einem »Phoenix raising from the ashes again and again with each new generation of engineers« (J. W. Senders 2000, zit. nach Jacob/Karn 2003, S. 575). Gleichwohl gilt Eye-Gaze noch immer als großer Hoffnungsträger: »Scanning light beams to the retina could revolutionize displays for everything from cellphones to games.« (Lewis 2004 S. 16)

Noch größer sind die technischen Probleme bei der direkten Übersetzung von Hirnsignalen in Computerbefehle in den sogenannten Brain-Computer-Interfaces (BCI). Da bei ihnen die Maschinenbedienung ohne Stellwege und daher mit kürzester Reaktionszeit erfolgt und dabei, so hofft man, auch komplexere Denkinhalte abgetastet werden können, gelten sie bei manchen MCI-Forschern als ideale Lösung für die Aufhebung der Asymmetrie zwischen Ein- und Ausgabemedien oder gar als das Endstadium der MCI: »The ultimate HCI is the ability to control devices through the modulation of one's brain signals.« (Watson/Luebke 2005) Ray Kurzweil und Hans Moravec sehen im Scanning ganzer Hirninhalte und der Direktkopplung von Hirn und Computer sogar den Endzustand der Mensch-Computer-Beziehung.

Die in den 1970er Jahren einsetzende und seit den Neunzigern expandierende Forschung auf diesem Gebiet hat jedoch gezeigt, dass nicht-invasive BCI-Systeme nur eine geringe Bandbreite der Hirn-Computer-Verbindung ergeben. Die Asymmetrie zwischen Input und Output wird dadurch also noch erhöht. Invasive BCI-Systeme dagegen verfügen zwar über höhere Bandbreiten, doch sie stellen aufgrund der erforderlichen Hirnimplantate eine derartige Beeinträchtigung dar, dass sie sich allenfalls bei Schwerstbehinderten rechtfertigen lassen (Lebedev/Nicolelis 2006, S. 536 ff.). Insgesamt machen lange Abtast- und Auswertungszeiten für EEG-Daten BCIs aber noch aufwendiger, langsamer und unzuverlässiger als Eye-Tracking-Systeme.¹⁶ Doch erste experimentelle Erfolge bei Cursor-Steuerungen und »mental typewriters« nährten um 2000 die Erwartung, »that such a future is just around the corner.« (ebda., S. 535) In MCI-Zukunftsvisionen stehen BCIs ungeachtet aller Schwierigkeiten als Überwinder der WIMP-Welt sogar oft an vorderster Stelle: »Ultimately I prefer the computing environment would simply carry out my wishes via

16 Dass hierbei offenbar grundsätzliche Grenzen bestehen, zeigen Ebrahimi u.a (2003, S. 9): »One of the first problems to address is the limitation of the information transferrate, which is at best currently 20 bits/min. It seems dubious that BCI protocols based on mental task classification can improve this figure by much.«

a form of telepathy - cogito ergo fac - (I think therefore do it).« (Van Dam 2001, S. 50)

Der Anspruch von Forschern und Entwicklern, die Mensch-Computer-Interaktion so weit wie möglich natürlichen Kommunikationsweisen anzunähern, bewirkte eine fortschreitende Anthropomorphisierung der Interfaces. Sie entwickelten sich von stationären über portable zu am Körper getragenen Kleidungsstücken (Handschuhe, Helme, Gürtel) Prothesen (Shutterbrillen, Hörgeräte) und Sensoren. Bei diesen soll einerseits der physische Aufwand durch Verkürzung der Stellwege minimализiert werden, andererseits sollen möglichst viele Sinne bzw. Kommunikationskanäle einbezogen und kombiniert werden: Sprache, Hand- und Körpergesten, Gesichtsausdruck, Blicke und am Ende Hirnaktivitäten. Die Erfassung und algorithmische Interpretation dieser verschiedenen Zeichenprozesse sowie deren Umsetzung in Computerprozesse ist bislang nur mit semantisch vereinbarten Befehlssprachen wirklich gelungen, doch diese sind schwerer zu erlernen und komplizierter zu bedienen als herkömmliche GUI-Techniken. Andererseits stecken die Versuche, die Realisierungsprobleme der Interaktion mit Natural Interfaces durch einen Verzicht auf die direkte Manipulation und eine deutliche Reduktion des Interaktionsaufwandes zu lösen, noch ganz in den Anfängen. Denn die Verarbeitung wirklich natürlicher Kommunikationsformen (natürliche Sprechweise, spontane Gestik, Gesichtsmimik und Körpersprache usw.) ist bislang nur ansatzweise gelungen, da alle »Recognition-based Interfaces« (vgl. Myers/Hudson/Pausch 2000, S. 18 ff.) auf unscharfen, interpretationsbedürftigen Eingaben beruhen, die sehr fein strukturiert, mit einander verwoben und höchst kontextabhängig sind:

»The difficulty, of course, is that we generally do not understand humans well enough to model their behavior accurately. This difficulty has forced most attempts at human-machine interface to adopt the simplest possible model of the human. [...] Such simple models, however, also make it impossible to build a system that takes real advantage of the human's abilities. The general approach we have developed is to instead model the human as a Markov device with a (possibly large) number of internal mental states, each with its own particular behavior, and interstate transition probabilities.« (Pentland 1995, S. 72)

All dies hat bislang auch die Integration der verschiedenen NUI-Techniken zu einem konsistenten multimodalen Gesamtsystem verhindert. Der erste Integrationsansatz, die VR, schuf mit ihrem Versuch einer radikalen Abkehr vom Desktop Computing neue *unnatürliche* Kommunikationsformen: Sie trennte den Benutzer von der Alltagswelt und versenkte ihn in virtuelle Räume mit schwer manipulierbaren schwerelosen Objekten. Die-

se Defizite an Natürlichkeit trieben innerhalb der VR-Community die Entwicklung von Force-Feedback-Techniken und vor allem des CAVE voran, der die Bewegungsfreiheit nicht mehr durch »bulky gloves and heavy electronic packs« einschränken sollte (Burdea 1996; DeFanti/Sandin/Cruz-Neira 1993). Doch der extrem hohe Preis und Raumbedarf verhinderten bislang eine breitere Einführung als »home- or business-based Caves«.

»Back to the Reality«: Die Alltagswelt als Interface

Die aufgrund ergonomischer Mängel misslungene Ablösung der GUI durch die VR ließ in der MCI-Community Anfang der 90er Jahre erneut eine Interfacelücke offenbar werden. Die Folge war, dass um 1990 gleichzeitig mehrere grundlegende Alternativen zur Virtualisierung der Welt und zum Desktop-Computing auf dem Plan erschienen. Die wie ein Schumpeterscher Schwarm auftretenden Ansätze für »next-generations computing environments« (Weiser 1993, S. 75) stellten sich im Juli 1993 erstmals gemeinsam unter der Parole »Back to the Reality« der breiteren Fachöffentlichkeit vor (Wellner/Mackay/Gold 1993 und unten Hornecker). Allen Gegenkonzepten zur VR war gemeinsam, dass sie den User nicht mehr in eine vollkommen künstliche Computer-generierte Umgebung versetzen, sondern ihn »in der Welt« belassen und die Arbeits- bzw. Alltagsobjekte lediglich mit Rechenkapazität anreichern wollen.

Zu den Alternativansätzen gehört zum einen die von Steven Feiner 1991/92 begründete »*Augmented Reality*« (AR), die reale Objekte mit wissensbasierten Grafikinformatoren überblendet. In ihr wird die Welt nicht mehr in ein feststehendes Computerdisplay geholt, sondern die reale Welt mithilfe halbtransparenter HMDs oder Shutterbrillen wird selber zum Interface (siehe unten Encarnação/Brunetti/Jähne). Als Erweiterung des AR-Ansatzes entwickelte sich seit Mitte der 90er Jahre die »*Mixed Reality*«, die auf verschiedene Weise fließende Übergänge zwischen Realität und Modellwelt herstellen will (siehe Rügge/Robben u.a. 1998; Brauer 1999). Besonders radikal gegen die VR tritt hierbei ab 1995 die Forschungsrichtung der »*Graspable*« bzw. ab 1997 der »*Tangible Interfaces*« (TUI) auf. Sie möchte anstelle einer Virtualisierung aller Objekte und Räume dem Benutzer durch gegenständliche Bedienschnittstellen und Modelle realer Gegenstände das rechnergestützte Arbeiten in der gewohnten haptisch erfahrbaren Welt ermöglichen (»physical computing«). Die Aufspaltung der Computerbenutzung in analoge Operationen und Denkweisen an der Bedienschnittstelle und algorithmische Formalisierung und Berechnungen in dem im Hintergrund aktiven Rechner gelten dabei als idealer Weg der

Überwindung der Bedienkomplexität und der Kooperationsdefizite der herkömmlichen MCI (siehe unten den Beitrag von Hornecker).

Auch bei diesem Ansatz wurde versucht, die »tangible« und »embodied interfaces« als logische Entwicklungsschritte einer Paradigmen-Evolution zu definieren, die auf »Keyboard UI«, »Graphical UI« und »Gestural UI« folgen und selber die Vorstufe eines endgültig in die Alltagsumgebung integrierten »invisible user interface« bilden (Fishkin/Moran/Harrison 1998). Doch entgegen dieser Zuversicht hat eine ganze Reihe technischer Probleme diese Richtung bisher noch nicht über eng begrenzte Nischenpositionen hinausgelangen lassen. So ermöglicht die unmittelbare Verbindung von Informationen mit physikalischen Alltagsobjekten oder gegenständlichen Symbolen (»physical icons« bzw. »phycons«) zwar vielfach eine intuitive Benutzung, doch die erweiterten Freiheitsgrade bei den Interaktionsmöglichkeiten sind dem User nicht immer transparent, so dass doch wieder ein Befehlssatz entwickelt und vom User gelernt werden muss. Ebenso steigt bei »TUIs« bzw. »Real« und »Mixed Realities« mit zunehmendem Grad der Annäherung an die reale Welt der Dedizierungsgrad, die Spezialisierung der Bedientechnik und damit der Realisierungsaufwand für die Interfaces, so dass man mit den Massenprodukten der traditionellen PC-GUI-Welt nur schwer konkurrieren kann.

Zu dem Philosophiewechsel am Anfang der 90er Jahre gehört auch das »*Wearable Computing*«, das sich zwar vieler von der VR geschaffener Interfaces bedient, jedoch auf die Immersion verzichtet. In ihm werden auch traditionelle Ein- /Ausgabemedien wie »pens«, »tablets« und Einhandtastaturen einbezogen und für den mobilen Einsatz angepasst. Zusätzlich entstand hier eine Fülle neuer funktions spezialisierter »wearable devices«, die an den Armen oder auf dem Kopf placiert, in Kleidungsstücke integriert oder als Accessoires getragen werden: »smart clothes«, »smart shoes« sowie Komponenten in Gürtel- und Schmuck-Form. Lange Zeit waren tragbare Computer mangels entsprechender Integrationsdichten nur Entwicklungsziel von Außenseitern wie Steve Mann, der mit einem am Körper getragenen Computer ein wirklich »persönliches«, die eigene Datenhoheit wahrendes Computing anstrebte (Mann 1997). Seit der Etablierung als MCI-Forschungsthema Anfang der 90er Jahre zielt WearComp darüber hinaus auf einen »intelligent assistant«, ein »visual memory prosthetic« und generell auf eine »natural extension of the user« (Mann 1998; Starner 2001). Doch die Erwartungen, mit WearComp ein ultimates Interface zu schaffen, das den stationären PC ersetzt und endlich Lickliders Vision der »Man-Computer Symbiosis« verwirklicht, ist bisher nicht eingetroffen. Dazu war die Anwendungsentwicklung bisher zu technikzentriert, die Ergonomie für den Alltagsgebrauch oft zu unzureichend, die Interface-Landschaft zu heterogen und proprietär. Chancen haben da-

her eher an Bedürfnissen mobiler Tätigkeiten orientierte pragmatische Konfigurationen von Hard- und Softwarekomponenten (siehe dazu Rückge 2007 und ihren Beitrag unten).

Alle diese mit natürlichen Analogien operierenden neuen MCI-Integrationskonzepte vermochten bisher die Komplexität der Computerbedienung nicht radikal zu vereinfachen. Die Ausuferung der Funktionalität und die starke Kontext- und Situationsabhängigkeit der Anwendungen erfordert auch bei den vermeintlich natürlichen Interfacetechniken ausdifferenzierte Bediensemantiken, die als neue Programmiersprache gelernt werden müssen. Der propagierte schnelle Generationswechsel von den GUI- zu den NUI-Interfaces blieb daher im ersten Anlauf stecken. Und so hörten trotz aller Bemühungen um natürlichere Bedientechniken die Klagen der Community über Asymmetrien in der Mensch-Computer-Kommunikation nicht auf:

»It's an interesting paradox, computers and applications grow increasingly sophisticated but they still demand to be 'spoken' to in ways only they can understand: a mouse, keyboard or touchpad. Why shouldn't we reverse that. Why shouldn't computers understand our distinctly human ways of communicating? We speak, we gesture, we write: Why can't they get it.« (Accenture Technology Labs 2003)

Die NUIs der 80er und 90er Jahre zielten auf eine Ablösung der Desktop-Metapher und WIMP-Welt, sie blieben aber zunächst noch weitgehend innerhalb des Paradigmas der Direkten Manipulation. Dadurch unterlagen auch *sie* dem Problem, daß bei immer komplexerer Anwendungssoftware die Schwierigkeiten des vom Benutzer geleiteten kleinschrittigen Vorgehens ständig zunehmen. Dieses Dilemma setzte bald auch Bemühungen in Gang, über die Suche nach natürlicheren Kommunikationskanälen hinaus auch die Arbeitsteilung zwischen User und System durch einen Übergang von *interaktiven* zu *proaktiven* Interfaces grundlegend zu ändern. Die neuen Leitbilder hießen nun »Intelligent«, »Perceptive« und »Intuitive Interfaces« sowie »Proactive« und »Invisible Computing«. Damit deutet sich eine neue Entwicklungsspirale in der MCI-Geschichte an. In der ersten Phase des Computing waren die Probleme des interaktiven manuellen Computing durch die Automatisierung der Rechenprozesse gelöst worden. Die Insuffizienz des Automatic Computing führte zur Wiedereinbeziehung des Benutzers in einen interaktiven Prozeß. Die zunehmende Funktionalität und Komplexität der Interaktion wurde durch die Verlagerung in die Software-Interfaces zunächst aufgefangen, längerfristig aber verschärft. Jetzt soll ein Netz lernender Automaten im Hintergrund den User wieder von der lästigen Interaktionsarbeit befreien.

9 Proactive Computing als Lösungsansatz für die Interface-Krise?

Die Suche nach intelligenteren Bedientechniken wurde in den 90er Jahren neben den »Natural Interfaces« ein Hauptschwerpunkt der MCI-Forschung. Doch bereits Mitte der 80er Jahre, als die Diffusion der Benutzer-gesteuerten »Direkten Manipulation« in den Massenmarkt gerade begonnen hatte, tauchten erste Ideen auf, die Computerbedienung durch das aus der KI stammende Konzept von Software-Agenten radikal zu vereinfachen. Alan Kay schlug bereits 1984 (S. 58 f.) vor, die von ihm selber maßgeblich entwickelte schrittweise ikonische Arbeitsweise der direkten Objekt-Manipulation bei komplexen Eingaben aufzugeben und durch intelligente Assistenten bzw. Agenten zu ersetzen: »The question of software's limitations is brought front and center, however, by my contention that in the future a stronger kind of indirect leverage will be provided by personal agents: extensions of the user's will and purposes, shaped from and embedded in the stuff of the computer«. Kay bezog sich bei seinen »soft robots« ausdrücklich auf John McCarthy, der bereits in den 50er Jahren begrenzte Aufgaben an kleine autonom arbeitende Programme delegieren wollte, für die Oliver G. Selfridge 1958/59 den Agentenbegriff einführte.¹⁷ Die Psychologin Susan Brennan prägte ebenfalls 1984 für den neuen MCI-orientierten Agententyp den Begriff »interface agent« (Laurel 1990, S. 359). In der zweiten Hälfte der 80er Jahre begannen dann systematische Entwicklungsanstrengungen für spezialisierte Agenten zur Informationsbeschaffung und -filterung, vor allem bei der E-Mail-Verwaltung, sowie zur Kooperationsunterstützung (Groupware). In den 90er Jahren verschob sich der Entwicklungsschwerpunkt auf Informationsagenten für das Internet und Transaktionsagenten für E-Commerce, wobei zunehmend im Hintergrund arbeitende »autonome Agenten« bzw. Multiagentensysteme ein größeres Gewicht erhielten.

Ende der 80er Jahre erhielt das Agenten-basierte Computing dann den Rang eines generellen Lösungsansatzes für die »conversational interaction«, ja als Next-Generation-Technologie der Software überhaupt. Für Kay (1990, S. 206) war der Übergang vom interaktiven Manipulationswerkzeug zu einem vom Computer gesteuerten Prozess »the next big direction in user interface design«, ein größerer Schritt als die Entwicklung vom Teletype zum Macintosh-Interface: »The creation of autonomous processes that can be successfully communicated with and managed is a

17 Auch Licklider und Taylor hatten schon 1968 (S. 38 ff.) erwogen, bei der Abwicklung der E-Mail und bei Online-Transaktionen Intermediäre einzusetzen, die sie zu Ehren von Selfridge *OLIVER* (Online Interactive Expediter and Responder) nannten (siehe hierzu Pflüger 2004, S. 394).

qualitative jump from the tool – yet one that must be made.« Im gleichen Jahr verkündete Michael C. Dertouzos (1990, S. 1) vom MIT bei der CHI'90 eine generelle Abkehr der MCI-Entwicklung von der GUI-Welt zugunsten von »smarter interfaces«, die partiell die Intentionen der Benutzer erkennen »instead of brutally forcing us through a litany of repetitive and dumb rituals [...]. But to do this, we need to redefine the profession, from its current narrow confines of dealing with windows, mice and ergonomic factors to a far broader discipline that encompasses and seeks to improve everything that humans and computers do together, including purpose - in other words the total user interface of and for tomorrow.«

Das »totale Interface« bzw. das »intelligente Interface« soll durch die Ausstattung des Computers mit Programm-Intelligenz endgültig die bestehende, ja inzwischen noch verschärfte Disparität zwischen Mensch und Computer aufheben und am Ende eine »Konversation« auf annähernd gleichem Intelligenzniveau ermöglichen. Während beim »concept of dialogue« der Computer immer erst auf die äußerst schmalbandigen Eingaben des Users warten muss und die Ergebnisse visuell rückkoppelt, erfassen die aktiven intelligenten Interfaces nun permanent alle sprachlichen Äußerungen, Gestik, Mimik, Emotionen, Körperbewegungen sowie Zustände des Körpers und der Umgebung, interpretieren sie und reagieren proaktiv. Der Benutzer ist hierbei nicht mehr an den PC und seinen Bildschirm gekettet, denn nun dienen der menschliche Körper selber und »real-world objects« als »the total UI«: »Good-bye keyboard, so long keyboard. Hello smart rooms and clothes that recognize acquaintances, understand speech, and communicate by gesture. And that's just the beginning.« (Pentland 2000, S. 35) Seit 1991-93 setzten sich für dieses Technologiebündel dann die Begriffe »Noncommand User Interfaces«, »Perceptual Interfaces«, und noch mehr der Sammelbegriff »Intelligent User Interfaces« durch (Sullivan/Tyler 1991; Nielsen 1993, S. 98 f.; Roth/Malin/Schreckenghost 1997; Maybury/Wahlster 1998).

Bei den Überlegungen für intelligente Intermedien und Assistenzsysteme deuteten sich schon Ende der 80er Jahre zwei grundlegende Entwicklungsrichtungen an. Auf der einen Seite standen menschenähnliche Interface-Agenten, die an alltägliche Anthropomorphismen anknüpfen und ein partnerschaftliches Verhältnis suggerieren (Laurel 1990). Der Computer erscheint hier als ein »old friend«, der den Benutzer immer besser kennt und selber zum Träger sozialer Rollen wird. So verallgemeinerte Nicholas Negroponte vom MIT-MediaLab 1989 die bereits 1985 von Dannenberg und Hibbard entwickelte Idee eines Agenten-basierten »Butler Process« für die Verwaltung von Netzressourcen zu einem Butler-Agenten als personalisierter Bedienschnittstelle, an die die Benutzer ganze Aufgabenbündel delegieren: »The best metaphor I can conceive of for a human-

computer interface is that of a well-trained English butler.« Doch autonom agierende Agenten sollen auch als Assistenten, SekretärInnen, Tutores oder Makler fungieren, die jeweils mit »ihrem« User kooperieren und kommunizieren und für ihn aktiv werden. (Negroponte 1989; 1991, S. 190; 1997, S. 59) Aus derartigen Überlegungen entwickelte sich seit den 90er Jahren eine breite Skala anthropomorpher Interface-Agenten, denen aufgrund ihrer laiengerechten, intuitiven Bedienbarkeit, emotionalen Ansprache und Vertrauen schaffenden Wirkung in Zukunft ein großes Feld persönlicher Dienstleistungen zugewiesen wird. Die Spannweite reicht dabei von vage angedeuteter Persönlichkeit bis zu detailgetreuer Menschenähnlichkeit in Aussehen und Kommunikationsformen. Dieses personifizierende Agentenkonzept geht einher mit einer generellen Häufung anthropomorpher Metaphern, humanoider Interface-Konzepte und erneuten Annahmen einer schnellen Erreichbarkeit natürlichsprachiger Kommunikation mit Computern.

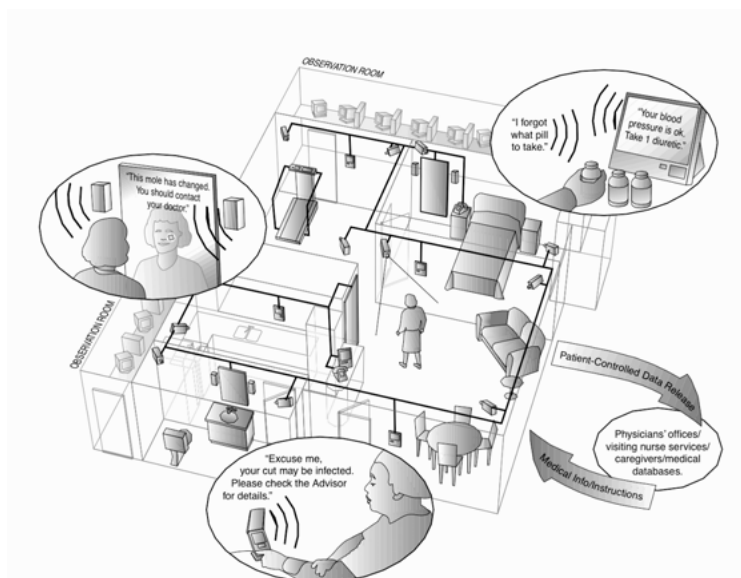
Die andere Richtung zielt nicht auf eine *Vermenschlichung* der Computer-Beziehung, sondern auf eine *Verdinglichung*. Da menschenähnliche »intelligent agents« und Spracheingabe als Interface noch immer eine zu hohe Aufmerksamkeit des Benutzers erforderten, soll die Bedienkomplexität hier über eine »world full of invisible widgets« beseitigt werden: »A good tool is an invisible tool. By invisible, I mean that the tool does not intrude on your consciousness; you focus on the task, not on the tool.« (Weiser 1994) Geräte und Interfaces werden deshalb in der alltäglichen Dingwelt verborgen, sie verschwinden in »all knowing rooms« und in einer interagierenden »society of objects«, die eine »heimliche Intelligenz« im Hintergrund entwickeln und aus Handlungserkennung selber Aktivitäten ableiten: »Computers will go underground. My refrigerator will know when it is out of milk, but take appropriate action only after a conversation with my calendar or travel planning agent.«¹⁸

Um den Benutzer von den Mühen des interaktiven Computing mit diesen unzähligen »smart objects« zu entlasten und die physikalische Welt mit der virtuellen Datenwelt zu verbinden, bedarf es jedoch nicht nur autonom agierender Software-Agenten, sondern auch einer intelligenten Sensorik. Diese soll permanent Zustände registrieren, Befindlichkeiten wahrnehmen und den Computern melden, Personen, Mobilgeräte und Dinge identifizieren und lokalisieren, und schließlich die erhobenen Da-

18 Negroponte (1991, S. 184) führt fast dieselben »smart appliances« auf, die der Architekt und Futurist Roy Mason bereits Anfang der 80er Jahre in einer Vision von »computer-controlled homes« entwarf und in dem intelligenten Musterhaus »Xanadu« prototypisch entwickelte, und die trotz ihrer technikzentrierten Alltagsferne noch immer leitmotivisch durch die UbiComp-Szenarien geistern (Halfhill 1982).

ten mit den gespeicherten Präferenz- und Kontext-Informationen in Beziehung setzen, um daraus sinnvolle Aktionen abzuleiten. Als neue Interface-Gattung entstehen so seit den 90er Jahren intelligente Sensor- und Aktornetze, drahtlose automatische Identifikationssysteme (RFIDs) und neue Tracking- und Lokalisierungs-Technologien, die zur technischen Basis des »Internets der Dinge« und von »Location-based Services« werden (siehe dazu unten den Beitrag von Encarnação/Brunetti/Jähne sowie Fleisch/Mattern 2005).

Abb 8.: Aware Home-Scenario des Smart Medical Home Research Laboratory (http://www.futurehealth.rochester.edu/smart_homelsmh.pdf): ständige Überwachung der Körperfunktionen, Handlungen und Bewegungen mit automatischer Ermahnung zu Medikamenten-Einnahme oder Arztbesuch.



Wie bei den Natural Interfaces konkurrieren auch bei den proaktiven Hard- und Software-Techniken eine Reihe von Integrationskonzepten und übergeordneten Leitbildkomplexen. Die ersten entstanden um 1990 überwiegend im akademischen Bereich, so »Ubiquitous Computing« und »Calm« bzw. »Invisible Computing«. Ihnen folgten seit Ende der 90er Jahre die besonders von Herstellerverbänden propagierten Konzepte »Pervasive Computing«, »Ambient Intelligence« und »Pro-active Computing« (ausführlich dazu unten Friedewald und Encarnação/Brunetti/Jähne). Wohl als erster formulierte Abraham Peled von IBM 1987 das Leitbild einer auf vernetzten PCs und vor allem »embedded computers« beruhenden

den *Ubiquitous Intellectual Utility*, die über »visual and other natural interfaces« Computer-Intelligenz allgegenwärtig machen sollte. Am Xerox PARC hatte sich ab 1988 *Ubiquitous Computing* nach Anfängen als Kooperations-unterstützendes Arrangement von Walldisplay, Notebooks und Handhelds (Weiser/Gold/Brown 1999) zunächst als natürlichere Alternative zur VR und zum Desktop-Computing placierte.¹⁹ Man setzte sich zugleich von den nomadischen bzw. monadischen WearComp-Visionen ab, indem man das Computing nicht an den Körper bringen, sondern durch Einbettung von Programm-Intelligenz in Alltagsgegenstände in die Prozesse der Alltagswelt integrieren wollte. An die Stelle von »virtual environments« treten hier »ubiquitous smart spaces«, »smart rooms«, »smart buildings« und »aware homes«, in denen die Dinge »sehen«, »denken« und fürsorgend für die verschiedenen User/Bewohner agieren.

Am Ende führt die Vernetzung aller Personen, intelligenten Gegenstände und Prozesse zu einem integrierten programmgesteuerten Datenraum, in dem die Computer selber nicht mehr sichtbar sind, denn »The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.« (Weiser 1991, S. 94) Die Computer verlieren damit ihren Werkzeug- und Mediencharakter, sie werden in der Peripherie der Alltagsdinge verborgen und treten nur bei »Bedarf« in Erscheinung: »The computer is really an infrastructure, even though today we treat it as the end object. Infrastructures should be invisible [...] a user-centered, human-centered humane technology where today's personal computer has disappeared into invisibility.« (Norman 1998, S. 6; Weiser/Brown 1996) Interfaces und Intermedien werden in diesem »Calm«, »Hidden« bzw. »Invisible Computing« kaum noch benötigt, die Aufgaben der MCI verlagern sich in das Design der Auswertungssysteme der intelligenten Sensorik und vor allem der hochkomplexen Netze von Software-Agenten. Nach dem Chef der Intel-Forschung David Tennenhouse (2000, S. 43, 48) erfordert der anstehende Paradigmenwechsel von der bisherigen *interaktiven* zur künftigen *proaktiven* »Man-Computer Symbiosis« deshalb eine radikale Umwälzung der gesamten Forschungs-Agenda der MCI: »Given a few billion human users, each of whom is able to generate a sizable agent constituency, we should anticipate interaction spaces involving many trillions of agents. Since these agents will interact with each other as they go about our business, we need to invent technologies that sustain human control over agent-based systems, yet allow agents to autonomously negotiate with each

19 »Perhaps most diametrically opposed to our vision is the notion of »virtual reality«, which attempts to make a world inside the computer. [...] Virtual Reality focuses an enormous apparatus on simulating the world rather than on invisibly enhancing the world that already exists.« (Weiser 1991, S. 95).

other in ways that honor overall systems objectives and constraints. [...]« Es stellt sich so, wie Tennenhouse einräumt, das große Problem, wie die Menschen mit Interfaces interagieren, die über bedeutend schnellere Antwortzeiten verfügen und wie angesichts von Tausenden von Computern und Millionen von »Knowbots« pro Person das »human-supervised computing« überhaupt realisiert werden könne.

Ungeachtet der exponentiell ansteigende Komplexität und der unbewiesenen Alltagstauglichkeit erscheint für Tennenhouse der Übergang vom »Human-in-the loop computing« zum »Human-supervised computing« aber als logisch-zwingende Entwicklungsstufe, die sich unmittelbar aus der Moore's-Law-getriebenen Vermehrung der »embedded computers and microprocessors« ergibt. Auch bei Ubiquitous Computing wurde die breite Durchsetzung der Technik vorwiegend aus Entwicklungsmodellen abgeleitet. So definierte Peled (1987, S. 36) ganz in der Tradition des Bell's Law den »embedded computer« nach der Ära des Mainframe, des Minicomputers und des Personal Computers als »next computer revolution«, die zur »ubiquitous intellectual utility« führen werde. Nach Weisers späterem, sehr ähnlichem Modell folgt auf die »mainframe era«, in der sich viele Nutzer einen Computer teilen mussten, und der »personal computing era«, in der der User über einen Computer verfügte, als dritte Welle die »UC Era«, in der jedem Benutzer Hunderte, ja Tausende Computer und Prozessoren zur Verfügung stehen (Weiser 1998). Schon aus diesem Mengenwachstum der dem Menschen dienenden Computer ergibt sich für Weiser ein Zwang, die Interfaces in »augmented artifacts« verschwinden zu lassen.

Der Rekurs auf die Entwicklungslogik überspielt die massiven Realisierungs- und Nutzungsprobleme des proaktiven ubiquitären Computing, so die uneinheitlichen Schnittstellen zu Alltagsgegenständen, die Probleme des Zusammenspiels multimodaler Kontrollinformationen und der Programmierung heterogener und kontextsensibler Anwendungsprozesse. Durch den weitgehenden Verzicht auf interaktive Eingaben wird nämlich die gewachsene Komplexität in intelligente Hintergrundprozesse verlagert, denn diese müssen nun die Vielfalt wechselnder situativer Anforderungen und die disparaten Nutzungskontexte vorab berücksichtigen, um den Usern die richtigen Informationen zur richtigen Zeit zu liefern. Dem 1994 von Bill L. Schilit am Xerox PARC geschaffenen MCI-Forschungsgebiet der »Context Awareness« ist aber bisher nur eine relativ grobe Berücksichtigung von wechselnden örtlichen, zeitlichen und personenspezifischen Kontextinformationen gelungen, denn besonders in Alltagssituationen geraten proaktive Anwendungsprogramme in eine kaum zu beherrschende Komplexitätsfalle: »The sophistication of commonsense reasoning and context awareness that is required is daunting, given the current state

of our understanding of these fields. [...] No matter how hard the system designer tries to program contingency plans for all possible contexts, invariably the system will sometimes frustrate the home occupant and perform in unexpected and undesirable ways. A learning algorithm would also have difficulty because a training set will not contain examples of appropriate decisions for all possible contextual situations.« (Schilit/Adams/Want 1994; zur »Context Awareness« ausführlich unten Pflüger).

Ebenso werden mögliche Gefahren ausgeblendet wie das Entstehen unkontrollierbarer Wechselwirkungen zwischen Nutzer- und Umgebungssystem, Konflikte zwischen dem spontan agierenden Benutzer und seinem im System gespeicherten Benutzermodell bzw. Verhaltensprofil sowie ein verstärkter kommerzieller Zugriff auf Alltagsabläufe der Privathaushalte. Hinzu kommen gravierende Datenschutzprobleme bei der durchgängig erforderlichen Preisgabe von Nutzerpräferenzen und Kontextinformationen an die allgegenwärtigen »invisible computers«. Dabei geht es nicht mehr nur um Bewegungsdaten, sondern auch um die dauerhafte Registrierung von Nutzer-Emotionen und -Befindlichkeiten. Hinter dem unter dem Siegel der erhöhten Benutzungsfreundlichkeit propagierten MCI-Wandel von »computer-interfaces for people« zu »people-interfaces for computers« verbirgt sich somit ein radikaler Wandel der informationellen und politischen Kultur (siehe dazu unten Friedewald).

Die gewaltigen Probleme der Informatik bei der Bewältigung des intendierten Paradigmenwechsels lassen die Frage aufkommen, ob *Vermenschlichung* und *Verbergung* der Intermedien und Interfaces wirklich die geeigneten Wege zur Lösung des derzeitigen Komplexitätsproblems der MCI sind oder ob hier nicht unerfüllbare Versprechungen gemacht werden. Aus technikhistorischer Perspektive entsteht sogar der Eindruck, dass es sich bei »Humanoiden Interfaces« und beim »Invisible Computing« um die typischen Vereinfachungen der Bedienproblematik handelt, die auch frühere Einstiegsphasen in neue MCI-Paradigmen kennzeichnen. So glaubte man am Beginn der Entwicklung der Informationstechnik maschinelles Sprechen, Schreiben und Musizieren einfach durch mechanischen Nachbau des Sprechenden, Schreibenden und Klavierspielenden Menschen technisch realisieren zu können, bevor man einsehen musste, dass das Problem nur durch spezielle Mechaniken und nicht-anthropomorphe Medienkonstrukte zu lösen war. Auch am Anfang des Automatic und des Interactive Computing behinderten Giant-Brain-Visionen bzw. KI-Phantasien einer natürlichen Konversation mit dem Rechner zeitweise eine realistische Entwicklung von Intermedien und Interfaces für die Interaktion mit dem Computer.

Neben der anthropomorphen Vereinfachung scheinen sich in den Visionen einer umfassenden »Informatisierung des Alltags« (Mattern,

2005) und ubiquitärer Computerintelligenz frühere Illusionen einer vollständigen Berechenbarkeit und raschen Automatisierung von Alltagsabläufen zu wiederholen, die seit den 60er Jahren wellenartig immer wieder auftauchen. So sehr auch überzogene Erwartungen die Informatikentwicklung angespornt haben, so wenig haben sie tatsächlich für die Überwindung von MCI-Krisen beigetragen. Hier waren es die medienkombinatorischen Inventionen und Innovationen der Pioniere des Graphikorientierten Computing, die die Computerbedienung vereinfachten und so für breitere Schichten immer weitere Computeranwendungen erschlossen. Methoden der Medienkombinatorik, d.h. eine analytische und empirische Exploration neuartiger Medienkonstrukte und Medienanwendungen aus bestehenden Medienkomponenten und Interfaces unter Einbeziehung fortschrittlicher technischer Wirkprinzipien – werden m. E. in Zukunft dringend gebraucht. Ebenso Methoden eines alltagsnahen Szenario-Writing, das konsequent von den Anwendungen und nicht von der Technik her denkt. Denn entgegen den Auffassungen der Vertreter des *Calm, Disappearing und Invisible Computing* erzeugt nämlich die fortschreitende Diffusion des Computing in Alltagsgegenstände und -prozesse sowie die vielfältigen mobilen Informationssysteme und Unterhaltungsmedien gerade einen großen Bedarf an neuen alltagstauglichen Medien- und Interface-Formen.

Legt man die Erfahrungen des erfolgreich bewältigten MCI-Paradigmenwechsels in den 60er Jahren zugrunde, so bedarf es in der Gegenwart erneut

- einer Absage an überzogene KI- und NUI-Visionen,
- einer realistischen Bescheidung auf machbare Entwicklungskorridore,
- der Entwicklung neuartiger Intermedien, die für den User sichtbar und kontrollierbar bleiben,
- einer Bündelung der universitären Forschung mit einer massiven öffentlichen und privaten Förderung,
- der Schaffung einer explorativen Medienkombinatorik, die die historischen Erfahrungen der Medien-, Intermedien- und Interfacegeschichte aufarbeitet und systematisiert,
- eines langen Atems, wie er der langfristigen Entwicklungsdynamik der MCI gemäß ist,
- eines Verzichtes auf Entwicklungsmodelle, die eine zwanghafte technische Logik unterstellen und dadurch argumentativ Wahlmöglichkeiten blockieren und schließlich
- einer Absage an alle Final Interface-Illusionen entsprechend der historischen Einsicht von Biocca, Kim und Levy (1995, S. 13):

»The ultimate display will never arrive. It is a moving target.«

Literatur

- Aarts, E./Hartwig, R./Schuurmans, M. (2002): »ambiente intelligence«. In: Denning, P. J. (Hrsg.) (2002): »The Invisible Future«. New York, Chicago, San Francisco, S. 235-250.
- Accenture Technology Labs (2003): »Communicating with the Online World in Human Terms«. Juni 2003. (URL: <http://www.accenture.com/xd/xd.asp>).
- Aford, R. (1990): »The Mouse that Roared«. In: BYTE 15, 11, S. 395-401.
- Aiken, H. H. (1956): »The Future of Automatic Computing Machinery«. In: Hoffmann, W.; Walther, A. (Hrsg.), »Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung« (Nachrichtentechnische Fachberichte, Bd. 4), Braunschweig, S. 31-35.
- Alberts, G. (2005): »Das Verschwinden der Konsole und die Vorläufer des interaktiven User«. In: A. B. Cremers, R. Manthey, P. Martini, V. Steinhage (Hrsg.), »Informatik 2005«, 2 Bde. Bonn, Bd. 1, S. 205-209.
- Alexander, S. N. (1948): »Input and Output Devices for Electronic Digital Calculating Machinery«. In: Proceedings of a Symposium on Large Scale Calculating Machinery (1947), Cambridge, MA; wiedergedr. in: Charles Babbage Institute (Hrsg.), Reprint Series for the History of Computing Bd. 7, London, Los Angeles, San Francisco 1985, S. 248-253.
- Alexander, W.F. (1961): »Tracking Control Apparatus«, US Patent 3013441, 19.12.1961.
- A Perspective on SAGE (1983): »Discussion«. In: Annals of the History of Computing, 5, 4, S.375-380.
- Astheimer, P./Böhm, K. u.a. (1994): »Die Virtuelle Umgebung - Eine neue Epoche in der Mensch-Maschine-Kommunikation. Teil I: Einordnung, Begriffe und Geräte«. In: Informatik-Spektrum 17, S. 281-290.
- Babbage, Ch. (1832): »On the Economy of Machinery and Manufacture« (1832), zit. nach 4. Aufl. (1835). In: Campbell-Kelley, Martin (Hrsg.), »Works of Babbage«, Bd. 5, New York 1989.
- Babbage, Ch. (1837): »On the Mathematical Powers of the Calculating Engine«. In: Ders., »Works of Babbage«, hrsg. von M. Campbell-Kelley, 11 Bde. New York 1989, Bd. 3, S. 15-61.
- Babbage, Ch. (1864): »Passages from the Life of a Philosopher«. In: Campbell-Kelley, M. (Hrsg.), »Works of Babbage«, Bd. 11, New York 1989.
- Baecker, R./Grudin, J./Buxton, W. A. S./Greenberg, S. (Hrsg.) (1995), »Readings in Human-Computer Interaction: Toward the Year 2000«. 2. Aufl. San Francisco.
- Balzer, H. (1988): »E/A-Geräte für die Mensch-Computer-Interaktion«. In: Balzer, H./Hoppe, H. U. u.a. (Hrsg.), »Einführung in die Software-

- Ergonomie. Mensch Computer Kommunikation. Grundwissen«, Bd. 1, Berlin, New York, S. 67-98.
- Barnes, S. B. (2007): »Alan Kay: Transforming the Computer into a Communication Medium«. In: *Annals of the History of Computing* 29, 2, S. 18-30.
- Basalla, G. (1988): »The Evolution of Technology«. Cambridge, New York.
- Beauchair, W. de (2005): »Rechnen mit Maschinen. Eine Bildgeschichte der Rechentechnik«, Braunschweig (1968) 2. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York.
- Bell, C. G./Chen, R./Rege, S. (1972): »The Effect of Technology on Near Term Computer Structures«. In: *IEEE Computer* 5, 2, S. 29-38.
- Bennett, J. L. (1985): »The Concept of Architecture Applied to User Interfaces in Interactive Computer Systems«. In: Shackel, B. (Hrsg.): *Human-Computer Interaction - INTERACT '84*, Amsterdam 1985, S. 865-870.
- Bernstein, M. I. (1974): »Toward Natural Man-Machine Dialogue«. In: Rosenthal, P. H.; Mish, R. K.: »Multi-Access Computing. Modern Research and Requirements«. Rochelle Park, N. J., S. 178-183.
- Biocca, F./Levy, M. R. (Hrsg.) (1995): »Communication in the Age of Virtual Reality«. Hillsdale, N. J.
- Blackwell, A. F. (2006): »The Reification of Metaphor as a Design Tool«. In: *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 13, 4, S. 490-530.
- Blundell, B. G./Schwarz, A. J. (2005): »Creative 3D Display and Interaction Interfaces. A Transdisciplinary Approach«. Hoboken, NJ.
- Bobrow, D. G. (1967): »Problems in Natural Language Communication with Computers«. In: *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-8, Mrz, S. 52-55.
- Bolt, R. A. (1979): »Spatial Data-Management«. Architecture Machine Group, MIT, Cambridge, MA.; http://www.media.mit.edu/speech/sig_papers1.html (zuletzt gesehen: 10.5.2007).
- Bolt, R. A. (1980): »Put-that-there: Voice and gesture at the graphics interface«. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Proceedings of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 14, 3; http://www.media.mit.edu/speech/sig_papers1.html (zuletzt gesehen: 10.5.2007).
- Bolt, R. A. (1981): »Eyes at the Interface«. In: *Proceedings of the ACM Human Factors in Computer Systems Conference*, S. 360-362.
- Booth, A. D. (1956): »Input-Output for Digital Computing Machines«. In: Hoffmann, W.; Walther, A. (Hrsg.): »Elektronische Rechenmaschinen und Informationsverarbeitung« (Nachrichtentechnische Fachberichte, Bd. 4), Braunschweig, S. 15-20.
- Booth, A. D. (1960): »The Future of Automatic Digital Computers«. In: *Communications of the ACM* 3, 6, S. 339-341, 360.

- Bos, W. E. A. (1993): »Easier said or done? Studies in multimodal human-computer interaction«. Diss. Leiden.
- Bourne, Ch. P./ Engelbart, D. C. (1958): »Facets of the Technical Information Problem«. In: *Datamation*, 4, 9/10.
- Bowman; D. A./Kruijff, E. u.a. (2005): »3D User Interfaces. Theory and Practice«. Boston, San Francisco, New York.
- Brand, St. (1990): »MediaLab. Computer, Kommunikation und neue Medien«. Reinbek.
- Brauer, V. (1999): »Gegenständliche Benutzungsschnittstellen für die Mensch-Computer-Interaktion«. Diss. Bremen.
- Brooks Jr., F. P. (1965): »The Future of Computer Architecture«. In: *Information Processing 1965, Proceedings of IFIP Congress '65*, 2 Bde. Washington, D. C., London 1965, Bd. 2, S. 87-91.
- Brooks Jr., F. P. (1977): »The Computer »Scientist« as Toolsmith - Studies in Interactive Computer Graphics«. In: *Information Processing 1977, Proceedings of IFIP Congress '77*, Amsterdam, London, S. 625-634.
- Burdea, G. C. (1996): »Force and Touch Feedback for Virtual Reality«. New York, Chichester, Brisbane.
- Burks, A. W./Goldstine, H. H./Neumann, J. von, (1946): »Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument«. Part I, Vol. 1, Institute for Advanced Study Princeton, N. J. Juni 1946. In: Taub, A. H. (Hrsg.), »Complete Works of John von Neumann«, 6 Bde. Oxford (UK), New York 1961-63, Bd. 5, S. 34-79.
- Buxton, W. A. S. (1983): »Lexical and pragmatic considerations of input structures«. In: *Computer Graphics* 17, 1, S. 31-37.
- Buxton, W. A. S. (1990): »The »Natural« Language of Interaction: A Perspective on Nonverbal Dialogues«. In: Laurel, Brenda (Hrsg.): »The Art of Human-Computer Interface Design«. Reading, MA, Menlo Park, CA, New York, S. 405-416.
- Canny, J. (2006): »The Future of Human-Computer Interaction«. In: *ACM Queue*, Juli/August.
- Card, St. K./Mackinlay, J. D./Robertson, G. G. (1990): »The Design Space of Input Devices«. In: *CHI '90 Conference Proceedings*. Seattle, Washington April 1-5, 1990. New York, S. 117-124.
- Carr III, J. W. (1962): »Better Computers«. In: *Elektronische Rechenanlagen* 4, 4, S. 157-160.
- Carroll, J. M. (1983): »Presentation and Form in User-Interface Architecture«. In: *BYTE*, Dez. 1983, S. 113-122.
- Carroll, J. M./Mack, R. L./Kellogg, W. A. (1991): »Interface Metaphors and User Interface Design«. In: Helander, M. (Hrsg.), »Handbook of human-computer interaction«. Amsterdam, New York, S. 67-82.

- Caudill, M. (1992): »Kinder, Gentler Computing«. In: BYTE 17,4, S. 135-150.
- Chapin, N. (1962): »Einführung in die elektronische Datenverarbeitung«. Wien, München (Übersetzung von: An »Introduction to Automatic Computers. A Systems Approach for Business«. New York 1957.
- Cruz-Neira, C./Sandin, D. J./DeFanti, Th. A. (1993): »Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE«. In: Computer Graphics, Proceedings of SIGGRAPH '93, ACM SIGGRAPH, August, S. 135-142.
- Dannenbergh, R. B./Hibbard, P. G. (1985): »A Butler process for resource Sharing on Spice Machines«. In: ACM Transactions on Office Information Systems 3, 3, S. 234-252.
- Darrell, T./Pentland, A. P. (1995): »Attention-driven Expression and Gesture Analysis in an Interactive Environment«. In: Bichsel, M. (Hrsg.): Proceedings International Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, Zürich, S. 135-140.
- Davies, D. W. (1954): »Input und Output«. In: International Symposium on Automatic Digital Computation (National Physical Laboratory, 1953), London; wiedergedr. in: »The Early British Computer Conferences«, edited and introduction by M. R. Williams and M. Campbell-Kelly, Charles Babbage Institute (Hrsg), Reprint Series for the History of Computing, Bd. 14, London, Los Angeles, San Francisco 1989, S. 310-324.
- Davis, M. R./Ellis, Th. O. (1964): »The RAND-Tablet: A Man-Machine Graphical Communication Device«. In: American Federation of Information Processing Societies, (AFIPS), Conference, Proceedings Bd. 26, FJCC, S.325-331.
- Davis, R. M. (1965): »A History of Automated Displays«. In: Datamation, 9, 1, S. 24-28.
- DeFanti, Th. A./Sandin, D. J./Cruz-Neira, C. (1993): »Room with a View«. In: IEEE Spectrum, 30, 10. S. 30-33.
- Denning, P. J. (Hrsg.) (2002): »The Invisible Future. The seamless integration of technology into everyday life«. New York, Chicago u.a.
- Dertouzos, M. L. (1990): »Redefining Tomorrow's User Interface«. In: CHI '90 Proceedings, New York April, S. 1.
- Dertouzos, M. L. (1999): »What Will Be. Die Zukunft des Informationszeitalters«. Wien New York.
- Dix, A./Finlay, J./Abowd, G./Beale, R. (1995): »Mensch-Maschine-Methodik«. New York, London, Toronto.
- Douglas, S. A./Mithal, A. K. (1997): »The Ergonomics of Computer Pointing Devices«. London.

- Ebrahimi, T./Vesin, J.-M./Garcia, G. (2003): »Human-Machine Interface in Multimedia Communication – A Definition«. In: IEEE Signal Processing Magazine, Jan. 2003, S. 14-24.
- Ellis, St. R. (1995): »Origins and Elements of Virtual Environments«. In: Barfield, W./Furness, T. A.: »Virtual Environments and Advanced Interface Design«. New York, S. 14-57.
- Engelbart, D. C. (1960): »Augmented Human Intellect Study«. Proposal for Research to Air Force Office of Scientific Research, SRI No. ESU 60-251, 13 December 1960 (Internet-Version, gesehen 22.3.2000: http://sloan.stanford.edu/mousesite/EngelbartPapers/B6_F2_Augm Prop 1.html).
- Engelbart, D. C. (1961): »Special Considerations of the Individual as a User, Generator, and Retriever of Information«. In: American Documentation, April, S. 121-125.
- Engelbart, D. C. (1962): »Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework«. AFOSR-3233 Summary Report, Oct. 1962 (Internet-Version, gesehen zuletzt Januar 2008: <http://www.bootstrap.org/augdocs/friedewald030402/augmentinghumanintellect/ahi62index.html>).
- Engelbart, D. C. (1963): Brief an Robert Taylor, 5. 4. 1963, Engelbart Papers, Department of Special Collections, Stanford University Libraries, Box 6, Folder 15, 11638.
- Engelbart, D. C. (1987): Oral History Interview with Douglas Engelbart conducted by Henry Lowood and Judy Adams, Interview 3, March 4, 1987, S. 7; unter der URL (gesehen 22.3.2000): <http://www.histech.rwth-aachen.de/www/quellen/engelbart/ARCRFC.html>.
- Engelbart, D. C. (1988): »The Augmented Knowledge Workshop«. In: A. Goldberg (Hrsg.): »A History of Personal Workstations«. Reading, Menlo Park, New York, S. 185-232.
- English, W. K./Engelbart, D. C./Berman, M. L. (1967): »Display-Selection Techniques for Text Manipulation«. In: IEEE Transactions on Human Factors in Electronics, HFE-8, 1, S. 5-15.
- Erickson, Th. (1993): »From Interface to Interplace: The Spatial Environment as a Medium for Interaction«. In: Proceedings of the Conference on Spatial Information Theory COSIT '93, Berlin, Heidelberg, New York, S. 391-405.
- Evans, D. R. (1969): »Computer Graphics Hardware Techniques«. In: Parslow, R. D./Prowse, R. W./Green, R. E. (Hrsg.), »Computer Graphics. Techniques and Applications«. London, New York, S. 7-15.
- Everett, R. R. (1951): »The Whirlwind I Computer«. In: Proceedings of the Joint AIEE-IRE Computer Conference, 2 Bde. New York, Bd. 1, S. 70-74.
- Ewing, D. H./Smith, R. W. K. (1946/47): »TELERAN. Air Navigation and Traffic Control by Means of Television and Radar«. In: RCA Review 7 (1946), S. 601-621; 8 (1947), S. 612-632.

- Farber, J. M. (1989), »The AT&T User-Interface Architecture«. In: AT&T Technical Journal Sept./Okt., S. 9-16.
- Feiner, St./MacIntyre, B./Seligman, D. (1993): »Knowledge-Based Augmented Reality«. In: Communications of the ACM 36, 7, S. 51-63.
- Fisher, S. S. (1982): »Viewpoint Dependent Imaging: An interactive stereoscopic display«. In: S. Benton (Hrsg.): »Processing and Display of Three-Dimensional Data«. Proceedings. SPIE 367, 1982
- Fisher, S. S. et al. (1986) »Virtual Environment Display System«. ACM Workshop on 3D Interactive Graphics, Chapel Hill, NC., October 23-24.
- Fisher, S. S. (1990): »Virtual Interface Environments«, In: Laurel, Brenda (Hrsg.): »The Art of Human-Computer Interface Design«. Reading, MA, Menlo Park, CA, New York, S. 423-438.
- Fishkin, K. P./Moran, Th. P./Harrison, B. L. (1998): Embodied User Interfaces: Towards Invisible User Interfaces. In: Proceedings of Engineering for HCI '98, Heraklion, Crete, September 13-18, S. 1-18.
- Fleisch, E./Mattern, F. (Hrsg.) (2005): »Das Internet der Dinge«. Berlin, Heidelberg, New York.
- Foley, J. D. (1987): »Interfaces for Advanced Computing«. In: Scientific American 257, 4, S. 83-90.
- Foley, J. D./Van Dam, A./Feiner, St. K./Hughes, J. F. (1990): »Computer Graphics: Principles and Practice«, 2. Aufl. Reading, MA.
- Friedewald, M. (1999): »Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers«. Berlin, Diepholz.
- Frohlich, D. M. (1992): »The Design Space of Interfaces«. In: Kjelldahl, L. (Hrsg.), »Multimedia. Principles, Systems, and Applications«. Berlin, Heidelberg, New York, S. 53-69.
- Furness, Th. A. (1986): »Configuring Virtual Space for the Super Cockpit«. In: Ung, M. (Hrsg.) Proceedings of Aerospace Simulation II, San Diego, CA, S. 103-110.
- Furness, Th. A. (1988): »Harnessing Virtual Space«. In: Proceedings of Society for Information Display International Symposium, Digest of Technical Papers 16, S. 4-7.
- Gentner, D. R./Grudin, J. (1996): »Design models for computer-human interfaces«. In: IEEE Computer, 29, 6, S. 28-35.
- Gilmore, J. T., jr. (1989): o. T. In: »Retrospectives II: The Early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard«. SIGGRAPH '89 Panel Proceedings, S. 39-55.
- Grassmuck, V. R. (1995): »Die Turing-Galaxis: Das Universal-Medium auf dem Weg zur Weltsimulation«. In: Lettre International, 28, Frühjahr 5, S. 48-55.

- Grudin, J. (1990): »The computer reaches out: The historical continuity of interface design«. In: CHI '90 Proceedings, New York April 1990, S. 261-268.
- Grudin, J. (1993): »Interface. An evolving concept«. In: Communications of the ACM, 36, 1, S. 103-111.
- Gurley, B. M./Woodward, C. E. (1959): »Light-Pen Links Computer to Operator«. In: Electronics, 28,11, S. 85-87.
- Halbach, Wulf R. (1994), »Reality Engines«. In: N. Bolz, F. A. Kittler, Chr. Tholen (Hrsg.), Computer als Medium«, München, S. 231-244.
- Halfhill, Thomas R. (1982): »Computers in the Home: 1990«. In: Compute !, 15.4.1982; siehe die Internet-Version unter : http://www.commodore.ca/history/other/1982_Future.htm.
- Hellige, H. D. (1995): »Leitbilder, Strukturprobleme und Langzeit-dynamik von Teletex. Die gescheiterte Diffusion eines Telematik-Dienstes aus der Sicht der historischen Technikgeneseforschung«. In: M.-W. Stoetzer, A. Mahler (Hrsg.): »Die Diffusion von Innovationen in der Telekommunikation«, (Schriftenreihe des WIK, Bd. 17). Berlin, Heidelberg, New York, S. 195-218.
- Hellige, H. D. (1996a): »Technikleitbilder als Analyse-, Bewertungs- und Steuerungsinstrumente: Eine Bestandsaufnahme aus informatik- und computerhistorischer Sicht«. In: Ders. (Hrsg.), »Technikleitbilder auf dem Prüfstand. Das Leitbild-Assessment aus Sicht der Informatik- und Computergeschichte«. Berlin, S. 13-36.
- Hellige, H. D. (1996b): »Leitbilder im Time-Sharing-Lebenszyklus: Vom 'Multi-Access' zur 'Interactive On-line Community'«. In: Ders. (Hrsg.), »Technikleitbilder auf dem Prüfstand«. Berlin 1996, S. 205-234.
- Hellige, H. D. (1998): »Der 'begreifbare' Rechner: Manuelles Programmieren in den Anfängen des Human-Computer Interface«. In: I. Rügge, B. Robben, E. Hornecker, W. Bruns, (Hrsg.), Arbeiten und Begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen«. Münster, Hamburg, S. 187-200.
- Hellige, H. D. (2003): »Zur Genese des informatischen Programmbegriffs: Begriffsbildung, metaphorische Prozesse, Leitbilder und professionelle Kulturen«. In: K.-H. Rödiger (Hrsg.), »Algorithmik - Kunst – Semiotik«. Heidelberg, S. 42-73.
- Hellige, H. D. (2004a): »Sichtweisen der Informatikgeschichte: Eine Einführung«. In: Ders. (Hrsg.), »Geschichten der Informatik. Visionen, Paradigmen und Leitmotive«. Berlin, Heidelberg, New York, S. 1-28.
- Hellige, H. D. (2004b): »Die Genese von Wissenschaftskonzepten der Computerarchitektur: Vom 'system of organs' zum Schichtenmodell des Designraums«. In: Ders. (Hrsg.), »Geschichten der Informatik. Visionen, Paradigmen und Leitmotive«. Berlin, Heidelberg, New York, S. 411-471.

- Hinckley, K./Sinclair, M. (1999): »Touch-Sensing Input Devices«. In: CHI 99 Papers, S. 223-230.
- Hirose, M. (1995): »Foreword«. In: Chorafas, D. N./Steinmann, H., »Virtual Reality: Practical Applications in Business and Industry«. Upper Saddle River, N. J., S. XX.
- Hogan, D. L. (1983): »Speech Interfaces: Session Introduction«. In: Applied Natural Language Conferences. Proceedings of the First Conference on Applied Natural Language Processing, Santa Monica, CA, S. 178-179.
- Holloway, R. (1992): »Virtual Worlds Research Today«. In: BYTE 15, 4, S. 180.
- Hornbuckle, G. D. (1967): »The Computer Graphics User/Machine Interface«. In: IEEE Transactions on Human Factors in Electronics 8, 1, S. 17-20.
- Huang, Th. S./Pavlovic, V. (1995): »Hand Gesture Modeling, Analysis, and Synthesis«. In: Bichsel, M. (Hrsg.): Proceedings International Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, Zürich, S. 73-79.
- Hutchins, E. L./Hollan, J. D./Norman, D. A. (1986): »Direct Manipulation Interfaces«. In: D. A. Norman, S. W. Draper (Hrsg.), »User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction« Hillsdale, N. J., S. 87-124.
- Jacob, R. J. K. (1996): »Human-Computer Interaction: Input Devices«. In: ACM Computing Surveys 28, 1, S. 177-179.
- Jacob, R. J. K./Karn, K. S. (2003): »Eye tracking in Human-Computer Interaction and usability research: Ready to deliver the promises«. In: J. Hyönä, R. Radach, H. Deubel (Hrsg.), »The Mind's Eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research«. Amsterdam, S. 573-605.
- Jacobson, B. (1992): »The Ultimate User Interface«. In: BYTE Apr. 1992, S. 175-182.
- Johnson, J. u.a. (1989): »The Xerox Star: A Retrospective.« In: IEEE Computer, 22, 9, S. 11-26.
- Johnson, St. (1999): »Interface Culture. Wie neue Technologien Kreativität und Kommunikation verändern«. Stuttgart.
- Kato, Y. (1995): »The future of voice-processing technology in the world of computers and communications«. In: Rabiner, L. R. (Hrsg.), »Human-Machine Communication by Voice«. Proceedings of the National Academy of Sciences, Bd. 92, pp. 10060-10063, October.
- Kay, A. (1972): »A Personal Computer for Children of All Ages«. In: Proceedings of the ACM National Conference, Boston, August 1972.
- Kay, A. (1975): »Personal Computing«. In: Meeting on 20 Years of Computing Science.. Istituto di Elaborazione della Informazione, Pisa, Italy,
- Kay, A. (1977): »Microelectronics and the Personal Computer«. In: Scientific American 237, 3, S. 231-244.

- Kay, A. (1984): »Computer Software«. In: Scientific American 251, 3, S. 53-59.
- Kay, A. (1989): »Predicting the Future«. In: Stanford Engineering, 1, 1, S. 1-6 (im Internet: <http://www.ecotopia.com/webpress/futures.htm>).
- Kay, A. (1990): »User Interface: A Personal View«. In: Laurel, Brenda (Hrsg.), »The Art of Human Computer Interface Design«. Reading, MA, S. 191-207.
- Kay, A./Goldberg, A. (1977): »Personal Dynamic Media«. In: IEEE Computer 10, 3, 31-42.
- Kay, A./Postman, N. (1999): »The Last Word. Distant Thunder«. In: Contextmagazine Juli 1999; (URL: <http://www.contextmag.com/setFrameRedirect.asp?src=/archives/199907/TheLastWord.asp>).
- Kistermann, F. W. (2000): »The DEHOMAG D11 Tabulator - A Milestone in the History of Data Processing«. In: Rojas, R./Hashagen, U. (Hrsg.), The First Computers - History and Architectures«. Cambridge, MA, London, S. 221-235.
- Konrad, K. (2004): »Prägende Erwartungen. Szenarien als Schrittmacher der Technikentwicklung«. Berlin.
- Krueger, M. W. (1991): »Artificial Reality II«. Reading, MA, Menlo Park, CA, New York.
- Krueger, M. W. (1993): »The Artistic Origins of Virtual Reality«. In: T. Lineham (Hrsg.): SIGGRAPH Visual Proceedings. New York, S.148-149.
- Kurzweil, R. (2002): »Fine Living in Virtual Reality«. In: Denning, P. J. (Hrsg.) (2002): »The Invisible Future«. New York, Chicago, San Francisco, S. 193-215.
- Laman, G. M. (1966): »Position Control Ball Assembly«, US Patent 3269190, 30.8.1966.
- Lange, W. (1986): »Buchungsmaschinen. Meisterwerke feinmechanischer Datenverarbeitung 1910 bis 1960« (Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (Bonn), Berichte, Nr. 162), St. Augustin.
- Lanier, J. (1989): »The Arrival of Virtual Reality in the Real World«. Abstract of talk presented at NATO Workshop on Multi-Media Interface Design in Education, Castelvechio, September.
- Lanier, J. (1999): »Virtual Reality. A Techno-Metaphor with a Life of its Own«. In: Whole Earth Magazine, 98 (Fall 1999), S. 16-18 (URL: <http://www.wholeearthmag.com/ArticleBin/268.html>).
- Lanier, J. (2001): »Virtually There. Three-dimensional tele-immersion may eventually bring the world to your desk«. In: Scientific American, April 17.
- Laurel, B. (1990): »Interface Agents: Metaphors with Character«. In: Dies. (Hrsg.): »The Art of Human Computer Interface Design«. Reading, Mass., S. 355-365.

- Lebedev, M./Nicolelis, M. A. L. (2006): »Brain-machine interfaces: past, present and future«. In: Trends in Neurosciences 29, 9, S. 536-546.
- Lewis, J. R. (2004): »In the Eye of the Beholder«. In: IEEE Spectrum Mai 2004, S. 16-20.
- Lewis, J. R. /Potosnak, K. M./Magyar, R. L. (1997): »Keys and Keyboards«. In: Helander, M./Landauer, Th. K./Prabhu, P. V. (Hrsg.) (1997) Handbook of Human-Computer Interaction, 2. Aufl., Amsterdam, New York, S. 1285-1315.
- Licklider, J. C. R. (1960): »Man-Computer Symbiosis«. In: IRE Transactions on Human Factors in Electronics, Bd.1 März, S. 4-11.
- Licklider, J. C. R. (1965a), »Libraries of the Future«. Cambridge, Mass. 1965.
- Licklider, J. C. R., (1965b) »Static and Dynamic Models«. In: Information Processing 1965. Proceedings of IFIP Congress 65, 2 Bde Washington, D. C., London, Bd. I, S. 476-478.
- Licklider, J. C. R. (1965c), »Principles and Problems of Console Design«. In: Information Processing 1965. Proceedings of IFIP Congress 65, 2 Bde Washington, D. C., London 1965, Bd. I, S. 508-509.
- Licklider, J. C. R. (1967): »Graphic Input – a survey of techniques«. In F. Gruenberger (Hrsg.), »Computer Graphics. Utility, Production, Art«. Washington, S. 39-69.
- Licklider, J. C. R. (1968): »Man-Computer Communication«. In: Annual Review of Information Science and Technology 3 (1968), S. 201-240.
- Licklider, J. C. R. (1976): »User-oriented Interactive Computer graphics«. In: Proceedings of the ACM/SIGGRAPH Workshop on user-oriented design of interactive graphics systems, Oktober, S. 89-96.
- Licklider, J. C. R./Clark, W. E. (1962): »On-line Man-Computer Communication«. In: AFIPS Bd. 21, SJCC, S. 113-123.
- Licklider, J. C. R./Taylor, R. W. (Apr. 1968): »The Computer as a Communication Device«. In: Science and Technology, 76, S. 21-31, wiedergedruckt in: In Memoriam Joseph C.R. Licklider 1915-1990, (Digital SRC Research Report 61), Digital Research Center August 1990; Internet-Version: <http://gatekeeper.dec.com/pub/DEC/SRC/research-reports/abstracts/src-rr-061.html>
- Lindgren, N. (1965): »Machine Recognition of Human Language. Part I: Automatic speech recognition«. In: IEEE Spectrum, Bd. 2, 3, S. 62-72.
- Lindgren, N. (1966): »Human Factors in Engineering. Part II: Advanced Man-Machine Systems and Concepts«. In: IEEE Spectrum, Bd. 3,4 S. 62-72.
- Lovelace, A. A. (1843): »Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage Esqu. By L. F. Menabrea«. In: Scientific Memoirs 3, S. 666-731; wiedergedruckt in: »Works of Babbage«, hrsg. von M. Campbell-Kelley, 11 Bde. New York 1989, Bd. 3, S. 89-170.

- Machover, C. (1978): »A Brief Personal History of Computer Graphics«. In: Computer 11, 11, S. 38-45.
- Machover, C. (1999): »Computer graphics pioneers«. ACM SIGGRAPH, 33, 3 (auch: www.es.com/about_eands/history.asp).
- Machover, C./Tice, St. E. (1994): »Virtual Reality«. In: IEEE Computer Graphics and Applications, 14, 1, S. 15-16.
- MacKenzie, I. S. (1995): »Input Devices and Interaction Techniques for Advanced Computing«. In: Barfield, W./Furness, T. A.: »Virtual Environments and Advanced Interface Design«. New York, S. 437-470.
- Maisel, A./Engelbart, D. (1996): »Father of the Mouse«. Interview for Super-Kids Educational Software Review (unter der URL: <http://www.super-kids.com/aweb/pages/features/mouse/mouse.html>).
- Martin, E. (1925): »Die Rechenmaschinen und ihre Entwicklungsgeschichte. 1. Band: Rechenmaschinen mit automatischer Zehnerübertragung«. Pappenheim, Reprint Leopoldshöhe 1986.
- Mambrey, P./Paetau, M./Tepper, A. (1995): »Technikentwicklung durch Leitbilder. Neuere Steuerungs- und Bewertungsinstrumente«. Frankfurt a. M., New York.
- Mann, St. (1997): »Wearable Computing: A first step towards personal imaging«. In: IEEE Computer 30,2, S. 25-32.
- Mann, St. (1998): »Humanistic Computing: 'WearComp' as a Framework and Application for Intelligent Signal Processing«. In: Proceedings of the IEEE 86, 11, S. 2123-2151
- Marguin, J. (1994): »Histoire des instruments et machines à calculer. L'épopée de la mécanique pensante 1642-1942«. Paris.
- Marill, Th. (1961): »Automatic Recognition of Speech«. In: IRE Transactions on Human Factors in Electronics, HFE-2, Mrz, S. 34-38.
- Martin, E. (1925): »Die Rechenmaschinen und ihre Entwicklungsgeschichte. 1. Band: Rechenmaschinen mit automatischer Zehnerübertragung«. Pappenheim, Reprint Leopoldshöhe 1986
- Mattern, F. (2005): »Acht Thesen zur Informatisierung des Alltags«. In: Acatech Symposium, 28. Juni 2005, S. 54-59.
- Maybury, M. T./Wahlster, W. (1998): »Readings in Intelligent User Interfaces«. San Francisco.
- Meadow, Ch. T. (1970): »Man-Machine Communication«. New York, London, Syney, Toronto.
- Mooers, C. N. (1959): »The Next Twenty Years in Information Retrieval: Some Goals and Predictions«. In: AFIPS, Bd. WJCC, S. 81-86; wiedergedr. in: American Documentation 11 (Juli 1960), S. 229-236.
- Mori, S./Suen; Ch. Y./Yamamoto, K. (1992): »Historical Review of OCR Research and Development«. In: Proceedings of the IEEE 80, 7, S. 1029-1057.

- Myers, B. A. (1998): »A Brief History of Human Computer Interaction Technology«. In: ACM Interactions 5, 2, S. 44-54.
- Myers, B. A./Hudson, S. E./Pausch, R. (2000): »Past, Present, and Future of Interface Software Tools«. In: ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 7, 1, S. 3–28.
- Nake, F. (1995): »Vom Batch Processing zu Direct Manipulation: ein Umbruch im Umgang mit Computern«. In: Hurrell, G./Jelich, F.-J. (Hrsg.), »Vom Buchdruck in den Cyberspace? Mensch – Maschine – Kommunikation«. Dokumentation einer Tagung im DGB-Bildungszentrum, Juni 1993, Marburg, S. 28-44.
- Negroponte, N. (1989): »An Iconoclastic View beyond the Desktop Metaphor«. In: International Journal on Human-Computer Interaction, 1, 1, S. 109-113. f
- Negroponte, N. (1991): »Beyond the Desktop Metaphor«. In: Meyer, A. R./Guttag, J. V.u.a. (Hrsg.): »Research Directions in Computer Science«. Cambridge, Mass., London 1, S. 183-190 (erweiterte Version eines Aufsatzes von 1989).
- Negroponte, N. (1997): »Agents: From Direct Manipulation to Delegation«. In: Bradshaw, J. M. (Hrsg.): »Software Agents«. Menlo Park, CA, Cambridge, MA, London.
- Netravali, A. N. (1999): »A Response to 'Wide-Band Communication into the Home'«. In: Proceedings of the IEEE, 87, 1, S. 201-204.
- Newell, A. F. (1985): »Speech - The Natural Modality for Man-Machine Interaction?«. In: Shackel, B. (Hrsg.), Human-Computer Interaction, INTERACT '84, Amsterdam, S. 231-235.
- Neumann, J. v. (1945): »First Draft of a Report on the EDVAC«. Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia 30. Juni 1945; korrigierte Fassung nach dem Originalmanuskript, hrsg. von M. D. Godfrey. In: Annals of the History of Computing 15 (1993) 4, S. 27-67.
- Neumann, J. v. (1958): »The Computer and the Brain«. 2. Aufl. New Haven, London (2000).
- Nielsen, J. (1993): »Noncommand user interfaces«. In: Communications of the ACM 36, 4, S. 83-99.
- Norberg, A. L./O'Neill, J. (1996): »Transforming Computer Technology: Information Processing for the Pentagon, 1962-1986«. Baltimore, MD.
- Norman, D. A. (1983): »Design Principles for Man-Computer Interfaces«. In: CHI '83 Proceedings, Human Factors in Computer Systems Conference, Boston 12-15. Dez. 1983, S. 1-10.
- Norman, D. A. (1998): »The Invisible Computer«. Cambridge, MA, London.

- Nyce, J. M./Kahn, P. (1991): »A Machine for the Mind: Vannevar Bush's Memex«. In: Dies. (Hrsg.): »From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine«, Boston, San Diego, New York, S. 39-66.
- Ogden, W. C./Bernick, Ph. (1998): »Using Natural Language Interfaces«. In: Helander, M./Landauer, Th. K./Prabhu, P. V. (Hrsg.) (1997): »Handbook of Human-Computer Interaction«. 2. Aufl., Amsterdam, New York, S. 137-161.
- Oinas-Kukkonen, H. (2007): »From Bush to Engelbart: ›Slowly, Some little Bells Were Ringing‹«. In: *Annals of the History of Computing* 29, 2, S. 31-39.
- Olson, H. F. (1975): »An Interview Conducted by Mark Heyer«. IEEE History Center July 14, 1975 Interview 026 For the IEEE History Center, The State University of New Jersey.
- Oviatt, S. (1999): »Ten Myths of Multimodal Interactions«. In: *Communications of the ACM* 42 (1999) 11, S. 74-81.
- Peled, A. (1987): »The Next Computer Revolution«. In: *Scientific American* 257, 4, S. 35-42.
- Pentland, A. (1995): »Interactive Video Environments and Wearable Computers«. In: Bichsel, M. (Hrsg.): *Proceedings International Workshop on Automatic Face- and Gesture-Recognition, Zürich 1995*, S. 71-72.
- Pentland, A. (2000): »Perceptual Intelligence«. In: *Communications of the ACM* 43, 11, S. 35-44.
- Perry, T. S./Voelcker, J. (1989): »Of mice and menus: designing the user-friendly interface«. In: *IEEE-Spectrum*, 26, 9, S. 46-51.
- Peterson, R. H. (1955): »Mechanical Movement«, US Patent Nr. 2939332, 31.5.1955.
- Pflüger, J. (2004): »Konversation, Manipulation, Delegation. Zur Ideengeschichte der Interaktivität«. In: Hellige, H. D. (Hrsg.), »Geschichten der Informatik«. Berlin, Heidelberg, New York, S. 367-408.
- Rabiner, L. R. (1995): »Voice Communication between Humans and Machines - An Introduction«. In: ders. (Hrsg.): »Human-Machine Communication by Voice«. National Academy of Sciences at The Arnold and Mabel Beckman Center in Irvine, CA, February 1993, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Bd. 92, Oct., S. 9911-9913.
- Rabiner, L. R./Juang, B.-H. (1993): »Fundamentals of Speech Recognition«. Englewood Cliffs, N. J.
- Ramo, S. (1961): »Man-Machine-Communications in the Coming Technological Society«. In: Hollitch, R. S./Mittman, B. (Hrsg.): »Computer Applications-1961 Proceedings of the Computer Applications Symposium, Chicago Okt. 1961«. New York, London, S. 45-54.
- Reinhardt, A. (1991): »Touch-and Feel Interfaces«. In: *BYTE* 16,2, S. 223-226.

- Rheingold, H. (1991): »Virtual Reality. Exploring the Brave New Technologies«. New York.
- Rice, R. (1959): »Computers of the Future«. In: AFIPS 16, EJCC, S. 8-14
- Rider, R. E. (1974): »Position Indicator for a Display System«, US Patent Nr. 3853464, 10.9.1974.
- Robben, B. (2006): »Der Computer als Medium. Eine transdisziplinäre Theorie«, Bielefeld.
- Roberts, L. G. (1964): »Graphical Communication and Control Languages«. Lincoln Laboratory, MIT Graphical Communication and Control Languages, Second Congress on Information System Science, Hot Springs, Virginia.; Netzversion unter der URL (zuletzt April 2007): <http://www.packet.cc/files/graph-comm-con.html>.
- Roberts, L. G. (1989): o. T. In: »Retrospectives II: The Early Years in Computer Graphics at MIT«. Lincoln Lab and Harvard, SIGGRAPH '89 Panel Proceedings, S. 56-65.
- Ross, D. T. (1988): »A Personal View Of the Personal Workstation. Some Firsts in the Fifties«. In: A. Goldberg (Hrsg.): »A History of Personal Workstations«. Reading, Menlo Park, New York, S. 54-111.
- Roth, E. M./Malin, J. T./Schreckenghost, D. L. (1997): »Paradigms for Intelligent Interface Design«. In: Helander, M./Landauer, T. K./Prabhu, P. V. Hrsg.) (1997) »Handbook of Human-Computer Interaction«. 2. Aufl., Amsterdam, New York, S. 1177-1201.
- Rubenstein, D. A. (1975): »The Status and Potential of OCR«. In: »Input/Output«. Infotech State of the Art Report 22, Maidenhead, S. 159-173.
- Rügge, I. (2007): »Mobile Solutions. Einsatzpotentiale, Nutzungsprobleme und Lösungsansätze« (Advanced Studies Mobile Research Center Bremen), Wiesbaden.
- Rügge, I./Robben, B./ Hornecker, E./ Bruns, W. (Hrsg.), (1998): »Arbeiten und Begreifen: Neue Mensch-Maschine-Schnittstellen«. Münster, Hamburg.
- Sackman, H. (1967): »Computer, System Science and Evolving Society. The Challenge of Man-Machine Digital Systems«. New York, London, Sydney.
- Schelhowe, H. (1997): »Das Medium aus der Maschine. Zur Metamorphose des Computers«. Frankfurt a. M., New York.
- Schilit, B. N./Adams, N. I./Want, R. (1994): »Context-aware Computing Applications«. In: Proceedings of the 1st International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Santa Cruz, CA, IEEE. Dec. 8-9, S. 85-90.
- Schröter, J. (2004): »Das Netz und die Virtuelle Realität. Zur Selbstprogrammierung der Gesellschaft durch die universelle Maschine«. Bielefeld.

- Shackel, B. (Hrsg.) (1985): »Designing for People in the Age of Information«. In: INTERACT 84 - 1st IFIP International Conference on Human-Computer Interaction, London Sept. 1984, Amsterdam, S. 9-18.
- Sheridan, Th. B. (1992): »Musings on Telepresence and Virtual Presence«. In: Presence-Teleoperators and Virtual Environments, 1,1, S. 120-126.
- Shneiderman, B. (1991): »Touchscreens now offer compelling uses«. In: IEEE Software 8,2, S. 93-94, 107.
- Shneiderman, B. (2000): »The Limits of Speech Recognition«. In: Communications of the ACM 43, 9, S. 63-65.
- Skramstad, H. K./Ernst, A. A./Nigro, J. P. (1957): »An Analog-Digital Simulator for the Design and Improvement of Man-Machine System«. In: Proceedings of the Eastern Computer Conference Dez., S. 90-96.
- Starnier, Th. (2001): »The Challenges of Wearable Computing: Part 1«. In: IEEE MICRO, 21, 4, S. 44-52; Part 2. In: Ebda., 21, 4, S. 54-67
- Strehl, R. (1952): »Die Roboter sind unter uns. Ein Tatsachenbericht«. Oldenburg.
- Streitz, N. A. (1988): »Mental models and metaphors: Implications for the design of adaptive user-system interfaces«. In: Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems, New York, Heidelberg.
- Sturman, D. J./Zeltzer, D. (1994): »A survey of glove-based input«. In: IEEE Computer Graphics and Applications 14, 1, S. 30-39.
- Sullivan, J. W./Tyler, S. W. (Hrsg.) (1991): »Intelligent User Interfaces. Elements and Prototypes«. New York.
- Sutherland, I. E. (1962): »Sketchpad A Man-Machine Graphical Communication System«. Phil. Diss. 1962, M.I.T. Lincoln Laboratory Technical 296 Report, Januar 1963; Reprint als Technical Report 574 Cambridge, MA 2003.
- Sutherland, I. E. (1963): »Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System«. In : American Federation of Information Processing Societies, (AFIPS), Conference Proceedings Bd. 23, SJCC, S. 329-346.
- Sutherland, I. E. (1965a): »The Ultimate Display«. In: Information Processing 1965. Proceedings of IFIP Congress 65, 2 Bde Washington, D. C., London 1965, Bd. I, S. 506-508.
- Sutherland, I. E. (1965b): »The Future of On-Line Systems«. In: Proceedings of the Symposium Sponsored by the University of California at Los Angeles and Informatics, Inc., Los Angeles, California, February 1965.
- Sutherland, I. E. (1967): »Ein- und Ausgabe bei elektronischen Rechenanlagen«. In: Information, Computer und künstliche Intelligenz, Frankfurt a. M., S. 51-67 (Scientific American, Sept. 1966).
- Sutherland, I. E. (1968): »A Head-mounted Three Dimensional Display«. In: American Federation of Information Processing Societies, (AFIPS), Conference Proceedings Bd. 33, FJCC, S. 757-764.

- Sutherland, I. E. (1970): »Computer Displays«. In: Scientific American, 222, 6, S. 56-81.
- Sutherland, I. E. (1971): »Introduction«. In: Prince, M. D.: »Interactive Graphics for Computer Aided Design«. Reading, Mass. S. IX-XI.
- Taylor, N. (1989): o. T. In: »Retrospectives I: The Early Years in Computer Graphics at MIT«. Lincoln Lab and Harvard, SIGGRAPH '89 Panel Proceedings, S. 20-25.
- Taylor, R. W. (1968): »Man-Computer Input-Output Techniques«. In: IEEE Transactions on Human Factors in Electronics, 8, 1, S. 1-4.
- Tennenhouse, D. (2000): »Proactive Computing«. In: Communications of the ACM, 43, 5, S. 43-50.
- Thompson, T. (1996): »The Elements of Design. An inside view of how innovative individuals produce technology breakthroughs«. In: BYTE, 21, 8, S. 81.
- Trimble, G. R. (1986): »The IBM 650 Magnetic Drum Calculator«. In: Annals of the History of Computing 8, 1, S. 20-29.
- Turing, A. M. (1947): »Lecture to the London Mathematical Society on 20 February«, wiedergedruckt in: Carpenter, B. E./Doran, R. W. (Hrsg.), »A. M. Turing's ACE Report of 1946 and other Papers« (Charles Babbage Institute, Reprint Series for the History of Computing, Bd. 10), London, Los Angeles, San Francisco 1986, S. 106-124.
- Turing, A. M. (1950): »Computing Machinery and Intelligence«. In: Mind 59, S. 433-460; wiedergedruckt in: Ders.: »Collected Works of A. M. Turing«. 4 Bde. Amsterdam, London, New York 1992; Bd. 3 (Mechanical Intelligence, hrsg. von D. C. Ince), S. 133-160.
- Turner, J./Krueger, M. (2002): »Myron Krueger Live, Interview«. In: ctheory.net, 23.1.2002; unter: www.ctheory.net/articles.aspx?id=328 (zuletzt: 10. Juni 2007).
- Van Dam, A. (1966): »Computer Driven Displays and their Use in Man/Machine Interaction«. In: Alt, F. L./Rubinoff, M. (Hrsg.): »Advances in Computers«. Bd. 7, New York, S. 239-290.
- Van Dam, A. (1999): »Post-WIMP 3D User-Computer Interaction, HCI«. Distinguished Colloquium Series, Center for Human Computer Interaction, 3. 5. 1999, unter: <http://www.cse.ogi.edu/CHCC/Series/lecture99.htm>.
- Van Dam, A. (2001): »User Interfaces: Disappearing, Dissolving, and Evolving«. In: Communications of the ACM 44, 3, S. 50-52.
- Wagner, K. (2006): »Datenräume, Informationslandschaften, Wissensstädte: Zur Verräumlichung des Wissens und Denkens in der Computermoderne«. Freiburg i.Br., Berlin.

- Walker, J. (1990): »Through the Looking Glass«. In: Laurel, B. (Hrsg.): »The Art of Human-Computer Interface Design«. Reading, MA, Menlo Park, CA, New York, S. 439-447.
- Watson, B./Luebke, D. (2005): »The Ultimate Display: Where Will All the Pixels Come From?« In: IEEE Computer 38, 8, S. 54-61.
- Weiser, Mark (1991): »The Computer for the 21st Century«. In: Scientific American 265 (Sept.), S. 94-104.
- Weiser, M. (1993): »Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing«. In: Communications of the ACM 36, 7, S. 75-84.
- Weiser, M. (1994): »Creating the Invisible Interface.« In: Symposium on User Interface Software and Technology New York.
- Weiser, M. (1998): »The Future of Ubiquitous Computing on Campus«. In: Communications of the ACM 41, 1, S. 41-42.
- Weiser, M./Brown, J. S. (1996): »Designing Calm Technology«. In: PowerGrid Journal, v 1.01, July 1996; revid. Fassung, 5.10.1996. unter: <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/acmfuture2endnote.htm>.
- Weiser, M./Gold, R./Brown, J. S. (1999): »The Origins of Ubiquitous Computing Research at PARC in the late 1980s«. In: IBM Systems Journal, 38. Jg., H. 4, S. 693-696.
- Wellner, P./Mackay, W./Gold, R. (1993): »Computer-Augmented Environments - Back to the real world«. In: Communications of the ACM 36, 7, S. 24-26.
- Wildes, K. L./Lindgren, N. A. (1985): »A Century of Electrical Engineering and Computer Science at MIT, 1882-1982«. Cambridge/Mass., London.
- Wolf, T. V./Rode, J.A./Sussmann, J./Kellog, W. A. (2006): »Dispelling Design as the 'Black Art' of CHI«. In: CHI 2006 Conference Proceedings. Montréal, Québec April 22-27, New York, S. 521-529.
- Zemanek, H. (1983): »Otto Schöffler (1838-1928). Pionier des Telephons, der Telegraphie und der Lochkarte sowie Erbauer der ersten Wiener Telephonzentralen«. In: Blätter für Technikgeschichte, Heft 41-43, Wien, S. 81-118.
- Zimmerman, Th. G./Lanier, J./Blanchard, Ch./Bryson, St./Harvill, Y. (1987): »A Hand Gesture Interface Device«. In: Proceedings of SIGGHI '87, S. 189-192.