

| | |
|--|-----------|
| 1. DAS DENKEN IN BILDERN | 4 |
| 1.1. SEIN UND SCHEIN | 6 |
| 1.2. WAS BEDEUTET SIMULATION | 7 |
| 1.3. DIE HERSTELLUNG VON REALITÄT..... | 9 |
| 1.4. VORGEHENSWEISE..... | 10 |
| 1.5. ABSCHNITTE | 11 |
| 2. BEGRIFFSBESTIMMUNG - SIMULATION ALS TERMINUS TECHNICUS | 15 |
| 2.1. DIE SIMULATION AM UND MIT DEM COMPUTER | 21 |
| 3. VON DER INFORMATION ZUM BILD..... | 26 |
| 3.1. TECHNOLOGISCHE VORBEDINGUNGEN | 27 |
| 3.2. INFORMATIONSTRANSPORT..... | 28 |
| 3.3. BILD UND ZERLEGUNG..... | 31 |
| 3.4. MASCHINELLES SEHEN..... | 35 |
| 3.5. TRAJEKTOREN - VOM MOTOR DES DIGITALEN RECHNENS IM MILITARISMUS | 38 |
| 3.6. VON DER RECHENMASCHINE ZUR BILDMASCHINE..... | 42 |
| 3.7. DIE TECHNISCHE ENTWICKLUNG DES COMPUTERS UND IHRE BEDEUTUNG FÜR DAS BILDPROBLEM..... | 45 |
| 4. DIE IMAGINÄREN BILDER IN DER MASCHINE..... | 47 |
| 4.1. DAS SPEICHERBILD | 47 |
| 4.2. VOM ENIAC ZUM EDVAC..... | 48 |
| 4.3. BILDSICHTGERÄTE ALS INTERAKTIVE REFERENZSYSTEME | 52 |
| 4.4. DER EINBLICK IN DEN COMPUTER | 54 |
| 4.5. ZUSAMMENFASSUNG | 56 |
| 5. DAS BEWEGLICHE COMPUTERBILD..... | 58 |
| 5.1. DER BILDSCHIRMPUNKT UND DIE ZEIT | 58 |
| 5.2. SAGE..... | 59 |
| 5.3. VORLÄUFER DES BEWEGTEN COMPUTERBILDES: RADAR..... | 61 |
| 5.4. IMMATERIALITÄT VERSUS MATERIALITÄT | 67 |
| 6. DAS INTERAKTIVE COMPUTERBILD | 71 |
| 6.1. WHIRLWIND ALS GEBURTSORT DER BILDSCHIRMGRAFIK..... | 71 |
| 6.2. DIE WELT ALS ENTWURF - SKETCHPAD UND SEINE FOLGEN | 73 |
| 6.3. DIE STÄRKUNG DER MATERIE ALS ERGEBNIS DER VIRTUALISIERUNG | 90 |
| 7. DER COMPUTERBILDSCHIRM ALS HANDLUNGSRAUM..... | 93 |
| 7.1. AS WE MAY THINK..... | 94 |
| 7.2. AUGMENT HUMAN INTELLECT - LICKLIDER UND ENGELBART | 100 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 7.3. | TIME-SHARING | 110 |
| 7.4. | DOUGLAS ENGELBART UND DAS AUGMENT SYSTEM..... | 115 |
| 7.5. | VON DER „TOTEN“ ZUR „LEBENDEN“ WELT DER DATEN | 129 |
| 8. | DIE ENTWICKLUNG DER BEWEGTEN COMPUTERGRAFIK AUS DER FILMTECHNOLOGIE | 138 |
| 8.1. | VORAUSSETZUNGEN DER COMPUTERGRAFIK..... | 139 |
| 8.2. | COMPUTERGRAFIK ALS KÜNSTLERISCHE TECHNIK..... | 142 |
| 8.3. | VON DER ANALOGEN ZUR DIGITALEN COMPUTERGRAFIK..... | 144 |
| 8.4. | COMPUTERGRAFIK UND FILMTECHNIK | 146 |
| 8.5. | DIE ANWENDUNG MODERNER COMPUTERGRAFIK..... | 148 |
| 8.6. | VISUALISIERUNG IN DER NATURWISSENSCHAFT ALS MOTOR DER FUNKTIONALISIERUNG DES SEHENS..... | 150 |
| 8.7. | DER EINFLUß VON SPIELECOMPUTERN..... | 153 |
| 8.8. | ZUSAMMENFASSUNG..... | 154 |
| 9. | DIE VIRTUELLE REALITÄT ALS DREIDIMENSIONALE BENUTZERBEREICH 159 | |
| 9.1. | VIRTUELLE REALITÄT..... | 159 |
| 9.2. | DIE TECHNIK..... | 160 |
| 9.3. | DAS PANORAMA ALS VORLÄUFER DER VIRTUELLEN REALITÄT? | 162 |
| 9.4. | VORSTUFEN UND ENTWICKLUNG DER VIRTUELLEN REALITÄT | 165 |
| 9.5. | DER BLICK IN EINE ANDERE REALITÄT | 168 |
| 9.6. | INTERAKTION ALS RAUMORDNUNG | 175 |
| 9.7. | ERGEBNISSE DER ENTWICKLUNG | 177 |
| 9.8. | VON DER VIRTUELLEN REALITÄT ZUM CYBERSPACE | 180 |
| 10. | DAS INTERNET. DER SIEG DES BILDES ODER DIE RÜCKKEHR ZUM TEXT? 182 | |
| 10.1. | NETZWELTEN ALS SIEG DER BILDLICHKEIT | 182 |
| 10.2. | VERNETZUNG..... | 182 |
| 10.3. | DAS ARPANET ALS KIND DES KALTEN KRIEGES | 184 |
| 10.4. | PERSONAL COMPUTER UND DIE ENTWICKLUNG DER NETZTECHNOLOGIE..... | 187 |
| 10.5. | ZUSAMMENFASSUNG | 188 |
| 10.6. | SIEG DER BILDLICHKEIT | 190 |
| 11. | ZUSAMMENFASSUNG | 193 |
| 11.1. | ZEIT..... | 199 |
| 11.2. | ABBILDUNG | 200 |
| 11.3. | BEHERRSCHUNG DER BILDER | 201 |
| 11.4. | DIE BEVÖLKERUNG DES CYBERSPACE..... | 204 |
| 11.5. | COMPUTER UND ERFAHRUNG | 205 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 11.6. | ZIELSETZUNG DER SIMULATION | 206 |
| 12. | AUSBLICK..... | 207 |
| 13. | LITERATURLISTE..... | 216 |
| 14. | SCHAUBILD, ZEITLICHE ENTWICKLUNG UND ZUSAMMENHÄNGE | 231 |
| 15. | ABBILDUNGEN..... | 232 |

1. Das Denken in Bildern

Einleitung

1968 kombinierte Douglas Engelbart in San Francisco die erste Videokonferenz der Welt mit einer Online-Dokumentverarbeitung.¹ Dies war die Geburtsstunde der Benutzeroberfläche, der verbreitetsten Nutzung von Bildern am Computer. (Abb.1 2)

Die Geschichte der Computerbilder ist die Geschichte ihrer Nutzung und Verknüpfung. Die Geisteswissenschaften fragen allerdings weniger nach dem Gebrauch von Bildern als nach ihrer Ästhetik und ihrem ontologischen Status. So stand hier in den letzten Jahren vor allem das Verhältnis von Urbild und Abbild zur Debatte.² Da die dringende Annahme besteht, daß Computerbilder Abbilder sind, ohne ein Urbild zu haben, wissen wir nicht, wie wir sie einordnen sollen. Diese Verunsicherung hat Vilém Flusser anschaulich beschrieben:

„Vor unseren ungläubigen Augen beginnen alternative Welten aus den Computern aufzutauchen: aus Punktelementen zusammengesetzte Linien, Flächen, bald auch Körper und bewegte Körper. Diese Welten sind farbig und können tönen, wahrscheinlich können sie in naher Zukunft auch betastet, berochen und geschmeckt werden. [...] Warum mißtrauen wir eigentlich diesen synthetischen Bildern [...]. Warum beschimpfen wir sie mit dem Wort „Schein“. Warum sind sie für uns nicht real? [...] weil diese alternativen Welten eben nichts anderes sind als komputierte Punktelemente, weil sie im Nichts schwebende Nebelgebilde sind. Die Antwort ist vorschnell, da sie Realität an der Dichte der Streuung mißt und wir uns auf die Technik verlassen können, daß sie künftig in der Lage sein wird, die Punktelemente ebenso dicht zu streuen, wie dies bei den Dingen der uns gegebenen Welt der Fall ist.“³

War schon die uns gegebene Welt an sich eine Frage der Wahrnehmung, so tritt spätestens mit dem Auftauchen des Bildes aus dem Computer eine weitere Schicht zwischen uns und die „Daten“ wie Flusser die Realität benennt. Selbst geschaffene „Fakten“, vom Menschen mit Hilfe von Computern hergestellte, verunsichern den menschlichen Betrachter ein weiteres Mal. Er muß sich erneut fragen, ob er seinen „Augen trauen“ darf. Flusser thematisiert hiermit den Kern der Frage nach dem Wahrheitsgehalt am Bild überhaupt. Der Computer

¹ Engelbart, Douglas C.; English, William K., A Research Center for Augmenting Human Intellect, AFIPS Conference Proceedings of the 1968 Fall Joint Computer Conference, San Francisco, CA, December 1968, Vol. 33, S. 395-410.

² Vgl. hierzu das Themenheft „Imitation und Mimesis“, in dem viele diese Zeit beherrschende Diskussionspunkte zusammengefaßt wurden. Reck, Hans Ulrich (Hrsg.), Imitation und Mimesis, Kunstforum International, Bd. 114, 7/8, 1991. Vgl. auch Rötzer, Florian; Weibel, Peter (Hrsg.), Strategien des Scheins, Kunst Computer Medien, München 1991. Für eine kompakte Einführung in die Geschichte der Ästhetik und der Frage von Urbild und Abbild vgl.: Jung, Werner, Von der Mimesis zur Simulation. Eine Einführung in die Geschichte der Ästhetik, Hamburg 1995.

³ Flusser, Vilém, Digitaler Schein, in: Rötzer, Florian (Hrsg.), Digitaler Schein, Frankfurt/M. 1991, S. 147.

wirft diese alte Frage lediglich in größerer Deutlichkeit auf. Die Abbildung oder besser das Bedürfnis, festzuhalten, was wir mit unseren flüchtigen Sinnen aufnehmen, ist ebenso alt wie die Menschheit. Im Gegensatz zu allen bisherigen Abbildungstechniken sollten aber die Computer die ersten Maschinen sein, die weniger Abbildungen als ihrerseits Urbilder schaffen.⁴ Im Gegensatz zu den manuellen Abbildungstechniken der Kunst und den späteren, technischen Verfahren der Fotografie und des Films können Computer Abbildungen erzeugen, deren Referenz nicht mehr die Sphäre des Sichtbaren ist. Wenn auch die Ausdehnung des Sichtbaren durch die Erfindung optischer Instrumente im makroskopischen und mikroskopischen Bereich erheblich erweitert wurde⁵, kommt immer noch das Auge als „Abtastungsinstrument“ zum Einsatz, und das von ihm gelieferte Bild ist allein durch den menschlichen Wahrnehmungsapparat vermittelt. Der Computer hingegen ermöglicht eine Abtastung der Umgebung, die das Spektrum des für das Auge sichtbaren Lichtes verläßt und somit ein „Bild“ vom bisher Bildlosen schafft.⁶

In der Fachsprache der Computer werden solche Symbolmanipulationen (Programmierungen) „Visualisierungen“ oder „bildgebende Verfahren“ genannt, wobei dieses Visualisieren oder „Bild geben“ sich im allgemeinen als Übersetzungsvorgang darstellt, der aus mathematischen Zeichen etwas produziert, das unserer Realität oder unserer Vorstellung entspricht. Auch der Computer kann Gegenstände in einem quasi fotografischen Prozeß abbilden. Hierzu stehen heute verschiedenste Scanning-Verfahren zur Verfügung. Damit bestätigt auch der Computer McLuhans These, nach der ein Medium jeweils ein anderes, älteres Medium zum Inhalt habe.⁷ Das Schwergewicht dieser Arbeit liegt auf der Übersetzung von Zahlen in Bilder (Visualisierung), nicht auf der Übersetzung von Bildern in Zahlen (Scanning). Gemeint sind die Verfahren, die heute weithin als Abbilder ohne Urbild bezeichnet werden.

Es stellt sich die Frage nach der Abbildung einer äußeren Welt in das Innere unseres Bewußtseins. Seit dem Beginn der Computerentwicklung wurde als Erklärungsmodell immer wieder die Metapher des Gehirns herangezogen.⁸ Zunächst wurden die menschlichen Fähigkeiten auf die neu entwickelten Maschinen abgebildet. Diese Abbildung führte zu einem Zirkelschluß: Der Computer wurde dadurch erklärt, daß man das Gehirn zu einer

⁴ Ein bekanntes und oft zitiertes Beispiel sind die Fraktale, die erst am Computer ihre Gestalt entfaltet haben und insofern keinerlei echte Vorbilder haben. Damit wurde der umgekehrte Schluß möglich, daß die Formen der Natur auf ähnlichen mathematischen Grundformeln zu basieren scheinen, da sie den am Bildschirm generierten Farb- und Formenwelten gleichen. Im Sinne des Verhältnisses von Urbild und Abbild als Verhältnis von Idee und Erscheinung konnten die am Bildschirm generierten Fraktale vielmehr als Urbilder gedeutet werden, da sie in reinerer Form die Idee der Selbstorganisation der Materie repräsentierten. Vgl. Peitgen, Heinz-Otto; Richter, Peter H., *The Beauty of Fractals*, Berlin 1986. Vgl. auch Davis, Paul, *Prinzip Chaos*, München 1988.

⁵ Vgl. Gloede, Wolfgang, *Vom Lesestein zum Elektronenmikroskop*, Berlin 1986.

⁶ Schuck-Wersig, Petra, *Expeditionen zum Bild, Beiträge zur Analyse des kulturellen Stellenwerts von Bildern*, Europäische Hochschulschriften, Bd. 35, Frankfurt 1993, S. 180.

⁷ Vgl. McLuhan, Marshall, *Understanding Media*, New York 1964.

⁸ John von Neumann hat die Beschreibung eines erweiterten Rechnersystems (EDVAC) als eine Zusammenstellung menschlicher Organe und vor allem eines Gehirns als Speicher be-

informationsverarbeitenden „Maschine“ reduzierte.⁹ Auch die Erforschung der künstlichen Intelligenz ging zunächst von einem „Abbildungsproblem“ aus: in Form von vereinfachenden Projektionen, die einen „Gegenstandsraum“ und einen „Bildraum“ voraussetzen, bildet sich die Welt in unserem Bewußtsein ab und die intelligente Verarbeitung setzt als „bildverarbeitender Prozeß“ ein. Damit entbrannte eine Diskussion um die Trennung zwischen biologischem Körper und verarbeitendem Geist, die sich bereits in der Frage nach der Trennung zwischen Urbild und Abbild verbirgt. Diese Maschinen stellten zum ersten Mal ein Modell zur Verfügung an dem experimentell der Frage nachgegangen werden konnte, wie der menschliche Geist seine Informationen verarbeitet.

Diese beiden zunächst divergent wirkenden Bereiche, die Möglichkeiten zur Erzeugung von „Wirklichkeiten“ und die modellhafte Struktur des „Elektronengehirns“, haben mehr gemeinsam als es auf den ersten Blick scheinen mag.¹⁰ Möglicherweise bildet die Problematik des Scheiterns der künstlichen Intelligenz¹¹ einen Nährboden für die verstärkte Produktion von „künstlichen Welten“. Dieser vermutete Zusammenhang muß jedoch viel stärker als bisher an einer Geschichte der Bildproduktion am und mit dem Computer dargestellt werden.

So beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der technologischen Entwicklung einerseits und den weitreichenden theoretischen Konsequenzen dieser technischen Entwicklung andererseits. Dabei bedarf der Begriff der Simulation einer eindeutigen und auch abgrenzenden Definition, die ihn von dem großen Feld seiner sonstigen Bedeutungen trennt. Dies soll der Abschnitt zur Begriffsbestimmung erfüllen.

1.1. Sein und Schein

Die Geschichte der technischen Bilder bewegt sich im Spannungsfeld von Sein und Schein, in dem die Betrachtung zu einem optischen Spiel oder einer optischen Täuschung wird, die ständig zwischen dem realen Gegenstand und dem Bild des Gegenstandes hin- und her-schwankt. Dies berührt das Feld der Kunst, die sich immer mit dem Wechsel zwischen

schrieben. Vgl. Goldstine, Hermann H., *From Pascal to von Neumann*, Princeton 1993, S. 204.

⁹ Heinz von Foerster stellt dies sehr überzeugend dar, wenn er schreibt: „Obwohl wir weder damals eine Ahnung hatten noch heute wissen, wie das Gehirn, das Gedächtnis, funktioniert, scheint die Strategie, eine Undurchsichtigkeit durch eine andere zu erklären, dem allgemeinen Wissensdurst – wenigstens momentan – befriedigt zu haben. Diese Gedankenknospe kam erst zu voller Blüte – *anthropomorphia inversa* – als man das vorhin Erklärende mit Erklärtem vertauschte und die bekannte Organisation der Rechner und ihrer Speicher als die ihre dichtest-Bezeichnung erfüllende Funktion deutete.“ Foerster, Heinz von, *Wahrnehmen*, in: *Aisthesis, Wahrnehmung heute*, Leipzig 1990, S. 438.

¹⁰ Zum Zusammenhang zwischen Geist und Computer Vgl. Mainzer, Klaus, *Computer – Neue Flügel des Geistes?*, Berlin 1994.

¹¹ Dreyfus, Hubert L.; Dreyfus, Stuart E., *Künstliche Intelligenz, von den Grenzen der Denkmachine und dem Wert der Intuition*, Hamburg 1987, S. 99. Dreyfus und Dreyfus haben, bisher unwiderlegt, dargestellt, daß die „General Problem Solver“-Ansätze der KI lediglich sehr begrenzte Problemfelder bearbeiten konnten und diesen Systemen alles fehlt, was gemeinhin unter *common sense* verstanden wird. Hierdurch ist der Aktionsradius auf genauestens definierte Gebiete beschränkt.

Abbild und Natur beschäftigt und unsere Vorstellung von der Verbildlichung der Welt geprägt hat. Dabei hatte die Nachahmung der Natur schon immer zwei Bedeutungsebenen: Zum einen das Nachbilden natürlicher Erscheinungen (*natura naturata*), zum anderen das Erzeugen oder Schaffen nach den Methoden der Natur (*natura naturans*). Diese Doppelsinigkeit übertrug sich auch auf die Nachbildung der Natur mit Hilfe des Computers.

Bilder machen, bedeutet und bedeutete bisher das Projizieren von äußeren oder inneren Bildern auf eine zweidimensionale Anschauungsfläche. Mit den computertechnisch erzeugten Bildern entstand jedoch eine neue Dimension der Bildherstellung. Sie ist weder ausschließlich abhängig vom menschlichen Auge, noch erfordert sie einen mechanischen Abbildungsprozeß. Das Gesehene wird nicht über eine Hand-Auge-Koordination in ein Bild übersetzt, sondern mathematische Modelle übernehmen manuelle oder technisch abbildende Verfahren und treten an die Stelle des Abmalens oder Ablichtens.

Den Bildwelten aus den Maschinen wird ein eigenes „Leben“ zugesprochen, das je nach Perspektive bedrohlich, magisch oder auch banal genannt wird. In jedem Falle erscheinen die Bilder, die von diesen Maschinen erzeugt werden, als mehr als das, was sonst von Maschinen erzeugt wird, seien es Schrauben, Möbel oder ganze Architekturen, die wiederum einen Teil unserer vermeintlichen Realität bilden. In diesen Diskurs, in dem Bilder seit jeher als Schein diskutiert wurden, zieht die Computertechnologie eine neue Ebene ein. Man könnte diese Ebene in einer zunächst unbeholfenen Formulierung als Doppelschein charakterisieren, denn das scheinhafte Bild wird durch die scheinhafte Bildproduktion noch weiter in Frage gestellt. Dabei ist die Computersimulation immer noch gebunden an das Manöver der Täuschung, das Vorspiegeln des „So Seins“, das sich mit Hilfe immer aufwendigerer Bildgenerierung zu einer weiteren „Realität“ außerhalb der durch materielle Artefakte geschaffenen Kultur entwickelt. Die Ausdrucksformen dieser Realitätsbildung sind zunächst unbekannt und werden auf ihren Anspruch hin untersucht, Wirklichkeit zu repräsentieren. Die primäre Ausgabeinheit des Computers, der Bildschirm, ist in seiner Entwicklung völlig unabhängig vom Fernsehmonitor, der nur Vorhandenes transformiert und transferiert. Der Bildschirm hat die Frage nach der Bilder produzierenden Maschine überhaupt erst aufgeworfen. Mit steigender Auflösung, der immer größer werdenden Menge der Punkte, die das Bild repräsentieren, wird das diskrete Bild des Computers der uns analog erscheinenden Natur keineswegs ähnlicher. Durch seine „Geburt“ aus dem Computer ist das digitale Bild in seiner Machart ohne weiteres von Realität zu unterscheiden. Statt der Realität werden Konzepte oder Modelle von ihr abgebildet. Die Produktion einer eigenen Bildsprache geht Hand in Hand mit der Entwicklung einer eigenen Rezeptionsweise des digitalen Bildes.

1.2. Was bedeutet Simulation

Computertechnisch erzeugte Bilder basieren auf Programmen und Algorithmen, die in sich Konzepte von Realität, Gegenständlichkeit und Struktur zu tragen scheinen. Ein Computer-

programm, das Bilder konstruieren kann, trägt damit dieses Bild schon vorher codiert und algorithmisiert in seinem Speicher. Es ist existent, bevor es auf dem Bildschirm, dem Drucker oder sonst einem Ausgabegerät reproduziert wird. Das ist so, als würde die Bilderfassung des Künstlers gespeichert, codiert und in einem Muster aus Zeichen und Befehlen abgelegt. Der Speicher des Computers stellt damit ein bereits vorhandenes, aber noch ungesehenes Bild dar. Durch die Hinzunahme von Bewegung in der Zeit werden aus solchen konstruierten Bildern Simulationen. Sie entfalten sich nach Regeln, die vollständig determiniert sind, und sollen doch Auskunft über Zusammenhänge geben, die nicht Teil des Systems sind, aus dem heraus sie produziert wurden.

Auf die Frage "Was ist Simulation?" wird man heute in der Regel die Antwort erhalten, daß sie ein Verfahren ist, mit dem Vorgänge künstlich erzeugt werden. Den Begriff der Künstlichkeit bezieht der Sprecher meist aus der Gegenüberstellung eines solchen Vorgangs mit der Realität. Was sich in der Wirklichkeit vollzieht, entzieht sich damit auch meist automatisch unserem Einfluß und unserer Kontrolle. Künstlich dagegen scheint alles das zu sein, was zwar nicht real ist, aber dafür unserer Kontrolle unterliegt. Wir setzen die Parameter des Künstlichen durch die Konstruktion der sie konstituierenden Variablen.

Wir haben bereits festgestellt, daß das computertechnisch erzeugte Bild nicht ursächlich die Frage nach Urbild und Abbild aufwirft. Es stellt sich lediglich in eine Reihe der Abbildproduktionen von unserer Netzhaut bis auf den Computerbildschirm. Neu ist jedoch das genannte Maß an Kontrolle, daß sich durch die Nutzung von Computern zur Erzeugung von Bildern ergibt. Möglicherweise ist die Diskussion um die Frage nach der Wirklichkeit computertechnisch erzeugter Bilder eine falsch ausgerichtete. Angesichts der Entwicklung des Computers zur Bildproduktionsmaschine muß gefragt werden: wie ist das Bedürfnis zur Kontrolle von Computerbildern entstanden?

Computerbilder, so weit konnte Walter Benjamins klassischer Aufsatz über "Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit"¹² nicht voraussehen, verfügen über keine auf „Reproduzierbarkeit angelegten“ Bildträger wie das Foto und der Film, sondern haben den Bildträger durch eine vollkommene Übersetzung in elektrische Ladungen scheinbar aufgelöst. Das Original scheint für immer verloren, weil es seiner Existenz zur Herstellung des Abbildes nicht mehr bedurfte. Die Gegenstandsbereiche lösen sich im Bewußtsein des Betrachters auf. Die festen Grenzen der Objekte, mögen sie sich auch als trügerisch erweisen, sobald man sie unter einem hochauflösenden Mikroskop betrachtet, lassen an eine intakte und festgefügte materielle Welt glauben. Mit dem Auftauchen der Computerbilder scheint dies in Frage gestellt. Aber was geschieht wirklich mit den Computerbildern? Wie gehen sie in unsere Alltagswahrnehmung ein und wie verändert sich diese in der Ära der Computerisierung?

¹² Benjamin, Walter, Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit, in: Gesammelte Schriften, hrsg. v. Hermann Schweppenhäuser und Rolf Tiedemann, Werkausgabe, Frankfurt/M. 1980. Siehe zur kritischen Diskussion der Thesen Benjamins auch: Bredekamp, Horst, Der simulierte Benjamin. Mittelalterliche Bemerkungen zu seiner Aktualität, in: Berndt, Andreas u.a. (Hrsg.), Frankfurter Schule und Kunstgeschichte, Berlin 1992. Bürger, Peter, Theorie der Avantgarde, Frankfurt/M. 1974.

1.3. Die Herstellung von Realität

Diese Arbeit möchte anhand der technischen Entwicklung das Augenmerk darauf richten, daß das Ziel der computertechnischen Bilderzeugung nicht die Auflösung der Realität, sondern ihre verstärkte Kontrolle ist. Hierzu gehört nicht nur die Frage nach der Abbildung von Bestehendem, sondern auch die Konstruktion von Nichtvorhandenem. Ziel ist nicht die möglichst realistische Reproduktion der uns umgebenden Welt, sondern ihre höchstmögliche Künstlichkeit im Sinne Benjamins.¹³ Es geht nicht um die Ersetzung des Realen durch das Virtuelle, sondern um die Ersetzung des Virtuellen durch das Reale.

Demnach würden wir nicht die Marslandung simulieren, um sie nicht vollziehen zu müssen, sondern wir würden realistisch simulieren, um auch wirklich auf dem Mars landen zu können. Simulationen erfordern erhebliche Mittel, da sie sich immer am Rande der technischen Leistungsgrenzen bewegen.¹⁴ Je wirklichkeitsgetreuer, realistischer die Simulation ist, desto größer wird die Realisierungschance jeder noch so abwegig erscheinenden Handlung. Das einzige Problem läge damit in der mangelnden Qualität aller Simulationen und damit der Bilder, die heute erzeugt werden können. Simulationen stellen, wenn sie das Ziel haben Möglichkeiten zu erproben, den Anspruch auf Realisierung. Die Frage "Was wäre wenn?" wird gestellt, um das „Was“ auf eine kalkulierbare Größe zu reduzieren.

Betrachten wir die Entwicklung der Bildherstellung am Computer, dann müssen wir feststellen wie mangelhaft die Methoden und Konzepte derzeit entwickelt sind. Alle Computer zusammengenommen können noch nicht einmal einen Bruchteil der Informationen verarbeiten, die als Einflußfaktoren bei der Abschätzung der nächsten 15 Sekunden unserer Existenz anfallen würden. Beim Durchgang durch die Geschichte der Computerentwicklung stoßen wir folgerichtig auf eine extreme Beschleunigung der Leistung der Maschinen lange vor der Entfaltung ihres eigentlichen Nutzens oder eines bestimmaren Zweckes. Computer und ihre Entwicklung zum Bild produzieren vor allem eines: einen unstillbaren Hunger nach Superlativen. Neue Methoden der Bildherstellung fallen in die Phasen, die zwischen der Forderung nach mehr Leistung in Form von Rechenoperationen und Speicher und deren momentaner Befriedigung liegen. Nicht das Problem scheint zuerst dagewesen zu sein, sondern die Möglichkeit zur Entfaltung eines Problems ergab sich aus der Überfülle der Kapazität.

¹³ Anhand der Filmproduktion beschreibt Benjamin die große Differenz zwischen Herstellung und Ergebnis des technischen Aktes. Der Film wird in kleinen Stücken aufgenommen, aus der Abfolge der zerlegt produzierten Stücke entsteht jedoch die mächtige Sprache des Films, der sich der Betrachter kaum entziehen kann. Diese Unmöglichkeit des Entzugs hat Benjamin als „Choc-Erfahrung“ bezeichnet. „Der apparatfreie Aspekt der Realität ist hier zu ihrem Künstlichsten geworden und der Anblick der unmittelbaren Wirklichkeit zu der blauen Blume im Land der Technik.“ W.B., GS, Bd. 12, S. 458.

¹⁴ Bolz hat dargestellt, daß die Kosten für Kriegssimulationen ähnlich hoch sind wie die Kosten eines realen Einsatzes. Doch der reale Einsatz beherbergt soviel mehr Unbekannte, daß eine realistische Abschätzung der Kosten nahezu unmöglich ist. Bolz, Norbert, Eine kurze Geschichte des Scheins, München 1992, S. 114.

Von Beginn an war die Entwicklung der technischen Leistungswerte der Maschinen abgekoppelt von der Frage nach dem Warum dieser Steigerung. Die stärkere Entwicklung des Bildschirms und seiner Nutzung am Computer, die spätestens seit den fünfziger Jahren stattfindet, hat ihre Ursache nicht in einer Forderung nach intuitiver Steuerung, sondern entsteht in Nischen überflüssiger Rechnerkapazität. Die Simulacra sind daher möglicherweise Abfallprodukte technologischer Überkapazitäten. Würde die Technologie nicht immer mehr leisten als sie müßte, würden unter Umständen auch die von ihr produzierten „Scheinbilder“ verschwinden wie Schatten an Platons Höhlenwand.

Diese These wird Widerspruch erregen. Sind neue technische Möglichkeiten nicht immer aus dem Überfluß an Basistechnologien entstanden? Hat sich das Telefon nicht erst verbreiten können, als die benötigten Teile in Massen und zu geringen Kosten herstellbar waren? Das Verhältnis von Ökonomie und Nutzung kann nicht bestritten werden. Was in dieser Arbeit bestritten werden soll, ist die Existenz zeitloser Ideen, die nur auf den Dornröschenkuß ihrer Erweckung warten. Der Gebrauch einer Technologie, so auch der computertechnisch erzeugten Bilder, stellt die Weisen ihres Gebrauchs mit her. Die Weisen der Wahrnehmung werden mit den Technologien zur Herstellung ihrer Wahrnehmungsobjekte mit erzeugt. Wir entdecken nicht die Wahrnehmung des Virtuellen, sondern die Möglichkeit zur Wahrnehmung des Virtuellen ist ein Ergebnis ihrer Erfindung. Im Gegenzug fördert sie die Welt des Materiellen als Differenzerfahrung.

Mit der Erfindung der Simulation und der Erzeugung von Bildern am und mit dem Computer ist der Wert der Materie nicht im Verfall begriffen, sondern steigt mit dem Maß der Virtualisierung. Die Gegenwelt des Immateriellen ist der letzte Mechanismus zur Verdinglichung aller Lebensbereiche. Alles Virtuelle, im Sinne des Wortes im „Bereich des Möglichen“ befindliche, wird realisierbar und damit aus dem Bereich des Möglichen in den Bereich des Ermöglichten verschoben.

1.4. Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit macht den Versuch, ungeachtet aller ästhetischen Fragen, die sich auch allen früheren Bildmedien stellten, möglichst dicht auf den Fersen einer technologischen Entwicklung zu bleiben. In dieser werden die Etappen der „Verbildlichung“ des Computers beschrieben und ihre Ursachen untersucht. Ziel ist es zu zeigen, daß nur eine genauere Untersuchung der historischen Umstände ein klares Bild von der Produktion computergestützter Bilder geben kann. Die Beschwörung von Motiven und Motivationen, die außerhalb der technischen Entwicklung liegen und aus denen heraus das „Virtuelle“ sich über die Welt ausbreitet, reicht nicht, um wirkliche Aussagen über die Zielsetzung zu machen. Was Techniker und Kulturwissenschaftler über Computer und ihre Bedeutung für sie sagen, könnte nicht weiter auseinanderliegen. Was für die einen ein Werkzeug ist wie ein

Schraubenzieher, ist für die anderen eine Kulturrevolution ungeahnten Ausmaßes mit unabsehbaren Folgen.

So soll die Arbeit durch die Zusammenstellung von Quellen und genauer Betrachtung von Ereignissen wie auch technischen Entwicklungen eine Mittlerposition zwischen Mythos und positivistischer Werkzeugmetapher einnehmen. Sie konzentriert sich auf das am und mit dem Computer erzeugte Bild. Seit der Computer nicht mehr eine Rechenmaschine ist, „kommuniziert“ er mit uns zunehmend in Bildern. Die oft konstatierte Wende von der Sprache zum Bild ist dabei ebenso in der technischen Entwicklung begründet wie die Entstehung der „virtuellen Realität“.

1.5. Abschnitte

In einer Begriffsbestimmung soll gezeigt werden, daß der Begriff der Simulation nicht klar definiert erscheint. Vielmehr unterlag er einer langen Entwicklung, an deren Ende vorerst ein Terminus Technicus zu stehen scheint. In diesem Begriff schwingen aber immer noch die früheren Bedeutungsebenen mit. Die beiden Klammern des Begriffs sind einerseits Simulacrum, Täuschung und die Möglichkeit zur Entkörperlichung, andererseits Simulation als die reine technisch mathematische Modellbildung unter Hinzunahme der Zeit.

In einer Vorbetrachtung werden kurz die Grundlagen der technischen Informationsverarbeitung angesprochen. Dieser Abschnitt dient dazu, das in der Arbeit untersuchte Gebiet grob einzugrenzen. Informationstransport, Zerlegung von Information, Zerlegung von Bewegung und zuletzt die Vorbedingungen zur Informationsspeicherung in der Lochkarte bilden die intellektuellen Voraussetzungen für die „Bildmaschine“ Computer. Die Rechenautomaten früherer Phasen bleiben dagegen weitgehend unerwähnt, weil die Frage des Rechnens für unseren Blickwinkel nicht entscheidend ist.

Der Abschnitt „Von der Rechenmaschine zur Bildmaschine“ soll darstellen wie die Grundbedingungen des Rechnens schnell zum Einsatz von visuellen Rückkopplungsmöglichkeiten führen.

Beim Abriß über die verschiedenen Etappen der Entwicklung des Computers wurde das Schwergewicht auf all jene Erfindungen und Entwicklungen gelegt, die sich explizit auf die Generierung von Bildern und auf die Aspekte der Kommunikation mit Hilfe von Bildern beziehen. Es ging nicht darum, die Rechenmaschine als Ursprung des Computers erneut auszudeuten. Dies ist schon oft und kompetent geschehen.¹⁵

¹⁵ Vgl. Randall, Brian, The Origins of Digital Computers, Berlin 1982. Randall liefert eine ausgezeichnete, mit Anmerkungen versehene Bibliographie zur Entwicklung von Rechenmaschinen und Computern aus technikgeschichtlicher Sicht.

Rechnen allein erfordert lediglich die Eingabe von Werten, die Anwendung von Regeln und die Ausgabe von Ergebnissen. Solange die Ergebnisse Zahlen sind, ist keine weitere Bearbeitung nötig. Wenn aber Berechnung lediglich die Grundlage zur Formulierung von Modellen wird, die sich auf praktische Probleme beziehen, dann benötigt die Rechenmaschine aus verschiedenen Gründen „Ein- und Ausgabeorgane“. Wie der Körper des Menschen mit seiner Umwelt interagiert, soll der Mensch mit dem Computer interagieren können, ohne abstrakte Prozesse nachvollziehen zu müssen.

Das imaginäre Bild in der Maschine beschäftigt sich mit dem Speicher des Computers als Analogon zum Gehirn des Menschen. Ein Zusammenhang wird hergestellt zwischen der Vorstellung des Gehirns als einer Verschaltung von biochemischen Einzelementen, die eine Speichermatrix bilden, und der sich entwickelnden Speichermatrix des Computers. Ohne den Speicher im Rechner gibt es kein Bild, ohne das Gehirn als Schaltzentrale des Körpers gibt es keine visuelle Wahrnehmung. Auch der Computer entwickelt innere Bilder, die sich von der extrem einfachen zweidimensionalen Punktmatrix der Speicherröhre bis hin zum dreidimensionalen Speicherraum der Kernspeicher entwickeln.

Das bewegliche Computerbild hat seine Ursprünge im Verfolgen von Flugzeugen auf Radarschirmen. Die Berechnung von „Trajekturen“ zum Abfangen von Feindflugzeugen, der klassischen Anwendung der analogen „differential analyzer“ Vannevar Bushs, in Verbindung mit der Beobachtung von entfernten Flugzeugen durch das Radar bringen die Rechenmaschine und das bewegte Bild zusammen.

Das interaktive Computerbild läßt sich linear von der Entwicklung des Radarverfolgungssystems SAGE bis zu den Voraussetzungen der ersten interaktiven Computergrafik dem System „Sketchpad“ nachvollziehen. Es zeigt, daß die Beschreibung der Entstehung der modernen Computertechnik aus den Planspielen des Militarismus nur einen Teilaspekt der Geschichte beleuchtet. Auch industrielle Fertigungsprozesse werden digital gesteuert. Der Zusammenhang von Maschinensteuerung und Design erhält mit dem Computer einen neuen, zunächst weit unterschätzten Verbündeten. Die Interaktivität am Bildschirm umgeht die sich den Ideen widersetzen Materialität. Mit Hilfe des Computers und der Grafik werden der materiellen Welt völlig neue, zuvor kaum mögliche Formen abgerungen.

Eine wesentliche Konsequenz des Computerbildes ist der Computer als Handlungsraum. Interaktivität ist hier die Erzeugung von Rückkopplungen zwischen Mensch und Maschine. So wie die uns umgebenden Objekte oder die menschlichen Organe aufeinander reagieren und sich zur Koordination mit Nachrichten versorgen, soll auch die Maschine in einen Rückkopplungsprozeß einbezogen werden. Zunächst beginnt diese Rückkopplung mit der Externalisierung von Wissen. Kenntnisse werden vom Menschen in Datensammlungen transferiert, die idealerweise ihre Informationsverknüpfung an diejenige anpassen, die im menschlichen Verstand identifiziert wird. „As we may think“, Vannevar Bushs Aufsatz von 1934, gilt als Beispiel eines entstehenden Bewußtseins für die Möglichkeit, die intellektuellen Fähigkeiten

ten des Menschen zur Informationsverknüpfung auf Maschinen zu übertragen und sie so als Erweiterung des Verstandes zu nutzen. Handlungen beruhen auf Erfahrungen. Wenn also der Computer und seine Vorformen darauf beruhen, Wissen und dann Regeln zu konservieren, dann unterstützen sie auf der Ebene des Denkens, daß Wissen in immer neue Zusammenhänge gebracht wird und hieraus neue Tatsachen gewonnen werden. Der Computer wird zur „Denkunterstützungsmaschine“. Die Werkzeuge am Computer, die die Interaktivität bis in unsere Zeit begleiten, sind übertragene Zeigefinger des Geistes. Die Maus ist eine Verlängerung des Greifens in den Denkraum. Damit wird nicht die Idealisierung der Materie, sondern die Materialisierung des Denkens befördert. Auch was uns als genuin immaterieller Handlungsprozeß entgegentritt, wird durch die Anwendung von Regeln zum Prozeß. Die grafische Benutzeroberfläche als vorläufiger Endpunkt der Entwicklung repräsentiert eine Materie gewordene Vorstellung vom Arbeitsplatz des Denkens.

Die Entwicklung der bewegten Computergrafik verbindet die Ebene der Filmanimation mit dem Computer. Zunächst überlagern sich Trickfilmtechnik und Computer als Vorform der reinen Computersimulation. Unabhängig vom Problem der Interaktion liegt hier die Grundlage für die dreidimensionale Darstellung bewegter Körper. Die Anfänge und Anwendungsgebiete der Computeranimation zeigen, daß auch hier ökonomischer Druck zur Verlagerung von Entwicklung und Konzeption auf den Bereich des Virtuellen führt. Die Herstellung von Produkten oder Konzepten mit Hilfe immaterieller Werkzeuge vereinfacht und beschleunigt Prozesse. Zusätzlich ermöglichen sie zum ersten Mal, daß Handlungen experimentell durchgespielt werden können und ihre Folgen so auf eine kalkulierbare Größe reduziert erscheinen. Der computeranimierte Film ist der Prototyp der Simulation mit frei bestimmbarren Ausgangsvariablen.

Die komplexeste Anwendung animierter Computergrafik ist die virtuelle Realität als dreidimensionale Benutzeroberfläche. Neben der pragmatischen Anwendung für Visualisierungen im Bereich der Wissenschaft entsteht der kulturelle Mythos einer künstlichen Realität. In der historischen Darstellung wird gezeigt, daß der Ursprung der VR im Bemühen um realistische Testumgebungen für Flugzeugpiloten liegt. Daß diese Umgebungen auf die Handlungen des Menschen adäquat reagieren und so den Eindruck einer realen Handlung vermitteln konnten, erforderte die Erforschung der menschlichen Wirklichkeitswahrnehmung. Es entsteht ein Verhältnis aus hinreichenden Bedingungen zur Herstellung von Handlungsräumen und psychischem Eindruck von Realitätsnähe. In den Anfängen der virtuellen Realität entstanden noch weitere Konzepte, die zunächst, durch die Visionen von einem „Land der unbegrenzten Möglichkeiten“ verdrängt, in Vergessenheit gerieten, heute aber in der Praxis eine viel größere Bedeutung haben. Hierzu gehören die Fernsteuerung durch VR und die Überlagerung von Objekten der Wirklichkeit mit 3D-Abbildungen.

An die Stelle eines begehbaren Cyberspace durch virtuelle Realität, der noch 1989 in greifbarer Nähe zu liegen schien, ist heute das Internet als globaler Datenraum getreten. Seine Entstehung und sein Verhältnis zum Bild wird im letzten Kapitel angesprochen. Hier laufen

die Elemente der vorherigen Abschnitte zusammen. Benutzeroberfläche, Datenraum und Programmierung bilden in der grafischen Version des Internet, dem World Wide Web, eine spezifische Qualität. Das angesprochene Prinzip der Interaktion wird fortgesetzt und stellt sich als eine Institutionalisierung der lokalen, instantanen Bedürfnisbefriedigung dar. Das ursprüngliche Ziel einer Kommunikation zwischen Menschen in Arbeitsgruppen wird nur teilweise erreicht. Doch mit dem Scheitern der künstlichen Intelligenz wird der Handlungsraum des Menschen um die Lagerorte von Informationen im Datenraum erweitert. Das Bild verdichtet Information, die Handlung des Begreifens wird standardisiert und simuliert durch die Möglichkeit alles zu Erreichen. Das Internet mit seiner grafischen Oberfläche wird zum Universalbild am Computer.

2. Begriffsbestimmung - Simulation als Terminus Technicus

Der Begriff der Simulation außerhalb des Computers

Der Begriff „Simulation“ stammt vom lateinischen Simulacrum ab. Es bedeutet Bild, Abbild bzw. Trugbild. Zum Teil ist damit innerhalb des Begriffes die Täuschung des Betrachters angesprochen. Das Bild oder Abbild gibt vor etwas zu sein, was es nicht ist. Einerseits verweist es damit auf die Existenz eines Originals oder Ursprungs des Bildes, andererseits ist es ein Scheingebilde, dessen Relation zum Ursprung sich der Betrachter nicht sicher sein kann. Die Vorstellung der Täuschung durch das Bild steht in engem Zusammenhang mit dem durch die Ideenlehre Platons begründeten Zweifel an der Kunst. Nach Platon haftet Kunst an der sinnlichen Erscheinung der Dinge, von der es niemals ein strenges Wissen, sondern nur ein Meinen und Wähnen geben kann.¹⁶ Für Platon sind bereits die sichtbaren Gegenstände Abbildungen von Ideen. Demnach sind Kunstwerke noch weiter von den Ideen entfernt, da sie Abbildungen von Abbildungen darstellen. Alles was von Menschen hergestellt und betrachtet wird, ist nur eine Ausprägung einer übergeordneten zeitlosen „Idee“ des Gegenstandes, der präexistent in der Seele eines jeden Menschen ruhe.¹⁷ Das Erkennen eines Gegenstandes liege weder im Begriff desselben noch in seiner sinnlichen Erscheinung, sondern im Bezugspunkt beider.¹⁸ Alle Abbildungen haben somit nur teilweise Anteil an den Ideen. Diese Haltung, die in einer strikten Trennung zwischen der Welt der Ideen und der Welt der sinnlich erfahrbaren Gegenstände kulminiert, führte im Mittelalter zu der vorherrschenden Bildtheorie des Neuplatonismus. In einer Stufenfolge von Erscheinungen haben alle Abbildungen mehr oder weniger Anteil an der Idee Gottes.¹⁹ Dies wurde besonders durch die Lehre des Pseudo-Dionysios Areopagita erreicht, der entsprechend der Lehre Plotins eine platonische Stufenfolge von den höchsten Archetypen bis zu den letzten Formen sah.²⁰ Abbilder von Ideen konnten somit einen Anspruch auf „Wahrheit“ stellen, wenn sie durch die Geschichte ihrer Entstehung legitimiert wurden (Vera Icon).

Birgit Schuck-Wersig hat in ihrer Arbeit „Expeditionen zum Bild“ dargestellt, daß die Ablehnung des Bildes als „Schein“ innerhalb der zunehmenden Rationalisierung des Abendlandes

¹⁶ Cassirer, Ernst, Eidos und Eidolon, Das Problem des Schönen und der Kunst in Platons Dialogen, in: Bibliothek Warburg, Vorträge 1922-1923, Fritz Saxl (Hrsg.), Berlin 1924, nach Jung, Werner, Von der Mimesis zur Simulation, Hamburg 1995, S. 15

¹⁷ Die „episteme“, die letzten Dinge, können wir nicht formulieren, obwohl wir sie praktisch „wissen“. Um sie zu erkennen, bedarf es der Wiedererinnerung, der „anamnesis“.

¹⁸ Metzler Philosophen Lexikon, Stuttgart 1989, S. 6116.

¹⁹ Umfassende Darstellungen dieser Thematik finden sich in den Untersuchungen von Hans Belting, Horst Bredekamp und Gerhard P. Wolf: Belting, Hans, Bild und Kult, Eine Geschichte des Bildes vor dem Zeitalter der Kunst, München 1991, Bredekamp, Horst, Kunst als Medium sozialer Konflikte. Bilderkämpfe von der Spätantike bis zur Hussitenrevolution, Frankfurt/M. 1975, sowie zum Problem früher Kultbilder: Wolf, Gerhard P., Salus Populi Romani: Studien zur Geschichte des römischen Kultbildes im Mittelalter, Heidelberg 1990.

²⁰ „Jede Kreatur, sei sie sichtbar oder unsichtbar, ist ein Licht, vom Vater aller Lichter ins Dasein gerufen...Dieses Stück Stein oder jenes Holzstück ist ein Licht für mich...denn ich nehme wahr, daß es gut und schön ist.“ Pseudo-Dionysios, De Caelesti Hierarchia. Zit. nach, Panofsky, Erwin, Abt Suger von St. Denis, in: ders., Sinn und Deutung in der bildenden Kunst, Köln 1978.

zwar nicht die Wirkung des Bildes reduzieren konnte, wohl aber seine Verwendung.²¹ Die Verdrängung des Bildes durch das Wort im Verlauf der Aufklärung basiere auf der Annahme, daß das Bild weniger in der Lage sei, Wirklichkeit präzise darzustellen und zu vermitteln. Die Rezeption eines Bildes könne schlechter gesteuert werden als die Rezeption eines Textes. Durch die direkte Ansprache der Sinne wirkt das Bild zwar als „sinnliches Scheinen der Idee“, entzieht sich dabei aber gleichzeitig einem Erkenntnisinteresse, das nach Entäußerung dieses Erkenntnisses strebt. Die Verbalisierung dränge die Abbildung in die Position des Hilfsmittels. Das Bild erhalte durch sein sinnlich-anschauliches Moment gleichzeitig eine a-logische und a-soziale Komponente. Der Betrachter werde durch das Bild isoliert und könne es nicht linear oder in logischen Schritten lesen.²² Das Bild als Hervorbringung von Menschen für Menschen trage etwas in sich, das sich nicht „domestizieren“ lasse und somit seinen „archaischen“ Ursprung bewahre.

Gleichzeitig mit der Abwertung des Bildes für den Erkenntnisprozeß im Verlauf der Geschichte thematisiert Schuck-Wersig die Renaissance des Bildes im 19. und 20. Jahrhundert. Die sich steigernde Bilderflut verändere auch den Begriff des Bildes und damit den der Simulation. Nicht mehr der Aspekt der Täuschung stehe im Vordergrund, sondern der einer rationalen Erkenntnismöglichkeit durch die Abbildung bzw. die Simulation eines Prozesses. Neben diesen rationalen Verwendungen des Bildes etabliert sich das Bild als Konsumobjekt, das keine Konzentration oder Kontemplation erforderlich macht.²³

Leben wir in einem neuen Zeitalter des Bildes? In den letzten Jahrzehnten waren die Wissenschaften nach verbreiteter Ansicht von einem semiotischen "Linguistic Turn" geprägt, der auch in der bildenden Kunst weitreichend zum Tragen gekommen ist.²⁴ Dem amerikanischen Kunst- und Literaturwissenschaftler W. J. T. Mitchell zufolge, erleben wir zur Zeit eine Wende zum Bild, einen "Pictorial Turn". Allerdings konstatiert Mitchell, "daß wir in einer Zeit, die oft als 'Zeitalter des Spektakels' (Debors), der 'Überwachung' (Foucault) und einer alles durchdringenden Bildproduktion charakterisiert wird, immer noch nicht genau wissen, was Bilder sind."²⁵ In einem anderen Aufsatz untersucht Mitchell die Frage "Was ist ein Bild?" und zählt auf, was alles als Bild bezeichnet wird: "Wir sprechen von Gemälden, Statuen, optischen Illusionen, Karten, Diagrammen, Träumen, Halluzinationen, Schauspielen, Gedichten, Mustern, Erinnerungen und sogar Ideen als Bildern, und allein schon die Buntheit dieser Liste läßt jedes einheitliche, systematische Verständnis unmöglich erscheinen."²⁶

²¹ Schuck-Wersig, s. Anm. 6, S. 111f.

²² Schuck-Wersig, s. Anm. 6, S. 164.

²³ Schuck-Wersig, s. Anm. 6, S. 173.

²⁴ Vgl. z. B. Peter Weibels zusammenfassende Darstellung des Linguistic Turn in der Kunst, in: ders. (Hrsg.), Kontext Kunst, Köln 1994.

²⁵ Mitchell, W. J. T., Der Pictorial Turn, in: Kravagna, Peter (Hrsg.), Privileg Blick. Kritik der visuellen Kultur, Berlin 1997, S. 15-40, hier S. 17.

²⁶ Mitchell, W. J. T., Was ist ein Bild?, in: Bohn, Volker (Hrsg.), Bildlichkeit. Internationale Beiträge zur Poetik, Frankfurt/M. 1990, S. 17-68, hier S. 19.

Dennoch versucht sich Mitchell an einer Systematik, die zwischen grafischen, optischen, perzeptuellen, geistigen und sprachlichen Bildern unterscheidet.²⁷

Es ist also nicht leicht, Ordnung in die Bilder zu bringen. So will der Medienpädagoge Christian Doelker "Bildkompetenz in der Multimedia-Gesellschaft"²⁸ vermitteln. Daß wir nicht kompetent im Umgang mit Bildern sind, führt die Kunsthistorikerin Barbara Maria Stafford auf die - auch von Schuck-Wersig beschriebene - Abwertung des Bildes als Erkenntnismedium zurück. In zahlreichen Veröffentlichungen wendet sich Stafford gegen die einseitige Bevorzugung von Wort und Schrift, die auch kulturgeschichtliche Darstellungen prägt. In ihrem Buch "Artful Science" untersucht sie die optische und unterhaltende Komponente in der Wissensvermittlung im 18. Jahrhundert, in der sich eine visuelle Bildung verkörpert hätte, die danach weitgehend verlorengegangen sei, an die man sich aber gerade heute wieder erinnern sollte. Auch die meisten postmodernen Theorien hält Stafford für einseitig textorientiert.

"Indem ich das doppeldeutige Reich der raffinierten und spielerischen Wissenschaft aufdecke, das irgendwo zwischen Unterhaltung und Information, Vergnügen und Lernen angesiedelt ist, möchte ich den Nihilismus der Postmoderne mit ihrer textuell ausgerichteten Epistemologie überwinden. Niemand, der Zeuge der durch die Computergraphik und die interaktiven Technologien ausgelösten Revolution geworden ist, kann Zweifel daran hegen, daß wir uns auf dem besten Wege zurück zu einer oral-visuellen Kultur befinden. Animationsfilme, virtuelle Realität, digitale Videoübertragung, Bildplatten, computergesteuerte Gestaltung, sogar E-mail gehören zu einem neuen Sehen und einer visionären Kunst-Wissenschaft. Allerdings wird diese fortschreitende Visualisierung nicht von einer entsprechend qualifizierten visuellen Ausbildung ergänzt. Umfassend geschulte Experten auf den verschiedenen Gebieten der Geschichte, Theorie und Praxis der graphischen Gestaltung müßten sich mit Visualisierungsexperten zusammenschließen, um die bleibenden und in Veränderung begriffenen Methoden für die Herstellung und Wahrnehmung von Simulationen unterrichten."²⁹

Um hier auf der Höhe des Gegenstandes zu bleiben, muß die Kunstgeschichte, wie es auch hierzulande von Hans Belting³⁰ oder Horst Bredekamp gefordert wird, zu einer generellen Wissenschaft vom Bild und nicht nur von Kunstwerken werden. Stafford konfrontiert die Bildschirmoberfläche eines Apple mit dem Eidophusikon, einem von dem Maler Philippe Jacques de Loutherbourg Ende des achtzehnten Jahrhunderts entwickelten, mit optischen Effekten ausgestatteten Miniaturtheaters. Vergleichend kommt sie zu dem Schluß, daß jedes

²⁷ Vgl. Mitchell, W. J. T.: s. Anm. 26, S. 20. Mitchells Systematik ist hier als anschauliches Diagramm dargestellt.

²⁸ Doelker, Christian, Ein Bild ist mehr als ein Bild. Bildkompetenz in der Multimedia-Gesellschaft, Stuttgart 1997.

²⁹ Stafford, Barbara Maria, Kunstvolle Wissenschaft. Aufklärung, Unterhaltung und der Niedergang der visuellen Bildung, Berlin 1998, S. 14.

³⁰ Nachdem Belting in "Bild und Kult", (s. Anm. 19), die Geschichte des Bildes "vor" der Kunst untersucht hat, widmet er sich heute vor allem kulturellen Unterschieden im Verständnis und Gebrauch von Bildern. Vgl. Belting, Hans; Hausteil, Lydia (Hrsg.), Das Erbe der Bilder. Kunst und Medien in den Kulturen der Welt, München 1998.

alte oder neue Medienproblem in letzter Konsequenz ein Bildproblem darstellt. Sie plädiert für einen neuen Wissenschaftlertyp, eine Art Experten für die verschiedenen Gebrauchsweisen von Bildern.³¹

Es ist sicher kein Zufall, daß Grundsteine für eine pragmatische, an den Gebrauchsweisen orientierte Untersuchung von Bildern in der Kunstgeschichte vor allem im Bereich reproduzierter Bilder gelegt wurden, in historischen Darstellungen der Grafik oder Fotografie. Ein "Klassiker" für solch eine Herangehensweise ist das 1953 erschienene Buch "Prints and Visual Communication" von William M. Ivins. Ivins untersucht die Entwicklung der Druckgrafik konsequent unter dem Gesichtspunkt des Kommunikationsmediums, nicht der Kunstform. Ivins war überzeugt, daß

"the principal function of the printed picture in western Europe and America has been obscured by the persistent habit of regarding prints as of interest and value only in so far as they can be regarded as works of art. Actually the various ways of making prints (including photography) are the only methods by which exactly repeatable pictorial statements can be made about anything. The importance of being able exactly to repeat pictorial statements is undoubtedly greater for science, technology, and general information than it is for art."³²

Ivins kritisiert, daß die Geschichtsschreibung stets die revolutionäre Bedeutung des Buchdrucks herausstelle, die fast gleichzeitige Erfindung gedruckten Bildes aber in der Regel ignorierte. Dabei sei das reproduzierbare Bild gerade in den Naturwissenschaften unverzichtbar, weil notwendige Informationen verbal gar nicht vermittelbar seien.

Ivins' Behauptung, daß das gedruckte Bild nachhaltigere Auswirkungen für Wissenschaft und Technik hatte als für die Kunst, träfe auf Computerbilder und –simulationen, die Ivins natürlich noch nicht kennen konnte, genauso zu. Insofern kann die zitierte Passage fast als Motto für das Vorgehen dieser Arbeit dienen.

Bei allem Nutzen, den digitale Bilder für die Erfüllung praktischer Aufgaben in verschiedensten Bereichen hat, verstummen nicht die Kritiker, die Simulationen in erster Linie als Trugbilder und Täuschungen sehen. Doch für Stafford "reproduzieren die Mediengegner angesichts des Technik-Wahns lediglich die Kritik der Aufklärung am bloßen schönen Schein. Wie die Frühmodernen kritisieren auch sie die Scharlatanerie einer verzaubernden und verzauberten

³¹ Stafford, Barbara Maria, *The New Imagist*, in: *Good Looking. Essays on The Virtue of Images*, Cambridge (Massachusetts) / London 1996, S. 68-78, hier S. 80: "...if you take any media problem old or new – posed by the eidophusikon or the laptop – and push it far enough, it becomes an image problem. In light of current debates over how digital information can be organized, interpreted, and taught, we need to go beyond conventional art, architectural, or design history (...) I suggest we must define the new imagist – an expert who does not yet exist – in order to help anticipate, illuminate, and interconnect unsuspected visualization issues across the spectrum and accompanying the global pictorialization of knowledge."

³² Ivins, William M., jr., *Prints and Visual Communications*, Cambridge (Massachusetts) / London (3) 1978, S. 1f. Ivins schrieb das von Marshall McLuhan sehr geschätzte Buch als Resümee seiner Erfahrung als Grafikkurator am Metropolitan Museum New York.

optischen Technologie, die, statt Inhalte zu vermitteln, nur darauf angelegt sei, die Masse zu blenden und hinters Licht zu führen.“

Eine Skepsis darüber, ob die neuen medialen Bildwelten wirklich „aufklärerisch“ wirken können, scheint angebracht. Wenn die Ubiquität der Bilder zunimmt, wird es immer schwerer, eine kritische Außenposition zu ihnen einzunehmen³³ Daß auch reale Macht- und Produktionsverhältnisse durch die Bilderflut überdeckt werden,³⁴ steht außer Frage. Und das scheinbar Demokratische der elektronischen Medien, die Verfügbarkeit aller Bilder und damit aller Informationen für alle, kann schnell zu einer nur von Aufmerksamkeitsregeln bestimmten kontrollierten Einseitigkeit werden.³⁵ Die Entwicklung der technischen Möglichkeiten, Momente (Fotografie) und Abläufe (Film) festzuhalten und sie so scheinbar durch den Menschen unbeeinflusst wiederzugeben, erweist sich nicht erst seit den Möglichkeiten der digitalen Bildmanipulation als trügerisch.³⁶

Ein anderes Problem ist, ob wir beim Computer überhaupt noch sinnvoll von Bildern sprechen können. Im Zusammenhang mit dem Versuch, digitale von analogen Zahlungsmitteln zu unterscheiden, stellt Bernhard Vief die Binärcodierung als Grundlage jeder Visualisierung am Computer heraus: „Das Computerbild sprengt den visuellen Rahmen der Fotografie, in dem das analoge Fernsehbild verbleibt. Es fragt sich, ob der traditionelle Bildbegriff überhaupt noch anwendbar ist. Ein Bit ist nichts Visuelles.“³⁷

Aus kunsthistorischer Sicht ist der Bildbegriff heute auch deshalb problematisch, weil die Kunst schon in den sechziger Jahren in breiter Front den „Ausstieg aus dem Bild“ (Laszlo Glozer)³⁸ praktizierte und „daß man mit der Kategorie `Bild´ heutzutage nur noch einen geringen Anteil an Kunstproduktion zu erfassen vermag. Die Produkte der neuen Repräsentationstechnologien (Bereich `Neue Medien´) oder die Kontextkunst (mit der Hinterfragung sozio-kultureller Codes und der Repräsentationssysteme befaßt, oft größerer Komplexen, in denen `Bild´ nur mehr ein Indiz, Material ist), um nur zwei Beispiele neuerer Zeit zu benennen, können damit kaum adäquat bestimmt werden.“³⁹

Das Ziel dieser Arbeit ist es zunächst allerdings nicht, Computerbilder zu bewerten, sondern ihre Ursprünge und ihre Gebrauchsweisen zu bestimmen. Ob die Bezeichnung „Bild“ für sie

³³ So gibt Horst Bredekamp zu bedenken, daß spätestens, „wenn in Kürze Fernseh- und Computerscreen zusammenfallen, (...) das Bild endgültig in den Status einer umspannenden, gleichsam deistischen Instanz eintreten“ wird. Bredekamp, Horst, Politische Theorien des Cyberspace, in: Belting, Hans; Gohr, Siegfried (Hrsg.), Die Frage nach dem Kunstwerk unter den heutigen Bildern, Ostfildern 1996, S. 31-49, hier S. 43.

³⁴ Fuder, Dieter, Don-Juanismus der Erkenntnis, in: Bohn, Fuder (Hrsg.), Baudrillard, Simulation und Verführung, München 1994, S. 30.

³⁵ Böckelmann, Frank, Theorie der Massenkommunikation, Frankfurt 1975, S. 60.

³⁶ Vgl. Mitchell, William J., The Reconfigured Eye, Visual Truth in the Post-Photographic Era, Cambridge, London 1992.

³⁷ Vief, Bernhard, Digitales Geld, in: Rötzer, Florian (Hrsg.), Digitaler Schein. Ästhetik der elektronischen Medien, Frankfurt/M. 1991, S. 117-146, hier S. 119f.

³⁸ Zum Thema „Ausstieg aus dem Bild“ vgl.: Im Blickfeld. Jahrbuch der Hamburger Kunsthalle 2, 1997.

³⁹ Bonnet, Anne-Marie, Bild-Körper / Körper-Bild. Die Kunstgeschichte, eine Junggesellenmaschine, in: Die Frage nach dem Kunstwerk unter den heutigen Bildern, S. 17-30, hier S. 17f.

angemessen ist oder nicht, ist ebenfalls nicht vorrangig von Interesse. Es geht nicht um ihren ontologischen Status, sondern um ihre technischen Grundlagen und gesellschaftlichen Auswirkungen.

Da das vom Computer generierte Bild nicht mehr ein Abbild von etwas Äußerem ist, ist der Begriff Simulation von dem der Abbildung zu unterscheiden. Der Begriff der Simulation zerfällt zudem in einen technischen und einen kulturhistorischen. Abbildung ist nicht mehr länger die einheitliche Definition von mimetischen Vorgängen, sondern zerfällt in verschiedene Methoden, die durch die jeweiligen Verfahren der Abbildung definiert sind. Ein Teil der Verfahren nimmt dabei nicht in Anspruch, die Wirklichkeit wiederzugeben, sondern die einzige Möglichkeit der Darstellung dessen zu sein, was gezeigt werden soll. Es entsteht der Begriff der adäquaten Abbildung unter Berücksichtigung des Ziels der Abbildung. Der Begriff der technischen Simulation bezieht sich auf die experimentelle Durchführung von kontrollierten Szenarien, die beobachtbare Daten liefern sollen. Nicht Täuschung ist ihr Ziel, sondern Klarheit und Eindeutigkeit.

Konträr dazu steht die kulturhistorische Bestimmung der Simulation bei Jean Baudrillard. Die als gesellschaftlicher Zustand diagnostizierte Simulation ist hier dadurch gekennzeichnet, daß alle Fragen nach Schein und Sein durch eine Simulation dieser Problemstellung ersetzt sind:⁴⁰

„Die Hyperrealität der Simulation absorbiert das Reale und macht die Frage nach wahr und falsch, Wirklichkeit und Schein gegenstandslos. Geschichte entleert sich zum reinen „als ob“, zum Simulacrum.“⁴¹

Das hierbei der Begriff des Simulacrums auftaucht, bedeutet nicht, daß es sich um die gleiche Dimension möglicher Täuschung handeln würde. Im Vordergrund steht nicht, daß etwas als real vorgegeben wird, was nicht ist, sondern die vollkommene Abwesenheit einer Referenz. Es gibt kein Original, von dem ein Simulacrum abgeleitet würde, sondern nur das Simulacrum. Norbert Bolz sieht die Vollendung dieses referenzlosen Systems von Simulationen in der computergestützten Kriegsführung. Deren Modelle basieren nicht mehr auf realen Handlungszusammenhängen, sondern ihrerseits auf Daten, die wiederum von anderen Modellen erzeugt wurden. Durch die Schichtung solcher Modelle und Datenströme werde die Wirklichkeit sukzessive aus der Datenbasis verdrängt.⁴²

Hier wird deutlich wie die Begriffsbestimmung an der Frage scheitert, ob der Begriff noch ohne Kontext gelesen und erläutert werden kann. Es macht wenig Sinn von Simulation zu sprechen, ohne das jeweilige Motiv ihrer Verwendung mit zu nennen.

⁴⁰ Fuder, s. Anm. 34, S. 32.

⁴¹ Bolz, Norbert, Eine kurze Geschichte des Scheins, München 1992, S. 111.

⁴² Bolz, s. Anm. 41, S. 113.

2.1. Die Simulation am und mit dem Computer

Als philosophische Grundlage der digitalen Bildproduktion dient immer wieder die Ideenlehre Platons.⁴³ Hier scheint Whiteheads Diktum bestätigt, die gesamte Geschichte der Philosophie bestünde lediglich aus „Fußnoten“ zu Platon. Die Abbildung von Natur bezeichnet Platon als Mimesis (Nachahmung).⁴⁴ Sie produziere die Sinne täuschende Scheinfiguren, keine wahren Erkenntnisse.⁴⁵ Neben den Abbildungen, die durch die Künste hervorgebracht werden, stehen aber auch jene, die durch die Anwendung ewiger Prinzipien des Kosmos begründet sind. So beruht die Mathematik im Gegensatz zu den mimetischen Künsten auf den idealen und unabänderlichen Maßverhältnissen der Schöpfung. Ihre Anwendung führt zu einer Zusammenführung von Ästhetik und Erkenntnisinteresse.⁴⁶ In einer klaren Zusammenfassung wird durch die platonische Vorstellung eines Reiches der unabänderlichen und zeitlosen Ideen das Interesse am Computer als Analyse- und als Darstellungsinstrument begründet:

„Die nach ewigen Ideen erbaute und von unveränderlichen Gesetzen regierte Welt ist in Ihrer Ordnung und in ihrem Maß vollkommen. Jedes Ding ist ein Teil dieser Ordnung und hat die ihm zukommende Gestalt, und darin und nur darin besteht die Schönheit. Diese Schönheit können wir mit unserem Denken erfassen, denn unsere Sinne erreicht nur ein ferner, zufälliger und ungewisser Widerschein.“⁴⁷

Die Bedeutung der Begriffe Abbildung, Mimesis, Repräsentation und Simulation liegt sehr eng beieinander. Sie alle zeichnen sich dadurch aus, einerseits auf einen bereits existierenden Gegenstand zu verweisen und andererseits durch die Handlung des Abbildens, Simulierens oder mimetischen Nachahmens erst einen Gegenstand oder einen Zustand zu erzeugen. Dabei lassen sich die Begriffe nicht auf eine spezifische Art von Hervorbringung reduzieren. Der Anteil an Verweisen auf Bestehendes und Erschaffung neuer Welten ist gleichermaßen im literarischen wie im bildkünstlerischen und im gesellschaftlichen Handeln anzutreffen. So wie ein Künstler Natur nachahmt, kann ein Schriftsteller innerhalb seines literarischen Werkes Natur abbilden, indem er sie beschreibt. Mimetisch kann ein Kind die Handlungsweisen seiner Eltern nachahmen und sich auf diese Weise eine eigene Welt der Vorstellungen vom Erwachsensein konstruieren. Wenn wir von einer Abbildung der Welt durch den Computer sprechen, bezieht sich diese Abbildung je nach Einsatz des Computers auf mimetische Prozesse, einfache Abbildungen oder komplexe Simulationen, die auf konstruierten Weltmodellen basieren. Diese Begriffe lassen sich im Zusammenhang mit dem

⁴³ Horst Bredekamp schreibt: „Die Überlegung, daß mit der digitalen Revolution auch Platon gesiegt habe, durchzieht die Literatur wie ein roter Faden“, s. Anm. 33, S. 38. Der platonische „Sturz der Materie“, den die von Bredekamp zitierte „Magna Carta“ über den Cyberspace feiert, steht in diametralem Gegensatz zu den Thesen meiner Arbeit. Zum digitalen Platonismus vgl. auch: Fehr; Krümel; Müller (Hrsg.), Platons Höhle, Das Museum und die elektronischen Medien, Köln 1995.

⁴⁴ Zur genaueren Bestimmung des Begriffs „Mimesis“ vgl. Gebauer, Gunter; Wulf, Christoph, Mimesis, Kultur Kunst Gesellschaft, Hamburg 1992.

⁴⁵ Jung, s. Anm. 2, S. 15.

⁴⁶ Jung, s. Anm. 2, S. 16.

Computer kaum voneinander abgrenzen, weil die „universelle Turingmaschine“ auf alle Bereiche der Produktion und Reproduktion von Realität einwirkt. Die völlige Loslösung der Maschine von den durch sie manipulierten Zeichen und die Abtrennung von einem spezifischen Zweck⁴⁸ macht es schwer, Aufgabe und Grenzen der Maschine zu bestimmen.

Zur Zeit erhält der Computer seine Funktion und Zweckbestimmung meist aus seinem Nutzungszusammenhang. Ist er für die Naturwissenschaft ein Werkzeug zur Erschließung von Lösungsräumen und zur Visualisierung,⁴⁹ so stellt er für die Künstliche Intelligenzforschung eine Plattform zur Erkundung und Nachahmung des menschlichen Geistes dar.⁵⁰ In der Praxis der Bildgestaltung wird der Computer eher als ein Werkzeug zur Manipulation von stehenden oder bewegten Bildern genutzt, die zuvor mit konventionellen Techniken aufgenommen wurden.⁵¹ Für den Mathematiker bietet er unter anderem die Möglichkeit mathematische Gesetzmäßigkeiten, die unsere Vorstellungskraft übersteigen, in Bilder zu übersetzen und so dem wenig Greifbaren eine Form zu geben.⁵² Für den Entwickler von Interfaces, den Screendesigner, ist der Computer gleichzeitig Werkzeug zur visuellen wie auch zur praktischen Gestaltung in Form eines Programms. Die Zusammenführung von Funktion, also Bestimmung eines Zweckes, und einem Design für die Nutzung durch Icons und Menüs führt zu einer neuen Art von (Bild)Oberflächen.⁵³

Ausgestattet mit spezifischer Software erfüllt der Computer damit die unterschiedlichsten Ziele, die jeweils eigene, sehr spezifische Ästhetiken hervorbringen. Damit soll deutlich gemacht werden, daß wir nicht vom Computer als Abbildungs-, Simulations-, Manipulations- oder Konstruktionsmaschine sprechen können. Die Trennung zwischen der „Hardware“, den elektrischen und elektronischen Bauteilen, und der „Software“ bedeutet, daß sich die funktionalen Eigenschaften der Maschine immer nur für den einzelnen Verwendungszweck und unter Einbeziehung der jeweils verwendeten Software bestimmen lassen. Eine universelle Definition dessen, was ein Computer hervorbringt, kann nicht gegeben werden, obwohl definiert ist wie ein Computer funktioniert.⁵⁴

⁴⁷ Tatkiewicz, Wladyslaw, Geschichte der Ästhetik, 3 Bd., Basel / Stuttgart 1979-1987. Nach Jung, s. Anm. 2, S. 17.

⁴⁸ Wolfgang Coy sieht den Computer nicht als ein Werkzeug, weil seine Zweckbestimmung variabel sei. Im Gegensatz zu einem Schraubenschlüssel, der einen in seiner Konstruktion vorgegebenen Zweck repräsentiert (auch wenn man ihn zweckentfremden kann), hat der Computer keinen solchen in der Konstruktion angelegten Zweck, außer den übergeordneten zu rechnen. Coy, Wolfgang, Aus der Vorgeschichte des Mediums Computer, in: Bolz; Kittler; Tholen, (Hrsg.), Computer als Medium, München 1994, S. 19-37, hier S. 19.

⁴⁹ Vgl. Rosenblum, L. u.a. (Hrsg.), Scientific Visualization, London 1994.

⁵⁰ Vgl. Penrose, Roger, Schatten des Geistes, Heidelberg/Berlin 1995.

⁵¹ Vgl. Handbuch Photoshop 3.0, Adobe, 1996.

⁵² Vgl. Mandelbrot, Benoit, Die fraktale Geometrie der Natur, Berlin 1991, Englische Originalausgabe, New York 1977.

⁵³ Vgl. Schneiderman, Ben, Designing the User Interface, Strategies for Effective Human Computer Interaction, New York 1992.

⁵⁴ Durch seine Definition als universelle Turing-Maschine kann ein Computer alle anderen möglichen Maschinen simulieren. Die Funktionsweise des Computers hat mit seinen Hervorbringungen nichts mehr zu tun. Dies trennt ihn deutlich von anderen technischen Apparaten, deren Produkte durch die Konstruktion der Apparate definiert sind. Beim Computer kommt den angeschlossenen Geräten, der sogenannten Peripherie, eine besondere Bedeutung zu. Die Peripherie definiert, wie Informationen gespeichert oder ausgegeben werden. Auf der

So kann das mathematisch fundierte „Simulieren“ von Naturvorgängen ein Abbilden einer Idee in einem Modell sein. Der „Wahrheitsgehalt“ des Modells kann in einer platonischen Naturwissenschaft am Maß der Widerspruchsfreiheit zu der Idee des Untersuchten gemessen werden. Mit anderen Worten: je „idealer“ die beschreibende Formel und je genauer Messungen und Berechnungen, die einer bildlichen Darstellung vorausgehen, desto wahrhaftiger wäre das damit gewonnene Modell von Natur.

In sehr gekürzter Form muß an dieser Stelle erläutert werden, daß der Umgang mit formalen Regeln, wie sie im Computer Verwendung finden in engem Zusammenhang mit der dargestellten Zielsetzung steht, wahre „Abbilder“ der Natur herzustellen. Nur so kann gezeigt werden, wie Formalismus und erzählerisch-bildliche Beschreibung der Welt im Medium⁵⁵ Computer erneut zusammengefügt werden. Norbert Bolz faßt dies passend zusammen, wenn er sagt: „Welt verstehen heißt, sie in Computerdarstellungen simulieren zu können.“⁵⁶ Hieraus spricht die Überzeugung, daß Verstehen eng geknüpft ist an die bildliche Darstellung der Simulation. Diese Simulation basiert ihrerseits auf der formalen Logik, die die Arbeitsweise des Computers definiert. Sybille Krämer führt aus, daß sich formale Beschreibungen durch 1) Schriftlichkeit 2) Schematisierbarkeit und 3) Interpretationsfreiheit auszeichnen.⁵⁷

Bevor also der Begriff der Simulation genauer definiert werden kann, müssen einige andere genannte Begriffe näher bestimmt werden. Dabei kann hier nur eine Definition erfolgen, die dem Kontext dieser Arbeit entspricht.

2.1.1. Abbildung

Die Abbildung ist die Darstellung eines Gegenstandes auf einer zweidimensionalen Fläche, wobei zwischen Bildraum und Gegenstandsraum unterschieden wird. In der Optik wird diese Abbildung durch die von dem Objekt ausgehenden oder durch das Objekt reflektierten Strahlen erzeugt. In der Regel wird unter Abbildung nur die zweidimensionale Darstellung verstanden. In diesem Falle entspricht jeder Punkt auf dem Objekt, der durch einen Strahl erfaßt werden kann, einem Punkt auf der Abbildung. In der Philosophie wird Abbildung als das Erscheinen der Dinge im schauenden Bewußtsein bezeichnet. Hierbei wird zwischen den vollständigen Abbildungen (Widerspiegelungstheorie) und den eingeschränkten Abbildungen, die nur strukturell mit den Dingen übereinstimmen (Isomorphietheorie), unterschieden. Diese Unterscheidung führt zu der Überlegung, daß Erkennen entweder gleiche Abbilder aktiviert, die bereits im Bewußtsein des Betrachters existieren (Präexistenz), oder daß

Ebene der Funktion behandelt der Computer alle zu bearbeitenden Objekte gleich, indem er sie in referenzlose Datenströme verwandelt.

⁵⁵ Vgl. Bolz; Kittler; Tholen, (Hrsg.), Computer als Medium, München 1994.

⁵⁶ Bolz, s. Anm. 55, S. 10.

⁵⁷ Krämer, Sybille, Symbolische Maschinen, Darmstadt 1988, S. 2.

die Dinge Abbilder von sich aussenden, die auf dem Wege zum Wahrnehmungsapparat durch äußere Einflüsse verändert werden können. Der Isomorphietheorie folgend ist bei Platon die Welt der Ideen eine Verdinglichung abstrakter Gegenstände. Damit werden aber bereits alle natürlichen Dinge `Abbildungen´ der einen Idee des Gegenstandes. Demnach ist die Welt wie wir sie wahrnehmen im platonischen Sinne bereits eine trügerische.

Im Verlauf dieser Arbeit wird daher davon ausgegangen, daß der Begriff der Abbildung nicht auf die Realität bezogen ist wie ein Original auf das Urbild, sondern nur eine Form der Transformation in das menschliche Bewußtsein beschreibt. Alles, was wir mit dem Augensinn wahrnehmen, ist bereits Abbildung und kann durch nichts in Materie umgewandelt werden. Es gibt also kein Urbild im eigentlichen Sinne des Wortes. Alles Betrachtete ist vermittelt und kann, zumindest nicht durch den Augensinn, als ein Erstes vor der visuellen Wahrnehmung ausgemacht werden. Demgegenüber haben auch die anderen Sinne einen wesentlichen Anteil daran, die Abbildungen erster Ordnung (durch Betrachtung „realer“ Objekte) als solche zu identifizieren. Wir können sie ertasten, schmecken, hören, riechen usw. Abbildungen auf unserer Netzhaut von Objekten erster Ordnung werden verifiziert, indem sie mit anderen Sinneseindrücken gekoppelt werden. Die Frage nach dem Trügerischen der Abbildung wird damit von der Frage nach der Wirklichkeit des Dargestellten auf die Frage nach der Wahrhaftigkeit des Dargestellten erweitert. Was wir sehen, kann also in zweierlei Hinsicht eine Täuschung sein. Die erste bezieht sich auf die Richtigkeit der Wahrnehmung durch uns, die zweite auf die Richtigkeit der Abbildung durch einen Dritten, der die Abbildung herstellt. Obwohl also die Möglichkeit der Täuschung gegenüber dem Gesehenen schon auf der Ebene der eigenen Wahrnehmung erfolgen kann, gilt die Abbildung der uns umgebenden Wirklichkeit (erster Ordnung) als die am leichtesten zu verifizierende. Der Augenzeuge ist der direkte, in der Regel ungetäuschte Betrachter. Damit ist die Abbildung auf unserer Netzhaut eine qualitativ andere als die auf einem Bildträger gleich welcher Beschaffenheit. Dies wird jedoch insofern in Frage gestellt, als das Fernsehen ja bereits eine technische Abbildung ist, aber dennoch als eine weitgehende Darstellung der Wirklichkeit verstanden wird. Abbildung hieße dann also: die Darstellung eines Objektes erster Ordnung auf einem Bildträger, der durch den Sehsinn aufgenommen als ein Bildträger erkannt wird. Eine realistischere Abbildung ist eine, die die Gebundenheit an einen Bildträger stärker verschleiern kann. Zusätzlich messen wir den Realitätsgrad einer Abbildung an der Detailtiefe unserer Erfahrung mit der Wahrnehmung von Objekten erster Ordnung. Diese setzt sich zusammen aus: Auflösung, Farbtiefe, räumlicher Tiefe, Menge der auszumachenden Objekte und schließlich der Unbegrenztheit des Blicks. Dort wo es nicht möglich ist, weitere Sinne einzusetzen (z.B. beim Fernsehen oder im Film), wird die Verifizierung von einem System der Beglaubigung gestützt.⁵⁸

⁵⁸ Dies zeigte sich zuletzt anlässlich der Ausstrahlung gestellter Dokumentarfilme in Stern TV. Die Abbildung von Ereignissen unterliegt der Prüfung durch die Gesellschaft, die ein Verifizierungssystem der produzierten Bilder aufgebaut hat, um das darin gebundene Kapital zu schützen. Es geht also nicht so sehr um die Wahrheit von Abbildung, sondern um den Wert einer produzierten Abbildung. In einem System ohne Kapitalisierung von Information wäre dieser Selbstschutz des Kapitals Information nicht aufrecht zu erhalten.

2.1.2. Technisch hergestellte Abbildung

Technische Bilder sind im weitesten Sinne mit Hilfe von Apparaten oder Maschinen hergestellte Abbildungen. Hierzu zählen optische Geräte, die planparallel auf dem Wege der Strahlenabtastung durch eine Linse ein Bild auf einem chemischen oder elektronischen Bildträger herstellen. Scanner können zwei- und dreidimensionale Objekte durch die Aufnahme von einzelnen Lichtpunkten auf ein fotoelektrisches Element seriell abtasten. Die Einwirkung des Menschen auf diesen technischen Herstellungsprozeß liegt vor allem in der Wahl des Gegenstandes, der Perspektive und des Ausschnittes. Der Abbildungsprozeß selbst ist jedoch im wesentlichen durch die technischen Bedingungen der Apparatur oder der Maschine bestimmt, kann je nach den Einstellungsmöglichkeiten an den Variablen des Apparates oder der Maschine beeinflusst werden. Eine neuere Technologie kann eine ältere simulieren, indem sie sich ähnlich verhält wie diese. So kann ein Computer mit einer elektronischen Bildabtastungseinrichtung wie ein Fotoapparat verwendet werden.

2.1.3. Computersimulation

Zu direkten, technisch hergestellten Abbildungen (Fotografie, Film und Scan) kommt durch die Berechnungsmöglichkeit des Computers die dreidimensionale Abbildung hinzu. Im Gegensatz zu einer Punktmenge auf einer Ebene, bei der alle Punkte zur gleichen Zeit sichtbar sind, enthält eine dreidimensionale Abbildung immer Punkte, die zu einem spezifischen Zeitpunkt nicht sichtbar sind. Das bedeutet, daß zu den zwei Dimensionen nicht nur eine räumliche Tiefe hinzutritt, sondern vor allem die Dimension der Zeit. Wann immer von einer Simulation gesprochen wird, ist der Faktor Zeit Teil der Darstellung. Zwar kann ein Objekt in den drei Raumkoordinaten abgebildet bzw. jeder Punkt des Objektes durch drei Koordinaten bestimmt werden, dies muß aber nicht notwendigerweise in einem dreidimensionalen Abbildungsraum geschehen. Auch in zwei Dimensionen lassen sich die Koordinaten auf einer x-, y- und z-Achse bestimmen. Erst durch die Hinzunahme von Zeit in Form einer Bewegung oder eines Ablaufes kann das Objekt durch kontinuierliche Drehung von verschiedenen Seiten betrachtet werden. Während die zweidimensionale Abbildung eine Fläche von diskreten Punkten erzeugt, wird durch die dreidimensionale Simulation ein aus Punkten, Linien und Flächen bestehender Körper hergestellt.

Neben dem Begriffsgehalt der „Simulation“, der sich aus einem langen Diskurs um die Frage von Sein und Schein ergibt, stellt sich Simulation heute als technologischer Sammelbegriff dar. Simulationen lassen sich nicht nur mit Computern, sondern mit künstlich hergestellten Modellsituationen jeder Art realisieren.

3. Von der Information zum Bild

Viele Betrachtungen der Geschichte des Computers konzentrieren sich fast ausschließlich auf die technische Seite des Mediums. „Technisch“ heißt in diesem Zusammenhang zunächst, wer, wann, welche technische Errungenschaft hervorgebracht hat und wie sie bezeichnet wird: von der ersten Rechenmaschine über die Erfindung des Transistors zur Entwicklung des ersten integrierten Schaltkreises. Die vorliegende Arbeit soll diesen zahlreichen Abhandlungen keine weitere hinzufügen. Der Computer als historisches Forschungsobjekt wird weithin nur aus einem technikhistorischen Blickwinkel betrachtet.⁵⁹ Nicht zuletzt neuere Bewertungen der Mechanik in der Frühzeit der Technisierung⁶⁰ haben erwiesen, daß die Perspektive auf Technik durch die Motive, aus denen Ihre Weiterentwicklung vorangetrieben wurde, in der Rückschau nur um den Preis des Verständnisses eine „nur“ technische Geschichte ist. In der sich entwickelnden Technologie des Computers verbergen sich somit Projektionen und Wunschvorstellungen, wie sie auch in der Phase der Mechanisierung aufgebaut wurden. Daß der Computer dabei auf das engste mit dem Bild verknüpft ist, stellt eine zentrale These dieser Arbeit dar, die von mehreren Enden zugleich aufgerollt und dargestellt werden soll.

Der Deutung des Computers als Bildmaschine steht natürlich entgegen, daß Computer im ursprünglichen Sinne elektronische Rechenmaschinen sind. Daß heute kein Computer mehr diese Rechenvorgänge an seiner Oberfläche sichtbar macht, erlaubt nicht, sie zu verleugnen. Aber es war das Bild, und damit die Verdrängung der internen, komplexen Vorgänge von der Oberfläche der Maschine, das zu der enormen Durchsetzungskraft der Technologie ursächlich beigetragen hat. Die technische Entwicklung soll im Hinblick auf dieses Drängen zum Bildlichen neu untersucht werden. Die Arbeit geht daher einen anderen Weg als Erwin Steller in seinem Buch „Computer und Kunst“ von 1991.⁶¹ Steller beschäftigt sich kaum mit der Verflechtung von technischen Bedingungen und bildnerischen Möglichkeiten. Die Technik erscheint nur als Werkzeug, das das zu bearbeitende Material unbeeinflusst läßt. Die Voraussetzung der Computerkunst sieht Steller in der abstrakten Malerei und ihrer Neigung zu Punkt und Linie als Grundformen des Ausdrucks⁶². Ein „Pixel“, die Grundeinheit eines jeden Computerbildschirms, wird gleichsam als Folge einer bereits vorhandenen Kunstform interpretiert. Die Technik wird aus der Ästhetik erklärt, die Möglichkeiten der Maschine werden allein in Abhängigkeit von Ihrer Verwendung zu einem bestimmten Zweck betrachtet. Vorliegende Arbeit geht davon aus, daß sich der Wirkungszusammenhang eher umgekehrt darstellt.

⁵⁹ Vgl. Campbell-Kelly, Martin; Aspray, William, *Computer, A History of the Information Machine*, New York 1996.

⁶⁰ Stöcklein, Ansgar, *Leitbilder der Technik*, München 1966. Siehe auch Tichi, Cecilia, *Shifting Gears*, Chapel Hill, London 1987. Vgl. a. Smith, Merritt Roe; Marx, Leo (Hrsg.), *Does Technology Drive History*, Boston 1994.

⁶¹ Steller, Erwin, *Computer und Kunst. Programmierte Gestaltung: Wurzeln und Tendenzen neuer Ästhetiken*, Mannheim 1992.

⁶² Steller, s. Anm. 61, S. 30ff.

Doch die Beschreibung des "technisch Werdens" der Bilder und damit die Möglichkeiten zur Entwicklung einer Theorie der Simulation wie sie an dieser Stelle versucht werden soll, muß sich zunächst von der negativen Beurteilung einer Technologisierung des Lebens befreien.⁶³ Es gilt, Vorbedingungen kursorisch zusammenzufassen, um die Entstehung von Konzepten des Computers aus einigen ihrer Vorläufertechnologien deutlich zu machen.

3.1. Technologische Vorbedingungen

Eine Geschichte der Computerentwicklung setzt je nach Blickwinkel unterschiedlich an. Mathematische Abhandlungen klären zunächst die grundlegenden Rechenvoraussetzungen, unter denen die Realisierung des Computers erst ermöglicht wurde.⁶⁴ Die Information, die der Berechenbarkeit zugrunde liegt, erscheint ihrerseits als ein Ergebnis des mathematischen Kalküls. Wird das Schwergewicht dagegen auf die Physik gelegt, so ist die technische Entwicklung der Schaltelemente die treibende Kraft, die den Computer zur eigentlichen Leistung entwickelt hat. Auch die Kommunikationstechnologie bedeutet einen eigenen Ausgangspunkt, da mit ihr die Trennung von Information und Semantik einherging, ohne die ein Computer heute undenkbar wäre. Ein weiterer, wesentlicher Ausgangspunkt, der hier kaum behandelt werden kann, ist eine Theorie der Berechenbarkeit, etwa das Grundkonzept der universellen Rechenmaschine, das Turing bereits 1936 theoretisch entwarf. Sie nimmt die gesamte Entwicklung der digitalen Technologie vorweg, ohne sie praktisch konkretisieren zu müssen. Turing entwickelte das abstrakte „Bild“ eines Streifens, auf dem die Informationen als sichtbare Symbole der Reihe nach abgelegt werden. Automatisches Rechnen ist demnach die kontinuierliche Manipulation der Symbole auf einem endlichen Papierstreifen.⁶⁵ Die Entwicklung des Rechnens und ihre konsequente Fortsetzung in der Entstehung formaler Sprachen hat Sybille Krämer erschöpfend dargestellt.⁶⁶

Von der Konstanz des Bildes her, ist die Geschichte des Computers jedoch kaum beschrieben worden.⁶⁷ Dies zu tun, erfordert die Herausarbeitung mehrerer Entwicklungsstränge, die in dieser Arbeit bewußt gegeneinander abgegrenzt werden. Die separate Betrachtung verschiedener Aspekte folgt nicht der Interdependenz des tatsächlichen historischen Prozesses. Wie das Ablauf-Diagramm (Anhang 1) deutlich macht, sind die Zusammenhänge jedoch so komplex, daß sie sich nicht in einem Zug zeitlich nachzeichnen lassen.

⁶³ Vgl. Anders, Günther, Die Antiquiertheit des Menschen. Über die Zerstörung des Lebens im Zeitalter der dritten industriellen Revolution, München 1980.

⁶⁴ Handbuch der Mathematik, Mannheim 1972, S. 312ff.

⁶⁵ Turing, Alan M., On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem, in: Proceedings. London Mathematical Society. Ser. 2-42, 1936, S. 230 – 265.

⁶⁶ Krämer, Sybille, Symbolische Maschinen, Die Idee der Formalisierung im geschichtlichen Abriß, Darmstadt 1988.

⁶⁷ Lev Manovich hat in seinem Text zur Geschichte des Bildschirms versucht eine Genealogie des Bildes am Computer anzureißen. Doch auch er konstatiert, daß die ganze Geschichte erst geschrieben werden muß. Kunstforum International. Germany, 1995; New Media Topia. Moscow, Soros Center for the Contemporary Art, 1995.
http://jupiter.ucsd.edu/~manovich/text/digital_nature.html.

Die Visualisierungstechniken sollen nicht als aus ihrem Kontext losgelöste Reihen von Erfindungen vorgeführt werden, sondern im Zusammenhang mit den ihnen zugrundeliegenden Problemstellungen, ihren Gebrauchsweisen und den Auswirkungen auf andere digitale Bildtechniken. Dabei bestätigt sich im Prinzip, was Marshall McLuhan schon Anfang der sechziger Jahre konstatierte: während das Zeitalter des Buchdrucks eine Linearisierung der Zeichen und der Wahrnehmung mit sich brachte, die an die Stelle simultaner, paralleler, Denk- und Anschauungsformen trat, kehrt sich im elektronischen Zeitalter dieser Prozeß wieder um.⁶⁸ Von den Zeichen, die eine rationale Kontrolle über die Wirklichkeit legen, wendet sich das Verstehen wieder den Bildern zu. Im Vordergrund stehen aber nicht mehr statische Bilder, sondern bewegliche, berechnete.

McLuhan stellte bewußt die Erfindung des Buchdrucks neben die angeblich zur gleichen Zeit entdeckte Camera Obscura⁶⁹. Das Einfangen des Bildes und das Einfangen des Wortes im Druck stellen für ihn ähnliche Momente dar. Norbert Bolz folgt McLuhans Ansatz, sieht aber bereits in den Panoramen des 19. Jahrhunderts einen Wechsel von der linearen zur simultanen Wahrnehmung angelegt.⁷⁰ In diesem Sinne ist die Aufbereitung von Information in Bildern als technischer und kultureller Prozeß zu verstehen, der aufgrund der Visualisierung eine höhere Verdichtung und eine schnellere Übertragung in das Bewußtsein anstrebt.⁷¹

3.2. Informationstransport

„Um mit anderen in Kontakt zu treten, benutzten die Menschen immer schon vermittelnde Instanzen. Im Altertum und sogar bis hinein ins 19. Jahrhundert gelten Boten als das Universalorgan für die schriftliche und mündliche Nachrichtenbeförderung.“⁷²

Mit der Erfindung des Telegraphen von 1830 beginnt für die Kommunikation die oft beschriebene Beschleunigung der Information.⁷³ Die Zerlegung der sprachlichen Information in einen seriellen, elektrischen Signalfluß und die dazugehörige Codierung des Morsealphabets ermöglichten die Übertragung nahezu in Lichtgeschwindigkeit (Abb. 3). Mit der Entwicklung des Seitengalvanometers und der ersten lichtempfindlichen Sensoren⁷⁴ gelang einige Jahrzehnte später die Übertragung von Bildern mit Hilfe der Morsetechnik. Lange vor der Erfindung des Computers ist damit die diskrete Zerlegung des Bildes in seine Bildpunkte vorweggenommen (Abb. 4). Insofern ist dieser Teil, der später als das wesentliche Element

⁶⁸ McLuhan, Marshall, Die Gutenberg Galaxis, Bonn u. a. 1995, S. 158.

⁶⁹ Helmut Gernsheim hat gezeigt, daß die camera obscura als Effekt schon Aristoteles bekannt war und sich wohl arabische Gelehrte intensiv mit diesem Phänomen auseinandersetzten. Die Erfindung, Giacomo della Porta zugeschrieben, wurde weit früher gemacht. Siehe Gernsheim, Helmut, Geschichte der Photographie, Frankfurt 1983, S. 11.

⁷⁰ Bolz, Norbert, Am Ende der Gutenberg Galaxis. Die neuen Kommunikationsverhältnisse, München 1993, S. 101ff.

⁷¹ Zur Entstehung der Visualisierung vgl. Tufte, Edward A., The Visual Display of Quantitative Information, Connecticut, 1997.

⁷² Höflich, Joachim R., Technisch vermittelte interpersonale Kommunikation, Opladen 1996, S. 9.

⁷³ McLuhan, Marshall, Die magischen Kanäle, Düsseldorf 1968.

⁷⁴ Arthur Korn gelingt 1904 die Übertragung eines Bildes über eine 300 km lange Telegrafenteilung. Hiebel, Hans H., Kleine Medienchronik, München 1997, S. 206.

der Kommunikation mit dem Benutzer, d.h. als Interface, wahrgenommen wird, in seiner Vorgeschichte mit der Entwicklung der Telekommunikation verknüpft. Information, die zuvor weite Entfernungen überwinden mußte, kannte zwei Transportarten. Zum einen den Boten, der mit der geschriebenen oder gesprochenen Meldung sein Ziel erreichen mußte, zum anderen die Übermittlung von Zeichennachrichten, die durch das Auge erkannt und weitergegeben werden mußten. Sie erforderten die Codierung und Decodierung der Sprache in auch auf weitere Sicht erkennbare Zeichen. Mit der Verwendung komplexer Zeichensysteme steigt die Geschwindigkeit der Übermittlung, da die Nachricht in kürzeren Codeketten übermittelt werden kann. Auf den Nachrichtentürmen des 16. und 17. Jahrhunderts entwickelten sich die unterschiedlichsten Flaggen- und Holzbalkenzeichensysteme,⁷⁵ die mit unterschiedlicher Fehlertoleranz Nachrichten übermitteln konnten. Die Entfernung der Türme voneinander und die Praktikabilität des Mechanismus beeinflussten die Geschwindigkeit, mit der sich die Informationen über die Schaltstellen hinweg bewegen konnten.

Telekommunikation hatte zum Zweck, Situationen und Ereignisse möglichst schnell an andere Orte zu bringen, um die Reaktion auf diese Ereignisse zum Ereignisort zurück zu transportieren. Das reine „Informiert werden“ kann erst später zu den Aufgaben der Telekommunikation gezählt werden. So hat die Verbreitung des Morsetelegraphen zunächst seinen Einfluß auf die Geschäftswelt gehabt, in der die Entscheidungen zwischen den verschiedenen Handelszentren hin- und her transportiert wurden. Der beschleunigte Informationsfluß machte wesentlich schnellere Entscheidungsprozesse möglich. Durch die enormen Mittel, die die Wirtschaft im Zuge der Verbreitung aufbrachte, konnten bald auch Privatmenschlichen Informationen austauschen, die Handlungen nach sich zogen. Die reine eindimensionale Distribution der Information ohne die Absicht, eine Reaktion hervorzurufen, muß als Abfallprodukt der Telekommunikation wahrgenommen werden. In der Beschreibung des Problems oder des Ereignisses vergegenwärtigte sich der Empfänger die Situation, die an einem entfernten Ort stattfand. Außenstellen seiner Wahrnehmung waren Büros, in denen sich die verschiedenen wirtschaftlichen Realitäten zu gleicher Zeit abspielten. Innerhalb von Minuten wurde auf diese Weise die Möglichkeit gegeben, ohne physisch anwesend zu sein, in das Geschehen einzugreifen, um es zu korrigieren oder adäquat zu reagieren. Kommunikation ist neben dem Austausch von Informationen vor allem eine Möglichkeit, Handlungen an entfernten Orten zu kontrollieren und ggf. auf sie Einfluß zu nehmen. Eine Beschleunigung der Informationsdistribution verbunden mit Handlung ist ohne die Entstehung globaler Warenströme und deren lokaler Verteilung nicht denkbar.⁷⁶

Die Schwäche der Telegraphie lag trotz ihres überwältigenden Erfolges in der zunächst nur eingleisig laufenden Kommunikation. Sender und Empfänger konnten nicht gleichzeitig

⁷⁵ Oberliesen, Rolf, *Information, Daten und Signale*, Reinbek bei Hamburg 1982, S. 44ff.

⁷⁶ Lubar, Steven, *Infoculture, The Smithsonian Book of Information Age Inventions*, Boston / New York 1993, S. 87.

Nachrichten übertragen. Erst mit der Entwicklung des Duplexsystems⁷⁷, also der gleichzeitigen Nutzung eines Drahtes für die Übertragung in beide Richtungen, wurde die Geschwindigkeit des Austausches signifikant erhöht. Morse, der nicht als einziger Erfinder der Telegraphie gelten kann,⁷⁸ war als Maler von der Idee der elektrischen Informationsübertragung fasziniert.⁷⁹ Sein erster Telegraph war ein auf einen alten Bildrahmen montiertes Pendel, das mit Hilfe eines Elektromagneten hin und her bewegt werden konnte (Abb. 5). Am Ende des Pendels wurde ein Bleistift über ein Papier bewegt, das durch einen Uhrenantrieb unter dem Pendel hindurchbewegt wurde. Durch kurze und lange Ausschläge des Pendels entstanden auf den Papierstreifen kurze und längere flache Haken, deren Scheitelpunkte jeweils als ein Strich oder ein Punkt betrachtet werden konnten.⁸⁰ Damit hatte er sich von der näherliegenden Idee einer Übertragung einzelner Buchstaben abgesetzt, wie sie in den anderen Erfindungen der Zeit realisiert wurden.⁸¹ Statt also jeweils einen Buchstaben durch einen Draht und einen Magneten anzusteuern, um so das Alphabet senden zu können, verfolgte er mit kleineren Umwegen die einfachste Lösung mit nur einem Draht.

Mit der Abkehr von der „abbildenden“ Übertragung einzelner Buchstaben griff Morse der Codierung in digitaler Form vor. Der Punkt und der Strich bedeuteten zwar jeweils eine Zahl, die daraufhin in Buchstaben umgewandelt wurde,⁸² aber mit der Einfachheit der Informationsstruktur wuchs gleichzeitig die Geschwindigkeit der Übertragung, wenn erst die Codierung beherrscht wurde. McLuhan hat in den „Magischen Kanälen“ auf die enge Verbindung zwischen Zentralnervensystem und der elektrischen Telegraphie hingewiesen.⁸³

Auf die reiche kulturelle Metaphorik, die diese Verbindung um 1900 produzierte, kann hier nicht eingegangen werden.⁸⁴

Mit der Nutzung der elektrischen Leiter war die Ausweitung des Nervensystems des Einzelnen auf einen Verbund von Systemen bewerkstelligt worden. In unserem Zusammenhang ist an dieser Feststellung bemerkenswert, daß die Kombination von mechanischem, elektrischem und optosensorischem Übertragen von Information die erste Immersion⁸⁵ des Men-

⁷⁷ Pichler, Franz, Telegrafie- und Telefonsysteme des 19. Jahrhunderts, in: Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst, Ausstellung des Deutschen Postmuseums Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 253-286, S. 258.

⁷⁸ Dies waren ebenso Wheatstone/Cooke und Edward Davy, in Deutschland Steinheil. Vgl. Hiebel, s. Anm. 74, Abschnitt Schrift, Druck, Post.

⁷⁹ Brauner, Christian (Hrsg.), Samuel F. B. Morse. Eine Biographie, Basel 1991.

⁸⁰ Die Umsetzung in eine Version bei der lediglich Punkte und Striche gezeichnet wurden, erreichte Morse durch eine waagerechte Lagerung des Hebels. Oberliesen, s. Anm. 75, S. 106.

⁸¹ Oberliesen, s. Anm. 75, S. 82ff. Die Abstraktion, die hinter der direkten Codierung der Informationen steht, schafft eine viel höhere Distanz zu einer bis dahin vorgestellten Mechanik der Übertragung und einer Anzeige von Buchstaben durch ausgerichtete Magnetnadeln.

⁸² Später entwickelte sich diese doppelte Codierung zu der heute bekannteren Codierung aller Zeichen des Alphabets um. Aber auch diese Codierung wurde mehreren Veränderungen unterzogen, bis sie sich zur internationalen Morseschrift entwickelt hat.

⁸³ McLuhan, Die magischen Kanäle, s. Anm. 73, S. 267 ff.

⁸⁴ Für diesen Zusammenhang sei nachdrücklich hingewiesen auf: Asendorf, Christoph, Ströme und Strahlen. Das langsame Verschwinden der Materie um 1900, Gießen 1989. Asendorf untersucht den Einfluß der Elektrizität und ihrer Metaphorik auf Kunst und Literatur. Damit liefert sein Buch umfassend einen Aspekt, den wir bewußt ausgeklammert haben. Kunsthistorische Bezüge, die man reichhaltig herstellen könnte, würden vom eigentlichen Ziel dieses Abschnitts ablenken, die Genealogie und Verflechtung von Bildtechniken möglichst klar darzustellen. Mehrere der technischen Errungenschaften, die wir hier als Vorläufer des Computerbildes vorstellen, werden auch bei Asendorf angesprochen.

⁸⁵ Immersion (lat.): Ein-, Untertauchen

schen in einen virtuellen Informationsraum vollzogen hat.⁸⁶ Die Reduktion der Information auf die dem elektrischen Impuls gemäße Strom/kein Strom-Unterscheidung ließ die Komplexität der übermittelten Informationen unberührt. So entstand in der Zeit der Telegraphie die Gewöhnung an die Körperlosigkeit von Information.⁸⁷

Wenn das durch technische Übertragung Vermittelte als Tatsache (im Bereich des Informationswertes) verstanden werden konnte, dann wurde sie zur Handlung durch die Reaktionen, die aufgrund der körperlosen, transportierten Information hervorgerufen werden konnten. McLuhan erzählt in diesem Zusammenhang die Geschichte des Mörders Dr. Hawley H. Crippen, der mit Hilfe der drahtlosen Marconi-Telegraphie⁸⁸ gefaßt werden konnte.⁸⁹ Hier wird die Reaktion auf ein entferntes Ereignis zu einem virtuellen Nebeneinander von Polizei und Verbrecher, der sich in vorelektrischen Zeiten seiner sicher gewesen sein mag. Wir müssen die Idee des Informationstransportes, der in Handlung innerhalb einer materiellen Welt umschlägt, als eine unmittelbare Folge der elektrischen Informationsübertragung und der späteren elektronischen Informationsverarbeitung verstehen. Ereignisse sind nicht weniger wirklich, wenn sie elektrisch vermittelt werden.

In dem Maße, in dem die Information den Bedingungen des elektrischen Stromes entsprechend zerlegt wurde, kam es zu einer tendenziellen Gleichzeitigkeit von Ereignis und Handlung wie sie für Interaktion in der Simulation entscheidend ist.

3.3. Bild und Zerlegung

Die Einführung der Zentralperspektive im Quattrocento ist die Öffnung eines Fensters, durch das die Welt von einem neuen Betrachterstandpunkt aus erblickt werden konnte. Raumerfassung und Definition von Verkürzung wie sie sich auch dem natürlichen Sehen eröffnete, ermöglichte die zielgerichtete Abbildung auf der zweidimensionalen Fläche des Bildes. Diese ebenso wirksame wie zuverlässige Methode zur „richtigen“ Abbildung der Natur in der Renaissance kann, wie später die Fotografie, als eine Eroberung des Bildraumes durch den Menschen betrachtet werden. Die Gesetze der Perspektive zu kennen und zu beherrschen, bedeutete, einen Rahmen um die Welt zu ziehen. Durch die Begrenzung hindurch ließen

⁸⁶ Bemerkenswert hierzu die Ausführungen Haases zur Vernetzung von Menschen in der Gesellschaft des 19. Jh. parallel zur technischen Vernetzung von Informationen. Die Verhaltensweisen der Menschen orientieren sich demnach aufgrund der zur Verfügung stehenden Verbindungsmöglichkeiten immer wieder neu und bilden eigene Kodizes. Vgl. Haase, Frank, Stern und Netz, Anmerkungen zur Geschichte der Telegraphie im 19. Jahrhundert, in: Hörisch, Jochen; Wetzel, Michael (Hrsg.), *Armaturen der Sinne*, München 1990, S. 57.

⁸⁷ Zielinski, Siegfried, *Von Nachrichtenkörpern und Körpernachrichten. Ein eiliger Beutezug durch zwei Jahrtausende Mediengeschichte*, in: *Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst*, Köln 1990, S. 229 – 252, S. 229.

⁸⁸ Marconi entwickelte die Telegraphie mit Hilfe seiner Funkeninduktionstechnik zur drahtlosen Telegrafie weiter. Lubar, s. Anm. 76, S. 101ff.

⁸⁹ Die von ihm intendierte Verknüpfung dieser Geschichte mit der durch die britische Regierung auferlegte Verpflichtung, daß alle Schiffe in Zukunft Telegrafieapparate mitzuführen hätten, kann wahrscheinlich nur als Hypothese gelten. McLuhan, s. Anm. 73, S. 267.

sich die Gegenstände der Betrachtung aus ihrem natürlichen Kontext herausgelöst „untersuchen“.⁹⁰

Mit der zufälligen Entdeckung der Lichtempfindlichkeit der Silbersalze durch den Arzt J. H. Schulze 1727⁹¹ und der des Selens durch Berzelius 1817 wird eine weitere Entwicklung eingeleitet, die die chemische Wirkung des Lichts aufdeckt. Mit der Lichtempfindlichkeit von Chemikalien ist zum einen der Grundstein für die Fotografie gelegt und zum anderen die Umsetzung von Licht in elektrischen Strom.

Die schon bei der Camera Obscura angelegte Lösung des „Sehens vom Körper des Betrachters“⁹² setzt sich in der Fotografie fort. Mit der Einführung der ersten Taschenkamera von Kodak⁹³ und des Rollfilms, der die Fertigkeiten für die Fotografie auf ein Minimum reduzierte, konnte buchstäblich jeder Bilder erzeugen, die seinem persönlichen Erfahrungsraum Dauer verliehen. Das Festhalten der Umwelt im Bild mit Hilfe des Fotoapparates ist die erste technische Einrichtung zur automatischen Abtastung und Wiedergabe der Welt.

Neben der chemischen „Selbstabbildung“ der Natur wurde die Bewegung und die Bewegungswahrnehmung erforscht. Mit seinem „Phénakistiscope“ (Lebensrad) führte der belgische Gelehrte Joseph Plateau⁹⁴ 1832 den Effekt der stroboskopischen Bewegungstäuschung vor.⁹⁵ Auf einer in regelmäßigen Abständen mit Schlitzen versehenen Scheibe wurde eine Vielzahl gezeichneter Phasenbilder angebracht. Betrachtete man diese Bilder durch die Schlitze in einem Spiegel und drehte dabei die Scheibe (Abb. 6), schienen die Phasenbilder in Bewegung versetzt.⁹⁶ Der stroboskopische Effekt kommt durch das mangelnde zeitliche Auflösungsvermögen des Auges zustande. In dem Maße, in dem es der Technik gelingt, das menschliche Sensorium zu täuschen, entsteht der Eindruck einer Bewegung. Wie bei der Camera Obscura, deren ephemere Lichtbilder die Betrachter mit einem Zauber belegen, bietet die Bewegung der Bilder eine Projektionsfläche für visionäre Vorstellungen. Die Bezeichnung „Lebensrad“ wendete sich direkt an das Bewußtsein, das den bewegten Bildern in der Tradition der Kunst- und Wunderkammern „Leben“ einhauchte⁹⁷. Mit der optischen Täuschung begann die Simulation des Lebendigen jenseits der Konstruktion mechanischer Automaten.⁹⁸ Der Ablauf von Bildern, der, mit der Fotografie verschmelzend, die Elemente

⁹⁰ Manovich hat auf die Konstanz des „landscape“-Formats des Bildschirms als Ableitung vom Querformat der Malerei hingewiesen. Vgl. Manovich, s. Anm. 67, S. 16.

⁹¹ J. H. Schulze hatte als erster den eindeutigen Zusammenhang zwischen Lichteinwirkung und Silbersalzen festgestellt. Hierzu: Gernsheim, s. Anm. 69, S. 29ff.

⁹² Cray, Jonathan, Techniken des Betrachters. Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert, Dresden / Basel 1996, S. 50.

⁹³ Lubar, s. Anm. 76, S. 59.

⁹⁴ Plateau, Joseph Antoine Ferdinand, geb. Brüssel 1801 gest. Gent 1883.

⁹⁵ Cray, s. Anm. 92, S. 112.

⁹⁶ Das gleiche Prinzip kam auch in der ZEOTROP genannten Wundertrommel des Engländers W.G. Horner zur Anwendung. Hier waren es zwei Trommeln, eine mit Schlitzen und eine darin sich bewegende Trommel, auf die die Phasenbilder an der Innenseite angebracht waren. Cray, s. Anm. 92, S. 117.

⁹⁷ Bredekamp, Horst, Antikensehnsucht und Maschinenglauben, Die Geschichte der Kunst-kammer und die Zukunft der Kunstgeschichte, Berlin 1993.

⁹⁸ Die Vortäuschung des Lebendigen mit Hilfe von Automaten ist ein eigener Strang, der an dieser Stelle angerissen wird. Die Automatenentwicklung muß vom Thema der Simulation abgegrenzt werden, um die Durchmischung ganz unterschiedlicher Motive zu vermeiden. Wäh-

der Realität festhalten konnte und ihnen Bewegung verlieh, wirkte demnach zunächst wie eine künstliche Belebung der Natur. Mit den Techniken werden neben der Unterhaltung der Massen auch Erkenntnisse über das Sehen und den Betrachter gesammelt.⁹⁹ Die Gleichzeitigkeit der Rolle des Betrachters als Bildkonsument, als Objekt naturwissenschaftlicher Erkenntnis und als das in seinen Sehgewohnheiten zu regulierende Objekt findet sich erneut in der Entwicklung und Praxis der Bildmaschine Computer wieder.

Walter Benjamin bezeichnet den aus den Anfängen der Bewegungsfotografie entwickelten Film als einen fortgesetzten „Chock“, in dessen Bewältigung der Betrachter zunächst trainiert werden müsse.¹⁰⁰ An die „Chocks“ gewöhnen sich die Betrachter der ersten Filme erst langsam. Sie zeigen in ihren Reaktionen, daß sie die Vorgänge auf der Leinwand für echt halten und dem Bildraum eine Tiefe zusprechen, aus der die Erscheinungen über sie hereinbrechen.¹⁰¹ Das menschliche Sensorium scheint auf Täuschung hin konstruiert zu sein, weil es die fehlenden Informationen, sei es Bewegung oder Tiefe, im Augenblick einer entsprechenden Wahrnehmung ergänzt. Um auf die plötzlichen Einwirkungen von Dingen reagieren zu können, ist der Wahrnehmungsapparat in der Lage, Schlüsse zu ziehen, die nicht allein aus der Wahrnehmung selbst entstehen. Erinnerungen, Wissen über Zusammenhänge und Erfahrungen machen die Wahrnehmung erst zu einem vollständigen Reiz-Reaktionsschema, in dem sich der Mensch bewegen kann, ohne sich gefährdet zu fühlen. Die Erkenntnisse über die Neigung des Bewußtseins, fehlende Bildinformationen auszugleichen, legen die Grundlage für eine Interaktion mit virtuellen Welten, die weit von einer naturalistischen Abbildung entfernt sind. Die Fremdartigkeit neuer Bildmedien erfordert zu allen Zeiten eine Gewöhnung, die abhängig von der Adaptionfähigkeit des Gehirns scheint. So wie der Zuschauer im Film nur durch bewußte Distanznahme aus der emotionalen Immersion entkommen kann, ist in der virtuellen Welt der Computerbilder der bewußte Umgang mit der Simulation erforderlich.¹⁰²

Die Schlitzblende des Lebensrades entspricht einer Abtastung des Bildes. Das gleiche Phänomen liegt der Nipkowschen Scheibe zugrunde, die die ersten Fernsehübertragungen

rend die Automaten Lebendiges vortäuschen, um das Maschinenhafte des Lebens zu unterstreichen, ist Simulation als ein Täuschen des optischen Apparates zu verstehen. Der Automat verbarg das Gesetz seiner Bewegung im Inneren eines komplizierten Mechanismus. Die Simulation ist eine nur an der Oberfläche der Erscheinung wirkende Vorstellung des Prinzips, nach der wir die Wirklichkeit eines Wesens erfahren (ersehen). Das in der reinen Bildsprache der Simulation die Bewegung nicht mehr „faßbar“ wird, steht in engem Zusammenhang mit der Tatsache, daß Lebendiges als rein biologisches Phänomen naturwissenschaftlich erkannt ist. Mit dem Absterben der Automatenkonstruktion geht die Erkenntnis über die komplexen medizinischen Zusammenhänge des Lebens einher. Siehe hierzu: Sutter, Alex, *Göttliche Maschinen*, Frankfurt 1988.

⁹⁹ Crary, s. Anm. 92, S. 116.

¹⁰⁰ Benjamin, Walter, *Gesammelte Schriften* s. Anm. 12, S. 464.

¹⁰¹ In einer der ersten Kinovorführungen sollen die Besucher von ihren Sitzen gesprungen sein, als ein Zug auf der Leinwand auf sie zuraste.

¹⁰² Ein moderner Effekt virtueller Realität ist die Höhenangst fast aller Rezipienten, die man in eine optisch hohe Position in die Nähe eines Abgrundes stellt. Vgl. *Digitale Medien und die filmische Perspektive*, Telepolis Special, <http://www.ix.de/tp/deutsch/special/film/6104/2.html>.

ermöglichte. In der Verbindung mit einem Selen-Fotoelement¹⁰³ konnte die Abtastung des Bildes durch die Nipkowscheibe auf einen elektrischen Leiter übertragen werden. Hier flossen die Erkenntnisse der drahtlosen Telegrafie ein, die durch die Reduzierung auf nur eine Leitung gezeigt hatte, wie die Gesamtinformation in einen Informationsfluß serieller Zeichen umgewandelt werden mußte.

Nipkow, der 1884 sein Patent für das „elektrische Teleskop“ anmeldete, mußte, um ein einzelnes Bild abzutasten, im Gegensatz zum Lebensrad nicht nur serielle Unterbrechungen erzeugen, sondern das Bild in horizontale und vertikale Bildzonen unterteilen.¹⁰⁴ Zu der Bewegungssimulation, die die Einzelbilder wieder in Bewegung setzte, kam die Zerteilung der Information eines einzelnen Bildes hinzu, um es elektrisch zunächst über ein Kabel und später, mit Hilfe der von Marconi entwickelten Röhre, drahtlos zu versenden. Hierzu waren die Löcher der Scheibe spiralförmig angeordnet (Abb. 7). Bei einer vollen Drehung wurde ein Bild so in Einzelausschnitte zerlegt, daß die hinter der Scheibe justierte Selenzelle die jeweiligen Helligkeitswerte in elektrischen Strom umwandeln konnte. Diese Stromimpulse konnten auf der Empfängerseite nur durch eine synchron laufende zweite Nipkowscheibe und einen entsprechenden Strahlenapparat wieder aufgebaut werden. Die Trägheit der Selenzelle bewirkte aber noch das langsame Abtasten der Bewegungen, wodurch bestimmte „abgefilmte“ Momente kaum wahrgenommen werden konnten. Erst mit der Abtastung des Bildes durch die Elektronenstrahlröhre von Zworykin wurde das mechanische Bewegung der Abtastscheibe durch die elektronische Abtastung abgelöst. Hierbei übernahm der Elektronenstrahl die Zerteilung des Bildes, wobei aber die Art der horizontalen Abtastung des Bildes in Zeilen beibehalten wurde. Das Bild, das durch die Optik auf die lichtempfindliche Oberfläche der Röhre fokussiert wurde (Selen), konnte dort von dem feinen Elektronenstrahl abgenommen werden. Das entstehende Frequenzband wurde durch das Übertragungssystem zum Empfänger gesendet, wo die Abstrahlröhre das Bild auf die Braunsche Röhre¹⁰⁵ in der gleichen Zeilenstruktur zeichnete. Mit der Zerlegung eines Bildes wird auch der Bildschirm entwickelt, an dem dieses Objekt wieder zusammengesetzt werden kann. Durch die direkte Übertragung der serialisierten Informationen, ist eine Zwischenspeicherung der Bildinformationen, die Grundvoraussetzung des Bildes am Computerbildschirm, noch nicht erforderlich. Dennoch markiert die Entwicklung des Fernsehens eine wesentliche Voraussetzung für den Bildschirm am Computer. Gleichzeitig ist die mechanische Abtastung des Bildes die Vorform der Digitalisierung.

¹⁰³ Grundsätzlich muß zwischen der Fozelle und dem Fotoelement unterschieden werden. Während die Fozelle praktisch trägheitslos arbeitet und an einen elektrischen Stromkreis angeschlossen sein muß, ist das Fotoelement ein passives Bauelement, daß durch die Intensität des einstrahlenden Lichtes eine schwache Spannung erzeugt.

¹⁰⁴ Abramson, Albert, 110 Jahre Fernsehen, Visionen vom Fern-Sehen, in: Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst, Ausstellung des Deutschen Postmuseums Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 146–208, S. 150.

¹⁰⁵ 1897 durch Karl Ferdinand Braun entwickelt. Abramson, s. Anm. 104, S. 152.

3.4. Maschinelles Sehen

In der Vorzeit des Computers wird - nicht zu Unrecht - immer wieder die Erfindung der Lochkartensteuerung der ersten automatischen Webstühle genannt. Die Lochkarten gehörten zu den ersten Speichermedien für codierte Informationen, die einer Maschine Informationen eingaben und auch Informationen wieder aufnehmen konnten.¹⁰⁶ Neben anderen Systemen¹⁰⁷ war die Setzung von Löchern und „nicht Löchern“ nach der Phase der Spielautomaten die erste Methode zur automatisierten Kommunikation mit Produktionsmaschinen. Der Jacquard Webstuhl,¹⁰⁸ webte mit Hilfe dieser externen Steuerung ein Bild in das Gewebe. Immer dort, wo ein Loch in die wie vergrößerte Dominosteine wirkenden Holzplatten gestanzt war, wurde ein Faden eingeschossen (Abb. 8, 9)

Die Analogie zwischen Bild und Codierung kommt nicht von ungefähr. Sie hat zunächst keine Verbindung zur Rechenmaschine und ihrer mathematischen Fundierung. Die Übertragung von einem Bild in eine Codierung wird ermöglicht, weil die Inhalte des Dargestellten gegen die bloße Fixierung der Struktur, des Aufbaus des Bildes austauschbar gemacht werden können. Jedes Loch repräsentiert einen Faden, der durch die zeitliche Ordnung der Lochkarten hintereinander in Zeilen und Spalten zerlegt werden kann. Die Webeinrichtung stellt damit eine Matrix dar, deren Koordinaten in einem zweiten System abgebildet werden können, ohne die Inhalte des Stoffmusters zu kennen. Räumliche und zeitliche Fixierung tritt an die Stelle von komplexer Erscheinung.

Entscheidend ist das Konzept der Codierung im Stoff, der selbst genau wie das aus Pixeln zusammengesetzte Bild keine Inhalte, sondern nur digitale Koordinaten kennt. Von der Umsetzung dieser digitalen Situation, daß der Faden im Stoff oben über die Trägerfaser geführt wurde, hin zu den codierten Lochkarten war es nur ein kleiner Schritt.

Charles Babbage, der eigentliche Erfinder der programmgesteuerten Computer,¹⁰⁹ lernt die durch das Jacquard-System angetriebenen Puppen kennen und beschreibt sie genaues-

¹⁰⁶ Zur Herkunft der Lochkartensteuerung vgl. Ausst.-Kat., Maschinenmenschen, Berlin 1989, Heckmann, H., Die andere Schöpfung. Geschichte der frühen Automaten in Wirklichkeit und Dichtung, Frankfurt/M 1982.

¹⁰⁷ Vgl. Randall, Brian, The Origins of Computer Programming, in: Annals of the History of Computing, Vol. 16, No. 4, 1994.

¹⁰⁸ Jacquard kommt nicht das Privileg zu, die Lochkartensteuerung erfunden zu haben. Er verfeinerte lediglich die Entwicklung von Bouchon, Falcon und Vaucanson und brachte sie zur Serienreife. Randall, Brian, The Origins of Computer Programming, in: Annals of the History of Computing, Vol. 16, No. 4, 1994. Siehe auch Hagen, Wolfgang, Die verlorene Schrift, Skizzen zu einer Theorie der Computer, in: Kittler, Friedrich A.; Tholen, Georg Christoph (Hrsg.), Arsenal der Seele, München 1989, S. 213.

¹⁰⁹ Vgl. Dotzler, Bernhard (Hrsg.), Babbage's Rechen-Automaten, Wien / New York 1996.

tens.¹¹⁰ Er fügt die Karten anschließend in sein nie vollendetes Konzept eines programmgesteuerten Rechners mit externem Kartenspeicher ein.¹¹¹

Der Stoff, auf dem das Muster auftauchte, das sich ausschließlich aus Pixeln zusammensetzte, war die Vorform der Matrix, aus der sich das digitale Bild entwickeln sollte.

Die amerikanische Volkszählung

Das Faktum, das „Computer“ vor der Entwicklung der elektronischen Rechenmaschine die Bezeichnung für all jene Menschen war, die als Brotarbeit „rechneten“, wirft ein zeitgeschichtliches Schlaglicht auf das ausgehende 19. Jahrhundert.¹¹² Berechnungstabellen aller Art, Bankkonten, Scheckbuchungen und eine Vielzahl anderer Tätigkeiten benötigten ein Heer von menschlichen „Computern“. Vor allem aber die Volkszählung im noch jungen Amerika verursachte geradezu eine Explosion der Nachfrage nach menschlichen Rechenautomaten.¹¹³

Hollerith wurde durch den Einsatz seines Lochkartensystems bei der Volkszählung 1890 weltberühmt.¹¹⁴ Seine Idee war einfach. Anstelle der bisher mit Farbcodierung versehenen Zählerkarten, die von Menschen für jede Auswertung neu gezählt werden mußten, verwendete er Lochkarten und ließ die Auswertungen durch Maschinen zählen. Hollerith erinnerte sich in späteren Jahren, wie er auf dieses Verfahren gekommen war. Während einer Überlandreise in den Westen erhielt er eine gelochte Fahrkarte. Sie hatte mehrere Felder, in die der Schaffner mit einer Lochzange eine Beschreibung des Fahrgastes stanzt. So erhielt Hollerith eine Karte, die ihn als hellhaarigen Fahrgast, mit dunklen Augen und großer Nase beschrieb.¹¹⁵ Sein Ziel war es, ein Bild der Bevölkerung in Lochkarten zu stanzen.

Die Zuordnung der einzelnen zu zählenden Erhebungsdaten auf bestimmte Felder, die auf einer Karte angeordnet waren, entsprach einer einfachen Überlegung. Die Repräsentation einer Information durch ein Muster von Punkten konnte durch einen Automaten gezählt werden, den man mit einem speziellen Sensorium ausstattete. Wie der Schaffner zum Zeichen seiner Prüfung eine Beschreibung in die Karte lochte, konnte mit der Hollerith-Methode eine ganze Kette von Aussagen in ein abstraktes Bild „komprimiert“ werden (Abb. 10). In dieser Komprimierung von Information war auch gleichzeitig die Relation in der Stellung aller dieser Informationen zueinander enthalten. Das Sensorium, eine Maschine mit

¹¹⁰ Hagen, s. Anm. 108, S. 213.

¹¹¹ Babbage, Charles, *Passages from the Life of a Philosopher*, London 1864, Nachdruck 1968, S. 117.

¹¹² Vgl. Ceruzzi, Paul E., *When Computers Were Human*, in: *Annals of the History of Computing*, Vol. 13, No. 3, 1991, S. 237–244.

¹¹³ Die Entwicklung des Büros des Census von 1840 bis 1890: 1840 – 28 Mitarbeiter, 17,1 Mio. Einwohner gezählt, 1860 – 184 Mitarbeiter, 31,4 Mio Einwohner gezählt, 1870 – 438 Mitarbeiter, 1880 – 1495 Mitarbeiter. Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 21.

¹¹⁴ Nach nur sechs Wochen wurde bereits die Gesamtzahl der Bevölkerung bekannt gegeben. In nur zweieinhalb Jahren (1880 waren es sieben Jahre) wurde der 26.408 Seiten starke Bericht vorgelegt.

¹¹⁵ Austrian, Geoffrey D., *Herman Hollerith, Forgotten Giant of Information Processing*. New York 1982, S.15. Zit. nach: Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 22.

ebenso vielen empfindlichen „Nervenenden“ wie möglichen Löchern auf der Karte, konnte mit „einem Blick“ alle Informationen auf der Karte erfassen (Abb. 11). Die an die elektrischen Leitungen angeschlossene Zähltafel addierte einfach „ertastete“ Relationen. Die Kartenstapel wurden unter verschiedenen Fragestellungen gezählt, um eine Beziehung zwischen den verschiedenen Feldern auf der Karte herzustellen. Schon zu diesem Zeitpunkt war das technische Abbild der Information entstanden. Holleriths Technik revolutionierte die gesamte Abwicklung von Geschäftsprozessen.¹¹⁶ Die automatische Zählung von Einzelinformationen beschleunigte die Erstellung von Statistiken und ermöglichte die bürokratische Überwachung ganzer Staaten.

Holleriths Lochkarte wurde zum Modell einer universellen Informationsrepräsentation. Die Maschine, welche die Löcher abtastete, erschien wie ein nie ermüdendes Auge, das seine Maschinensicht überall auf die Welt richten konnte. Mit der Einführung des Lochbandes bei Konrad Zuses Z Rechnern (ab 1939¹¹⁷) (Abb. 12) sowie dem britischen MARK I (1944) (Abb. 13) und der Lochkarte beim amerikanischen ENIAC (1946) (Abb. 14) wird die Methode der externen Informationsspeicherung mit den Möglichkeiten der binären Computer kombiniert.

Als These kann festgehalten werden, daß das Muster auf der Karte (das wir hier schon als Bild ansprechen) ein Konzept von Information darstellt, das diese auf den rein syntaktischen Teil reduziert. Die Entschlüsselung der Bedeutung verlagert sich von der Semantik auf Codierung und Decodierung. Der Gehalt der Nachricht wird durch diejenigen bestimmt, die auf Sender- und Empfängerseite die Automaten auf die richtigen Schreib- und Leseverfahren einstellen. Die Änderung eines einzigen Stiftes im „Sehapparat“ der Hollerithmaschinen hätte bei der Volkszählung von 1890 zu einem anderen Ergebnis geführt. Entsprechend wurden als Sicherheitscheck regelmäßig die kupfernen Kontaktstellen auf ihre einwandfreie Funktion geprüft.¹¹⁸

Diese Art der Codierung in einen externen Speicher ist eine erste Stufe, in der Informationen eine abstrakte Struktur zum „Aufbewahren“ erhielten. Die Transformation des Prinzips „Gedächtnis“ als eine, von der Bedeutung des Gespeicherten unabhängigen Matrix, in die ein abstraktes Muster eingeschrieben werden kann, zieht sich weiter durch die technologische Entwicklung des Computers. Der Schreib- und Lesevorgang mußte dabei immer mehr verfeinert und automatisiert werden, um eine schnelle Eingabe und Ausgabe zu garantieren. Mit der Kopplung von elektromechanischen Kartenlesern an elektronische Rechenmaschinen wird die Differenz zwischen der mechanischen Form der Informationseingabe und der schnelleren elektronischen der Informationsverarbeitung immer dramatischer.¹¹⁹ Im Lauf der Entwicklung wandelt sich der Speicher von seiner sichtbaren in eine elektronische, unsicht-

¹¹⁶ „Hollerith durchleuchtet ihren Betrieb, überwacht und hilft organisieren“ lautete eine Werbeanzeige von 1920, bei der durch die Öffnung der Lochkarte Lichtkegel auf einzelne Bereiche eines Fabrikgebäudes geworfen werden. Oberliesen, s. Anm. 75, S. 224.

¹¹⁷ Vorndran, Edgar P.: Entwicklungsgeschichte des Computers, Berlin / Offenbach 1986, S. 81.

¹¹⁸ Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 26.

¹¹⁹ Coy, s. Anm. 48, S. 26.

bare Form. Diese behält jedoch die Form der Matrix bei. Die Matrix der Lochkarte deckt sich mit der Metapher des Gedächtnisses, auf die Horst Bredekamp hingewiesen hat.¹²⁰ Von Platons Vorstellung der Seele als wächserner Tafel bis zu Turings tape verfolgt Bredekamp die verschiedenen Darstellungen einer leeren Fläche, auf die sich die Elemente der Erinnerung in einer unbekanntem Sprache einprägen.

3.5. Trajekturen - vom Motor des digitalen Rechnens im Militarismus

„Im Prinzip ist der Computer zur Ausführung komplizierter Berechnungen bei hohem Genauigkeitsgrad in kürzester Zeit entwickelt worden. Aber nicht nur komplizierte Berechnungen lassen sich mit einem Computer durchführen, es können auch Probleme angeboten werden, die der Mensch nicht ohne weiteres lösen kann, da hierfür besondere Rechenmethoden erforderlich sind. Ein Beispiel hierfür ist die sogenannte Artillerieaufgabe. Hierfür ist ein Punkt auf der Flugbahn eines sich bewegenden Körpers, z.B. eines Flugzeuges, an dem sich der Flugkörper und ein abgeschossenes Projektil (Geschoß) treffen sollen. [...] Die Auflösung dieser Aufgabe ist nicht so ohne weiteres zu finden, da durch ständige Lageänderung des Flugkörpers die Berechnungen in so kurzer Zeit durchgeführt werden müssen, woraus sich ergibt, dass infolge des eingeschränkten menschlichen Vermögens zu kurz geschossen wird und nur ein Computer ein richtiges Ergebnis bringen würde.“¹²¹

Diese nüchterne Beschreibung eines Abschusses in einem Computerlehrbuch aus dem Jahr 1981 umreißt mit einfachen Worten ein Problem des Rechnens (Abb. 15). Rechnen muß sich innerhalb eines menschlichen Zeitmaßes abspielen, wenn das Ziel der Berechnung einen menschlichen Zweck erfüllen soll. Immerzeel unterschlägt in seinem Beispiel jedoch die darunterliegende Problematik, die Harry Wulforst 1982 kurz mit dem Obertitel „The firing table crisis“ beschrieb.¹²² Vor dem ersten Weltkrieg hatte die Ballistik sich als mathematische Disziplin noch nicht durchgesetzt. Zuvor waren die Methoden zur Einschätzung von Flugbahnen oft auf subjektiver Erfahrung beim Schießen begründet. Zwar war das Problem des Luftwiderstandes horizontal bewegter Körper bekannt, aber man ging bei der Berechnung der Flugbahnen oft von falschen Voraussetzungen aus. So stellte sich nach intensiver Berechnung und Herstellung ballistischer Tabellen zu Beginn des ersten Weltkrieges heraus, daß die Geschwindigkeit und damit auch die Reichweite eines Geschosses in unterschiedlichen Luftschichten größer wurde. Man war fälschlicherweise von einem konstanten Luftwiderstand in allen Luftschichten ausgegangen. Als dann zum ersten Mal ein Geschöß abgefeuert wurde, flog es weit über das geplante Ziel hinaus. Damit war die Arbeit, die für die

¹²⁰ Bredekamp, s. Anm. 97, S. 100.

¹²¹ Immerzeel, Martinus Bernardus, *Microcomputer ohne Balast*, München 1981, S. 9.

¹²² Vgl. Wulforst, Harry, *Breakthrough to the Computer Age*, o.O. 1982.

Herstellung der festen ballistischen Tabellen erbracht werden mußte, obsolet geworden.¹²³ Das Grundproblem der Berechnung waren komplizierte Differentialgleichungen, die, je komplexer sie wurden, und je mehr Variablen sie enthielten, um so schwieriger zu berechnen waren. Hier wirkte der grundsätzliche Umbruch der theoretischen Mathematik in die angewandte, in der tatsächliche Ergebnisse benötigt wurden.¹²⁴ Mit der Bestimmung der Gesetzmäßigkeiten, wie sie sich in Gleichungssystemen niederschlugen, mußte „gerechnet“ werden, um „Lösungen“ dieser Gesetze zu erhalten. Die enorme Menge der möglichen Lösungen einer Differentialgleichung mit vielen Variablen stellte die Ballistikforscher vor nahezu unüberwindliche Probleme. Für die Berechnung einer einzigen Lösung brauchten sie so lange, daß die Berechnung einer ganzen Tabelle von Lösungen, mit der man tatsächlich operieren konnte, viele Jahre gedauert hätte.

Analoge Systeme erledigten solche aufwendigen Rechenarbeiten in einer für damalige Verhältnisse (gegenüber menschlichen „Rechnern“) sehr kurzen Zeitspanne. Sie bestanden aus mechanischen Teilen, welche die zu beschreibenden Vorgänge mit Hilfe von Drehungen von Rädern, Verschiebung von Gestängen u.ä. analog abbildeten.¹²⁵ Sie lieferten sofort Ergebnisse, weil sie ein Modell der zu berechnenden Problemstellung darstellten.

Vannevar Bush benötigte fünf Jahre, ehe sein analoger Rechner, der „Differential Analyzer“ (Abb. 16, 17) 1931 fertiggestellt wurde.¹²⁶ Er stellte aber schon zu diesem Zeitpunkt klar, daß sein Rechenroboter im Prinzip „nie abgeschlossen sein würde“¹²⁷, da immer wieder weitere Elemente angesetzt werden könnten, um noch komplexere Differentialgleichungen zu lösen. Jetzt schon nahm die rein mechanisch arbeitende Rechenmaschine einen ganzen Raum ein (2 x 10 m), denn alle Operationen wurden über Gestänge und Drehscheiben ausgeführt. Die Armee hatte sich kurz nach Fertigstellung des Differential Analyzers per Vertrag das Recht gesichert, die Maschine im Falle eines nationalen Notstandes zur Berechnung ballistischer Kurven zu nutzen. Mit Beginn des Zweiten Weltkriegs wurde Bushs Analyzer zum zentralen Lieferanten der dringend benötigten Tabellen. Diese wurden als kleine Taschenbücher gedruckt, um in den Taschen der Kanoniere aufbewahrt werden zu können. Der Analyzer konnte die für einen neuen Waffentyp notwendigen 2000 bis 4000¹²⁸ Trajektorien innerhalb kurzer Zeit berechnen. Allerdings mußten noch weitere Berechnungen durchgeführt werden, für die der Analyzer nicht genutzt werden konnte. Mit der ersten Be-

¹²³ Wulforst, s. Anm. 122, S. 10. Vgl. zur Geschichte des Differential Analyzers: Kahn, Paul; Nyce, James M., *From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine*, San Diego CA 1991.

¹²⁴ Heintz, Bettina, *Die Herrschaft der Regel*, Frankfurt am Main 1993.

¹²⁵ Zur Definition des Analogrechners siehe dtv-Atlas zur Informatik, München 1995, S. 25.

¹²⁶ Wulforst, s. Anm. 122, S. 12.

¹²⁷ „The machine is not yet complete. In fact, it is questionable that it ever will be...for it can always be extended by adding more units to [solve more complex] equations.“ in: *Journal of the Franklin Institut*, Oktober 1931. Nach Wulforst, s. Anm. 122, S. 13.

¹²⁸ Wulforst weist in seinem Text darauf hin, daß ein sehr geübter Mathematiker mit einer Tischrechenmaschine für eine Trajektorie ca. zwölf Stunden benötigte. Bei einer benötigten Menge von ca. 3000 hätte dies nach dieser Rechnung ca. neun Jahre gedauert, um nur einen Waffentypen mit einer ballistischen Tabelle auszustatten. Dementsprechend hätte man, um die Zeit zu verkürzen etwa 100 Mathematiker gleichzeitig mit der Erstellung einer Tabelle beschäftigen müssen, um die Zeit auf ca. 3 Monate zu verkürzen. Wulforst, s. Anm. 122, S. 16.

schleunigung eines Rechenvorgangs entstand also ein erheblicher Druck auf die Beschleunigung weiterer Rechenvorgänge. Solange bestimmte Probleme als „unlösbar“ galten, weil die zu berechnenden Differentiale sich der menschlichen Leistungsfähigkeit entzogen, konnte ein technologischer „Flaschenhals“ nicht ausgemacht werden. Der Engpaß lag ausschließlich auf der Seite des Menschen, dessen Variabilität von vornherein feststand. Bei der Maschine war dies anders. Mit dem Entstehen einzelner Lösungen wuchs der Anforderungsdruck auf die Lösung anderer, an der Peripherie entdeckter Probleme erheblich an. Hierin liegt die enorme Beschleunigung des Entwicklungsprozesses digitaler Rechner begründet. Diese hatten im Gegensatz zu analogen Systemen zunächst das Problem, viel seltener wirklich zu arbeiten.¹²⁹ Doch Ihre Durchsetzungsfähigkeit gegenüber analogen Systemen entwickelte sich schnell, da sie, wie Wolfgang Coy zusammenfaßt, „letzten Endes präziser, einfacher zu bauen, zuverlässiger zu betreiben und schneller programmierbar“¹³⁰ waren.

Das Problem der Feuertabelle beleuchtet die Bedeutung des Rechnens für die Abbildung natürlicher Problemstellungen. Das abzufangende Objekt stellte keine statische Größe dar, sondern eine dynamische. Der Rechner erlaubte durch die Einbeziehung der Einflußfaktoren auf das Geschoß, den in der Zukunft liegenden Treffpunkt von Geschoß und Ziel vorzusehen und die Schießeinrichtung entsprechend auszurichten. Damit erfüllte die Trajektorienberechnung bereits alle Bedingungen einer Simulation. Sie ist noch bildlos, weil sie ihre Realisierung im tatsächlichen Abschuß findet. In der späteren Erörterung der Kombination aus Berechnung von Trajekturen und Radar erhält die Simulation ihre erste Visualisierung.

¹²⁹ Goldstine, s. Anm. 8, S. 226.

¹³⁰ Coy, s. Anm. 48, S. 23.

Zusammenfassung

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollten die Vorbedingungen folgende Punkte darstellen:

1. Die Zerlegung und der Transport von Nachrichten ermöglicht die Immersion des Körpers in einen ersten „virtuellen“ Raum. Der Aktionsradius menschlicher Handlung erweitert sich auf die Orte, mit denen man in „Echtzeit“ kommunizieren kann.
2. Die Auslagerung und Codierung von Information auf externe Datenspeicher ermöglicht deren numerische Auswertung durch Maschinen. Die Trennung zwischen dem Code- und der Codierungs- bzw. Decodierungseinrichtung erzeugt die Metapher einer universellen Speichermatrix. Das Punktmuster ist das Urbild aller Speicherbilder.
3. Bildgenerierung und Bildzerlegung haben ihren Ursprung in der Analyse von Bewegung. Das Phasenbild ist der Prototyp der diskreten Zerlegung durch den Elektronenrechner, die Wiederherstellung des Bildes die Grundlage des Matrixbildschirmes.
4. Analoge Simulation ist als Vorläufer digitaler Simulation zu verstehen. Das Nachgemachte wird das Nachgerechnete. Ziel beider ist es, eine Projektion auf noch nicht Erfolgtes zu ermöglichen. Rechenmaschinen müssen immer schneller werden, da sie die Zukunft in die Gegenwart transformieren sollen.

3.6. Von der Rechenmaschine zur Bildmaschine

Die technische Entwicklung von Ein- und Ausgabegeräten in der Computertechnologie

Etwa seit dem Jahre 1945 beginnt die Computertechnik sich breit zu entwickeln, während die Rechenanlagen der Kriegszeit noch stark spezialisiert waren. Im wesentlichen dienten sie zur Decodierung von Geheimcodes (Collossus, Betchly Park) oder zur Berechnung von Geschößbahnen (Mark I bis Mark III, EDVAC). Konrad Zuses Rechenautomaten (Z1 bis Z3) wurden damals von den Deutschen nicht als wichtige Erfindung erkannt.

Bis in die 50er Jahre hinein spielten analoge Rechner wie der „differential analyzer“ von Vannevar Bush noch eine erhebliche Rolle, da sie im Verhältnis zu ihren Kosten sehr leistungsfähig waren. Ihr Nachteil lag vor allem in ihrer Statik, d.h. in ihrer Spezialisierung auf ein bestimmtes Problem. Da sie die in ihnen angelegten Probleme analog wiedergaben, konnten sie nur mit einer begrenzten Genauigkeit arbeiten. Diese Grenzen waren auch durch die damalige Leistungsfähigkeit der Feinmechanik gesetzt. Das Problem bildlicher Darstellung von Vorgängen lag gänzlich jenseits der Kapazität analoger Computer. Im folgenden soll daher nur die Entwicklung der elektronischen Digitalcomputer und ihrer Kommunikationsperipherie besonders betrachtet werden.

Die ersten Errungenschaften des digitalen Computers, die „von Neumann Architektur“,¹³¹ die Speicherung eines Softwareprogrammes innerhalb des Computers¹³² sowie die integrierten Programmverzweigungen¹³³ machten die Nutzung zunächst allerdings wesentlich komplizierter. Es wurde nach Wegen gesucht, um die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine zu vereinfachen. Bei der Konzeption von Schnittstellen setzte man an der Konvergenz elektrischer Techniken an, wie sie in den Jahrzehnten zuvor stattgefunden hatte.

Die 1867 entwickelte Schreibmaschine¹³⁴ war im Zuge der Elektrifizierung der modernen Bürolandschaft um 1930 mit der Technik der Morsetelegraphie zum elektrischen Fernschreiber¹³⁵ verschmolzen. Die klobigen elektrischen Schreibmaschinen wurden ab 1946 als Eingabegerät für die Nutzung von großen Computern weiterentwickelt.

¹³¹ Vgl. Goldstine, s. Anm 8.

¹³² Diese Architektur wurde zuerst im EDSAC 1946 durch Wilkes und dann im EDVAC von 1947 eingesetzt, an dem Eckart, Mauchly, Goldstine und v. Neumann arbeiteten.

¹³³ Bereits Babbage hatte für seinen „analytischen Rechenautomaten“ verzweigte Programme vorgesehen. Damit ist das Konzept der Programmverzweigung keine Erfindung des 20. Jahrhunderts. Babbage scheiterte bei seinen Entwürfen an der damals noch nicht so weit entwickelten Fertigungstechnik für Feinmechaniken. Vgl. Vorndran, Edgar P., Entwicklungsgeschichte des Computers, Berlin 1986, S. 70 ff.

¹³⁴ Hiebel, s. Anm 74, S. 67. Christopher Latham Sholes erfindet die erste effektiv einsetzbare Schreibmaschine mit QWERTY Tastatur um 1865.

¹³⁵ Vgl. Zieglinski, Siegfried, Von Nachrichtenkörpern und Körpernachrichten. Ein eiliger Beutezug durch zwei Jahrtausende Mediengeschichte, in: Ausst.-Kat., Vom Verschwinden der Fer-

Zuvor waren die Rechnerboliden direkt über Lochkarten, Schalter, Drehknöpfe und Regler programmiert worden (wobei die Tastatur eher hinzukam als die anderen Eingabetechniken zu ersetzen), nachdem zunächst das System der Verdrahtung, wie es aus den großen Telefonzentralen des 19. Jahrhunderts (Abb. 18) bekannt war, eingesetzt wurde.¹³⁶ Der Prototyp des Harvard Mark I wurde 1944 noch mit einem solchen fest verdrahteten Programm in Betrieb genommen. Die Nutzung eines neuen Programms dauerte mehrere Tage (Abb. 19) und wurde zunächst von Frauen ausgeführt, die aus den Vermittlungsstellen der Telefonvermittlungen für die Programmierung angeworben worden waren.¹³⁷

Die Fernschreibergeräte, schon damals über eine normale Schreibmaschinen-Tastatur verfügend, erleichterten die Eingabearbeit und das Bedienen von intern gespeicherten Programmen erheblich. So bot es sich an, die Fernschreibertechnologie auch für die Ausgabe zu nutzen, um die Rückkopplungen zwischen Benutzer und ablaufendem Programm zu gewährleisten. In der Rückkopplung, der Möglichkeit für den Programmierer und Rechenmaschinennutzer, seine eigene Tätigkeit zu beobachten, ist der Antrieb für die Entwicklung weiterer Schnittstellen zu sehen. Die Nutzung von Lochkarten bildete ein Bindeglied zwischen Computer und Drucker. In der ersten Phase der Entwicklung wurden zunächst Karten gelocht, die dann in einem Lesegerät ihre Informationen an einen Drucker ausgeben konnten.¹³⁸ Mit den gewonnenen Werten konnten wiederum Karten gestanzt werden, die in einen erneuten Arbeitsprozeß eingespeist wurden.

Je komplexer Programmierstrukturen wurden, desto notwendiger war es, eine Rückmeldung darüber zu erhalten, an welchem Prozeß die Rechenmaschine zur Zeit arbeitete. Die früher verwendeten Lämpchen und Schalter reichten nicht mehr, um die komplexen Zustände, in denen sich die durch das Programm gesteuerte Maschine befinden konnte, darstellen zu können. Ohne ein Ausgabegerät gab es kaum eine Möglichkeit festzustellen, an welchem Punkt der Programmausführung sich der Computer gerade befand. War eine Phase des Programms abgeschlossen oder war die Rechenmaschine an einem Fehler in dem komplexen Programmsystem gescheitert? Der Arbeitsprozeß der Rechenmaschine mußte beobachtet werden, um festzustellen, ob Hardware und Software funktionierten. Die Fern-

ne. Telekommunikation und Kunst, Ausstellung des Deutschen Postmuseums Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 229-252.

¹³⁶ Zuses Z3, der im Auftrag der deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) ab 1940 gebaut wurde, verwendete als einer der ersten elektrischen Dual-Rechenautomaten (ca. 2000 Relais) einen Filmstreifen zum Einlesen der Programme. Die Zahlenwerte wurden über eine Tastatur direkt in den Computer eingegeben. Die Ausgabe bestand aus einem Lampenfeld. Vorndran, s. Anm. 133, S. 80. Zuse entwickelte zweifelsfrei den ersten Computer mit Programmsteuerung.

¹³⁷ Interessanterweise war Programmieren tatsächlich zunächst Frauensache. Erst später mit der Einführung abstrakterer Programmiersysteme wurde dieses Feld wieder von Männern zurückerobert. Heute ist Programmierung keine reine Männerdomäne mehr. Im Gegensatz zu anderen Berufen ist die Verteilung zwischen Männern und Frauen einigermaßen ausgeglichen. Friedrich Kittler hat den Zusammenhang von Schreibmaschine und zunehmender Berufstätigkeit von Frauen aus medienhistorischer Sicht analysiert. Kittler weist auch darauf hin, daß „Typewriter“ sowohl Schreibmaschine als auch Schreibmaschinistin hieß. Vgl. Kittler, Friedrich, Grammophon. Film. Typewriter, Berlin 1986, S. 273.

¹³⁸ Wieselmann, Irving; Tomash, Erwin, Marks on Paper: Part 1. A Historical Survey of Computer Output Printing, in: Annals of the History of Computing 1, 1991, S. 63-79, hier S. 66.

schreiber wirkten als früher bidirektionaler Kommunikationsmechanismus. Durch sie konnte der Operator das Programm starten oder es mit bestimmten Parametern ausstatten, um eine spezifische Berechnung durchzuführen. Sobald das Rechenwerk arbeitete, schrieb der eingebaute Druckkopf die Informationen, die nun aus dem Programm abgegeben wurden, zurück auf das gleiche Blatt, auf dem auch die Eingaben erfolgt waren. Mensch und Computer kommunizierten auf die gleiche Weise wie Sender und Empfänger am Fernschreiber miteinander kommuniziert hatten. Die Meldungen des Computers, die durch die Eingaben des Operators hervorgerufen wurden, waren Teil des eingegebenen Betriebsprogrammes und in der Regel sprachlich sehr einfach strukturiert.

Aufgrund des teuren Speicherplatzes und der hohen Rechenzeit mußten Programme in einem Maschinencode so geschrieben werden, daß sie möglichst wenig Zeit und Speicher beanspruchten. Die Kommunikation von Mensch und Maschine wurde auf ein Mindestmaß reduziert. Die Antworten des Computers bestanden meist nur aus Zeichen, die von dem Operator identifiziert und interpretiert werden konnten. Nach dem Sieg der Alliierten über die Deutschen wurden Computer zunächst ausschließlich in England und den Vereinigten Staaten weiterentwickelt. So wurde die englische Sprache sehr schnell zur Norm für das Schreiben von Computeranweisungen. Schon in den ersten Jahren nach dem Krieg entwickelte sich die angelsächsische Terminologie, die alle Bereiche von Hard- und Software bis heute abdeckt.

Da ein Speicher und damit Kapazitäten im Prozessor noch fehlten, war ein sehr effizienter Umgang mit den Ressourcen erforderlich. Dem kam die sog. Binärcodierung entgegen. Sie ermöglichte das vollständige Umsetzen aller Befehle an den Computer in Null- und Einsreihen. Diese wurden dann in Lochkarten, Lochbänder, Speicherröhren und später auch in Trommelspeicher, und Feritkernspeicher (core memory) eingelesen, um dann, vom Computer interpretiert, als Programm abzulaufen.

Früh etablierten sich sog. Codiermaschinen, die den Schritt vom Umsetzen eines Befehlsatzes, der in einem Text formuliert werden konnte, in die Codierung von Null-Eins-Ketten auf Lochkarten und Lochbänder vollzogen. Diese Codiermaschinen griffen ein einfaches Verfahren, das schon Hollerith bei seiner Volkszählung 1890 angewendet hatte, wieder auf. In fest verdrahteten Computern führte die Wahl eines speziellen Befehls zu einer Codierung auf der Maschinenebene. So wie Holleriths Lesestifte eine Karte unter einer bestimmten Fragestellung abtasteten und abzählten, funktionierte umgekehrt die Codierungstechnik, indem einem Befehl eine ganze Reihe von Null-Eins-Ketten auf der Lochkarte oder dem Lochband zugewiesen wurden. Mit dem Einführen der Lochkarte oder des Lochbandes in den Rechner wurden die darauf codierten Befehle ausgeführt. Man kann dieses Verfahren auch als Offline-Programmierung bezeichnen, da der Prozeß des Karten- oder Band-Herstellens von der eigentlichen Programmausführung getrennt wurde, um die teuren Rechenressourcen zu sparen. Der Nachteil dieser Offline-Programmierung war die hohe Fehleranfälligkeit bei immer komplexer werdenden Programmen. Erst beim Abläufen des Pro-

gramms wurden die Fehler festgestellt, und man mußte an die Codiermaschine zurück, um neue Karten oder Bänder zu stanzen. Das Programmieren stellte eine erhebliche Anforderung an die Abstraktionsfähigkeit des Programmentwicklers. Probleme mußten zunächst theoretisch algorithmisiert werden, danach diese Algorithmen über eine Codiermaschine auf entsprechende Programmträger, Lochkarten, Lochbänder oder in Magnetspeicher, abgelegt werden, um dann dem Computer in dezidierten Schritten zugeführt zu werden. War das Programm einmal richtig geschrieben und fehlerfrei, konnte der Programmlauf beliebig oft wiederholt werden, weil die Logik des Problems, wie in Holleriths Lesemaschine, fehlerfrei abgetastet und ausgeführt wurde. Erst mit den elektrischen und elektronischen Speichermöglichkeiten im Computer konnte über die Integration dieser beiden Vorgänge nachgedacht werden. Damit begann die nächste Phase: die Online-Codierung, das Programmieren am Computer selbst. Die Übersetzung des Programmiercodes in die sogenannte Maschinensprache, das Kompilieren (ab 1952), hat sich bis heute erhalten.¹³⁹

3.7. Die technische Entwicklung des Computers und ihre Bedeutung für das Bildproblem

Um im folgenden mit den Bezeichnungen der einzelnen Techniken leichter umgehen zu können, ist es notwendig, die verschiedenen Entwicklungsstufen der computergestützten, elektronischen Bilderzeugung genauer voneinander abzugrenzen.

Es soll hier der Versuch gemacht werden, alle ersten, visuellen Ausgaben von Computern in mehreren Strängen zunächst getrennt darzustellen, um die Abhängigkeiten der jeweiligen Entwicklungen deutlich zu machen. Dieses technische Beziehungsgeflecht des Bildes am und aus dem Computer wird u.a. deutlich machen, daß die Entwicklung des Computerbildes nicht monokausal begründet werden kann. Der vorherrschende Topos, daß alle Computerentwicklungen wie z.B. die Entwicklung der Grafik, ihren Ursprung im militärischen Kalkül haben, sind angesichts dieser Zusammenstellung und Herleitung nicht mehr haltbar.¹⁴⁰ Die technischen Entwicklungen im Grafikbereich hängen eng mit gesellschaftlichen oder kulturellen Veränderungen zusammen. Die Ursprünge der Computergrafik liegen möglicherweise in einem komplexen Zusammenspiel von „Bedrohung“,¹⁴¹ speziellen Problemstellungen¹⁴² und Ökonomie, die bisher nicht analysiert worden sind. Die äußeren Gründe für die Entwicklung interaktiver Systeme - zu denen auch Grafiksysteme gehören - liegen nur zum Teil im militärischen Komplex. Eine weit größere Rolle spielen allgemeine Veränderungen in den Arbeits-

¹³⁹ Ein sog. Compiler ist ein Übersetzer, der Texte einer Programmiersprache in Texte einer Maschinensprache transformiert. Dabei ist der Compiler selbst eine Software, die in einer Tabelle alle Begriffe der Programmiersprache und die entsprechenden Maschinenbefehle enthält.

¹⁴⁰ Bei näherer Betrachtung zeigt sich, daß unterschiedliche Momente zur breiten Entwicklung der Grafik beigetragen haben. Vgl. Coy, s. Anm. 48, S. 24f.

¹⁴¹ Das Diktum des „kalten Krieges“ wird meist als Motor für die starke finanzielle Förderung der Computertechnologie verantwortlich gemacht. Vgl. Wulforst, Harry, Breakthrough to the Computer Age, o.O. 1982.

¹⁴² Eine dieser speziellen Problemstellungen ist die Krise der Bibliotheken in Amerika um 1920. Eine weitere die Suche nach neuen Inhalten nach dem Ende des 2. Weltkrieges und die daraus resultierende Situation der Forscher.

techniken, der allgemeinen Automatisierung und der Informationsvermittlung. Hier entstand letztlich auch der enorme Druck auf die lineare Struktur der Schriftkultur,¹⁴³ die durch Vernetzung in den elektronischen Medien die Simultaneität und Parallelität, zu erreichen sucht, die in der Wahrnehmung des „Bildes“ von vornherein gegeben ist.

¹⁴³ Flusser, Vilém, Medienkultur, Frankfurt 1997, S. 61ff. Vgl auch: Winkler, Hartmut, Docuverse, Regensburg 1997.

4. Die imaginären Bilder in der Maschine

Die Durchsetzung des universellen Rechenautomaten ist nicht rein aus der technischen Entwicklung erklärbar. Bettina Heintz versteht die Entstehung einer Lösung nicht als der Technik immanente Notwendigkeit, sondern als kommunikativen, der Zeit und den Möglichkeiten entsprechenden Prozeß. In unserem Zusammenhang geht es um die Frage, welchen Einfluß die Entscheidung für bestimmte technische Lösungen auf die Entwicklung des Bildes am Computer hatte. Das Problem der Überführung logischer Strukturen in den Bereich des Bildes erfordert es, technische Lösungen im komplexen Zusammenhang ihrer Folgeentwicklungen zu sehen. So versuchen wir Rückschlüsse zu ziehen von der Entstehung der universellen programmgesteuerten Rechenmaschinen auf den viel später entstehenden Topos des Computers als Bildmaschine. Dies ist nicht als kausale Kette technischer Entwicklungen erklärbar, sondern erfordert eine Untersuchung von Vorstellungsbildern oder Metaphern, die Übertragungen vom Menschen auf die Maschine vornehmen. Im umgekehrten Wege soll gezeigt werden, wie die technischen Möglichkeiten wiederum an das menschliche Sensorium angepaßt wurden. Es geht um die Frage: wie erhält die unanschauliche Rechenmaschine eine visuelle Rückkopplung?

4.1. Das Speicherbild

In der technologischen Entwicklung spielt der Speicher des digitalen Computers eine entscheidende Rolle. Im Gegensatz zu den erwähnten analogen Computern¹⁴⁴, die ein Modell des Abgebildeten darstellen und damit eine zum Dargestellten „analoge Abbildung“ des zu Messenden oder Berechnenden erlauben, muß der digitale Rechner alle Elemente so zerlegen, daß sie vom Rechner Schritt für Schritt bearbeitet werden können.¹⁴⁵

Die Abbildungen der einzelnen Arbeitsschritte auf dem von Turing beschriebenen „Papierband“ entsprechen einer Codierung und der Umwandlung einer Problemstellung in eine Symbolfolge.¹⁴⁶ Diese Transformation von Symbolreihen ist grundlegend für den Prozeß, in dem sich die Funktionsweise des Computers in die „Geschichte der Formalisierung“¹⁴⁷

¹⁴⁴ Analoge Rechner bilden Zusammenhänge ab, indem sie durch Drehen von Rädern oder verschieben von Stangen Quantitäten proportional darstellen. Es ist zwischen rein mechanischen oder elektrischen Analogrechnern zu unterscheiden, die entweder durch Bewegung mit Hilfe jeder Art von Mechanik oder durch Stromveränderung auf Basis von elektrotechnischen Vorgängen mit Hilfe von Stromquellen, Widerständen, Kondensatoren usw. arbeiten. Im Gegensatz zum Digitalrechner kann der Analogrechner jeden Zwischenwert einnehmen, der jedoch aufgrund der Ablesemethoden an der Maschine zu ungenaueren Angaben führen kann als beim Digitalrechner, dessen Genauigkeit letztlich eine Frage der Rechenleistung darstellt. Wann immer ein Analogrechner sein Ergebnis direkt auf eine ausführende Maschine übertragen kann, ist die Geschwindigkeit des Analogsystems größer als die des Digitalsystems.

¹⁴⁵ Die gleichzeitige Speicherung von Daten und Programmen im Speicher des Rechners hatte Zuse in seinem „Plankalkül“ bereits vorgedacht. Zuse, Konrad, Der Computer mein Lebenswerk, Berlin, Heidelberg 1984, S. 91ff.

¹⁴⁶ Siehe Krämer, Sybille, Symbolische Maschinen, die Idee der Formalisierung, Darmstadt 1988.
¹⁴⁷ Hierzu schreibt Sybille Krämer in klarer Sprache: „Bevor der Computer als wirkliche Maschine erfunden wurde, entwickelten wir den Computer in uns [...] eine Geschichte, in der wir gelernt haben, uns beim Operieren mit Zeichen so zu verhalten, als ob wir eine Maschine seien [...].“

einbettet. An dieser Stelle interessiert uns die Abbildung der zu verarbeitenden Daten in einem Speicher. Sie legt den Grundstein für die weitere Entwicklung und einen Schritt hin zum „Bild“ am Computer.

4.2. Vom ENIAC zum EDVAC

Der ENIAC war als Rechenmaschine für die Erstellung von Feuertabellen entwickelt worden.¹⁴⁸ An das ausführende Ballistic Research Laboratory kam auch John von Neumann (Abb. 20), der zusammen mit Turing in Princeton gearbeitet und gelehrt hatte. Neumann, als „consultant“ für das Los Alamos Projekt¹⁴⁹ verpflichtet, war an einer numerischen Lösung des Problems interessiert, eine Formel für die Berechnung der notwendigen Druckwelle zur Zündung einer Atombombe zu finden.¹⁵⁰ Der ENIAC erschien von Neumann 1945 nicht flexibel genug für seine mathematischen Anforderungen.¹⁵¹ Noch bevor ENIAC vollständig fertiggestellt wurde, entwickelte er bereits ein neues Konzept für einen programmgesteuerten Computer, den EDVAC.¹⁵²

John von Neumann schrieb in seinem Konzept:

“The three specific parts CA, CC (together C) and M,¹⁵³ correspond to the associative neurons in the human nervous system. It remains to discuss the equivalents of the sensory afferent and the motor or efferent neurons. These are the input and the output organs of the device, and we shall now consider them briefly.”¹⁵⁴

Denn Computer sind nichts anderes als Maschinen, mit deren Hilfe wir mittels Formation und Transformation von Zeichenreihen symbolische Welten aufbauen.“ Siehe Anm. 146, S. 4.

¹⁴⁸ Hagen, s. Anm. 108, S. 214.

¹⁴⁹ Die Entwicklung der ersten Atombombe der USA. Vgl. Goldstine, s. Anm. 8, S. 194. Die Rolle von Neumanns für die Entwicklung des programmgesteuerten digitalen Computers ist auch deshalb von besonderer Bedeutung, weil unter Mathematikern bis zu diesem Zeitpunkt eine ablehnende Haltung gegenüber Computern vorherrschte. Im Zusammenhang mit der Untersuchung von Implosionen in Los Alamos arbeitete von Neumann an Lösungen für nichtlineare Gleichungen in der Strömungsdynamik. Dafür standen zu dieser Zeit nur extrem zeitaufwendige Verfahren zur Verfügung. Insofern stellten die neuen Elektronenrechner eine Möglichkeit dar, schneller an die gewünschten Lösungen zu gelangen, wenn diese auch nur Approximationen waren und daher von anderen theoretischen Mathematikern als inakzeptabel zurückgewiesen wurden. Von Neumann verfolgte jedoch die Linie der angewandten Mathematik, die Annäherungen an theoretische Lösungen durch Berechnung nicht nur für ausreichend, sondern auch ihrerseits wieder für bedeutungsvoll im Zusammenhang mit weiteren theoretischen Erkenntnissen hielt. Vgl. Stern, Nancy, John v. Neumann’s Influence on Electronic Digital Computing, 1944 – 1946, in: Annals of the History of Computing, Vol 2, No 4, Oktober 1980, S. 349–362.

¹⁵⁰ Hagen, s. Anm. 108, S. 215.

¹⁵¹ Der ENIAC mußte wie die meisten Rechner von Hand auf eine neue Problemstellung eingestellt werden. Außerdem führten die tausenden von Röhren immer wieder zu Ausfällen. Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 91.

¹⁵² Auf der Basis dieses Konzeptes arbeiten alle heutigen Computersysteme, abgesehen von Parallelrechnern. Der erste funktionstüchtige Rechner mit dieser Architektur war allerdings der in England von Wiles gebaute EDSAC. Vgl. Goldstine, s. Anm. 8, S. 240.

¹⁵³ CA=Central Arithmetik, zentrale Recheneinheit. CC=Central Control, zentrale Steuereinheit. M=Memory, Speicher.

Die Zusammenarbeit der verschiedenen Steuerungsteile des neuen Computers (EDVAC) bildeten aus von Neumanns Sicht „Organe“, die verschiedene Aufgaben besser bearbeiten konnten, als dies bisher der Fall gewesen war. Die Kommunikation mit dem Speicher wurde über das Leitwerk gesteuert. Das Rechenwerk führte die Operationen aus, die gemeinsam mit den Daten im Speicher aufbewahrt wurden. Ein- und Ausgabewerke ermöglichten den Rückfluß von Daten und Anweisungen in das Leitwerk bzw. das Rechenwerk. Durch das Zusammenspiel dieser getrennten Einheiten wurde der programmgesteuerte Verarbeitungsablauf ermöglicht, der im Begriff des minimalen Universalrechners zusammengefaßt wird.¹⁵⁵

Eine solche Anlehnung an das menschliche Nervensystem machte den elektronischen Rechner, der nach einer Anweisung Operationen ausführt, zu einer antropomorphen Maschine. Die enge Anlehnung, die John von Neumann an bestimmte Funktionsweisen des menschlichen Gehirns vornahm, drückte die zu seiner Zeit vorherrschende Einstellung der Kybernetik¹⁵⁶ aus, auch den Menschen als ein im Prinzip maschinell operierendes Wesen zu betrachten. Durch die Übertragung von menschlichen Metaphern auf die Maschine ermöglichte er ein Bild vom zukünftigen Computer zu entwerfen. In den weiteren Ausführungen von Neumanns wird deutlich, daß das entscheidende Moment dabei die „Alles-oder-Nichts“-Charakteristik der menschlichen Neuronen ist. Die Funktionsweise der Neuronen wird zur entscheidenden Anregung für einen mit nur zwei Zuständen operierenden Computer.¹⁵⁷

Eine Grundvoraussetzung für diesen praktisch umgesetzten, universellen Computer¹⁵⁸ war die Nutzung des dualen Zahlensystems. Mit der Zerlegung in die Organe sollte erreicht werden, daß der Rechner unabhängig von der Struktur der Probleme wurde, die er zu bearbeiten hatte. Die spezifischen Aufgaben konnten dann von Außen mit Hilfe eines Programms als Verarbeitungsvorschrift am Eingabewerk der Maschine zugeführt werden. Der Speicher nahm die zu verarbeitenden Daten und die Bearbeitungsvorschrift (das Programm) auf. Jeder der Speicherplätze erhielt eine eindeutige Adresse, wodurch Daten eingeschrieben und ausgelesen werden konnten. Diese Speicheradressen waren Nummern. Aus diesen wurden die aufeinanderfolgenden Befehle des Programms in der Regel der Reihe nach ausgelesen. Dies hatte den Vorteil, daß zum Aufruf des nächsten Befehls die Nummer des Speichersegments immer nur um eins erhöht werden mußte. Durch Sprungbefehle konnten Werte oder Anweisungen aus anderen Speicherbereichen geholt und durch bedingte

¹⁵⁴ Neumann, John von, First Draft of a Report on EDVAC, in: Randall, Brian, The Origins of Digital Computers, Berlin 1982, S. 383–392.

¹⁵⁵ Lexikon Informatik und Datenverarbeitung, Schneider, Hans-Jochen (Hrsg.), München / Wien / Oldenbourg 1997, S. 946.

¹⁵⁶ Vgl. Wiener, Norbert, Mensch und Maschmaschine. Kybernetik und Gesellschaft. Frankfurt/M. 1952. Das Original erschien bereits 1948.

¹⁵⁷ „It is worth mentioning, that the neurons of the higher animals are definitely elements in the above sense (indem sie nur zwei Zustände einnehmen können, ähneln sie eben den genannten Relais). They have all-or-none character, that is two states: quiescent and excited.“ Siehe Anm. 154, S. 388.

¹⁵⁸ „Jene Logik der Turingmaschine und ihrer Maschinentafel, eine hochabstrakt theoretische Maschine zur Lösung des Entscheidungsproblems in der Mathematik, wandelte Neumann in die Architektur eines existierenden universellen Mediums um.“ Hagen, s. Anm. 108, S. 217.

Sprungbefehle das Programm durch das Eintreten bestimmter Bedingungen (z.B. beim Erreichen eines bestimmten Wertes) verzweigt werden.

Nur durch die totale Sequenzierung aller Schritte¹⁵⁹ und die Ablage aller Daten und Anweisungen im Speicher konnte die Aufgabe, die gestellt wurde, immer komplexer werden. Dabei muß der Speicher nicht nur groß genug (genügend Speichersegmente), sondern auch im Rhythmus der Verarbeitung der Einzelschritte durch das Rechenwerk entsprechend schnell sein.¹⁶⁰ Der Speicher wurde in den verschiedensten Techniken realisiert, stets geleitet von den Anforderungen an Geschwindigkeit und Verlässlichkeit. Allen physikalischen Speicher- methoden war das Prinzip der Adressierbarkeit gemeinsam. Nur durch die genaue Benennung des Ortes, an dem eine Information abgelegt wurde, konnte diese im nächsten Schritt gelesen und zur Weiterverarbeitung verwendet werden. Auch die spätere Einführung von verschiedenen Speicherebenen sowie spezielle Mappingverfahren des virtuellen Speichers, die den adressierbaren Speicher vergrößerte, änderten nichts an der grundsätzlichen Überlegung der Adressierbarkeit.

Adressieren einer Information ist die Lokalisation eines Informationsbits in einem Ordnungsgefüge. Der Speicher stellt somit im Computer immer ein Momentbild des Zustandes bereit, in dem sich die Maschine gerade befindet. Das Lesen des Zeichens im Speicher sowie das Lesen der Anweisung, was mit dem Zeichen als nächstes geschehen sollte, stellen die primäre Funktionsweise jedes Computersystems dar, das es bis heute gibt.

Daß der Speicher seine Informationen möglichst kompakt im Raum anordnen mußte, war naheliegend.¹⁶¹

John von Neumanns Forderung nach einem mikroskopischen Speicher deckte sich mit der Entwicklung der Röhrenspeichertechnologie,¹⁶² die Williams und Kilburn federführend in England vorantrieben, sowie mit der amerikanischen Entwicklung der „Selectron“ Röhre. „The Memory Organ“ heißt der vierte Abschnitt einer von ihm mitverfaßten Schrift über das logische Design eines Computers.¹⁶³ In diesem Abschnitt wird deutlich, wie die theoretischen Überlegungen innerhalb der damals zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zur

¹⁵⁹ Bisherige Systeme wie der Harvard Mark I hatten eine parallele Architektur.

¹⁶⁰ Die Suche nach Lösungen schloß die bis zu diesem Zeitpunkt genutzten Mittel Lochkarte und Lochband weitgehend aus, da diese für die Geschwindigkeit des internen Rechenwerks nicht schnell genug waren. Vgl. Smith, Richard E., A Historical Overview of Computer Architecture, in: Annals of the History of Computing, Vol 10, No 4, 1989, S. 277–303.

¹⁶¹ Eine Ausnahme bildeten hier lediglich die Verzögerungsspeicher-Röhren (Delay Lines), die mit einer gänzlich anderen Anordnung arbeiteten. Zwischen zwei piezoelektrischen Elementen liegt eine Flüssigkeit in einer Röhre, die die eingehenden elektrischen Impulse in Form von Druckwellen wesentlich langsamer zum zweiten Piezoelement leitet als ein elektrischer Leiter. Innerhalb dieser Verzögerung konnten je nach Länge des Rohres temporär eine große Anzahl von Bits „zwischengespeichert“ werden. Eckert, der diese Technik im ENIAC einsetzte, reduzierte auf diese Weise die große Zahl von Röhren, die für eine solche Speichereinheit benötigt wurden. Vgl. Goldstine, Siehe Anm. 8, S. 190.

¹⁶² Zur tiefergehenden Erläuterung der Funktionsweise der Williams Röhre vgl. <http://www.cs.man.ac.uk/CCS/ssem/ssemart3.htm>.

¹⁶³ Burks, Arthur; Goldstine, Hermann; Neumann, John v., Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument (1945), in: Randell, Brian (Hrsg.), The Origin of Digital Computers, New York 1982, S. 399–415.

Nutzung der Bildschirmröhre als Speichermedium führten. Die damals zur Verfügung stehende Möglichkeit der Speicherung der 0/1-Information waren Flip Flops, die durch Röhren gebildet wurden. Diese bistabilen Schaltelemente konnten je nach Schaltzustand 0 oder 1 darstellen. Eine einfache Berechnung der notwendigen Anzahl an Röhren für eine universale Rechenmaschine, die zu Speicherbänken geschaltet waren (Flip Flops), verdeutlicht die Schwierigkeiten, die hierdurch entstehen würden. Bei einer angenommenen Speichergröße von mehreren tausend „Wörtern“¹⁶⁴ und einer Wortlänge von 40 Bit müßte sie ca. 10^5 Elemente groß sein. So schreibt von Neumann:

„We must therefore seek out some fundamental method of storing electrical information that has been suggested above. One criterion for such a storage medium is that the individual storage organs, which accomodate only one binary digit each, should not be macroscopic components, but rather microscopic elements of some suitable organ. They would then, of course, not be identified and switched to by usual macroscopic wire connections, but by some functional procedure in manipulating that organ.“¹⁶⁵

Der visionären Kraft dieser Überlegungen kann man sich kaum entziehen, zeigen sie doch, daß die Notwendigkeit der mikroskopischen Abbildung von Speicherstellen, wie sie sich in den ersten integrierten Schaltkreisen darstellte, von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe klar erkannt wurde. Der Speicher als zentrales Gehirn der Maschine mußte mit den wachsenden Aufgaben gleichzeitig immer kleiner werden. Bei der Williams-Röhre (Abb. 21) hatte die Metapher des Bildes, das durch die Adressierung der Pixel durch einem Elektronenstrahl entstand, eine direkte Relation zur Komprimierung der Information auf der Fläche.

Der Lichtstrahl der Röhre hinterließ durch einen stärkeren Strahl einen hellen Leuchtpunkt auf der mit Phosphor beschichteten Mattscheibe. Die so aufgebrachte Ladung auf der Innenseite der Bildschirmfläche, konnte mit einem schwächeren Strahl wieder ausgelesen werden. Um die Speicherinhalte zu erhalten, mußten sie in regelmäßigen Abständen durch einen erneuten Strahl aufgefrischt werden.

Die entmaterialisierte Steuerung des Lichts durch elektromagnetische Felder und die enge Anordnung von Lichtpunkten nebeneinander auf der Matrix des Bildschirms konnten die Anforderung, mehr Speicherplatz auf weniger Raum zu liefern, zunächst am besten erfüllen. Den Speicher als ein „Bild“ oder als Medium der Abbildung von Zuständen der universalen Maschine zu betrachten, ist daher keine erzwungene Analogie. Auch wenn sich im Laufe der Zeit der Speicher zu einer virtuellen Siliziummatrix gewandelt hat, wie er sich heute in Mikroprozessoren darstellt, hat sich doch ein Bild vom Speicher als „Image“ erhalten: als das „Image“ nämlich, das sich der Computer von der ihn umgebenden Welt machen kann und das sich in seinem Gegenüber, dem menschlichen Geist, als Gedächtnisbild darstellt. Wir

¹⁶⁴ Die entsprechende Bezeichnung wäre heute ein Byte, das aus 8 Bit gebildet wird. Je nach Anzahl der Bits in einem „word“ ist letztlich die Größe des Speichers berechnet, der zur Aufnahme von „words“ benötigt wird.

lesen unsere Umgebung nicht, sondern nehmen sie wahr. Die serielle Abarbeitung des Speicherinhaltes ist in diesem Zusammenhang nur eine vorübergehende Erscheinung, die die technologischen Bedingungen und ökonomischen Zwänge reflektiert,¹⁶⁶ aber in keinem Zusammenhang mit der Metapher des Bildes steht. Das Bild ist der Ausdruck für die höchstmögliche Komprimierung von Information und Adressierung durch das Licht in den zwei Raumdimensionen.

Im Laufe des technischen Fortschrittes löst sich die Metapher von der technologischen Basis. Die elektronische Miniaturisierung des Speichers durch integrierte Transistoren ist die Reduzierung des Bildraumes unter die Schwelle unseres Auflösungsvermögens. Der Antrieb der Verkleinerung steckt in der Anwendung der Regel, daß die kleinste Schalteinheit gleichzeitig auch die kleinste Informationseinheit unserer Welt sein soll. Von hier aus ist es zur Imagination des Quantencomputers, dessen Schalteinheiten Atome sind, theoretisch nur ein kleiner Schritt.¹⁶⁷

4.3. Bildsichtgeräte als interaktive Referenzsysteme

Da Computer Programme ausführen sollten, mußte ihr korrekter Verlauf verfolgt werden können. Je stärker die Systeme nach außen abgeschlossen wurden, desto mehr Abbilder innerer Vorgänge mußten an der Oberfläche der Bedienpults realisiert werden, um den Verlust an haptischer Qualität auszugleichen.

Zum Testen und Überprüfen des Speichers, ohne den die Verarbeitung der Informationen unmöglich war, wurden von Beginn an Oszilloskope genutzt. In den Anfängen der Datenverarbeitung konnten die meisten Programme nur funktionieren, wenn ständig die Spannung und die Frequenz der Bauteile kontrolliert wurden. Auf diese Weise wurde schon vorher die Maschine beobachtet, um ihre allgemeine Funktionstüchtigkeit zu prüfen.

Im Mark I an der Manchester University wurde zu Beginn der Entwicklung 1948 das Speicherproblem mit den genannten Williams-Röhren gelöst.¹⁶⁸ Sie erlaubten, je nach Größe der

¹⁶⁵ Burke, s. Anm. 163, S. 403.

¹⁶⁶ John v. Neumann schreibt dementsprechend, daß nicht notwendigerweise der Speicher seriell ausgelesen werden muß, sondern ebenso die Elemente parallel in mehrere Röhren geschrieben werden können und damit auch parallel wieder aus ihnen ausgelesen werden. Burke, s. Anm. 163, S. 403.

¹⁶⁷ In neuerer Zeit ist daher das erklärte Ziel die Entwicklung von solchen Quantencomputer. Auf der Ebene der Atome ließen sich Computer und Speicher entwerfen, die um das tausendfache kleiner wären als heutige Systeme. Vgl. Gershenfeld, Neil; Chuang, Isaac L., Flüssige Quantencomputer, in: Spektrum der Wissenschaften, 8/1998, S. 54-61.

¹⁶⁸ Williams testete seine erste Speicherröhre 1948 in der sog. „baby machine“. Speicherröhren wurden auch in den zu dieser Zeit parallel laufenden Projekten Univac, Whirlwind und SSEC verwendet. Je nach Anforderung wurden diese Speichermethoden durch Trommelspeicher als Sekundärspeicher ergänzt. Im Projekt ENIAC liefen ebenfalls Tests mit Speicherröhren, durchgeführt durch Herman Lukoff, die unter dem Namen Selectron bekannt wurden. Eingesetzt wurden jedoch Delay Lines.

Bildschirmmatrix (Abb. 22), die Abspeicherung von Informationen in Reihen und Spalten.¹⁶⁹ Auch Forresters Whirlwind arbeitete zunächst mit Speicherröhren. Sie wurden später, aufgrund steigender Anforderungen an Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit, durch die Entwicklung des Kernspeichers (core-memory) verdrängt.¹⁷⁰

Die entscheidende Aufgabe für den Techniker, der sich mit dem Aufbau und der Kontrolle des Speichers beschäftigte, war es, einen Weg zu finden, das ordnungsgemäße Funktionieren des Speichers zu überprüfen. In dieser Beziehung lagen die elektrostatischen Röhrenspeicher außerordentlich nahe. Herman Lukoff berichtet:

„One advantage of the CRT memory was that it did not require an additional oscilloscope to see the stored data which was clearly visible on the face of the memory cathode ray tube.“¹⁷¹

Um 1951 war der Begriff „Peeping“¹⁷² geläufig, den die Operateure des fertigen Ferranti Mark I im englischen Manchester verwendeten.¹⁷³ „Peeping“ bedeutete die Beobachtung der einzelnen Programmschritte, die im Speicher abgearbeitet wurden (Abb. 23). Turing ging noch einen Schritt weiter, indem er zum „Peeping“ noch die „Checksheets“ einführte. Der Bildschirm, der zur Kontrolle verwendet wurde, repräsentierte die Speicherstellen in der elektrostatischen Williams-Röhre (Abb. 24). Die Speicherbereiche waren in Raster von jeweils 5 zu 5 Lichtpunkten eingeteilt. Auf dem Bildschirm konnten die aktuellen Vorgänge beobachtet werden. Hierfür standen verschiedene Methoden zur Verfügung. Eine von ihnen ermöglichte, den Ablauf des Programms zu simulieren, indem das gesamte System einem sogenannten Trockenlauf unterzogen wurde, bei dem die einzelnen Schritte ohne die eigentlichen Rechenfunktionen abliefen. Turing führte sein Checksheet-Verfahren durch, indem er die aufglühenden Punkte auf dem CRT mit Markierungen auf einem Papier verglich, die die gleiche räumliche Anordnung der Punkte bei den spezifischen Schritten zeigten.¹⁷⁴ An diesem visuellen Kontrollmechanismus zeigte sich die Effektivität der grafischen Kontrolle bereits sehr früh. Schon bei diesen relativ einfachen Programmen erschien die symbolische Überprüfung reiner Muster wesentlich einfacher als das Vergleichen von Teletypausdrucken. Die Programmierung des EDSAC arbeitete 1949 auf ähnliche Weise, auch wenn die vorherrschende Speichertechnologie hier die „Delay Lines“ waren.¹⁷⁵ Die Speicherinformationen der „Delay Lines“ wurden einfach auf entsprechende Monitore, die Speichersegmente darstellten, umgeleitet. Neben der erwähnten Anschauung der Binärdaten (Lichtpunkt/kein

¹⁶⁹ Lukoff, Herman, *From Dits to Bits*, Oregon 1979, S. 71.

¹⁷⁰ Vgl. Pugh, Emerson W., *Memories That Shaped an Industry*, MIT Press, Cambridge 1984, A Memory from Whirlwind. Vgl. auch Smith, s. Anm. 160, S 284.

¹⁷¹ Lukoff, s. Anm. 169, S. 88.

¹⁷² Peeping: engl. Ausdruck für einen schnellen Blick in das Innere eines Gebäudes oder eines Fensters. Meist ist es ein heimlicher Blick, der ohne Wissen der Beobachteten erfolgt.

¹⁷³ Campbell-Kelly, Martin, *Programming the Mark I, Early Programming Activities at the University of Manchester*, in: *Annals of the History of Computing*, Vol 2, No. 2, April 1980, S. 130-168.

¹⁷⁴ Campbell-Kelly, s. Anm. 173, S. 154ff.

¹⁷⁵ Campbell-Kelly, Martin, *Programming the EDSAC, Early Programming Activities at Cambridge*. *Annals of the History of Computing*, Vol. 2, No. 1, January 1980, S. 5-36.

Lichtpunkt) auf den Bildschirmen konnten auch Töne ausgegeben werden. Ein Lautsprecher wurde durch die verschiedenen Zustände im Akkumulator moduliert und machte so den Verlauf des Programms akustisch wahrnehmbar.¹⁷⁶

4.4. Der Einblick in den Computer

Der Computerbildschirm ist als neue Form der platonischen Höhle beschrieben worden.¹⁷⁷ Der Speicher und das Rechenwerk des Computers sind, auf der Basis des Radars, die erste „platonische Höhle“ der Neuzeit. In ihrer Folge werden die reinen Instrumentenflüge und der Autopilot in den modernen Jets möglich. Der Black Box-Computer benötigte ein Sichtfenster in die elektronischen „Eingeweide“. Der Zweck der Monitore war zunächst hierauf beschränkt. Da die Eingabe der Informationen traditionell über Lochkarten, Lochbänder und die späteren Magnetbänder erfolgte, war der Bildschirm als mögliches Interface noch nicht entdeckt. Lukoff berichtet dementsprechend von einer der ersten Computer Conference in Harvard im Januar 1947. Dort demonstrierte ein junger Ingenieur namens Fuller¹⁷⁸, ein Verfahren, genannt „numeroscope“, mit dem man Zahlen auf einem Bildschirm darstellen konnte.

„He was years before his time. It took twenty years for the concept to flourish“.¹⁷⁹

Die Erstellung der Programme erfolgte in den fünfziger Jahren über die Eingabe an einem Teletyper, der in der Regel an einen Lochstreifenstanzer angeschlossen war. Jedes Teilprogramm¹⁸⁰ wurde auf einen eigenen Streifen gestanzt, um dann auf einen Gesamtstreifen durch den Kopierautomaten gestanzt zu werden. Die Kontinuität des Programms, das aus organisatorischen Gründen in mehrere Einzelschritte zerlegt wurde, konnte erst durch den mehrfachen Kopierprozeß wiederhergestellt werden. Das Lesen dieser Bänder erfolgte

¹⁷⁶ Campbell-Kelly, s. Anm. 175, S. 25.

¹⁷⁷ Bredekamp, Horst, Der simulierte Benjamin, s. Anm. 12, S. 117. Vgl. auch in der Folge Bazon Brock „Die platonischen Höhlen jüngerer Baureihe sind das Bergwerk, das U-Boot auf Tauchfahrt, die Nachtflugmaschine, der autopilotgesteuerte und der Instrumentenflug, das Raumschiff, das Netzwerk der kommunizierenden Computer. Ihnen allen ist ein nur noch durch Anschauung von Instrumenten gegebener Bezug auf die Umwelt der Systeme gemeinsam, ohne das den Bewohnern der Höhlen, den Operatoren und Passagieren noch eine orientierunglenkende Vorstellung der Außenwelt möglich oder nötig wäre.“ Brock, Bazon, Von Höhlenschatten zu neuronalen Höhlensymbolen. Vgl. Platons Höhle, Fehr; Krümmel; Müller (Hrsg.), Köln 1995, S. 21-24, hier S. 21.

¹⁷⁸ Fuller und sein Verfahren scheinen vergessen zu sein. Nicht einmal die Harvard Universität hat in ihren Internet Seiten ein Wort für ihn übrig. Auch in der sonstigen Literatur wird Fuller nicht erwähnt. Sein Papier liegt als Kongreßtyposcript vor. Es wurde mir freundlicherweise von Prof. Williams, Universität Calgary, zur Verfügung gestellt. Das Papier beschreibt Fullers Ansatz mit Hilfe mehrerer Oszilloskope und einem Highspeedfilm, die Daten aus einem Speicherregister abzubilden und aufzunehmen. Er stellte sich vor, daß dies eine weit kostengünstigere und damit auch schnellere Methode sei, Daten, die der Computer berechnete, aufzubewahren.

¹⁷⁹ Lukoff, s. Anm. 169, S. 60.

¹⁸⁰ Schon sehr früh, mit der Nutzung von Speichercomputern, hatte sich die Methode zum Schreiben von Programmen in einzelnen Routinen durchgesetzt. Durch solche Schleifen konnten die frühen Programme übersichtlich gehalten werden.

bereits beim Colossus durch Fotozellen,¹⁸¹ die mit einer Maskierung versehen waren, um trotz der hohen Geschwindigkeit, mit der das Lochband an der Fotozelle vorbeilief, einen möglichst klaren Lichtpunkt zu erhalten. Diese Methode, das Programm in den Speicher einzugeben, wurde bei fast allen folgenden Computergenerationen beibehalten. Nach der Eingabe erfolgten die Rechenschritte in der Maschine und die Ausgabe des Ergebnisses. Der Ladevorgang des Programms stellte damit einen kritischen Punkt dar, an dem die Funktionstüchtigkeit des gesamten Vorgangs erst festgestellt werden konnte. Erst wenn das Programm mit den Daten und den einzelnen Rechenschritten im Speicher stand, setzte die Beobachtung an den ersten Röhrenspeicher-Bildschirmen ein. Mit dieser Differenz zwischen dem Ladevorgang und dem beobachteten Rechenvorgang stellte sich frühzeitig eine weitere Forderung ein, die letztlich den Bildschirm als Interface zur interaktiven Steuerung hervorbrachte: erst wenn das Programm in die Lochkarten oder das Lochband gestanzt war, konnte ein Fehler im Programm festgestellt und möglichst genau in diesem Primärspeicher lokalisiert werden. Dann mußte die betroffene Stelle neu codiert und auf der Kopiermaschine ein neues Band hergestellt werden. Hierdurch wurde die Programmierung zu einem ausgesprochen zeitintensiven Unterfangen.¹⁸² In Cambridge, wo der EDSAC 1948 zu den ersten programmgesteuerten Rechnern der Welt gehörte, bedeutete ein Fehler im Lochstreifen, sich jeweils in einen Raum im höheren Stockwerk zu begeben, um dort den Fehler auf dem Band zu beseitigen, um es dann erneut einlesen zu können. Wilkens schreibt in seinen Memoiren:

„It was one of my journeys between the EDSAC room and the punching equipment that hesitating at the angels of stairs the realisation came over me with full force that a good part of the remainder of my life was going to be spent in finding errors in my own programs.“¹⁸³

Interaktivität mußte also zunächst auf der Ebene des „debuggens“¹⁸⁴ entstehen, um die enormen Zeitaufwände, die durch die komplexen Probleme des Programmierens entstanden, zu kompensieren. Eine verbesserte Interaktivität verkürzte die Zeit zwischen Entwurf, Erstellung des Lochbandes, Eingabe des Programms, Beobachtung des Speichers und der Feststellung, ob das Programm richtig erstellt worden war.

Innerhalb der mit stärkerem Andrang immer kürzer werdenden Zeit, die für die einzelnen Programmierer zur Verfügung stand, wurde selbst das Beobachten des Speichers, das

¹⁸¹ Randell, Brian, Colossus: Godfather of the Computer, in: Randell (Hrsg.), The Origin of Digital Computers, New York 1982, S. 349–354, hier S. 350.

¹⁸² Campbell-Kelly, Martin, The Airy Tape: An Early Chapter in the History of Debugging, in: Annals of the History of Computing, Vol. 14, No. 4 1992, S. 20.

¹⁸³ Campbell-Kelly, s. Anm. 182, S. 22.

¹⁸⁴ Der Begriff „Bug“ soll aus einem Eintrag in das Betriebsbuch des MARK II Computers entstanden sein. Darin wurde ein, innerhalb des Computers gefundener Käfer (bug), eingeklebt, da dieser für einen Kurzschluß innerhalb der Elektrik verantwortlich gemacht wurde. Vgl. Annals of the History of Computing, Vol. 3, No. 3, July 1981, S. 285-286. Einem Leserbrief an die Annals of the History of Computing ist der Begriff „bug“ als Ausdruck für den Fehler innerhalb

„peeping“, zu einem Luxus. Wilkes führte daher ein Verfahren ein, das durch einen jungen Ingenieur am EDSAC entwickelt wurde. Statt das „Scheitern“ des Programms live beobachten zu können, wurde lediglich eine Routine eingefügt, die, wann immer der Rechner sein Programm nicht ordnungsgemäß beenden konnte, weil ein Fehler im Programm vorlag, ein sogenanntes „post mortem“ Abbild ausgab.¹⁸⁵ Aus Zeitmangel erlaubte man den Programmierern also erst „nach dem Ableben“ ihres Programms einen Blick auf den Inhalt des Speichers, dem sie dann entnehmen konnten, an welcher Stelle ihres Programms sich ein Fehler eingeschlichen hatte. Da sie die Speicherröhre nicht mehr beobachten konnten, wurden sie, sobald ihr Programm nicht lief, mit dem post mortem-Abbild des Speichers an ihren Schreibtisch verwiesen, an dem sie gewissermaßen offline den Fehler recherchieren konnten. Damit machten sie einem neuen Programm Platz, das dann wiederum über den Lochstreifenleser eingegeben werden konnte.

Ein weiterer Schritt in Richtung Interaktivität war die 1950 von Stanley Gill eingeführte „trace routine.“¹⁸⁶ Dieses Programm kommentierte die einzelnen Schritte und ersetzte damit zunehmend die Beobachtung der Speicherröhre. Eingeführt wurde gewissermaßen eine Selbstbeobachtung der Maschine, die dann auf dem Drucker jeweils beschrieb, was im einzelnen geschah.

4.5. Zusammenfassung

Von Neumann legt mit seinen Vorschlägen zur Computerarchitektur die Grundlagen für die praktische Entwicklung universeller Rechner. Mit der Methode zur Speicherung von Daten und Verarbeitungsanweisungen wird verzweigtes Programmieren möglich. Erst mit der Beobachtung des Speichers beginnt die Phase einer komplexeren Programmierung. Anhand des Speicherbildes konnte der Verlauf des Programms geprüft und eventuelle Fehler in der Codierung aufgespürt werden. Die notwendige Zerlegung von Problemen in eine sequenzielle Codierung, um sie gemäß der von Neumann-Architektur schrittweise abzuarbeiten, erforderten diese visuelle Rückkopplung. Zunächst wird die Williams-Röhre entwickelt, die es ermöglicht, die gespeicherten Informationen noch direkt abzulesen und zu verfolgen. Im weiteren Verlauf der Entwicklung bleibt aber die visuelle Kontrolle des Speichers erhalten, auch wenn sich die darunterliegende Speichertechnologie wandelt. Die Grundforderung für

einer Maschine aber schon seit 1889 bekannt. *Annals of the History of Computing*, Vol. 6, No. 2, April 1984, S. 164.

¹⁸⁵ Diese post mortem-Abbilder werden immer noch zur Feststellung von Fehlern in Programmen verwendet und sind nichts anderes als die Ausgabe der zur Zeit im Speicher stehenden Befehle oder Daten auf dem Drucker oder dem Bildschirm. Dem, der nichts vom Programmieren versteht, sagen solche post mortem-Abbilder natürlich gar nichts. Daher bestätigen sie immer wieder das Urteil über Programmierer, die mehr oder weniger in einer anderen Welt leben müssen, um mit diesen Zahlenkolonnen etwas anfangen zu können.

¹⁸⁶ Auch Tracingprogramme werden heute bei allen Programmiersprachen verwendet. Sie sind im Prinzip die einzige Möglichkeit, das Programm beim Durchlaufen der verschiedenen Schleifen zu beobachten, um festzustellen, an welcher Stelle oder in welcher Schleife das Programm hängen bleibt. Heute erscheinen die Kommentare der Traceprogramme in einem

die schnelle Verarbeitung von Daten und Programm, ein wahlfreier Zugriff auf jede Speicheradresse, legt die Organisation in einer zweidimensionalen Matrix nahe. Serielle Speichermedien wie die „delay lines“ geraten daher gegenüber der Williams-Röhre und später dem „core memory“ mehr und mehr ins Hintertreffen. Programmieren wird im wesentlichen „Fehlersuche“. Die hierfür entwickelte technische Unterstützung ist die Einrichtung zur Beobachtung des Speichers. Mit der Zunahme der Zahl der Programmierer, die an den frühen Computern ihre Aufgaben lösen wollen, wird der einzelne Benutzer aus Zeitgründen wieder von der direkten Sicht auf den Speicher verdrängt. Die Entstehung des Bildschirms ergibt sich zunächst aus der mangelnden Transparenz der frühen Programmierung. Mit der zunehmenden Vereinfachung der Programmiersprachen und der Programmierung insgesamt verliert der Bildschirm als Kontrollinstrument für die Nutzer an Bedeutung, um dann später, als wieder mehr Interaktivität gefordert ist, erst recht wichtig zu werden.

5. Das Bewegliche Computerbild

5.1. Der Bildschirmpunkt und die Zeit

Was eine Simulation ist, wird je nach Blickwinkel sehr unterschiedlich definiert. Wir gehen zunächst von der eher technischen Definition aus, welche die Simulation als eine Anwendung betrachtet, die das dynamische Verhalten von Systemen darstellen kann. Desweiteren ist eine simulierte Benutzerumgebung ein System, das wechselnde Zustände durch sich ändernde Symbole darstellen kann, auf die der Benutzer reagiert und in die er gegebenenfalls eingreifen kann.¹⁸⁷ Modellbildung ist keine Erfindung des Computerzeitalters, auch wenn die Strategen der Computerentwicklung die virtuelle Realität als Errungenschaft des Rechnerzeitalters darstellen wollen. Modelle sind geistige Konstrukte, die durch geeignete technische Medien repräsentiert werden können. Der Sinn des Modells ist die idealisierte Konstruktion eines Vorgangs oder Ereignisses, um Rückschlüsse auf natürliche Ereignisse zu ermöglichen. Als Simulation wird ein Modell erst dann bezeichnet, wenn die zeitliche Entwicklung des Modells durchgespielt wird. Computer müssen dabei nicht zwingend zum Einsatz kommen. Ein bekanntes Beispiel ist die Simulation der Schwerelosigkeit durch den Flug einer Parabel mit einem Transportflugzeug, in dessen Inneren dadurch die Schwerkraft für kurze Zeit aufgehoben wird. Damit kann die Schwerelosigkeit des Körpers direkt erfahren werden, die Erzeugung eines „Bildes“ der Schwerelosigkeit würde hier keinen Sinn machen. Eine Simulation ist also in ihrer Gestaltung und ihren Werkzeugen abhängig von den Sinnen, die sie ansprechen soll.

Es bleibt aber festzustellen, daß Simulationsmodelle, die den optischen Sinn ansprechen sollen, heute so gut wie alle durch den Computer realisiert werden, da dieser, wie keine andere Technologie, die verschiedenen Problemstellungen von Erfassung, Berechnung und Präsentation von Daten in sich vereint.¹⁸⁸ Daß Bilder hier eine zentrale Rolle spielen, wird durch die Naturwissenschaftler freizügig ausgesprochen. In der Einleitung einer neueren Publikation heißt es:

„Dank ihrer Schnelligkeit können Supercomputer in kürzester Zeit unvorstellbar viele Berechnungen durchführen - und dadurch die Natur nachbilden. Wir können die zahlreichen Phänomene in unserer Natur mit Hilfe der Mathematik beschreiben. Supercomputer können aus den mathematischen Formeln dann die riesigen Zahlenmengen errechnen, die zur Simulation von Naturerscheinungen erforderlich sind. Mit Hilfe neuer computergrafischer Verfahren können diese riesigen Zahlenberge in dem Menschen leichter in ver-

¹⁸⁷ Charwat, H. J., Lexikon der Mensch Maschine Kommunikation, Artikel Simulation, S. 396.

¹⁸⁸ Vgl. Kaufmann, William J.; Smarr, Larry L., Simulierte Welten. Moleküle und Gewitter aus dem Computer, Heidelberg / Berlin / Oxford 1993.

ständige Bilder umgewandelt werden. Nicht mathematische Gleichungen, sondern Bilder werden daher in diesem Buch zur Illustration verwendet.“¹⁸⁹

Das Argument für das Bild ist die leichtere Verständlichkeit, nicht ästhetischer Eigenwert wie er etwa in populären Darstellungen der Fraktalgeometrie propagiert wird. Auch die weitere Untersuchung der historischen Bildproduktion am und im Zusammenhang mit dem Computer wird zeigen, wie streng Visualisierungen an funktionalen Anforderungen orientiert bleiben. Die Aufgabe des Betrachters der Visualisierung ist, die in der Konstruktion eines Modells vorgegebenen Rückschlüsse zu ziehen. Die Reaktionsmöglichkeiten sowie die Erkenntnismöglichkeiten werden bereits in der Modellbildung festgelegt. Interaktion ist die Auswahl zwischen erzwungenen oder funktionalen Alternativen. Dies zeigt sich deutlich in der Entwicklung des computergestützten Radars. Diese Technologie bildet quasi die Grundlage aller weiteren grafisch orientierten Systeme, inklusive ihrer Vernetzung, weil sie die Abbildung eines äußeren Objektes auf den zweidimensionalen Raum des Bildschirms erprobte. Die aufgefangenen Reflexionen von Objekten wurden über die „Folie“ der Landschaft, einer Abbildung von Natur, in einem zweidimensionalen Koordinatenraum überlagert. Damit kann durch die Visualisierung der Ausschnitt, der von Objekten der Realität gezeigt wird, frei gewählt werden. Sie läßt nur soviele Informationen durch die Vermittlungsinstanz hindurch wie für die Erfüllung der Aufgabe notwendig erscheinen.

Dies ist grundlegend: Simulationen und Visualisierungen verhalten sich wie „Filter“ vor dem betrachteten Gegenstand oder Sachverhalt und reduzieren die Information auf das Notwendige. Dort, wo die Bildlichkeit überbordend wird, scheint auch ein geringeres Maß an Funktionalisierung oder eine Verschiebung der Absicht der Simulation vorzuliegen. In jedem Falle ist die technische Entwicklung der Systeme eng verbunden mit den Absichten, die die Produktion von visuellen Eindrücken verfolgt.¹⁹⁰

5.2. SAGE

Das SAGE-System¹⁹¹ (Abb. 25) und seine Vorläufer Whirlwind I und II (Abb. 26) werden im allgemeinen als die entscheidenden Schritte auf dem Wege zur interaktiven Nutzung des Computers dargestellt. Der Verwendung der Röhrenbildschirme kam dabei besondere Bedeutung zu, da in diesem Zusammenhang die Darstellung auf dem Bildschirm abgekoppelt von den Vorgängen innerhalb des Computers erschien. Zum ersten Mal wurden Vorgänge dargestellt, die nicht mit der Eingabe oder Ausgabe von Daten direkt in die Maschine

¹⁸⁹ Kaufmann; Smarr, s. Anm. 188, S. 10.

¹⁹⁰ Sehr interessant sind in diesem Zusammenhang die Berichte von Vorführungen, bei denen Geld für die Unterstützung von Projekten eingebracht werden sollten. Fast immer werden im Zusammenhang mit dem Computer „Bilder“ im weitesten Sinne vorgeführt, da diese sich für die Überzeugung der Geldgeber am besten eigneten. „In 1949 or '48, Edwin R. Murrow, who was the newscaster of the day, came to see Whirlwind, so we gave him a little welcome. This you see is just erasing selected spots of light to produce his name. It was clear that displays attracted potential users - computer code did not.“ (Taylor) Vgl. Siggraph Proceedings, s. Anm. 194.

zu tun hatten, sondern auf eine außerhalb existierende „Welt“ bezogen waren. Die Geschichte dieser Apparate ist vielschichtig und kaum im Zusammenhang dargestellt worden. Insbesondere die Durchmischung der Technologien Radar und digitale Computer macht es schwierig, eine einfache, aber doch unverkürzte Darstellung der Entwicklung aufzuzeigen. Sie erscheint jedoch notwendig, um deutlich zu machen wie die technologischen Schübe durch bestimmte Rahmenbedingungen erzeugt wurden. Die Entwicklung von Bildschirmen und die des ersten Zeigegerätes, des sogenannten Lichtstiftes, ist allerdings nicht direkt im Zusammenhang mit einer militärischen Anwendung zu sehen.¹⁹² Die in der Literatur oft zu einseitig dargestellte Verzahnung zwischen militärischer und technologischer Entwicklung ist ein wenig zu relativieren.

Anstatt der immer wiederholten Verknüpfung von Krieg und Innovation soll dargestellt werden wie die Möglichkeiten von Technologie selbst zu Innovationen führen und zunächst, ohne immer echten Nutzen zu produzieren, ein Spiel mit den Mitteln der Ingenieure darstellen. Daß diese Applikationen durch das Militär quasi automatisch adaptiert wurden und damit zu höherer technischer Reife gebracht wurden, ist zweifellos auf die fast ausschließliche Finanzierung aller Forschungsaktivitäten durch den englischen und amerikanischen Militärkomplex zurückzuführen. Es läßt sich somit nachweisen, daß schon in dieser frühen Phase nicht immer ein präzises Problem bestehen mußte, um an „Lösungen“ zu arbeiten. So ist den Erinnerungen Norman H. Taylors anläßlich der Siggraph-Computerkonferenz 1989 zu entnehmen, daß die Erfindung des Leuchtstiftes auf eine ganz andere Anwendung zurückzuführen war. Dies entspricht auch den Berichten des Leiters der ADSAC¹⁹³ Gruppe, George E. Valley Jr., der sich 1950 auf die Suche nach einem schnellen, digitalen Computer machte und eher zufällig auf Whirlwind stieß. Lange bevor die SAGE-Idee Gestalt annahm, sah Valley im Büro von John W. Marchetti, der seine Angestellten meist aus dem nahegelegenen MIT Radiation Laboratory bezog, eines der ersten Exemplare der Leuchtpistole, die zuvor am MIT Projekt Whirlwind entwickelt wurde. Taylors Beschreibung widerspricht der Annahme, daß der Leuchtstift für den Zweck der Freund-Feind-Identifikation am Radarbildschirm entwickelt wurde. Ihm zufolge hatte man, um die Speicherröhren von Whirlwind zu testen, ein Programm geschrieben, das die Röhren auf einem Display als Lichtpunkte repräsentierte. Dieses Programm, genannt „Waves of One“, schrieb lediglich einen 1-Wert an jede Speicherstelle, um ihn zu testen. Konnte keine 1 geschrieben werden, stoppte das Programm. Um daraufhin die Speicherstelle identifizieren zu können, erfand Bob Everett, der technische Direktor, den Leuchtstift, den man auf den letzten Leuchtpunkt halten konnte.¹⁹⁴

¹⁹¹ Semi Automatic Ground Environment. Ein System zur Überwachung des Luftraumes durch computergekoppelte Radarüberwachungssysteme.

¹⁹² Auch Söke Dinkla hat in ihrer Arbeit über interaktive Kunst wiederholt, daß der Whirlwind-Computer ein "Produkt des kalten Krieges sei". Dies ist zwar nicht vollständig zu bestreiten, kann aber nicht als Erklärungsmuster ausreichen, wenn über den Antrieb zur Weiterentwicklung von Hard- und Software gesprochen wird. Bisher wurde auch die Entwicklung der Leuchtpistole immer als Ergebnis der SAGE-Entwicklung bezeichnet und nicht als eine der Voraussetzungen. Vgl. Dinkla, Söke, Vom Zuschauer zum Benutzer, Dissertation Hamburg 1995, S. 229.

¹⁹³ Air Defense System Engineering Committee.

¹⁹⁴ Siggraph Conference 1989, Proceedings.

<http://www.siggraph.org.443/publications/panels/siggraph89/p02.html>

„Now, these points of light really were a picture of the deflection system of the storage tubes in

Demnach war der Leuchtstift keine Errungenschaft der Militärforschung, sondern lediglich ein weiteres Instrument, um der Fehlerhaftigkeit der frühen Speichersysteme Herr zu werden.¹⁹⁵

5.3. Vorläufer des bewegten Computerbildes: Radar

Über den Radar ist gesagt worden, daß er zwar nicht den Krieg gewonnen, aber doch entschieden hat.¹⁹⁶ Ohne Radar wäre die frühe Erkennung der feindlichen Jägergeschwader unmöglich gewesen. Dementsprechend hoch angesetzt wurde die Investition in die noch junge Radartechnologie in England. Nach dem ersten Weltkrieg war war mit Hilfe der damals noch nicht so benannten Radartechnologie, die Höhe der Ionosphäre erforscht worden. Man lenkte Radiowellen in kurzen Stößen senkrecht in den Himmel und erfaßte das Echo mit dem schon verbreiteten Oszilloskop. Das Militär plante, gebündelte Radiowellen zu nutzen, um in der Luft fliegende Objekte zu zerstören. Arnold Wilkins stellte Berechnungen an, die eine solche Anwendung in der näheren Zukunft unmöglich erscheinen ließen. Stattdessen wurde jedoch gemäß der Erfahrungen, die Watson-Watt im Bereich der Höhenforschung gemacht hatte, vorgeschlagen, mit den Hochenergiewellen Objekte über weite Entfernungen zu „erkennen“, indem die reflektierten Wellen wieder aufgefangen wurden. Die hieraus erfolgenden Maßnahmen führten dazu, daß schon 1935 Watson-Watt sein berühmtes Memorandum „Detection and Location of Aircraft by Radio Methods“ schrieb und wenige Wochen später eine entsprechende Anwendung erprobt wurde. Man richtete eine starke Quelle, einen Radiosender der BBC, auf ein herannahendes Flugzeug und beobachtete die Reflexionen auf einem Oszilloskop. Die Ergebnisse waren so überzeugend, daß umgehend mit dem Aufbau von Radarstationen an der Nordküste Englands begonnen wurde. Bei Ausbruch des Krieges bestanden auch schon Radarketten an der Süd- und Westküste. Die Radartechnologie setzte sich wegen ihrer einfachen Anwendung und der vielversprechenden Perspektiven gegen alle anderen zu dieser Zeit entwickelten Techniken, vor allem gegenüber den akustischen, sehr schnell durch.¹⁹⁷

Ein Grundsatzproblem, das sich den Wissenschaftlern nach dem zweiten Weltkrieg stellte, war eine vollständige Sicherung der Grenzen, nicht nur gegenüber Land-, sondern im Falle

Whirlwind I. We had a program called the Waves of One. Waves of One ran through the storage tubes as a test. If we read a one, the program continued, and if it didn't, it stopped. We were asking how we can identify the address of that spot. So Bob Everett, our technical director, said "we can do that easily". All we need is a light gun 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. This was late '48 or early '49."

¹⁹⁵ Diese Fehlerhaftigkeit stellte das mit Abstand größte Problem der damaligen Zeit dar. Computer liefen in der Regel nur wenige Stunden am Tag fehlerfrei. Dies haben sie mit den heutigen Systemen, allerdings in anderen Zusammenhängen, gemeinsam.

¹⁹⁶ Vgl. Buder, Robert, *The Invention That Changed The World*, New York 1997.

¹⁹⁷ Eine Zusammenfassung der Entwicklung der Radarsysteme findet man im Internet unter der Homepage des Chide Museums:
<http://www.chide.bournemouth.ac.uk/Radar/development.htm>. Vgl. zu diesen Informationen

von Amerika und England vor allem gegenüber Luftangriffen. Der Zweite Weltkrieg war wesentlich über die Luftstreitmächte entschieden worden. Hierzu gehörten nicht nur die bemannten, sondern vor allem auch die Vorboten der unbemannten Waffen wie die deutsche V1 und die V2. Es zeigte sich im Falle der V2, daß sich wegen der hohen Geschwindigkeiten die Vorwarnzeiten extrem verkürzten. Es galt also, mit Hilfe der neu entwickelten Radartechnologie die Flugkörper so früh wie möglich zu entdecken und die Warnzeit zu vergrößern, um geeignete Abwehrmaßnahmen einleiten zu können. Die entscheidenden Probleme lagen auf der Ebene der Verfolgung von Radarzielen, da nicht alle Objekte im Bereich einer einzelnen Radarstation lagen.¹⁹⁸ Zwischen den einzelnen Radarstationen taten sich immer wieder Lücken auf, die durch Hindernisse erzeugt wurden. Außerdem mußten die Radarstationen niedrig abstrahlen, um auch tieffliegende Flugzeuge erfassen zu können. Deshalb wurden sogenannte „gapfiller“ Radars eingesetzt, die es erlaubten, ein möglichst lückenloses Band an Stationen aufzubauen. Nachteil dieser vielen einzelnen Stationen war die Übergabe von einer Station an die andere. Bevor die Zielverfolgung per Computer möglich wurde, war die Beobachtung durch das Radar auf die manuelle Übergabe von einer Radarstation zur anderen angewiesen. Diese Übergabe erfolgte meist per Funk oder über das Telefon. Wie bei den Meldepunkten der mechanischen Telegraphen kostete die Übergabe, die Reproduktion der bereits bestehenden Information, Zeit, die um so schwerer wog, wenn die Ziele sich schnell bewegten. Während des Krieges standen zu diesem Zweck die zentralen Leitstellen zur Verfügung, die, wie beim Roulette, mit großen Stäben über eine Landkarte hinweg die Geschwader verschoben (Abb. 27) und die Einsatzplanung bei der Organisation der Abwehrkräfte unterstützten.¹⁹⁹

Waren die Ziele in Reichweite der Abweereinheiten, mußte berechnet werden, wie sich die Flugbahn eines einzelnen Objektes entwickelte, denn die Abfangjäger wie auch die Flaks am Boden brauchten Daten für die Bahnkurven ihrer Geschosse. Durch die Erfassung der Flugobjekte und die Messung verschiedener Punkte auf ihrer Bahn wurde die Wienersche Zielverfolgung²⁰⁰ realisiert, die zu einer großen Zahl von Abschüssen, vor allem der relativ langsam fliegenden V1, führte. In der Vorgeschichte der Radarverfolgung und der Bahnkurvenberechnung per Computer hatten mechanische, analoge Rechner eine ähnliche Rolle gespielt. Sie erforderten jedoch viel Personal und eine schnelle Justierung, um die geeigneten Informationen für den Abschuß zu liefern. Dem Flieger der Abfangjäger halfen sie wenig, da ihre Daten den Piloten per Funk übermittelt werden mußten.²⁰¹

Noch bevor die Computertechnik dezentral genutzt wurde und man an die Vernetzung von Rechnern und Terminals über weite Entfernungen dachte, bestand die Aufgabe darin, Radarstationen so miteinander zu vernetzen, daß die Übergabe von Flugkörpern im Beobachtungsraum ohne manuelle Informationsvermittlung erfolgen konnte. Der Lichtpunkt auf dem

auch: Radar: A Wartime Miracle. Recalled by Colin Latham and Anne Stobbs and by Men and Women who played their part in it for the RAF. O.J. Sutton Publishing Ltd.

¹⁹⁸ Wieser, Robert C., The Cape Cod System, in: Annals of the History of Computing, Vol. 5, No. 4, October 1983, S. 362–369.

¹⁹⁹ Buderl, s. Anm. 196, S. 22.

²⁰⁰ Wiener, Norbert, Kybernetik in Mensch und Maschine, Hamburg 1968.

²⁰¹ Vgl. Roch, Axel, Die Maus, Jahrbuch des Kölner Medieninstitutes, Köln 1995, S. 169.

Radarbildschirm der ersten Erfassungsstation mußte identifiziert²⁰² und klar zwischen Störungen, Freund und Feind unterschieden werden. Leitstellen dirigierte dann die Abfangjäger per Funk zu den anfliegenden Feindformationen. Dies vereinfachte sich erst, als die Miniaturisierung soweit fortgeschritten war, daß die Jägergeschwader selbst mit Radar ausgestattet werden konnten.

Whirlwind war 1944 als analoges System zur Simulation von Flugzeugen und ihrer Stabilität gestartet worden.²⁰³ J. Forrester, der Leiter der Einrichtung, experimentierte mit Bob Everett an der Nutzbarmachung solcher Simulationen für die Entwicklung neuer Flugzeuge (Abb. 28). Schnell stellte sich heraus, daß die analogen Technologien zwar eine große Genauigkeit aufwiesen, aber in puncto Geschwindigkeit an ihre Grenzen stießen. Der Pilot mußte das Feedback auf seine Steuerung so schnell erhalten, daß es ihm als „Echtzeit“-Situation erschien. Hierfür waren extrem schnelle Servomotoren erforderlich, die zu dieser Zeit kaum zu realisieren waren. Forrester, der zunächst an der Verlässlichkeit der neu entstehenden Digitaltechnik seine Zweifel hatte, erfuhr von den neuesten Entwicklungen, die im Rahmen des ENIAC realisiert wurden, und schwenkte schließlich 1946 zur Entwicklung eines digitalen Rechners um.²⁰⁴ Von diesem Zeitpunkt an wurden sämtliche Energien und Mittel²⁰⁵ in diese Entwicklung gesteckt. Das System war erst ab 1951 voll einsatzfähig. Der erste Schritt, die Übertragung von Radardaten in den Computer über normale Telefonverbindungen (Projekt Charles), wurde zwischen 1951 und 1952 realisiert. Der zweite Schritt, die Entwicklung des „Cape Cod“ Systems,²⁰⁶ wurde 1953 fertiggestellt. Whirlwind II war der direkte Vorfahre des AN/FSQ-7 Computers, der von IBM in Serie hergestellt wurde. Erst 1958 war das SAGE-System fertiggestellt und verband 1963 dann 23 Luftverteidigungssektoren in ganz Amerika und Kanada miteinander (Abb. 29).²⁰⁷

SAGE war eine gewaltige Anstrengung, die zum Ziel hatte, Amerika mit einem undurchdringlichen Abwehrnetz zu überziehen. Um die Mittel für eine solche, bisher nicht realisierte Großanwendung frei zu machen, wurde häufig die Gefahr heraufbeschworen, die Russen könnten über Amerika eine Atombombe abwerfen. Wenn auch die technischen Innovationen

²⁰² Das Problem bestand nicht nur darin zu erkennen, ob es sich um ein freundliches oder feindliches Flugzeug handelte, sondern, ob es sich überhaupt um ein Flugzeug handelte. Den Berichten aus der Zeit zufolge waren die Störbilder auf den Radarschirmen immens. Nur durch aufwendige Filterung und die Erfahrungheit der Radarbeobachter war ein gutes Beobachtungsergebnis zu erzielen. Vgl. Wieser, *The Cape Cod System*, s. Anm. 198, S. 366ff.

²⁰³ Vgl. Valley, George E., *How the SAGE Development Began*, in: *Annals of the History of Computing*. Vol. 7, No. 3 July 1985, 196 – 226. Everett, Robert R., *Whirlwind*, in: Metropolis, N. (Hrsg.), *A History of Computing in the Twentieth Century*, Collection of Essays. S. 365–384. Desweiteren wurden mit dem System später auch elektrische Anlagen simuliert und Werkzeugmaschinen angesteuert. Im wesentlichen blieb es aber bei der Analyse von Flugzeugstabilität und später einer Nutzung im Bereich der Flugsicherung.

²⁰⁴ Pugh, Emerson W., *Memories That Shaped an Industry, Decisions Leading to IBM System/360*, Cambridge / London, 1984, S. 64.

²⁰⁵ Whirlwind und auch später SAGE waren berühmt und berüchtigt für die enormen Kosten, die sie produzierten. Vgl. Pugh, s. Anm 204, S. 67.

²⁰⁶ Cape Cod war gewissermaßen die Kleinform des späteren über die ganze Küste reichenden Radarnetzwerkes und umfaßte die Region von Brunswick bis Montaud incl. der Insel Marthas Vineyard.

²⁰⁷ Vgl. Jacobs, John F., *SAGE Overview*, in: *Annals of the History of Computing*, Vol. 5, No. 4, October 1983, S. 328.

nicht ausschließlich aus diesem Bedrohungsszenario heraus entwickelt wurden, war es doch weitgehend verantwortlich für die extremen Anforderungen an die Verlässlichkeit der Computer. Das Verteidigungssystem erforderte für damalige Verhältnisse eine hohe Betriebssicherheit. Dies führte letztlich zum Bau zweier identischer Systeme, die sich einerseits gegenseitig kontrollieren konnten und andererseits garantierten, daß immer eines betriebsbereit war. Die Übergabe von Daten und das Umschalten sollte nur wenige Sekunden in Anspruch nehmen.²⁰⁸ Dieser enorme Aufwand konnte nur mit dem Argument nationaler Sicherheit begründet werden.²⁰⁹ Das SAGE-Projekt begründete damit nicht nur den Einstieg in das grafische Zeitalter des Computers, sondern vor allem den Start in die Ablösung von analoger durch digitale Weltbeobachtung.

Damit lassen sich für den zweiten Schritt der Visualisierung zwei unterschiedliche Gesichtspunkte klar abgrenzen:

Die Beobachtung des äußeren Raumes wird durch Sensoren realisiert, die nicht digitale, sondern in der Regel analoge Signale verarbeiten. Diese werden dann in digitale Informationen umgewandelt, um dem Betrachter wieder als analoges Bild dargestellt zu werden.

Die Ausgabe der Informationen zeichnet sich dadurch aus, daß entsprechend der Zielsetzung des Systems aus der Realität alle Elemente ausgeblendet werden, die nicht in einem funktionalen, d. h. auswertbaren Zusammenhang stehen.

Das Modell, das konstruiert wird, um die „Wirklichkeit“ außerhalb des Systems abzubilden, ist Ergebnis dieser Ausblendung disfunktionaler Elemente, nicht Voraussetzung.

Das Radarwarnsystem bestand aus mehreren neuen Technologien, die eine Grundlage für viele weitere Innovationen in der Folge boten.²¹⁰ Als Beispiel soll die Methode zur Filterung von Radarstörungen und damit auch die Art der „Bildlastigkeit“ solcher frühen Systeme aufgezeigt werden.

Um Störungen, die durch schlechtes Wetter oder atmosphärische Störungen entstanden, aus dem System auszukoppeln, wurde über einem horizontal angebrachten Monitor eine Fozelle installiert, die auf einen blauen Leuchtfleck reagierte und diesen entsprechend an den Computer rückkoppelte. Alle anderen Erscheinungen auf der Displayoberfläche, die nicht als „Beobachtungsobjekte“ benötigt wurden, konnten mit einer die Farbe Blau filternden Farbschicht abgedeckt werden. Da sich die Wetterbedingungen nur langsam änderten, ließ sich diese Art der Filterung des Inputsignals für den Computer relativ leicht realisieren. Diese

²⁰⁸ Astrahan, Morton M.; Jacobs, John F., History of the Design of the Sage Computer – The AN/FSQ-7, in: Annals of the History of Computing, Vol. 5, No. 4, October 1983, S. 347.

²⁰⁹ Die Technologie des Duplexing hat sich bis heute in allen kritischen Bereichen erhalten. So sind Krankenhäuser, Banken, Versicherungen und natürlich staatliche sowie militärische Einrichtungen immer mit identischen Systemen ausgestattet, die bei Ausfall übernehmen können. Wichtig sind hierbei vor allem die gespeicherten Daten, die auch noch als Sicherung vorliegen. Solche Redundanzsysteme zeigen allerdings, daß die Möglichkeit des Ausfalls immer noch recht hoch ist. Es zeigt auch wie abhängig die Gesellschaft von der Funktionstüchtigkeit solcher Systeme von Beginn an war.

„Beobachtung“ eines Bildschirmes, der selbst nur einen kleinen Ausschnitt der beobachteten Welt zeigte, durch ein quasi farbenblindes „Auge“ ergab ein von allen Störungen des Systems „gereinigtes“ Bild. In dieser technischen Frühphase der „Weltsimulation“ unter dem Blickwinkel der Verteidigung des Landes wurden systematisch alle Störfaktoren oder Fehlfunktionen ausgemerzt. Dahinter stand die Vorstellung eines unfehlbaren Verteidigungssystems, das den Menschen nicht ausschloß, sondern ihn zentral einsetzte, um Freund und Feind zu unterscheiden. Daß es gerechtfertigt sei, so enorme Mittel für die Visualisierung möglicher Angriffe aus der Luft einzusetzen, wurde nicht bezweifelt.²¹¹

Die Nutzer des Systems, die Angehörigen der Army, erscheinen aus der heutigen Perspektive als die ersten Computernutzer überhaupt, die nicht selber programmierten. Ihre Interaktion mit der Maschine beschränkte sich auf die Registrierung von Flugzeugen. Sobald ein Lichtpunkt auf dem Bildschirm erschien, wurde seine Geschwindigkeit, seine Entfernung und die Richtung seiner Bewegung berechnet. Wenn schon andere Radarstationen das Objekt geortet hatten, wurden die schon bekannten Daten für den neuen Betrachter auf dessen Bildschirm übergeben. Hierzu wurden zwei Röhrensysteme verwendet, die später zu einem verschmolzen: das Charactron²¹² und das Typotron.²¹³

Die verschiedenen Aktionen an den Bildschirmen wurden in Abteilungen aufgeteilt. Manche hatten nur die Aufgabe, Flugzeuge zu identifizieren, andere gaben die vom Computer berechneten Abfangwerte ein und wieder andere hatten Funkkontakt mit den Piloten.²¹⁴ In

²¹⁰ Diese waren: Lichtpistole, Bildschirm als Datensichtgerät, Duplexverfahren, digital-analog Wandler für Telefone (Modem), Datenübertragung über Telefonleitungen, Echtzeitspeichersysteme. Astram u.a., s. Anm. 208.

²¹¹ 1949 zündeten die Sowjets ihre erste Atombombe und Amerika trat 1950 in den Koreakrieg ein. Beide Ereignisse führten zu einer erheblichen Steigerung der für militärische Forschung zur Verfügung stehenden Gelder.

²¹² Das Charactron hatte neben der Methode, Grafiken in einer Vektordarstellung wiederzugeben, die Möglichkeit Buchstaben zu erzeugen, die auf der Mattscheibe erschienen. Dies wurde durch ein kompliziertes Umlenkverfahren erreicht, bei dem die in die Röhre eingearbeiteten 64 Buchstaben (als Blechmatrix) vom Strahl erfaßt und dann erneut umgelenkt wieder fokussiert auf der Bildfläche erschienen.

²¹³ Beim Typotron handelte es sich ebenso um eine Bildröhre, in deren Matrix Buchstaben eingearbeitet waren. Durch ein ähnliches Umlenkverfahren wurden die Buchstaben einzeln vom Elektronenstrahl durchleuchtet und umgelenkt, so daß sie auf der Mattscheibe erschienen. Aufgrund der geringeren Geschwindigkeit des Bildaufbaus war es entsprechend anstrengend, längere Zeit auf die Bildröhren zu schauen.

²¹⁴ Hier ein Auszug aus der Beschreibung durch einen Mitarbeiter des MIT Lincoln Laboratory: "So we searched for a tube that was a little more sophisticated than a simple point of light on a cathode-ray tube.[...] The Charactron was an unusual tube in that there was a character mask in front of the electron beam and as you defocused the beam slightly, you could run it through this mask, and it would produce one of these characters right on the screen. [...] This gave us the tool to identify what these points of light meant and do it at high speed on 82 consoles. Next slide shows us what we actually did with this Charactron showing the New England coastline. Each one of those shows the character matrix points are little [...] they actually defined locations of the key radar's in the New England area. We used them not only for that, of course, but to determine whether the particular aircraft was a friend or a foe, a commercial or private plane. We had to determine the velocity of each plane in order to identify where you would plan an interception, and which interceptor should be assigned to it. Along with the Charactron was another tube called a Typotron. The Typotron was the same idea, but it was a little storage tube. The storage tube was used to receive messages to and from various people (operators) that were going to control the action - for instance I assign a new aircraft to you, Mr. Controller. We think he's a bomber. You track him and identify his speed. If he agreed, we would pass the track to a weapons assigner. There was a lot of interaction be-

dieser Aufteilung stellte sich SAGE als erstes Netzwerk dar, in dem sich verschiedene Beobachter auf die gleichen Daten des Speichers, in diesem Fall des Typotrons, verließen. Um die Leistungsfähigkeit des Systems nicht zu überfordern, sprich die Speichergrenzen nicht zu durchbrechen, mußte zunächst eine Obergrenze für die gleichzeitig zu verfolgenden Flugzeuge festgelegt werden. In der Anfangsphase konnten zwar schon zehn Flugzeuge verfolgt werden, aber wenn für eines der Flugzeuge auch die Abschußbahn berechnet werden sollte, konnten in dem bestehenden Speicher²¹⁵ nur noch zwei Flugzeuge gehalten werden: das feindliche Flugzeug und der Abfangjäger.²¹⁶ Die Vektordaten für die Zieleinstellung wurden zunächst noch von einem Flip-Flop-Register in Form von Lampen digital dargestellt und dann von einem Beobachter in Dezimalform dem Jäger per Funk durchgegeben. Später erschienen diese Daten auch auf den Displays.

Aus der schwierigen Speichersituation heraus, angesichts der allgegenwärtigen Ausfälle der Speicherröhren,²¹⁷ entwickelte sich ein hoher Bedarf an mehr und vor allem verlässlicherer Speicherkapazität. Forrester entwickelte innerhalb weniger Monate den sogenannten Kernspeicher, der wesentlich zur Verbesserung des Systems beitrug.²¹⁸ Mit diesem „aufgerüsteten“²¹⁹ Speicher ließen sich weitaus mehr Berechnungen, Verfolgungen und Abfangsituationen zur selben Zeit bewältigen. Diese Steigerung der Kapazität und die damit verbundene Steigerung der scheinbaren Parallelverarbeitung durch die Maschine²²⁰ erzeugten den Eindruck größtmöglicher Überwachung durch die Radarstationen. Dieses Sicherheitssystem mußte sich niemals einer echten Prüfung unterziehen und gilt daher auch heute noch als sehr zweifelhaft. Doch es vermittelte, wie auch Levidow und Robins bemerken, den Eindruck höchsten technischen Standards, der durch die totale Interaktion zwischen Mensch und Maschine geschaffen wurde.

tween these people. (The Typotron became a message center among some 82 operators.) All along we used this light gun to tell the machine we were interested in a particular point of light. After selection, the operator sent instruction to the computer to tag each return. So we assigned tags on each track. In order to do that we had to look at each one, track it for a while and identify it as an aircraft. If it was a commercial airplane we usually could identify it because they all flew at the same speed and we had a flight plan in the computer. If it was an unknown it was tagged as a potential bomber. Unfortunately, the computer got busier and busier as we added more of these functions. Someone said later "if we knew how many of these functions we had to do, we wouldn't have started at all." Norman H. Taylor, Vortragsmitschrift, s. Anm. 194.

²¹⁵ Hier wurden zunächst noch die Matrix Speicherröhren benutzt, deren Funktionsweise weiter oben erläutert wurde.

²¹⁶ Wieser, s. Anm. 198, S. 365.

²¹⁷ Die Speicherröhren hielten nur etwa 500 Stunden und mußten dann in der Regel ausgetauscht werden.

²¹⁸ Zu der genaueren Entwicklung des Kernspeichers siehe Emerson W. Pugh, s. Anm. 204.

²¹⁹ Dies ist einer der vielen Begriffe, der sich durch die Entwicklung des Computers im militärischen Zusammenhang fest in unseren Sprachschatz eingeknistet hat. Die Aufrüstung des Speichers wie die Aufrüstung im militärischen Sinne bilden eine Einheit, bei der sprachlich ausgedrückt wird wie sich die Kapazitätssteigerung auf die Wirklichkeit auswirkt: wir werden durch mehr Speicher im Computer mächtiger.

²²⁰ Daß Computer nach der von Neumann Methode und nach der Turingschen Theorie der Zerlegung alles hintereinander abarbeiten müssen, ändert nichts an der subjektiven Wahrnehmung der Gleichzeitigkeit aller verarbeiteten Vorgänge. Lediglich durch die Trennung zwischen erlebter Zeit und der Zeit, in der gerechnet wird, sowie der Beschleunigung der Zeit, in

Dieses positivistische Beispiel begründete ebenfalls die fortschreitende Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion in anderen Bereichen, zu denen im Anschluß übergegangen werden soll.

Wichtig für die Darstellung dieses Abschnittes ist jedoch zunächst die Erkenntnis, daß die Bilder, die das SAGE-System erzeugte, keine Vorboten der heute so oft beschworenen Auflösung der Realität durch Simulation waren. Auch die Abtrennung der Zeichen vom Bezeichneten wurde mit diesem frühen Einsatz des Bildschirms nicht eingeleitet. Daß der Computer zu einem Symbol von Omnipräsenz und Omnipotenz werden konnte,²²¹ lag in der positivistischen Auslegung seiner zukünftig steigenden Möglichkeiten begründet. Gleichzeitig stellt sich aber, wie wir gesehen haben, die Repräsentation einer äußeren Welt als vielfache Schichtung von naturgesetzlichen Effekten und ihrer Abbildung durch Apparate dar. Das Vertrauen in das Bild steigerte sich mit der Verlässlichkeit der Ergebnisse im Hinblick auf die Zielsetzung. Das war nicht die Einläutung des medialen Krieges, sondern vielmehr die des rationalen Krieges, der das Bild als ausfüllendes Element der zunehmenden Entfremdung gegenüber dem Maschinellen des Krieges benötigte.

5.4. Immaterialität versus Materialität

Theoretiker wie Norbert Bolz untersuchen die virtuelle Kriegsführung gegenüber der realen. Bolz beschreibt die Hinwendung zur Informationsverarbeitung als eine Reduzierung der Waffensysteme auf eine „Logistik der Wahrnehmung“. Daraus folgert er, daß zunehmend „Mediengewitter statt Stahlgewitter“ den Krieg ausmachen werden. Dies verdeutlicht die Vorstellung von einer Übernahme medial geprägter „Waffen“, die damit die Realität des Krieges nur noch „scheinen“ läßt. Bolz verkürzt nicht nur die technischen Zusammenhänge, die zu der Realisierung computergestützter Feuerleitstellen geführt haben, sondern zieht auch interpretatorisch falsche Schlüsse. Nicht ein Ersatz der Realität durch die Simulation ist anvisiert, sondern deren extreme Bestätigung. Das Phantasma von Bedrohungspotential, das allein durch die Möglichkeit seitens der Sowjets, eine Atombombe zu zünden, ausging, hatte ausgereicht, enorme Mittel für die Entwicklung des Feuerleitsystems aufzubringen. Den daran arbeitenden Wissenschaftlern stellte sich die Frage der tatsächlichen Bedrohung durch die Sowjets nicht. In einem kriegerischen Zusammenhang und, wie wir später sehen werden, nicht nur in diesem, kann die Frage nach dem „wirklichen“ Eintreten eines Ereignisses nicht gestellt werden. Dies konstatiert auch Bolz unter Verweis auf Virilio und Baudrillard.²²² Doch die These des Verschwindens der Realität zugunsten der Fiktion klammert konsequent die Tatsache aus, daß alle unsere Wahrnehmungen auf Annahmen beruhen.

der gerechnet wird, gegenüber der Lebenszeit, entsteht der Eindruck der Parallelität der Ereignisse.

²²¹ Vgl. hierzu Levidow, Les; Robins, Kevin, *Cyborgs World*, London 1989, S. 141ff.

²²² „Wenn wir uns also – wie wir müssen – radikal als Subjekte des Atomzeitalters verstehen, so stützt sich doch diese unsere Realität auf ein Phantasma. Die Wirklichkeit, in der wir – unter der atomaren Drohung – leben, ist im Kern reine Erfindung, geboren aus einem Fabulieren über die Möglichkeit totaler Auslöschung.[...] Seit WK II heißt diese eigentümliche Form der

Die Möglichkeit, ohne solche vorausseilenden Annahmen unserer täglichen Beschäftigung nachzugehen, wäre gleich Null, da sich fast unsere gesamte Aufmerksamkeit auf die nahe oder ferne Zukunft richtet. Schon ein banales Beispiel mag das darstellen: gehen wir morgens an eine Bushaltestelle und warten, dann gehen wir davon aus, daß das System „Bus“ funktioniert, und wir nur eine kurze Zeit warten müssen, bis einer anhält. Wir könnten nicht mit Gewißheit sagen, daß der Bus auch wirklich kommt, doch aller Erfahrung nach, die sich keinesfalls einen Weg ins Bewußtsein bahnt, sondern nur stochastisch die letzten Jahre des Busfahrens akkumuliert hat, geschieht es. Würde man nun eine Simulation an die Stelle unseres realen Versuches, an der Bushaltestelle zu warten, setzen, dann würde man ebenso von diesen Daten ausgehen müssen, die zuvor zu unserer internen Erfahrung geführt haben. Ohne diese Daten gibt es kein Modell. Etwas anderes wäre es, wenn nicht diese Daten als Grundlage für das Modell genutzt würden, sondern willkürliche oder zufällige Daten. Entscheidend bleibt aber auch in diesem Falle der Rezipient. So wie er auch in der „wirklichen“ Welt davon ausgeht, daß der Bus kommt, weil es seinen Erfahrungen entspricht, würde er auch die Simulation bewerten, wenn sie sich nicht seinen Erfahrungen entsprechend „verhalten“ würde. Er würde an ihr zweifeln, bis sich durch neue Erfahrungen unter veränderten Bedingungen eine neue „Realität“ im Bewußtsein des Rezipienten ausbreiten würde. Entscheidend bei aller Wahrnehmung, auch der simulierter Welten, ist der Erwartungshorizont des Betrachters.

So sind die enormen Geldmengen, die in die Entwicklung von SAGE gesteckt wurden, nicht etwa mit der Absicht einer in der Zukunft liegenden medialen Kriegsführung investiert worden.

Nicht die Virtualisierung, sondern die Materialisierung, in diesem Falle die Realisierung eines funktionierenden Frühwarn- und Verteidigungsgürtels, war das Ziel dieser Bemühungen. Daß dieses Ziel sich mit der Entstehung neuer Technologien als System schon nach einem Jahrzehnt überlebt hatte und schlicht abgeschaltet werden mußte, zeigt die systematische Unfähigkeit, technologische Entwicklungen über eine größere Distanz einschätzen zu können. Auch die zugrundeliegenden Absichten können schnell überholt sein.²²³

Mit der Einführung von Kathodenstrahlzillographen bei der Kontrolle von Speicherinhalten und der ordnungsgemäßen Spannung in den ersten Computern wurde von Beginn an ein Sichtmedium für die Kontrolle der Funktionen des Rechners genutzt. Aufgrund dieser Problemstellung erfolgte die Umwandlung des Spannungs-Kontrollgerätes zum Ein- und Ausgabeterminal im Whirlwind-System.

²²³ Weltwirklichkeit kalter Krieg; er ist eine simulierende Antizipation des absoluten Ernstfalls als Medium staatlicher Selbstbehauptung.“ Bolz, s. Anm. 14, S. 114.
Die Virtualisierung dient dieser Absicht und nicht dem Ersatz dieser Absicht durch eine Täuschung. Fehlgeleitete, technische Entwicklungen führen zu dem Eindruck, es läge in der Absicht der Handelnden, einen Scheinkomplex aufzubauen. In der Fiktion gibt es hierfür Beispiele. So handelte der Film „Unternehmen Capricorn“ (1977) von einer simulierten, durch das Fernsehen übertragenen Landung auf dem Mars. Die Astronauten werden gezwungen, den Betrug mitzutragen: alles wird in einer Halle eines Lagerhauses in der Wüste gefilmt. Als dann zwei von ihnen versuchen, den Betrug aufzuklären, werden sie notwendigerweise ausgelöscht.

Die äußeren Signale, in diesem Falle Radarsignale, sollten dargestellt und verfolgt werden, um eine interaktive Reaktion zu ermöglichen. Die Interaktion beschränkte sich allerdings darauf, Kontrollmechanismen auf die Objekte der Radarverfolgungsschirme anzuwenden. Innerhalb dieser Welt wurden Eigenschaften für die Objekte definiert, die dann wiederum in eine Handlung in der Realität in Form einer Abfanganweisung an den Jäger übertragen wurden. Interaktivität bedeutete also zunächst Reaktion auf Signale eines Systems.

Die bisherige Entwicklung der Computer und der dazugehörigen Ein- und Ausgabegeräte orientierte sich deutlich an der direkten Nutzung. Speicherbeobachtung oder die Verfolgung von feindlichen Flugzeugen benötigten den Bildschirm zur Beobachtung externer Prozesse, die nur durch Abbildung dargestellt werden konnten. Es fällt schwer, in diesem Zusammenhang die Vorstellung von einer Welt frei „flottierender“ Zeichen innerhalb der Computer nachzuvollziehen. SAGE war alles andere als ein Projekt zur Loslösung des Zeichens vom Bezeichneten. Stattdessen versuchten die Ingenieure alles, um das einmal Bezeichnete nicht wieder zu verlieren. Eine der wesentlichen Schwierigkeiten, mit denen SAGE zu kämpfen hatte, waren sich überkreuzende Flugbahnen. Trafen sich auf diese Art zwei Flugzeuge, so konnte es leicht anschließend zu einer Verwechslung von Freund und Feind kommen; mit all den fatalen Konsequenzen einer solchen Fehlinterpretation.²²⁴ SAGE hat einen Beweis seiner Funktionstüchtigkeit nie antreten müssen. Möglicherweise wäre eine echte Kriegssituation für die amerikanische Luftwaffe verheerend gewesen. Die funktionalen Schwächen des SAGE-Systems sind, wie auch die frühe Nutzung von Bildschirm und Eingabegeräten, Vorbild für die weitere Entwicklung.

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle funktionierte aufgrund von Schwächen beider Seiten nur unzureichend. Das Softwaresystem war aufgrund seiner Länge und Komplexität sehr fehlerhaft, die Rechner blockierten sich bei der Übergabe von Daten oft gegenseitig. Zu guter Letzt wurden bei der Eingabe immer wieder Fehler gemacht, die dann von einer Station an die nächste übertragen wurden. Das System erforderte eine erhebliche Konzentration und eine ausführliche Schulung. Die Vorstellung, mit dem Netzwerk von Computern eine nahezu lückenlose Feindüberwachung zu bewerkstelligen, scheiterte letztlich an der Kombination von Mensch und Maschine. Die Computer konnten nicht automatisch identifizieren, und die Menschen an den Bildschirmen waren zu stark durch das System absorbiert, um die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Dies blieb der Army-Führung überlassen, die strategisch dem System weit überlegen war, gerade weil sie sich nicht von einem einzelnen Phänomen (am Bildschirm) „einfangen“ ließ.

Die Rückkopplung von Mensch und Maschine funktionierte bei SAGE nur unter größten Schwierigkeiten und niemals vollständig. Zu wenig verlässlich war die Technik und der ein-

²²⁴ Vgl. Thureau, Carsten H., SAGE (Semi-Automatic Ground Environment Air Defense System) im Seminar Entwicklungsfaktoren der Informatik - Geschichte des Computers III, Prof. Dr. Reinhard Keil-Slawik, Februar 1997, unveröffentlichte Arbeit, Abschnitt 6.

zelne Operator mit zu viel Verantwortung belastet. Ein einziger Fehler konnte ernstzunehmende Konsequenzen haben.

6. Das interaktive Computerbild

6.1. Whirlwind als Geburtsort der Bildschirmgrafik

Mit der Vorführung von Whirlwinds Grafikfähigkeiten im Dezember 1951 in der Fernsehsendung „See it Now“ wurde praktisch bewiesen, daß Computer auch Bilder erzeugen konnten. Diese erste öffentliche Darstellung von Computergrafik wurde von dem Nachrichtensprecher Edward R. Murrow mit den Worten eingeleitet: „Wir leben in einer Zeit technischer und elektronischer Wunder [...] Nicht ohne Zaudern wollen wir jetzt den Versuch wagen, dieses neue Gerät zu interviewen. Wir schalten um zum MIT...“.²²⁵ Dem Betrachter wurde dann ein Blick auf den Bildschirm²²⁶ gewährt, der aus Leuchtpunkten zusammengesetzt den Gruß „Hallo Mr. Murrow“ darstellte. Hiermit wurde eine ganze Reihe kleiner Vorführungen der grafischen Qualitäten von Whirlwind eingeleitet. Darunter war auch die Echtzeitdarstellung eines Balls (Abb. 30), der während der Berechnung von Schwerkraft und Energieverlust am Bildschirm in Bögen auf- und absprang.²²⁷ Dargestellt wurde lediglich eine Kurve, die in mehreren Schritten kleiner wurde, jedoch schon in dieser extremen Vereinfachung den Grundstein für alle weiteren digitalen Visualisierungen legte. Jede Visualisierung weist einen dargestellten Teil auf, der die Grundelemente der Problemstellung beinhaltet, sowie einen nur gedachten Teil, der den Sinn und Zweck der Darstellung vorwegnimmt und ihn damit affirmiert. Nach dem springenden Ball wurde eine Liveschaltung mit einem Admiral der Marine im Pentagon hergestellt, der Whirlwind per Telefon eine Aufgabe stellte, für die Whirlwind bereits programmiert worden war. Für einen Raketenflug sollten Bahn, Geschwindigkeit und Treibstoffverbrauch berechnet werden. Am Bildschirm erschien dann ein kleiner Leuchtpunkt, der eine Bahn entlang lief. Währenddessen wurden der Verbrauch und die Geschwindigkeit entsprechend angezeigt. So banal diese Demonstration von grafischen Fähigkeiten aus der heutigen Sicht sein mag, so klar zeigt sie aber auch die wesentliche Bedeutung grafischer Repräsentation. Für den damaligen Betrachter öffneten sich Problemfelder, die seinen Horizont bei weitem überstiegen. Sie hinterließen in ihm aber dennoch den Eindruck, er habe Teil an der Umwandlung der komplexen mathematisch-naturwissenschaftlichen Sphäre in ein simples Bild, das praktisch jeder verstehen könne,

²²⁵ Time Life, Computergrafik, Amsterdam 1986, S. 9.

²²⁶ Hier handelte es sich um die bereits erwähnte Speicherröhre, deren Speicherinhalte gleichzeitig als Display genutzt werden konnten.

²²⁷ Goodmann, Cynthia, Digital Visions, New York 1987, S. 19. Siehe auch: Siggraph Proceedings, s. Anm. 194. Hier gab der Programmierer Jack Gilmore, der ab 1950 an Whirlwind arbeitete, eine kurze Beschreibung des Programms: „Charlie Adams' bouncing ball demo program, which was mentioned earlier by Norm Taylor, was probably the first significant use of the computer display screen. The program was 32 words in length and its instructions and constants were contained in 28 16-bit toggle switches and four electronic flip flop registers. It plotted the simultaneous solution of three differential equations and inspired the MIT mathematical and engineering students to do likewise as they struggled to use Whirlwind computer in their thesis work.“

ganz unabhängig davon, ob er das dahinter liegende mathematische Problem erfasse oder nicht.²²⁸

Die Geschichte von Whirlwind ist vielschichtig, da das System wie die meisten Computer zu dieser Zeit für ganz verschiedene Projekte genutzt wurde,²²⁹ unter anderem 1959 für die Steuerung der ersten automatischen Fräsmaschine der Welt (Abb. 31).²³⁰ Für die Ansteuerung der Fräsmaschine mußte eine computertaugliche Sprache entwickelt werden, die die Positionierung des Fräskopfes im Raum beschreiben konnte. Spätestens 1952 war mit der Entwicklung solcher automatischen, computergesteuerten Fräsmaschinen begonnen worden.²³¹ Hier war nachweislich das Militär eine treibende Kraft, da die komplizierten Oberflächen von Hubschrauberrotoren und Flugzeugen eine hohe Präzision erforderten. Das MIT war schon mit der Übersetzung von Produktionsanweisungen in Lochstreifen beschäftigt und stellte dabei die enormen Schwierigkeiten dieses Übersetzungsprozesses fest. Man nahm das Whirlwind-System zur Hilfe, um die Programme zur Übertragung auf Lochstreifen zu entwickeln. Douglas Ross startete 1956 den ersten Versuch, das Problem der Fräsmaschinensteuerung grundsätzlicher zu lösen. Die von ihm entwickelte Sprache APT (Automatically Programmed Tools) war „im Kern ein Skelett-Programm für die Bewegung eines Scheidewerkzeuges im Raum“.²³² Bei der Darstellung der Geschichte des Computers aus der Sicht heutiger Medientheoretiker wird die Bedeutung der Automatisierung immer wieder unterschlagen. Die Probleme der automatischen Steuerung von Maschinen sowie die Zukunftsperspektiven, die solche Technologien versprachen, wurden enorm hoch bewertet. Man stellte sich vor, daß die neue Automatisierungswelle einen großen Schub für die Industrie und vor allem für die Genauigkeit von Werkstücken bringen würde.²³³ Rückkopplung als das zentrale Thema der Kybernetik, die direkte Übertragung von Raumkoordinaten in den Computer ohne den Umweg über Zeichnungen sowie die anschließende Codierung in Lochstreifen: dies sind die Hauptarbeitsfelder am MIT in den frühen Jahren bis Anfang der sechziger Jahre. Steven A. Coons leitet daher seinen Text über die Anforderungen an ein computergestütztes Design-System von 1964²³⁴ mit einem kurzen Abriß der Geschichte dieser Fräsmaschinensteuerung ein. Als die letzte Barriere zwischen der kreativen Leistung des Entwerfers und der automatischen Produktion sollte das Zeichnen auf die Maschine übertragen werden. Interaktion erscheint aus diesem Blickwinkel in seiner nächsten Stufe als ein Teil

²²⁸ Cynthia Goodmann (s. Anm. 227) zitiert einen Zuschauer des Films, S. 19: „Probably the most interesting part of the interview occurred when the rocket trajectory appeared on the screen. What it demonstrated was that (1) computer graphics might be used in practical ways, and (2) an obvious practical use of computer graphics was in transforming complex mathematical information (such as the mathematical description of a rocket trajectory) into a simple picture.“ Zit. nach: DeFanti, Thomas, Vorwort, in: Rivlin, Robert, *The Algorithmic Image Graphic Visions of the Computer Age*, Washington 1986, S. IX.

²²⁹ Lubar, s. Anm. 76, S. 314.

²³⁰ *Timeline of Computer Inventions*, Boston Computer Museum 1995, S. 42.

²³¹ Siggraph, *PANEL PROCEEDINGS, Retrospectives I: The Early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard*. Sprecher: Douglas T. Ross, SofTech, Inc.. S. Anm. 194.

²³² Noble, David F., *Maschinen gegen Menschen, die Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen*, ohne Jahr, Typoscript, S. 13.

²³³ Vgl. Wiener, Norbert; Brown, Gordon S., *Automation, 1955 A Retrospective*, in: *Annals of the History of Computing*, Vol. 6, No. 4, Oktober 1984.

der „evolution of control“ wie dies von James R. Beniger 1986 dargestellt wurde.²³⁵ Damit ist die wachsende „Bildlichkeit“ der Systeme durch einen enormen Druck auf die materielle Welt vorbereitet. Die Produktionsprozesse sollten durch die Automatisierung stärker von den Informationsprozessen abgekoppelt werden, die zunächst keinen materiellen Output schafften, aber dennoch die höchsten Kosten in der gesamten Fertigung produzierten.

6.2. Die Welt als Entwurf - Sketchpad und seine Folgen

Mit den positiven Erfahrungen aus dem Whirlwind-Projekt und der breiten Einführung von Transistoren ab Mitte der 50er Jahre²³⁶ ging man am MIT an die Entwicklung des TX-0 Computers. Praktisch das gesamte Team, das vorher an Whirlwind gearbeitet hatte, wechselte zum TX-Projekt und stattete den Rechner mit den besonderen Leistungen des Vorgängermodells aus, zu denen vor allem die „Echtzeitverarbeitung“ gehörte.²³⁷ Die Grafikfähigkeit des TX-2²³⁸ Systems sollte schließlich die Vereinfachung des Gestaltungsprozesses ermöglichen, indem der Computer Grafiken interpretieren lernt. Anhand neuer Grafikalgorithmen sollte der Computer selbständig jede Werkzeug-Maschine steuern können. Der am Lincoln Laboratory entwickelte TX-0 Computer (1954-55)²³⁹ verfügte für die damalige Zeit über eine gigantische Rechenkapazität und war bereits mit Transistoren gebaut. Besonders wichtig für die Grafikoperationen war die Einführung des Interrupts, mit dem Programme die Arbeit der Zentraleinheit unterbrechen konnten, um Ein- und Ausgabegeräte anzusteuern, bzw. die Eingabe oder Ausgabe zuzulassen. Ivan Sutherland begann erst auf dem Nachfolgemodell, dem TX-2, der schon voll auf Transistoren aufbaute, mit seinem berühmten Programm Sketchpad. Ende 1960 begannen seine Vorarbeiten, die zunächst in der genauen Analyse der Möglichkeiten des Systems bestanden. Schon früher hatten die Ingenieure von General Motors begonnen, über die Anwendungsmöglichkeiten des Computers im Bereich Design nachzudenken und 1954 hierzu eine erste Arbeitsgruppe gebildet.²⁴⁰

²³⁴ Coons, Steven Anson, An Outline of the Requirements for a Computer Aided Design System, S. 299 - 304, in: Proceedings - Spring Joint Computer Conference, 1963, S. 3.

²³⁵ Vgl. Beniger, James R., Evolution of Control, in: Forester, Tom (Hrsg.), Computers in the Human Context, Cambridge (Massachusetts) 1989, S. 48–71.

²³⁶ Transistoren wurden spätestens seit 1951 gehandelt, waren aber erst ab 1955 in großen Stückzahlen verfügbar. Vgl. Vorndran, Edgar P., s. Anm. 133, S. 102 ff.

²³⁷ Siggraph Proceedings, s. Anm. 194 (Po3.htm): „On Line in Real Time Operating Philosophy, spawned by the Whirlwind Project, was fostered by the same technical management who moved to MIT Lincoln Laboratory, including Jay Forrester, Bob Everett, and Norm Taylor. The need for an on line set of utilities making use of the exciting peripheral equipment of the TX-0 prompted the development of the TX-0 Direct Input Utility System.“

²³⁸ Es hat nie einen TX-1 gegeben, da den Entwicklern der Sprung zwischen dem ersten und dem zweiten TX-System zu groß erschien, um nur einen Schritt zu machen. Olson, Ken, Oral History Project, Smithsonian Institution, URL: <http://usis.intnet.mu/smith/0/NA378.htm> (Olson.htm).

²³⁹ Olson Interview, s. Anm. 238.

²⁴⁰ Krull, Fred N., The Origins of Computer Graphics within General Motors, in: Annals of the History of Computing, Vol. 16, No. 3, 1994, S. 40–56, hier S. 40.

Das Memorandum 50001-30 vom 29. November 1960²⁴¹ beschreibt einen neuen „Lichtstift“, der den Nutzern des TX-0 Computers zur Verfügung gestellt wurde. Diese Weiterentwicklung des beschriebenen Projektes SAGE wies im Hinblick auf die Fokussierung einzelner Punkte auf der Kathodenstrahlröhren-Mattscheibe wesentliche Verbesserungen auf. Mit dieser verbesserten Version des Lichtstiftes sollte eine neue Generation von interaktiven Anwendungen ausgestattet werden, die es ermöglichten, feinste Linienstrukturen auf dem Bildschirm zu manipulieren. Die Grafik zeigt das Innere des Leuchtstiftes. Die Metallhülle konnte gegen die innere Hülse gedreht werden, so daß ähnlich wie bei einer Taschenlampe der Fokus der eingesetzten Linse verändert werden konnte. Zur Bedienung des Leuchtstiftes wurde eine einfache Verschlusskonstruktion (Shutter) genutzt. Sie bestand aus einem Metallblech, das durch den Druckknopf (Shutter Button) vor die lichtempfindliche Fotodiode geschoben wurde. Auf diese Weise konnten Zeichnungen von Linien am Bildschirm umgesetzt werden. Das technische Problem bestand vor allem im Abstand zwischen Lichtstift und Bildschirm, da die Nutzung des Stiftes genau die Punkte verdeckte, die durch den Stift aufgenommen werden sollten. Deshalb wurde angestrebt, die Fokussierung zu verbessern und gleichzeitig den möglichen Abstand zwischen Stift und Bildschirm zu vergrößern. Die Führung einer Linie, das sogenannte „Tracking“ wurde zunächst in verschiedenen Experimenten genutzt.²⁴² Erst im Sketchpad-System, das von Ivan Sutherland entwickelt wurde, kam diese Technik zu ihrer ersten professionellen Anwendung.²⁴³ Wie bei nahezu allen Entwicklungen, die die Peripherie des Computers betrafen, ging es darum, die Genauigkeit der Komponenten zu verbessern. Die Präzision, mit der die Geräte geführt werden konnten, stand in direktem Zusammenhang mit der Geschwindigkeit, mit der das gesamte „interaktive“ System genutzt werden konnte. Später maß Douglas Engelbart daher die Zeit, die für die Auswahl eines Elementes oder einer Zone auf dem Bildschirm benötigt wurde.²⁴⁴

Sketchpad gilt als Beginn der Interaktivität und sein Erfinder Ivan Sutherland als Begründer dieser Bewegung. Mit dem Beginn des Zeichnens direkt am Bildschirm wird in der Regel keine direkte Anwendung assoziiert. Vielmehr scheint die Erfindung von Sketchpad in der Literatur als eine Etappe der Entwicklung des Computers zur virtuellen Maschine²⁴⁵ und

²⁴¹ Ward, J.E., Focusing Light Pen, Memorandum 5001-30, 29.11.1960, Archiv des Boston Computer Museums.

²⁴² Ward, J.E., Gun Follow 1, A TX-0 Program For Experiments with Light-Gun Tracking, Memorandum 8436-M-22, Juni 1960, Boston, MIT-Archiv.

²⁴³ Sutherland, Ivan E., Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System, Dissertation, Boston MIT 1963.

²⁴⁴ Vgl. Display-Selection Techniques for Text Manipulation, William K. English, Douglas C. Engelbart, and Melvyn L. Berman, IEEE Transactions on Human Factors in Electronics, March 1967, Vol. HFE-8, No. 1, ff. 5-15 (AUGMENT, 133184,).

²⁴⁵ Vgl. Dinkla, Söke, Vom Zuschauer zum Benutzer, Diss. Hamburg 1995, S. 54. Dinkla richtet den Fokus ihrer Arbeit nicht auf die technische Entwicklung des Computers. Dennoch sollten die Tatsachen richtig wiedergegeben werden. Der TX-0 Computer wurde im Anschluß an die Whirlwind Entwicklung gebaut, hatte aber mit dem darauf folgenden SAGE-System nichts zu tun. Whirlwind stellte den Prototyp für das SAGE-System her, der tatsächlich eingesetzte Rechner wurde von IBM hergestellt und hieß AN/FSQ-7. Er wurde für das gesamte SAGE-System verwendet. Die TX-0 Reihe wurde im wesentlichen von Ken Olson entwickelt und ging in den ersten Microcomputer, die PD-Serie über, die dann auch von der Autoindustrie eingesetzt wurden. Dinkla erwähnt nicht die enge Anbindung der Entwicklung interaktiver Computersysteme an die Entwicklung und die Produktion von Waren. Auch Cynthia Goodman hat in

nicht als seine Integration in die Entwicklung der industriellen Fertigung. Innerhalb der Tendenz der letzten Jahre, die Simulation durch den und mit dem Computer als ein „Spiegelbild“ der Entwicklung der Gesellschaft zu betrachten, sind die verfügbaren Informationen zur Entwicklung der Automation, bei der der Computer eine entscheidende Rolle spielte, nur in Fachkreisen wirklich wahrgenommen worden.²⁴⁶

Die Erfindung des Computer Aided Design ist wesentlich durch die Automatisierung der Produktion, die um 1915 eingesetzt hatte, und die in den zwanziger Jahren mögliche Großserienfertigung beeinflusst. Die Automobilindustrie war die erste, die Werkzeugmaschinen miteinander verkettete und damit auch die Anforderungen an zukünftige Maschinen definierte.²⁴⁷ Sie mußten neben einer genauen Einhaltung von Zeittakten ebenso präzise arbeiten, um auch bei steigender Geschwindigkeit konstante Qualität zu liefern. Um Umbauarbeiten an einer Produktionsmaschine zu verkürzen, wurde zunächst eine Spezialisierung einzelner Maschinen bevorzugt. Henry Ford löste das Problem der Fräsung von Zylinderblock und Zylinder dadurch, daß er zwei parallel arbeitende Maschinen einsetzte, anstatt eine Maschine zum Fräsen des jeweils anderen Teils immer wieder umzubauen.²⁴⁸ Die Automatisierung der Produktion erforderte aber eine deutliche Verbesserung der Steuerungsmechanismen. Die bisher weitgehend manuell justierten Fräsmaschinen wurden schon in den ersten Jahren der Massenfertigung durch automatisierte Spezialmaschinen ersetzt, die allerdings nur eine geringe Bandbreite von Werkstücken herstellen konnten. In den zwanziger Jahren spielten zunächst die Kopiermaschinen eine entscheidende Rolle, die das zu bearbeitende Werkstück in Form brachten, indem sie parallel dazu das „Mutter“-Werkstück in einer Abtastvorrichtung abnahmen. Hier stand das zu kopierende Werkstück in der Mittlerrolle zwischen herzustellendem Objekt auf der Maschine und der technischen Zeichnung. Die Abbildungsfunktion in den präzisen Maßen konnte auf diese Weise erreicht werden, wobei jedoch die Kosten für die Kopiermaschinen relativ hoch waren, da jede Fräsmaschine über eine Abtastvorrichtung verfügen mußte. Mit der Einführung von Schablonen und Lochstreifen konnte die numerische Kopiermaschine deutlich günstiger gebaut und genutzt werden.²⁴⁹

Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) als eines der wichtigsten Forschungs- und Entwicklungslabors Amerikas stand weitgehend unter der Kontrolle der Armee. Hier wurde im Auftrag der amerikanischen Luftwaffe während des Zweiten Weltkrieges²⁵⁰ damit begonnen, lochstreifengesteuerte Werkzeugmaschinen zu entwickeln, die eine Beschleunigung und Verbilligung gegenüber den Kopiermaschinen erreichen sollten.

1953 entwickelte das MIT die erste vollautomatische Fräsmaschine für die Flugzeugindustrie, die mit Lochbandsteuerung arbeitete.²⁵¹ Dieser Durchbruch in der Automatisierungs-

ihrem Buch von 1987 wenig über die Zusammenhänge, aus denen heraus das System Sketchpad entwickelt wurde, gesagt. Vgl. Goodmann, s. Anm. 227, S. 22.

²⁴⁶ Vgl. hierzu Noble, s. Anm. 232.

²⁴⁷ Womack; Jones; Ross, *The Machine That Changed the World*, New York 1990, S. 30ff.

²⁴⁸ Womack, s. Anm. 247, S. 35.

²⁴⁹ Vgl. hierzu Propyläen Technikgeschichte, Band V, Berlin 1992, S. 48ff.

²⁵⁰ S. Anm. 249, S. 51.

²⁵¹ Coons, s. Anm. 234.

technik bedeutete zunächst einen weiteren Druck auf die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Nun mußten die Ingenieure in einem schwierigen und auch zeitraubenden Verfahren die Zeichnungen, die bisher auf klassische Weise am Zeichenbrett entstanden, zunächst in eine numerische Form bringen, um sie dann mit Hilfe einer Stanzmaschine in ein Lochband umzusetzen, das von der Werkzeugmaschine gelesen werden konnte. Das Verfahren dieser Übersetzung wurde zunehmend standardisiert und mündete in der Entwicklung der sogenannten ATP Programmiersprache (Automatically Programmed Tool).²⁵² Um 1959 begann man mit der Evaluierung eines weiteren Schrittes, der konsequent die Verringerung des Aufwandes beim Transfer von Zeichnungen in eine maschinenlesbare Form im Blick hatte:

„We outlined at the meeting a system that would in effect join man and machine in an intimate cooperative complex, a combination that would use the creative and imaginative powers of the man and the analytical and computational powers of the machine each with the greatest possible economy and efficiency“²⁵³

Das definierte Ziel war also die enge Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine. Die Möglichkeiten beider Partner wurden ausgelotet. Wie schon beim Computer als Rechenmaschine, verstand die Erforschung der Automation die Maschine als Entlastungsgerät, das den Wissenschaftler oder Ingenieur von seiner zeitraubenden Rechenarbeit befreien sollte. Die Schnittstelle von Mensch und Maschine wurde in diesen Visionen als ein Zusammenführen von Fähigkeiten verstanden, die sonst nur getrennt genutzt werden konnten:

„We envisioned even than the designer seated at the console, drawing a sketch of his proposed device on the screen of an oscilloscope tube with a „light pen“, modifying his sketch at will, and commanding the computer slave (!) to refine the sketch into a perfect drawing, to perform various numerical analyses having to do with structural strength, clearances of adjacent parts, and other analyses as well“²⁵⁴

Hier wird die Vision eines Zeichenapparates am Bildschirm entwickelt, der seine Zeichnung als mathematisches Modell bereits im Speicher hat und daher für die Ausgabe zur numerisch gesteuerten Maschine keinen „menschlichen“ Zwischenschritt mehr benötigt. Der „Zeichensklave“ verfügte gegenüber dem Menschen über fest verdrahtete „Fähigkeiten“, die er sofort auf die eingegebene Zeichnung anwenden konnte. Besonders interessant waren dabei die schon enthaltenen Berechnungen für die Festigkeit bzw. Steifheit einer

²⁵² Coons, s. Anm. 234, S. 299. Die Leistung konnte nur erbracht werden, weil sich ein Konsortium von Firmen mit der Luftwaffe zusammenschloss, um den enormen Aufwand der Entwicklung finanziell und organisatorisch zu tragen.

²⁵³ Coons, s. Anm. 234, S. 300.

²⁵⁴ Coons, s. Anm. 234, S. 300.

Konstruktion (structural strength). Mit dieser Vorausberechnung des Verhaltens unter Belastung waren im Prinzip die Bedingungen für die Simulation am Bildschirm bereits gegeben.²⁵⁵

Deutlich wurde an dieser Entwicklung wie die Nutzung der Perspektive für die Zeichnung und damit die Modellierung und Simulation künftiger Objekte der Realität geradezu das Gegenteil dessen im Blick hatte, worauf heutige Diskussionen um die virtuelle Realität abzielen. Die Vision oder Simulation am Bildschirm bezog sich auf die Fertigung zuvor entworfener Produkte. In der Koordination von Mensch und Maschine sollte die Leistung des Menschen in der Beherrschung des gesamten technischen Vorgangs und aus der kreativen Leistung am Bildschirm bestehen. Der Maschine hingegen war die Perfektionierung der angestrebten technischen Konstruktion vorbehalten. Linien sollten begradigt, Kurven nach mathematischen Gesichtspunkten aufgezeichnet und berechnet werden. Die virtuellen Daten wurden aber nur als Zwischenschritt zum eigentlichen Produkt verstanden. Die eigentliche Transformation besteht in der Abwertung des geistigen Vorgangs gegenüber der materiellen Fertigung. Das Primat der Kontrolle sollte auf den Bereich verlagert werden, in dem sie leichter zu leisten war und dessen Ergebnis zunächst noch virtuell blieb. David F. Noble hat das Bedürfnis, die Produkte zu kontrollieren, auf Probleme mit den Arbeitskräften zurückgeführt. Die Dreher standen dem Management gegenüber und waren in der Lage, die Produktion und ihre Geschwindigkeit selbst zu kontrollieren. Da nur sie über die Qualität des Endproduktes entschieden, war es nicht möglich, sie entsprechend der Vorstellung der Firmenleitung zu steuern. Mit dem Übergang zur computergestützten Fertigung wurde die Handarbeit nicht entwertet, sondern im Verhältnis zur theoretischen Entwicklung aufgewertet. Mit der Aufteilung des bisherigen Produktionsprozesses in einen Entwurfsteil und einen maschinellen Fertigungsteil ging man davon aus, daß die mathematisch richtigen Entwürfe sich in qualitativ hochwertige Waren umsetzen ließen²⁵⁶ und der theoretische Teil der Arbeit, das Bild des Produktes, sich möglichst lange manipulieren und damit kontrollieren ließ. Die Visualisierung wurde ein Agent der kontrollierten Produktion.

Auch die deutsche Flugzeugindustrie hatte entscheidende Probleme mit der Qualitätssicherung. Konrad Zuse arbeitete während des Krieges im Auftrag der Luftwaffe an der Verbesserung von Flugbomben. Er versuchte die Mängel, die bei normalen Werkzeugmaschinen in der Oberflächenpräzision bestehen blieben, mit Hilfe des Computers dadurch auszugleichen, daß die Steuerung während des Fluges auf die Oberflächenmängel eingestellt wurde.²⁵⁷ Statt die Fertigungsqualität bereits an der Quelle zu erhöhen, sah man zunächst nur die Möglichkeit, die Fehlertoleranz auszugleichen. In den USA wurde diese Problematik

²⁵⁵ Eine Abbildung aus dieser Zeit zeigt Sutherland vor der Zeichnung einer Brücke, bei der die möglichen Belastungen an Einzelstreben durch Zahlen gekennzeichnet sind. Mit dem Leuchstift konnte er an der Zeichnung einen Belastungspunkt eintragen und daraufhin an den sich verändernden Zahlen ablesen wie die Brücke sich unter „Streß“ verhält. Time Life, Computer, s. Anm. 225, S. 32.

²⁵⁶ Eine Erwartung, die sich bis heute nicht erfüllt hat.

²⁵⁷ Propyläen Technikgeschichte, s. Anm. 249, S. 411.

schnell erkannt und die Entwicklung von sogenannten NC²⁵⁸ Maschinen forciert. Um die Schwierigkeiten bei der Regelung der Prozesse an numerisch gesteuerten Maschinen zu lösen, entschloß sich J. T. Parson, der wesentlich an der Entwicklung von Fräsmaschinen im Auftrag der Luftwaffe beteiligt war, zur Zusammenarbeit mit dem MIT. Die Arbeitsgruppe, von vielen Firmen finanziell unterstützt, kam zu der Idee, die Integration von Kurations- und Produktionsprozeß in einem technischen Konstrukt zu verwirklichen.

Den Überlegungen lag zugrunde, daß der Entwicklungsprozeß eines technischen Gegenstandes als kreativer Prozeß zu betrachten sei. Zunächst waren alle Ideen nur grobe Skizzen, die verschiedene Elemente ohne eindeutige technische Definitionen verbanden. Während diese Skizzen sich entwickelten und das „Konzept“ des technischen Konstruktes repräsentierten, flossen die objektiven naturwissenschaftlichen Grundlagen schrittweise in die fixierten Konzepte ein. In einem ständigen Feedback zwischen innerem Bild (Idee) und technischer Machbarkeit und Darstellung (Entäußerung) wuchs das Konzept zu einem konkreten, durch mathematische und physikalische Gesetze gestützten Objekt:

„He perceives his idea at first not in the perfection of a well turned English word description, nor in the precision of a mathematical formula, but in some nebulous assembly of building blocks of structure, vaguely beheld; he feels his creation. The sketch forms the natural bridge between these vague stirrings of the imagination and the subsequent precise statement of the refined details of the concept“²⁵⁹

Was noch unscharf in der Vorstellung existiert, wird in der Zeichnung soweit fixiert, daß das innere Auge und das äußere Schauen zur Deckung gebracht werden können. Zur „Erfindung“ als geistigem Vorgang wird mit dem Computer-Zeichengerät eine Korrespondenz in der materiellen Realität geschaffen. Die Formalisierung der Problemstellung garantiert die Funktionstüchtigkeit des Konzeptes und damit des fertigen Objektes. Jede weitere Ausformung im Bild konnte eine neuerliche Überprüfung der Praktikabilität und der Durchführbarkeit nach sich ziehen. Die Virtualisierung des Prozesses war somit eine Wunschvorstellung, die sich aus der Anforderung ergab, den Materialisierungsprozeß so weit wie irgend möglich hinauszuschieben. Im Sinne einer Verifikation von Funktion sollte idealerweise das Konzept so lange ohne jede materielle Verbindlichkeit bleiben, bis alle Aspekte ihrer Wirkung in der materiellen Welt „durchdacht“ und „abgebildet“ waren. Der Abbildungsvorgang vollzieht sich für den Entwickler in Schleifen, in denen die Ergebnisse bestimmter Überlegungen immer wieder analysiert und erneut in den Designprozeß eingebracht werden. Je länger Probleme erkannt werden können, ohne schon zu produzieren oder Material verbrauchen zu müssen, desto kürzer und vor allem billiger ist der Entwicklungsprozeß.

²⁵⁸ Numerical Control Maschinen wurden durch J. T. Parson Ende der 40er Jahre in den USA entwickelt, s. Anm. 249, S. 412.

²⁵⁹ Coons, s. Anm. 251, S. 300.

Dieses Verständnis vom Bild führte dazu, die Benutzeroberfläche als Fortsetzung des konzeptuellen „Bildungsprozesses“ zu definieren. Im Gegensatz zur Zeichnung, die an sich auch als Virtuelles verstanden werden muß, sollte das „Bild“, das am Computer erzeugt wurde, immer nur als Vorstufe zu einem materiellen Objekt gelten. Die Zeichnung als in sich abgeschlossenes System war jedoch mit der Verbildlichung sowie der Steuerung von Werkzeugmaschinen verknüpft, also bereits eindeutig auf das materielle Resultat bezogen. Die visionierte Mensch-Maschine-Interaktion bedeutete demnach im wesentlichen eine schnellere und arbeitserleichternde Umsetzung von Ideen in Produkte. Der bis dahin lange Weg, der von der Idee über den ersten Entwurf zur physikalischen Untersuchung bis hin zur Reinzeichnung und zum Produkt führte, war über weite Strecken unkreative Arbeit, die trotzdem ein erhebliches Maß an Fachwissen erforderte. Die Reinzeichner hatten oft nichts anderes zu tun, als die Skizzen, die weitgehend alle wesentlichen Elemente enthielten, mit geraden Linien und sauberen Kurven zu versehen, ohne eine einzige Veränderung in das Konzept einbringen zu können. Diese Zeichnungen mußten an die Programmierer der numerischen Maschinen-Steuerung weiter gegeben werden, die diese Daten ausschließlich in eine maschinenlesbare Form zu verwandeln hatten, um sie als Lochstreifen der Fräsmaschine zuzuführen.

In den Jahren zwischen 1959 und 1963 arbeitete man konzentriert an der Erfüllung der Vision wie sie in den oben zitierten Texten von Coons dargestellt wurde. Das wichtigste Problem bestand zunächst darin, die bekannte Technik der Aufnahme eines Leuchtpunktes mit der Leuchtdiode mit der Möglichkeit zu verknüpfen, die Bewegung des Lichtstiftes über den Bildschirm zu verfolgen. Sobald der shutter geöffnet und ein Punkt auf der Mattscheibe fokussiert, konnten die Koordinaten dieses Punktes zurück berechnet werden. Bei geöffnetem shutter bewegte man den Lichtpunkt aus dem Fokus, wobei die Richtung, in die der Leuchtpunkt aus dem Mittelpunkt wegrückte, zu einer sofortigen Neuberechnung des Zielmittelpunktes führte. Da die Geschwindigkeit bei der Verfolgung des Zielpunktes auf den Whirlwind-Nachfolgern TX-0 bis TX-3 nur 1 bis 3 Millisekunden betrug, reichte dies, um bei normaler Zeichnungsgeschwindigkeit das „tracking“ am System nicht zu „verlieren“.²⁶⁰

Der Bildschirm folgte also mit seinem Lichtstrahl dem vorauseilenden Auge, der Leuchtdiode. Die gezeichnete Spur wurde auf dem Bildschirm durch ständigen Bildaufbau konstant gehalten. Mit dieser Technik konnten die Entfernungen zwischen den Objekten mit damals ausreichender Präzision gezeichnet werden. Die eigentliche Form, sei es eine Linie, ein Kreissegment oder eine andere geometrisch korrekte Form, mußte nicht mehr gezeichnet werden, sondern war als gespeichertes Element abrufbar. In einer Sendung über das Sketchpad-System von 1964 (Anhang 2) führte Ivan Sutherland 1963 eindrucksvoll vor, wie die einfachen Linien in komplexe Objekte übersetzt werden.

²⁶⁰ Stotz, Robert, Man-Machine Console Facilities for Computer Aided Design, in: Proceedings - Spring Joint Computer Conference, 1963, S. 323 bis 328.

Die ersten virtuellen Grafiken entstanden durch die Abbildung des Fräskopfes im Raum, der in alle Bewegungsrichtungen gesteuert werden sollte. Dies war zwar auch schon mit Lochstreifen möglich gewesen, aber die Abstraktion, die für die Übertragung notwendig war, erschwerte den Prozeß erheblich. Die Koordinaten am Bildschirm stammen damit ursprünglich von denen einer Maschine ab. Hier finden sie auch ihre einzige praktische Anwendung außerhalb der reinen Produktion von Informationen oder Illusion.

Der nur ein Jahr später begonnene TX-2 wurde von seinem Designer Wes Clark mit weitreichenden Grafikfähigkeiten ausgestattet.²⁶¹ Im Prinzip war der TX-2 als Testkonfiguration für die Verlässlichkeit von Transistoren gedacht. Die Ausstattung mit einigen besonderen Eingabemedien wie einem Lichtstift oder einer Tonaus- bzw. -eingabe war vor allem darauf zurückzuführen, daß das System für damalige Verhältnisse außerordentlich viel Speicherplatz besaß.²⁶² Am TX-2 ließen sich direkt mit dem Lichtstift Symbole auf dem Bildschirm manipulieren. Jack Gilmore und andere hatten um 1957 eine einfache Form der Textverarbeitung geschaffen, mit der Programmierer auf dem Bildschirm mit dem Lichtstift Buchstaben markieren und sie so in ihr Programm einsetzen konnten.²⁶³ Ebenso ließen sich einfache Linien zeichnen. Sutherland baute auf vorhandenen, integrierten Möglichkeiten auf und kombinierte diese mit der bereits entwickelten Sprache APT. Sein Ziel war es, die Möglichkeiten der Bildbeeinflussung voll auszuloten, um die anschließende Ausgabe für die Fertigungsmaschinen so schnell und so einfach wie möglich zu erreichen. Die größte Bedeutung hatten dabei die Überlegungen, daß der Mensch am Gerät nur rohe Skizzen machen sollte, die der Computer dann in genaue Linien, Kurven und Konturen umwandelte. Die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine bestand im wesentlichen darin, der Maschine die Interpretation der Formen zu ermöglichen. Diese konnte daraus eine adäquate Darstellung des zu Zeichnenden herstellen.

Der TX-2 Computer war ein gewaltiges Experiment und seiner Zeit weit voraus. Die hier experimentell erprobten Ein- und Ausgabetechniken waren von der Computerindustrie noch nicht einsetzbar. Der Speicher und die aufwendige Echtzeitverarbeitung waren für damalige Verhältnisse schlicht zu teuer.²⁶⁴ Für die Programmierer erschien schon die Arbeit am TX-0

²⁶¹ Ivan Sutherland Homepage, (TX-2.htm) URL:

<http://www.seast2.usc.sun.com/960710/feature3/>.

²⁶² Vital Statistics, TX-2 Hardware: Assembled: 1959, Lincoln Laboratory, MIT, Disassembled: 1979, Lincoln Laboratory, MIT. Footprint: =1000 square feet. Main Memory: 68Kwords, 38-bit words ~300kbytes, Magnetic Core Memory, about a cubic yard in size. Speed: memory cycle of 6usec = 1/12 MIP. Backup Storage: 8 Mbyte addressable Mag Tape. Display: 7 inch, 1024 x 1024, point plotting capability only. I/O: Light Pen input @ 1 point; 16 words of switches = 592; 4 digital knobs microphone; speakers. Operating System: NONE, users rolled their own. Compiler: NONE, except a Macro Assembler.

²⁶³ Timeline of Computer Inventions, s. Anm. 230, S. 37.

²⁶⁴ Siggraph Proceedings, 1989, s. Anm. 194, <http://www.siggraph.org.443/publications/panels/siggraph89/p03.html>, Roberts führt in seinem Vortrag aus: „Now one of the things that we did at Lincoln was we kept on developing the technology in the graphics area to the point where we couldn't quite see how anybody was going to use it for the next decade -- in fact, they didn't much -- because what happened was we were so far ahead of what computers were economically able to support. We used this huge computer that filled a room this size in order to do these things and develop some fairly expensive display technology and in this case input device technology to work with that, and

wie ein Operieren im „outer space“, da nie zuvor soviel Speicher zur Verfügung gestanden hatte. Jack Gilmore berichtet hierzu:

„You remember we had 65K of memory. None of us were used to that situation. In fact, we thought we were operating in outer space, we had so much room. And a great many of the programs that were written for the TX-0 were doing a lot of iterations and were operating for long periods of time without any form of output. So this technique provided those people with the ability to see what was happening in their computer program and we rigged it up so that not only could they see what part of a program they were operating in, but we had logical switches that they could open and close using toggle switches on the console of the TX-0.“²⁶⁵

Aus dieser Aussage läßt sich entnehmen, daß viele der weiteren Entwicklungen, die grafische Darstellungen von Prozessen ermöglichten, schlicht auf dem Überfluß an Speicherkapazität beruhten. Man wußte praktisch nicht, was man mit dem Speicher tun sollte, außer Programmteile zu schreiben, die lediglich den Ablauf des gerade arbeitenden Programms am Bildschirm darstellten. Natürlich ergab sich aus dieser erweiterten Ausgabe wiederum die Möglichkeit für den Programmierer, in das System einzugreifen. In erster Linie jedoch wurde die Entwicklung der Bildschirmausgabe durch überschüssige Speicher und Rechenkapazität gefördert. Das rationale Computersystem, dessen asketische Zwänge jede Visualität verboten hatten, öffnete sich dem Blick.

Eine fast vergessene Kategorie in der grafischen Steuerung von Systemen sind Flußdiagramme. Diese Diagramme waren in der Regelungstechnik entwickelt worden und eigneten sich wegen ihrer strengen Strukturierung sehr gut für die Darstellung von Programmabläufen. Im Gegensatz zu den bisherigen Batch-Systemen,²⁶⁶ bei denen das Programm als ganzes eingeladen werden mußte, konnte hier „interaktiv“ ein Schritt nach dem anderen kontrolliert und abgearbeitet werden. Damit wird der Begriff des interaktiven Arbeitens erneut eingegrenzt. „Interaktiv“ bedeutete in diesem Zusammenhang die Abkehr von komplexer hin zu gestufter Eingabe von Informationen.²⁶⁷ Der Kommunikationsprozeß, den die Programmierer mit der Maschine eingingen, war vor allem dadurch geprägt, daß das Sprachver-

were capable of doing things which weren't going to be economically practical for many years.“

²⁶⁵ Siggraph Proceedings 1989, s. Anm. 264, Vortrag von Jack Gilmore.

²⁶⁶ Batch (engl.): Stapel. Im Stapelbetrieb müssen alle Programmschritte eines Programms auf einmal ausgeführt werden. Für den Programmierer besteht keine Möglichkeit zur Interaktion mit dem Programm während des Ablaufes. Große Rechensysteme werden in der Regel mit solchen Batch-Prozessen bestückt, um ihre Kapazität besser auszunützen.

²⁶⁷ Robertson führt aus, wie die Zeichnung von Programmelementen als Symbole mit dem Abarbeiten von Programmteilen verbunden wurde: „Then the next thing we undertook was this process of being able to draw programs. Back in those days we seemed to have much more of a fascination with flowcharts than people do today [...]. So we put together programs using basic building blocks which may be macro, which inside that macro, that was a pictorial image of a larger flow chart, which in fact, as you drew this, compiled the program that went along with this. [...] And this could be drawn fairly quickly just by pointing the light pen at a place on the page, poking the button which corresponded to the particular flow chart component that you wanted to place in that position [...]“. S. Anm. 264.

ständnis auf beiden Seiten kaum entwickelt war. Für die Programmierer bedeutete das „Programmieren“, die Kommunikation mit dem Rechner, eine der menschlichen Denk- und Sprechweise in hohen Maße zuwiderlaufende Handlung. Die Zerlegung in Einzelschritte erforderte eine hohe Abstraktion. Die Problembewältigung mußte in so kleine Teile zerlegt werden, daß der Überblick über das gesamte System von Entscheidungen, Verzweigungen und Schleifen kaum noch zu erreichen war. Nur durch ein schrittweises Verfolgen des Programms wurden Mensch und Maschine wieder auf die gleiche Kommunikationsstufe gesetzt. Der Programmierer konnte sich dann auf die Ebene des Entscheidens zurückbegeben. Durch die Darstellung, Betrachtung und Handlung in der Feedbackschleife war eine engere Beziehung zwischen Mensch und Maschine gegeben als beim Batch-Programmieren. Hier hatten die Entwickler oft hilflos vor der Tatsache gestanden, daß ihr Programm nicht arbeitete, sie konnten aber nicht „sehen“, an welcher Stelle des Verzweigungssystems das Programm gescheitert war.²⁶⁸

Gestalten und Programmieren gehen daher schon beim TX-2 Computer, weit vor der eigentlichen Verbreitung dieser Techniken,²⁶⁹ eine enge Verbindung ein. Die Steuerung des Computers war von diesem Zeitpunkt an nahtlos mit einem intensiven „Bildgebrauch“ verschmolzen. Symbole repräsentierten Programmteile, die als Teilstücke auf dem Bildschirm ausgewählt und beeinflußt werden konnten. Die immaterielle Software erfuhr auf diese Weise ihre „Verbildlichung“. Programmabläufe (Schleifen, bedingte Sprünge etc.) wurden in grafische Schemata transformiert.²⁷⁰

6.2.1. Bilder des Überflusses

Die vielfältigere Grafiknutzung in den sechziger Jahre legte den Grundstein für spätere Problemstellungen.

Technische Entwicklung von „Hardware“ ist dabei getrennt von der dafür entwickelten „Software“ zu betrachten. Bis heute werden Computer, wann immer es möglich ist und unter Kostengesichtspunkten erschwinglich erscheint, mit steigender Kapazität ausgestattet, für die es zum gegebenen Zeitpunkt noch keine Verwendung gibt. Dies galt in hohem Maße für den TX-0 und später den TX-2.

Durch diesen Überfluß an Rechen- und Speicherkapazitäten entwickelte sich die Bildwelt des Computers systematisch weiter. Sie erscheint geradezu aus der schieren Nutzlosigkeit geboren. Diese These läßt sich auch auf die zeitliche Nutzung von Rechenanlagen übertra-

²⁶⁸ Ken Olson berichtet: „The things we took from MIT were first of all, the idea of an interactive computer which was unique. In those days you dropped your problem in the form of a stack of IBM cards in a slot. It went into the IBM machine. The next day you got your answer back, and it usually was [that] you'd made a mistake. With interactive computing, you put a problem and you'd try something and you [were] instantly told it was a mistake. You could interact, get things done fast...“. S. Anm. 236.

²⁶⁹ Man kann sagen, daß sich erst im Alto von Xerox, also in den siebziger Jahren, das Prinzip der Arbeit am TX-2 in einem Tischcomputer realisierte. Kurz danach wurde Apples Lisa geschaffen, der das Konzept der Fenster vom Alto übernahm.

gen. Computer können 24 Stunden am Tag rechnen, es wird aber oft nur ein kleiner Teil der Arbeitszeit wirklich genutzt. Deshalb wurde - wie ich später noch zeigen werde – Rechenkapazität auf entfernte Benutzer aufgeteilt. Hier liegt auch der Ursprung der „Computerkunst“, da die Firmen Künstlern Rechenzeiten zur Verfügung stellten, die sie selbst kaum ausnutzen konnten.²⁷¹

6.2.2. Problemfeld Bildschirm

Das MIT TX-2 System nutzte den noch sehr einfachen Vektorbildschirm mit einer höheren Bildwiederholfrequenz, als dies für damalige Verhältnisse notwendig gewesen wäre. Jedes Element, das stabil auf dem Bildschirm bestehen bleiben sollte, bedurfte eines Speichers im Inneren der Maschine. Jede Lageänderung eines einzelnen Bildpunktes erforderte eine Rechenoperation, die diese Lageänderung reflektierte. Im Gegensatz zum Fernsehbild, dessen Informationsinhalte ständig im Fluß und nur analog in Form von Frequenzmodulationen transportiert wurden, war das Computerbild eine extreme Belastung für die Rechenmaschine. Jede Bildveränderung mußte „erzeugt“ werden.

Der Datenstrom des Fernsehbildes, der den einer Grafik am Computermonitor um ein Vielfaches übertraf, erzeugte ein bewegtes Bild, das kontinuierlich vom Elektronenstrahl auf die Mattscheibe übertragen wurde. Doch das analoge Fernsehbild war nicht beeinflussbar. Das Bild an den ersten Grafikarbeitsplätzen hingegen war stationär, dafür aber der Kontrolle des Benutzers unterworfen.

Beim Vektorbildschirm zeichnete der Elektronenstrahl wie beim Fernsehen direkt auf die Mattscheibe auf, alle Bildelemente mußten vorher jedoch zwischengespeichert werden. Auf diese Weise erzeugte der Computer Punkte oder kontinuierliche Linien, die zunächst immer nur geradlinig verlaufen konnten. Kurven wurden aus kurzen Geraden zusammengesetzt. Durch das Nachleuchten des Phosphors wurde die „Refreshzeit“ überbrückt, die der Elektronenstrahl benötigte, um alle am Bildschirm gleichzeitig erzeugten Bildpunkte oder Linien wieder aufzufrischen. Die Stabilität des Bildes war daher entweder von der Nachleuchtdauer des Phosphors oder von der Geschwindigkeit der „Refreshzyklen“ abhängig, die in Hertz gemessen wurden. Da bei Vektorbildschirmen die Speicherung von Zwischenbildern nur dann notwendig wurde, wenn einzelne Zonen des Bildschirms verändert werden mußten, benötigte ein Zeichenprogramm wie Sketchpad eine hohe Bildwiederholrate. Im allgemeinen waren jedoch die Speicheranforderungen bei Vektorschirmen wesentlich geringer als bei den sich später durchsetzenden Rasterbildschirmen, da immer nur die Anfangs- und Endpunkte der Linien gespeichert werden mußten. Die Vorteile des Vektorbildschirms waren zunächst der geringe Speicherbedarf zur Aufbereitung des Dargestellten sowie die hohe

²⁷⁰ Pascoe, Robert S. V.; Whiting, Paul G., A History of Data-Flow Languages, in: Annals of the History of Computing, Vol. 16, No. 4, 1994, S. 38–59.

²⁷¹ Ein gutes Beispiel hierfür ist die Einrichtung des „Artist in Residence“, die von IBM getragen wurde. Hier hat zum Beispiel der bekannte Computerkünstler Yoichiro Kawaguchi gearbeitet.

Geschwindigkeit beim Bildaufbau. Der Nachteil: die Bilddetails waren nur begrenzt editierbar, nur wenige Farben konnten dargestellt werden.

6.2.3. Interaktion als Hardwareproblem

Die interaktive Nutzung des TX-2 Computers führte dazu, daß sich der Inhalt des Bildschirms ununterbrochen erneuern mußte. Wenn Sutherland mit seinem Leuchtstift über die Mattscheibe fuhr, kontrollierte die Schleife zwischen Lichtpunkt und Fotodiode ständig die Position der Lichtpistole auf dem Bildschirm. Nur so konnte die Illusion einer sich bewegenden oder einer gezogenen Linie produziert werden. In jedem Bruchteil einer Sekunde wurde die Leuchtspur auf der Mattscheibe der Bewegung der Hand nachgeführt. Dieses „tracking“ war eines der größten Probleme der ersten Grafikanwendungen. Die Bewegungen des Operators durften nicht zu schnell ablaufen, weil er sonst die Leuchtspur auf dem Bildschirm verlor. Für den unbeteiligten Betrachter hatte diese Art der Bildschirmzeichnung etwas Magisches. Dies schlug sich auch in dem Unglauben nieder, der dem gesamten Projekt von der Öffentlichkeit entgegengebracht wurde.²⁷² Um den Bildschirm in der entsprechenden Geschwindigkeit aktualisieren zu können, mußte die Bildwiederholfrequenz über dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges liegen.²⁷³ Eine flüssige Bewegung konnte bei etwa dreißig Wiederholzyklen pro Sekunde erreicht werden.²⁷⁴ Der Bildschirmspeicher mußte dementsprechend schnell aktualisiert, ausgelesen und an den Bildschirm übertragen werden. Die Rechnerkapazitäten, die bisher im wesentlichen für die Berechnung gestellter Aufgaben verwendet wurden, verlagerten sich mehr und mehr auf die Ein- und Ausgabe von Daten.

Die hier aufgeworfenen Probleme führten in der weiteren Entwicklung des Computers zu einer deutlichen Trennung zwischen dem Bildspeicher und der Speicherung der Rechenoperationen. Um den Rechner vom Bildaufbau zu entlasten, entwickelten sich die Bauteile, welche die Bildröhre steuerten zu eigenen Computersystemen, die, durch das Betriebssystem vereint, in enger Kooperation mit dem Hauptprozessor zusammenarbeiteten. Spätere Grafikarbeitsplätze verfügten, bereits in die Hardware integriert, über Funktionen, die Algo-

²⁷² Ein Zeitungsartikel vom Mai 1963 berichtet über die neueste Entwicklung mit ironischen Worten: „Those Eggheads at MIT are scrambling up a gimmick that will take all the drudgery out of designing anything from an electrical circuit to a jet plane.“ Ungläubig fährt der Journalist fort: „The man will make a freehand sketch with a pen on the oscilloscope and than let the computer do the rest. When it is through the finished design will be on the drawing board.“ Und schließt mit dem Satz: „They keep on mechanizing experience – and they ain’t gonna be much fun left in life.“ Boston Globe, 24. 5.1963 „Instant Design Latest Gadget by MIT Men“. Auch die Industrie interessierte sich kaum für diese Entwicklung, da die Manager die direkten Anwendungsmöglichkeiten nicht erkannten. Lediglich GM bildete eine Ausnahme.

²⁷³ Greenberg, Donald (u.a), The Computer Image: Applications of Computer Graphics, Kalifornien 1982, S. 8.

²⁷⁴ Beim Film kann durch das Verschließen der Projektionslampe eine kurze Dunkelphase erzeugt werden. Hierdurch kann die Bildwechselfrequenz niedriger liegen als bei Bildschirmen.

rithmen für das Zeichnen von grafischen Elementen bereitstellten. Das „output device“²⁷⁵ wurde zum Computer im Computer.

6.2.4. Die Speicherröhre von Tektronix

Um die Kosten für den Bildwiederholpeicher zu senken, entwickelte die Firma Tektronix eine andere Lösung zur Darstellung von Zeichnungen.²⁷⁶ Statt die Zeichnung direkt auf die Mattscheibe zu zeichnen, wurde ein feines Drahtgitter zwischen Mattscheibe und Elektronenstrahl angebracht. Der Elektronenstrahl zeichnete das Bild zunächst auf das Gitter. Durch eine zweite Röhre, die den gesamten Bildraum gleichmäßig mit einer schwachen Strahlung versorgte, wurde das Bild auf dem Gitter auf die Mattscheibe übertragen. Durch diese Technik konnte auf das häufige Wiederholen des Bildaufbaus verzichtet werden, weil das Gitter das Bild bis zu einer Stunde speichern konnte, ohne neu aufgeladen werden zu müssen. Mit der Verringerung der Bildwiederholrate konnte der Speicher für Zwischenbilder eingespart werden.²⁷⁷ Damit eroberte die Tektronix-Bildröhre den Markt.²⁷⁸ Sie bildete eine Entwicklungsstufe zwischen den Vektorbildschirmen mit ihrer hohen Nachleuchtwirkung des Phosphors und solchen, die über einen größeren Bildschirmpufferspeicher verfügen mußten, um das Bild immer wieder neu aufzubauen. Entsprechend der Komplexität und der Anzahl der auf dem Bildschirm dargestellten Formen mußte der Speicher eines Vektorschirms sehr groß sein. Je größer die Anzahl der Linien auf dem Bildschirm wurde, desto höher mußte auch die Bildschirmwiederholfrequenz sein, da der Elektronenstrahl immer länger brauchte, um alle Elemente am Bildschirm neu zu zeichnen. Nachteil der Röhre war die Tatsache, daß nur 2D-Objekte dargestellt werden konnten, und daß bei einer Veränderung der Zeichnung der Bildschirm immer als Ganzes gelöscht und wieder neu aufgebaut werden mußte. Man konnte wegen des fehlenden Zwischenspeichers auch keine Bewegungen der Objekte auf dem Bildschirm ausführen. Trotz dieser Einschränkungen bot die Tektronix-Röhre damals die mit Abstand beste Kosten-Nutzen-Relation.

6.2.5. Entwicklungen bei GM

Zu den in der Literatur im allgemeinen vernachlässigten Aktivitäten gehörte auch das bereits erwähnte Engagement von General Motors im Bereich der interaktiven Computergrafik. Daß die Autoindustrie diese neue Möglichkeit der Gestaltung von Elementen vor der eigentlichen Fertigung ins Auge faßte, stand in engem Zusammenhang mit der enorm expandierenden Fahrzeugindustrie jener Zeit und den aufwendigen Entwicklungs- und Produktionsverfahren. Die Designabteilungen hatten bisher nur den Modellbau gekannt, um die Stufe zwischen Entwurf und Herstellung der Werkzeugmaschinen zu bilden. Im Modell wurden die Entwürfe

²⁷⁵ Output device ist die abstrakte Bezeichnung eines Gerätes zur Ausgabe von Informationen am Computer. Dieses kann ein Bildschirm, ein Drucker, aber auch ein Kartenlocher sein.

²⁷⁶ Greenberg, s. Anm. 273, S. 9.

²⁷⁷ Time Life, Computergrafik, s. Anm. 225, S. 38.

²⁷⁸ Willim, Bernd, Leitfaden der Computergrafik, Berlin 1989, S. 681.

dann verfeinert, was bisher nur in der dreidimensionalen Form möglich war. Zwischen diesen althergebrachten Verfahren der Konstruktion über Zeichnungen, Berechnungen, Modelle bis hin zur direkten Konstruktion eines ersten Prototyps am Bildschirm, das heute als CAD (Computer Aided Design) oder als CIM (Computer Integrated Manufacturing) bekannt ist, lag ein schwieriger Weg. Die Idealvorstellung der Fahrzeugdesigner war die Verkürzung des Entwicklungsprozesses durch Integration von Design, technischer Entwicklung, Modellierung und Produktionsprozeß.²⁷⁹

GM startete 1959 mit IBM eine Zusammenarbeit, deren Ergebnis das erste computergestützte Konstruktionssystem der Automobilindustrie war.²⁸⁰ Im Zusammenhang mit der Nutzung von Computern bei GM wurden weitere Innovationen entwickelt, die Grundvoraussetzungen für das spätere DAC-1 System wurden (Design Augmented by Computers). 1958 hatte IBM seinen ersten Filmrecorder eingeführt, der in der Lage war, Plotterzeichnungen in 8 mm Film umzusetzen. Dem Operator einer solchen Einheit stand neben der Aufnahmestation auch ein „Display“ zur Verfügung, an dem er die einzelnen Phasen der Aufnahme des Films beobachten konnte. Für diese Umsetzung von Einzelphasen-Zeichnungen auf Film wurden die schon bekannten Techniken des Trickfilms angewendet. Mit dieser Einrichtung war die Erstellung animierter Sequenzen aus dem Bereich Auto und Verkehr erstmals realisiert worden.²⁸¹ Die Automatisierungsbemühungen bei GM waren groß. Man glaubte an die mögliche Entlastung der Mitarbeiter durch die partnerschaftliche Arbeit zwischen Fließbandarbeitern und den neuen Fließbandrobotern des Typs „Unimate“,²⁸² die nach 1959 in der ersten großen Automatisierungswelle in der Automobilindustrie eingesetzt wurden. Das Thema Automatisierung beherrschte die amerikanische Gesellschaft und spaltete sie in zwei Lager. Die Gruppe der Unternehmer erhoffte sich mehr Unabhängigkeit von den Metallarbeitern, die Arbeitnehmer fürchteten die Maschinen als Arbeitsplatzvernichter. Norbert Wiener erkannte frühzeitig die Auswirkungen der Automatisierung auf den Arbeiter.²⁸³ Es wurden nicht nur Arbeitsplätze durch Maschinen ersetzt, sondern auch die Arbeiter wurden unter dem Druck der Maschinen selbst zu mechanischem Arbeiten angetrieben.²⁸⁴ Dementsprechend schlecht fiel die Einführung im GM Werk Lordstown (Ohio) aus. Die Roboter wurden sabotiert und die Arbeitssituation verschlechterte sich extrem. Die Maschinen, deren Funktionen außer den Ingenieuren, die sie konstruiert hatten, niemand kannte, wirkten auf die Arbeiter wie eine Bedrohung.

Im Gegensatz zu Sutherlands Sketchpad-System, das mit reinen euklidischen Formen operierte, sollte das DAC-1 System auch die weichen Umrißlinien des Designs darstellen können. Solche komplexeren und auch genaueren Figuren konnten nicht wie bei Sketchpad

²⁷⁹ Krull, s. Anm. 240, S. 41.

²⁸⁰ Time Life, s. Anm. 225, S 35.

²⁸¹ Krull, s. Anm. 240, S. 45.

²⁸² Lubar, s. Anm. 76, S. 331.

²⁸³ Wiener, Norbert, The Human Use of Human Being, in: Cybernetics and Society, o.O. 1988, S. 150.

²⁸⁴ Charlie Chaplin hat in „Modern Times“ karikiert, wie sich der Mensch dem Rhythmus der Automatisierung unterwerfen muß.

auf den Bildschirm gezeichnet werden. Sie wurden zunächst von herkömmlichen Zeichnungen in den Computer übertragen. Aus dieser Fragestellung heraus und mit den Erfahrungen aus der Verfilmungseinheit (s.o.), die für die Aufnahme von Zeichnungen auf Film konstruiert worden war, entwickelte man weitere „Scanning“-Methoden. Um die Daten einer Zeichnung in den Computer einlesen zu können, wurde eine spezielle Einrichtung konstruiert. Die Zeichnung wurde auf eine durchsichtige Plexiglastafel aufgeklebt und vor einen Monitor gesetzt. Auf der gegenüberliegenden Seite wurde eine Aufnahmeröhre eingesetzt, die den gesamten Bildschirm überdeckte und Außenlicht abschirmte. Mit einem Programm zur Verfolgung der Linien auf der Zeichnung²⁸⁵ wurde das gesamte Bild in Koordinaten umgewandelt und schließlich durch Vektoren dargestellt. Zuvor hatte man eine Fräsmaschine zu einem Plotter umgebaut, in den lediglich an die Stelle des Fräskopfes ein Zeichenstift eingesetzt worden war. Mit der Eingabe von Koordinaten am Computer und der Verwendung entsprechender Formeln zur Linienzeichnung waren hiermit die ersten elektronisch erzeugten Grafiken der Automobilindustrie erstellt worden. Boeing hatte bereits 1961 einen Plotter aus einer Fräsmaschine gebaut. William Fetter, einer der ersten Computerkünstler der Welt, hatte damit für den Flugzeughersteller dreidimensionale Figuren gezeichnet, die den Bewegungsraum in einem noch nicht gebauten Cockpit ausmessen sollten.²⁸⁶ Das GM/IBM Joint Venture brachte 1959 eine erste Machbarkeitsstudie hervor und wurde etwa 1963 abgeschlossen. Die Entwickler bei IBM setzten viel weniger als Sutherland auf eine wirklich interaktive Erstellung von Zeichnungen am Bildschirm. So wurde die Grafikkonsole des DAC-1 Systems, das auf dem IBM 7090,²⁸⁷ aufbaute, eher für Computeroperatoren als für Designer ausgelegt.²⁸⁸ Mit einem elektronischen Stift, dessen Position durch eine leitende Schicht auf der Bildschirmoberfläche bestimmt wurde, konnte zwar gezeichnet werden, aber die Funktionalität ließ zu wünschen übrig.²⁸⁹ Auf derselben Joint Computer Conference 1964, auf der auch Sutherland sein System vorstellte, wurde das DAC-1 System präsentiert; es handelte sich also um zwei voneinander unabhängige Projekte.²⁹⁰ Gleichwohl waren die Entwickler des IBM/GM-Systems sehr an Sketchpad interessiert, da die Möglichkeit der Unterstützung bei der Konstruktion von Elementen in ihrem Projekt fehlte. Nur bei Sketchpad

²⁸⁵ Da die Abstrahlung des Monitors meist weiß war und nur ein kleiner Teil des Bildschirms durch die Linien der Zeichnung überdeckt waren, wurde kein Raster-Scan-, sondern ein Line-Tracking-Verfahren angewendet. Dabei verfolgt der Abtaststrahl die Linie, indem er immer zwischen zwei hellen Punkten einen dunklen sucht. So verläßt der Scanstrahl die Linie nicht und folgt ihr sukzessive. Hierdurch konnte die Scangeschwindigkeit sehr erhöht werden. Krull, s. Anm. 240, S. 42.

²⁸⁶ Baker, Robert, *Designing the Future, Die Dreidimensionale Computerrevolution*, Düsseldorf 1993, S. 36. Vgl. auch Willim, s. Anm. 278, S. 682.

²⁸⁷ Der 7090 war ein voll transistorierter Elektronenrechner. Er hatte mit 64 K die gleiche Hauptspeicherkapazität wie der TX-2 am MIT.

²⁸⁸ Im Gegensatz zum Sketchpad-System wurde beim DAC-1 die Zeichnung im Hauptspeicher abgelegt, so daß die Anzahl der darstellbaren Vektoren gering blieb. Krull, s. Anm. 240, S. 49.

²⁸⁹ Die kapazitive Methode wurde weiter beibehalten. Aus ihr hat sich auch die Technik des Digitalisierungstabletts entwickelt. Dabei wird auf einer Fläche ein feines Drahtgitter aufgebracht. Der Sensor, der über die Zeichnung geführt wird, enthält einen kleinen Sender, der Strom in das Drahtgitter induziert. Die horizontale und vertikale Position wird durch den Schnittpunkt der Drähte bestimmt, in den der Strom induziert wird. Vgl. Kerlow, Victor; Rosebush, Judson, *Computer Graphics for Designers and Artists*, New York 1986, S. 64.

²⁹⁰ Dieser meist verdrängte Tatbestand ist ein erneuter Beleg dafür, daß nicht allein das Militär die Technologie für die Zeichnung am Bildschirm hervorgebracht hat. Es ist anzunehmen, daß

waren automatische Verbesserungen der Zeichnung durch den Computer integriert worden. Das Zeichnen auf einem senkrechten Bildschirm stellte sich als sehr ermüdend und unergonomisch heraus. Diese Möglichkeit wurde deshalb später kaum noch genutzt. Auch die Versuche, mit dem Stift auf den Bildschirm zu schreiben, wurden bald wieder aufgegeben. Erst eine Begegnung zwischen den GM-Entwicklern und Douglas Engelbart, auf den ich im nächsten Abschnitt eingehen werde, brachte eine entscheidende Wende in der interaktiven Bearbeitung von Computergrafik. Engelbart entwickelte die Computermaus und führte sie 1968 den Mitarbeitern von GM vor.²⁹¹

Das wirklich Beeindruckende an der DAC-1 Vorführung war ein Fahrzeug, das sich über den Bildschirm bewegte. Details der Zeichnung konnten angewählt und vergrößert werden. So ließen die Demonstratoren eine Motorhaube auf dem Display erscheinen. Die weichen geschwungenen Linien des geplanten endgültigen Blechteiles ließen sich bereits sehr gut erkennen.

Ende des Jahres 1964 waren schon etwa 100 spezialisierte Grafiksysteme im Einsatz. Neben der Autoindustrie waren auch die Flugzeug-, die Öl- und die Elektrizitätsindustrie an grafischen Terminals interessiert und erforschten deren Einsatzmöglichkeiten. Aufgrund des großen Interesses brachte IBM als Erweiterung seines Großrechners 360 im Jahre 1965 ein standardisiertes Grafikterminal heraus, das Modell 2250. Es konnte an die verschiedenen Anforderungen der Industrie leichter angepaßt werden, hatte allerdings den Nachteil, daß es die Speicherung der Zeichnung nach wie vor im Hauptspeicher des Zentralrechners durchführte. Einerseits begrenzte der Speicherplatz die Anzahl der Vektoren auf den Zeichnungen; andererseits wurde der Zentralrechner ganz in Anspruch genommen, wenn ein Bild gedreht werden sollte. Wenn viele Zeichnungselemente auf dem Bildschirm dargestellt werden sollten, wurde soviel Rechenzeit in Anspruch genommen, daß das Bild kaum wieder aufgebaut werden konnte. Es begann zu flimmern, da die Refreshzyklen nicht mehr ausreichten, um bei einem Durchlauf alle Elemente neu zu zeichnen. Flüssige Bewegungen des Bildschirms waren nicht möglich, und die Veränderungen konnten nur mit größeren Pausen vorgenommen werden. Für den Designer stellten diese Einschränkungen ernstzunehmende Gründe dar, solch ein System zu meiden.

6.2.6. Die Entstehung spezialisierter Hardware

Anfang der siebziger Jahre entwickelten Evans und Sutherland²⁹² ein neues System zur Beschleunigung des Bildschirmaufbaus bei komplexen Darstellungen. Sie versahen ihr LDS-1 System (Line Drawing System) mit spezialisierten Schaltungen, die bestimmte Aufgaben,

die Interessen der Großindustrie und deren finanziellen Möglichkeiten durchaus gerecht hätten auch ohne Militärgelder CAD-Systeme zu entwickeln.

²⁹¹ Krull, s. Anm. 240, S. 49.

²⁹² Sutherland hatte 1966 nach seiner Dissertation am MIT eine Stelle am ARPA-Projekt des Verteidigungsministeriums erhalten. Dort arbeitete auch David Evans. Sie gründeten zusammen 1968 Evans & Sutherland. Diese Firma bestimmte für die folgenden Jahre die gesamte Entwicklung der Grafiksysteme entscheidend. Vgl. Time Life, s. Anm. 225, S. 36.

welche bisher innerhalb des Hauptspeichers bearbeitet wurden, komplett übernahmen. Dazu gehörte die sehr zeitaufwendige Berechnung der Veränderung des Betrachterstandpunktes bei verschiedenen Ansichten des gleichen Objektes. Ebenso wurde der Bildaufbau vom Zentralrechner auf einen eigenen Bildschirmrechner übertragen, so daß der Hauptspeicher und die Software weitgehend entlastet wurden.²⁹³ Fest verdrahtete Funktionen wurden auf eine spezielle Bildschirmsteuerungseinheit verlagert.²⁹⁴ Dieser sehr teure Grafikterminal kostete ohne Software ungefähr 250.000 \$ und fand deswegen wenig Abnehmer. Angesichts der geringen Nutzung von grafischen Computerarbeitsplätzen erfüllte die Tektronixröhre den Großteil der damaligen Ansprüche zu erheblich günstigeren Preisen. Die Zeit für ausgefeiltere Systeme war noch nicht reif.

Weitere Interaktionsmöglichkeiten ergaben sich aus der Einführung des Rasterbildschirms. Im Gegensatz zum Vektorbildschirm schickt der Rasterbildschirm den Elektronenstrahl durch eine Maske (je nach Charakteristik als Loch- oder Schlitzmaske ausgeführt). Durch diese Maske werden einzelne Punkte horizontal und vertikal in ihrer möglichen Gesamtzahl (Bildschirmauflösung) festgelegt. Der Rasterbildschirm hat daher die maximale Auflösung von Punkten der Lochmaske. Beim Zeichnen werden nur Punkte gesetzt. Linien ergeben sich aus der Aneinanderreihung eng zusammenliegender Punkte. Da in Rasterbildschirmen die Nachleuchtwirkung des Phosphors sehr kurz bemessen wird, muß der Rasterbildschirm wesentlich schneller wieder aufgefrischt werden (durch ein erneutes Abstrahlen der Elektronen auf die Mattscheibe) als der Vektorbildschirm. Jeder Punkt muß einzeln angesteuert werden. Der benötigte Speicher zur Darstellung des Bildes ist folglich ein Produkt aus der Gesamtzahl der Pixel des Bildes (der Lochmaske). Im Gegensatz zum Vektorbildschirm, der nur Anfang und Ende einer Linie speichert, muß der Rasterbildschirm jeden einzelnen Punkt auf der Linie verwalten. Zur Verwaltung der horizontalen und vertikalen Anzahl aller möglichen Punkte kommt bei Farbbildschirmen noch die Farbtiefe (maximale Anzahl gleichzeitig darstellbarer Farben) hinzu, die als weiterer Multiplikationsfaktor den entsprechenden Speicher fordert. So benötigt ein Bild mit 1024*800 Bildpunkten bei einer Farbtiefe von 24 Bit (16.7 Mio. gleichzeitig darstellbare Farben) ca. 2 MB Bildschirmspeicher, um das gesamte Bild aufzunehmen. Der Nachteil dieser Technik waren natürlich die enormen Kosten für Speicher. Dieser wurde zunächst nicht in Form schneller Speicherbausteine (Ram), sondern nur als Sekundärspeicher (Kernspeicher oder Trommel- bzw. Plattenspeicher) zur Verfügung gestellt. Dementsprechend war die Auslesezeit eines solchen Bildschirmpuffers abhängig von der verwendeten Speichertechnologie. Der Vorteil der Rasterbildschirme war die leichtere Editierbarkeit jedes einzelnen Elementes auf dem Bildschirm. Durch den zyklischen Aufbau des Bildschirms konnte jeder einzelne Punkt optisch angesprochen werden, weil

²⁹³ Time Life, s. Anm. 225, S. 37.

²⁹⁴ Hieraus sind die heute üblichen Grafikkarten bzw. Grafikchips hervorgegangen. Zunächst waren diese Grafikkarten auch relativ einfache Zusatzbausteine, die ihrerseits über spezielle Treiber angesteuert werden können. Erst in letzter Zeit (Stand 1997) werden zusätzliche Grafik-Hardwaresysteme zu eigenen Subsystemen, die der damaligen Technik von Evans und Sutherland vergleichbar sind. Durch enorme Preisstürze werden heute leistungsfähige Grafikkarten angeboten, die über hohe Speicherausstattungen und sehr breite Datenübertragungs-

genau ein Speicherplatz im Bildschirmspeicher (Speicheradresse) für diesen Punkt zur Verfügung stand.

6.3. Die Stärkung der Materie als Ergebnis der Virtualisierung

In den ersten Jahren der Computergrafikentwicklung ging es nicht maßgeblich um eine „Virtualisierung“, sondern um eine konsequent an Zwecken orientierte Erweiterung der Produktplanung. Der erste Schritt bestand darin, dem Computer das „Sehen“ von Zeichnungen und Objekten beizubringen, um so einen Teil der Welt in der Maschine abzubilden. Die Grundlage dieser Überlegungen steht in engem Zusammenhang mit den theoretischen Überlegungen der Systemtheorie, die sich in den dreißiger Jahren am MIT ausbreitete. Einer ihrer Hauptvertreter, Norbert Wiener, der den Teilbereich der Kybernetik begründete, inspirierte die Wissenschaftler zum Arbeiten an Mensch-Maschine-Schnittstellen. Diese Schnittstellen erforderten zunächst höhere Fähigkeiten der Maschine, um Objekte der materiellen Welt diskret darzustellen. Hierzu wurde neben Hardware auch Software benötigt, die neue Wege in bezug auf die Beschreibung von „realworld“-Problemen gehen mußte. Daß die Beschreibung der Zeichnung am Bildschirm vom Maschinensteuerungsprogramm APL abgeleitet wurde, ist daher nicht ungewöhnlich. Die Beschreibung von Koordinaten im Raum bildet die Grundlage aller Grafik- und Simulationsdarstellungen am Bildschirm. Hauptspeicher und Rechenleistung werden durch die Grafikanwendung besonders gefordert. Daher entwickelten sich die Grafiksysteme im Gegensatz zur Verbreitung von Computern insgesamt eher schleppend. Es konnten sich zunächst nur sehr große Firmen und das Militär leisten, Grafiken mit dem Computer herzustellen, die auch auf herkömmliche Weise erstellt werden konnten. Insofern lag in der Entwicklung von Grafiksystemen kein besonderer Vorteil. Die hohen Erwartungen wurden Ende der sechziger und während der siebziger Jahre gründlich enttäuscht. In diesem Zeitraum wurde deutlich, daß sich die Lücke zwischen Design und endgültiger Produktion nicht schließen ließ. Weder die automatisierte Fabrik war zu realisieren noch die automatische Erstellung eines Fräsobjektes direkt aus dem Computer. Die Fähigkeiten des Menschen an der Fräsmaschine waren gegenüber einem steuernden Computer erstaunlich hoch. Damit bilden die sechziger Jahre auch den endgültigen Wechsel vom Zeitalter der Roboter zum Zeitalter der denkenden Maschinen. Diesen Wechsel spiegeln die Kinofilme jener Zeit wieder. Viele Science-Fiction-Filme handeln von riesigen Robotern, die von anderen Planeten kamen oder von wahnsinnigen Wissenschaftlern entworfen worden waren. Diese Roboter arbeiteten im allgemeinen nach einem unsichtbaren Prinzip. Technische Hintergründe waren für den Mythos des Roboters eher unwichtig.²⁹⁵ 1957 spielt EMMY die Hauptrolle in einem Spielfilm um ein „Büro für Recherchen“. Emmy ist ein elekt-

kanäle verfügen. Die hierdurch erreichte Beschleunigung der Grafikausgabe rückt natürlichere Bildarstellungen mit sehr hoher Auflösung in greifbare Nähe.

²⁹⁵

Lem, Stanislaw, Roboter in der Science-fiction, in: Barmeyer, Eike (Hrsg.), Science Fiction. Theorie und Geschichte, München 1972

ronischer Computer, der mit einer riesigen Leuchttafel²⁹⁶ ausgestattet ist und Fragen beantworten kann. Der Computer soll den Platz der Leiterin des Büros und ihres Recharteteams einnehmen. Er wird allerdings nicht abgeschaltet, weil er nicht funktioniert oder weil er die Menschen nicht ersetzen kann. Der Grund für die Abschaltung am Ende des Films ist vielmehr eine Fehlfunktion, die dazu führt, daß der Computer allen Mitarbeitern der Firma einschließlich des Chefs die Kündigung zuschickt. Denkende Computer beherrschen die Vorstellung und die Visionen einer total durch die Maschine kontrollierten Welt. Seinen Höhepunkt findet diese Idee in „2001 Odyssee im Weltraum“. In diesem Film von 1968 tötet der sprachbegabte und sehende Computer der Serie HAL 9000 fast alle Besatzungsmitglieder, um seiner einprogrammierten Mission zu folgen. Er wird damit zum Prototypen des mit menschlichen Fähigkeiten ausgestatteten Rechners, der aber aufgrund seines Programms keine Moral kennt. Die Sequenz, in welcher der letzte Überlebende HAL abschaltet, ist mit ihrer spezifischen Ästhetik in die Filmgeschichte eingegangen. In einem schmalen Raum sind Tausende von kleinen Speicherbänken aus Glas angebracht, die der Astronaut Stück für Stück außer Betrieb setzt. Dabei verliert der Rechner immer mehr von seiner Sprachfähigkeit und singt zuletzt mit ersterbender Stimme ein Kinderlied, das ihm sein Programmierer als erstes beigebracht hatte.²⁹⁷

Die Maschinen, die in eine Interaktion mit dem Menschen treten sollen, müssen zunächst „sehen“ und „sprechen“ lernen. Alle Visionen gehen von dieser Grundvoraussetzung aus, da die Anthropomorphisierung in der zweiten Phase der Computerentwicklung besonders stark wird. Die Möglichkeiten von Computern bleiben beschränkt. Vor allem die Entwicklung der künstlichen Intelligenz bleibt weit hinter den Erwartungen zurück.²⁹⁸ Mit der zunehmenden Trennung zwischen Hardware und Software durch die integrierte Programmsteuerung wird allerdings die praktische Nutzung der Computer immer wichtiger. Das Verfahren der Batch-Programmierung wird als zeitraubend und unproduktiv empfunden. Die eigentlichen Schwierigkeiten im Umgang mit Computern werden erst in den sechziger Jahren deutlich. Es kommt weniger auf die Hardware als auf die Software an, und die Programmierung ist außerordentlich fehlerbehaftet. Mit den wenigen Programmiersprachen stehen keine leicht handhabbaren Werkzeuge zur Verfügung. Die Notwendigkeit, jedes Detail zu bedenken, führt frühzeitig zu einer starken Modularisierung der Programme, das heißt, zur Einteilung in Einzelroutinen. Mit dieser Unterteilung entstehen jedoch neue Probleme, weil die Programme zu unübersichtlich werden. Somit ist eine erste Softwarekrise vorprogrammiert. Die Entwicklung von mächtigen und zugleich einfach zu lernenden Programmiersprachen steht im Vordergrund der Bemühungen. In zunehmendem Maße versuchen auch nicht Programmierer die Möglichkeiten der Systeme zu nutzen. Um den Computer für einen breiteren

²⁹⁶ „Desk Set“ mit Spencer Tracy und Katharine Hepburn. Im ganzen Film wird nicht geklärt, wozu die Leuchttafel eigentlich gut ist. Lediglich an den Fehlfunktionen kann man die Bedeutung im Film erkennen. Immer, wenn der Computer nicht mehr richtig funktioniert, wechselt das zuvor gleichmäßige Flackern der Lichter nach bestimmten Rhythmen in ein geradezu chaotisches Verhalten. Alle Lichter leuchten wild durcheinander und je größer die Fehlfunktion, desto wilder flackern die Lampen. Der Computer heißt in Anlehnung an EDSAC, EMAREC.

²⁹⁷ A Space Odyssey, 1968, Regie Stanley Kubrick, nach einem Roman von Arthur C. Clarke.

²⁹⁸ Mainzer, Klaus, Computer, neue Flügel des Geistes, Berlin/ New York 1994.

Anwendungsbereich zu öffnen, ist aber seine Nutzung zu vereinfachen. An die Stelle von Maschinenbefehlen treten zunehmend zuerst Text und dann grafische Symbole.

Diese Reduzierung von Funktionen auf einfache Symbole wandert später in das Layout grafischer Benutzeroberflächen. Mit der Leistungsfähigkeit der Rechner steigen die Anforderungen an Computer und umgekehrt. Die „überflüssige“ Kapazität wird ständig durch neue Programnteile kompensiert, die sich im Prinzip nur mit der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine beschäftigen (IO=Input/Output). Der Anteil der Selbstverwaltung der Maschinen, die Kommunikation mit den peripheren Ein- und Ausgabegeräten wird immer größer, ohne daß die Aufgaben des Computers sich grundlegend ändern.

7. Der Computerbildschirm als Handlungsraum

The medium is the message (Marshall McLuhan)

McLuhans Satz ist oft mißverstanden worden. Gemeint ist, daß das Thema eines Mediums jeweils ein anderes Medium ist. Davon ist aber der Inhalt der Nachrichten, die über das Medium organisiert oder vermittelt werden, nicht betroffen. Ältere Medien werden zum Inhalt neuer Medien. Auch in der Entwicklung des Computers als bilderzeugendes Medium kann gezeigt werden, daß in den Visionen neuer Medien jeweils alte Medien thematisiert werden. Von einem technischen Standpunkt aus betrachtet, liegt dies nahe. Medienarten, die neu entwickelt werden, bedienen sich zunächst der Versatzstücke anderer zu diesem Zeitpunkt bereits entwickelter bzw. in Entwicklung befindlicher Technologien oder Verfahren. Doch kann festgestellt werden, daß große Schritte in der Entwicklung nur dann gemacht wurden, wenn materielle Barrieren, oder besser gesagt, traditionelle Techniken, abgestreift werden und quasi das Undenkbare denkbar wird. Dieses Schichtenmodell technischer Entwicklung ist eng verbunden mit einem Schichtenmodell geistiger Konzepte. Die Schwierigkeit bei der Darstellung solcher Entwicklungen liegt darin, daß durch die komprimierte Zeit die Entwicklungen oft sehr folgerichtig und geradezu zwangsläufig wirken, was sie jedoch nie waren. Vielmehr sind Irrwege ein entscheidender Faktor auf dem Weg zu einem funktionalen Zusammenhang. Die Antriebsfaktoren der Entwicklungen sind dabei so vielfältig, daß es sinnlos erscheint, sie summarisch zusammenzutragen. Es kann nur einen Sinn ergeben, die Leitlinien soweit heraus zu arbeiten, daß sichtbar wird, welche Konzepte auf welchen anderen Konzepten zeitlich aufbauen konnten. Dadurch ist zu erkennen, daß Fragestellungen in einem kausalen Zusammenhang stehen, aber keine notwendigen Bedingungen füreinander sind. Im folgenden Abschnitt sind diese Überlegungen insofern wichtig, als die vorgestellte Vision einer „bildverarbeitenden Maschine“ auf Technologien und Materialien aufbauen sollte, die heute mehr oder weniger obsolet geworden sind. Das liegt nicht daran, daß das geistige Konzept falsch gewesen wäre, sondern an den Technologien, auf denen die Erfinder einst ihre Konzepte aufbauten. Auch wenn uns die geistigen Konzepte mehr interessieren als die meist veralteten Technologien, soll beides im Zusammenhang dargestellt werden, um den falschen Eindruck der Zielgerichtetheit technologischer Entwicklung zu vermeiden. Darüber hinaus kann ein Verständnis für die Problemstellung der Zeit erst aus dem damaligen Nutzen und den Visionen einer zukünftigen Nutzung von bild- und textverarbeitenden Medien entstehen. Die Technologien haben Einfluß auf die Konzepte und die spätere Realisierung, auch dann, wenn die zugrundeliegende Technologie längst durch eine andere ausgetauscht wurde.

7.1. As we may think

„Consider a future device for individual use, which is a sort of mechanized private file and library. It needs a name, and to coin one at random ‘memex’ will do. A memex is a device in which an individual stores his books, records and communications, and which is mechanized so that it may be consulted with exceeding speed and flexibility. It is an enlarged intimate supplement to his memory.“²⁹⁹

Vannevar Bush schrieb seinen berühmt gewordenen Artikel wahrscheinlich schon in den dreißiger Jahren, veröffentlichte ihn jedoch erst 1945.³⁰⁰ Diese Verzögerung beweist nach Colin Burke, daß die Idee der Memex nicht „weit oben auf der Liste“ von Bush stand.³⁰¹ Es gab andere Probleme. Bush, der während des Krieges einer der wichtigsten Männer im Bereich der Trajektorenberechnung war und zeitweise bis zu 6000 Mitarbeiter führte, geriet nach dem Krieg mit seinen Projekten in eine Konkurrenzsituation. In den vierziger Jahren hatte sich das bereits erwähnte Projekt Whirlwind etabliert. Begonnen während des Krieges als Aufgabe einer Gruppe von „graduate“-Studenten, unter ihnen Jay Forrester, war es 1946 zum wichtigsten Projekt avanciert.³⁰² Bush dagegen, der Jahrzehnte mit der Entwicklung analoger Computer verbracht hatte, geriet ins Hintertreffen. Zusammen mit Caldwell versuchte Bush seine Ideen über das Ende des Krieges hinaus zu retten und erwirkte ein großzügiges Angebot zur Förderung durch die Rockefeller-Stiftung. Sie hatten den Plan gefaßt, einen vollständig elektronischen Rechner zu entwickeln und ihn vor allem schneller fertigzustellen als die Konkurrenten beim ENIAC-Projekt,³⁰³ Eckert und Maulchly. Doch das Geld konnte nicht investiert werden, weil Caldwell die angekündigte Leistung, den Computer schnell zu entwickeln, nicht erbrachte. Forrester hatte 1946 den Entschluß gefaßt, das Projekt Whirlwind statt auf der Basis eines analogen Computers auf der eines digitalen Rechners zu realisieren. Entgegen dem Willen des Leiters am MIT wollte das Team unter Forrester nicht mit Bush zusammenarbeiten. All diese Entwicklungen führten dazu, daß Bush sein Rockefeller Grant nicht nutzen konnte, und daß die MIT-Führung nur ein Computerprojekt am Institut zuließ: Projekt Whirlwind.

Der eigentliche Grund für diesen Machtwechsel lag aber sicher in der deutlich größeren Akzeptanz der digitalen Technik gegenüber der analogen. Der Wind am MIT hatte sich gedreht, und da die Mittel des Militärs stark zurückgingen, wollte man nicht auf zu viele verschiedene Pferde setzen. Das Whirlwind-Projekt schien am ehesten potentielle Abneh-

²⁹⁹ Bush, Vannevar, As we may think, in: Greif, Irene (Hrsg.), Computer Supported Cooperative Work. A Book of Readings, San Mateo, Californien 1988, S. 17–35, hier S. 30.

³⁰⁰ Burke, Colin, Information and Secrecy, Vannevar Bush, Ultra and the other Memex, London 1994, S. 328. Burke’s Hinweise können als sehr verläßlich gelten, da er in der Library of Congress direkten Zugang zu den privaten Unterlagen Bush’s hatte.

³⁰¹ Burke, s. Anm. 300, S. 329: „Bush revealed that he did not have Memex at the top of his agenda“.

³⁰² Burke, s. Anm. 300, S. 331.

mer zu finden. Letztlich wurden Bush, dem Entwickler des „differential analyzers“, wohl auch nicht die Fähigkeiten auf dem Gebiet der elektronischen Computer zugetraut. In dieser Situation schrieb Bush seinen Text, der von Beginn an auf die explizite Situation der Wissenschaftler nach dem Krieg eingeht. Eine außerordentliche Rolle spielte für Bush auch ein weiteres Problem, das ihn schon in den dreißiger Jahren bewegte und aus dem die Entwicklung des „Selectors“ hervorging.

7.1.1. Der „Selector“

1920 standen die amerikanischen Bibliotheken vor großen Schwierigkeiten. Sie zeigten sich nicht mehr in der Lage, die enorm anwachsende Zahl von Veröffentlichungen zu verarbeiten und so zu indexieren, daß die Wissenschaftler damit arbeiten konnten. Dieses Problem, genannt „the library problem“,³⁰⁴ sollte durch die Entwicklung des Mikrofilms gelöst werden. Diese sich parallel zur Fotografie entwickelnde Technologie war aber damals nicht so ausgereift, daß sich die in sie gesteckten Hoffnungen hätten erfüllen können. Um 1920 gab es zwar vielversprechende Ansätze, aber keine gebrauchsfertigen Lösungen für die Verfilmung großer Bestände. Die Vorstellung, die Mikroverfilmung könne die Probleme der Bearbeitung lösen, speiste sich zum Teil auch aus der Unkenntnis der Möglichkeiten. Man stellte sich enorme Verkleinerungen vor. Die Bibliotheken sollten geradezu zusammenschmelzen und dadurch die Bearbeitung insgesamt erheblich vereinfachen. Außerdem glaubte man fest an die automatische Indizierung solch verkleinerter Bücher. Auch die Distribution seltener oder empfindlicher Schriften in andere Bibliotheken seien mit Microfilmen leicht zu bewerkstelligen. Damit wurde vom Mikrofilm weit mehr erwartet, als nur ein weiteres Speichermedium zu sein.³⁰⁵

Bush befaßte sich mit dem Medium Mikrofilm im Zusammenhang mit der Entwicklung von Dechiffriergeräten. Um 1938 entwickelte er das Konzept für den „Comperator“; eine Maschine, die mit Hilfe von Mikrofilmspeichern eine große Geschwindigkeit erreichen sollte. Für die damalige Situation erschienen die erst am Anfang ihrer Entwicklung befindlichen elektrischen oder elektromagnetischen Speicher nicht schnell und auch nicht zuverlässig genug.³⁰⁶ Mit Hilfe von Fotozellen sollte die belichtete Information von den Bändern abgelesen werden. Die Methode erwies sich jedoch als nicht durchführbar. Kurz vor Auslieferung wurde nach einer Alternative gesucht und schließlich ein Paketband der Firma Kodak gewählt, das gelocht werden konnte und lichtundurchlässig war. Der Comperator kam nie richtig zum Einsatz, weil die Technik sich als zu unzuverlässig entpuppte.³⁰⁷ Möglicherweise lag Bushs Interesse auch mehr in dem parallel entwickelten Projekt des „Selectors“. 1932 hatte sich Bush mit dem „Advokaten der Mikroverfilmung für wissenschaftliche Bibliotheken“, Watson Davis getroffen und mit ihm Möglichkeiten der Speicherung auf Mikrofilmrollen bespro-

³⁰³ Der ENIAC wurde 1946 fertiggestellt.

³⁰⁴ Burke, s. Anm. 300, S. 99ff.

³⁰⁵ Burke, s. Anm. 300, S. 115.

³⁰⁶ Burke, s. Anm. 300, S. 156.

³⁰⁷ Burke, s. Anm. 300, S. 174.

chen.³⁰⁸ In den nächsten Jahren arbeitete Bush an verschiedenen Versionen des „Selector“. Das Gerät sollte die Speicherung von kurzen Dokumenten erlauben, die mikroverfilmt mit einer codierten Indexeintragung versehen werden konnten. Der Selector konnte dann mit Hilfe von Fotozellen die Codierungen lesen und so unter Tausenden von Dokumenten eines herausfinden. Die Anfragen wurden in eine Lochkarte gestanzt und in den Separator eingeführt. Wenn dann die entsprechende Codierung über die Maske lief, sollten die dahinter angebrachten Fotozellen alle genug Licht erhalten und eine Reihe von Röhren schalten. Diese aktivierten ein Blitzgerät und eine Kamera, die dann eine Kopie der gefundenen Seite anfertigte und auf Fotopapier ausgab. Die ganze Konstruktion ist in ihrem Grundprinzip eine Vorwegnahme der Organisation von Daten in einer Datenbank mit optischen Mustererkennungsmitteln. Bushs Optimismus beruhte auf der zum damaligen Zeitpunkt nicht abwegigen Annahme, daß der Mikrofilm bedeutend schneller ausgereift sein würde, als die neuen elektronischen Rechenmaschinen mit ihren zu diesem Zeitpunkt noch sehr kleinen Speichereinrichtungen.

Die Grundidee sollte die Bibliotheken revolutionieren, weil hierdurch die normalen Zettelkataloge überflüssig geworden wären. Bush versprach eine „information revolution“. Sein Selector sollte auf einer Filmrolle 400.000 Dokumente speichern, die innerhalb von 100 Sekunden durchsucht werden konnten. Damit sollte seine Erfindung 150mal schneller als die damaligen elektromechanischen Geräte von IBM sein.³⁰⁹ Doch Bushs Konzentration auf die hohe Geschwindigkeit der Bandleseeinrichtung ließ ihn alle Aspekte der Codierung auf dem Film vernachlässigen. Sein Codierungsschema war so einfach, daß es keinerlei mehrfach- oder hierarchische Codierungen zuließ. Damit wurden allgemeine Suchanfragen fast unmöglich.³¹⁰ Insgesamt scheiterte auch dieses Projekt an Unzulänglichkeiten der Technik und an den falschen Konzepten. Es stellte sich heraus, daß die Kosten für die Überführung von Dokumenten auf Mikrofilm viel zu hoch waren und zu viel Zeit in Anspruch nahmen. Die Geräte konnten nicht in der Größe, die Bush sich vorgestellt hatte - er dachte an ein handliches Tischgerät – gebaut werden. Stattdessen füllten sie einen ganzen Schrank.³¹¹ 1940 endeten die Bemühungen um das erste Hochgeschwindigkeits-Dokumentverwaltungssystem. Der „Selector“ war nicht erfolgreich und fand keinen Sponsor mehr. Bushs Text „As we may think“ erhält damit noch deutlicher den Status einer Vision.

³⁰⁸ Davis wurde dann allerdings ein Konkurrent und versuchte in erster Linie, Geld zusammenzutragen. Burke, s. Anm. 300, S. 179.

³⁰⁹ Burke, s. Anm. 300, S. 188-189.

³¹⁰ Burke, s. Anm. 300, S. 190.

³¹¹ Burke, s. Anm. 300, S. 193.

7.1.2. MEMEX

Die Zielsetzung war klar. Ein einziges Gerät sollte einem individuellen Wissenschaftler die Speicherung jeglicher Dokumente ermöglichen. Daß die Betonung auf „individual device“ lag, entspricht wohl der eher isolierten Arbeitsweise des Wissenschaftlers, den Bush selbst verkörperte. Mit Hilfe des Gerätes, das aus zwei dem Selector ähnlichen Einrichtungen bestand und in einem normalen Schreibtisch Platz finden sollte, konnten Dokumente jeder Art codiert werden. Die Codierung sollte über eine auf dem Schreibtisch angebrachte Tastatur erfolgen. Im Unterschied zum Selectorkonzept visionierte Bush für MEMEX eine Art Bildschirm, auf dem die Dokumente dargestellt werden konnten. Die genaue Funktionsweise der Bildschirme wird im Text nicht erläutert. Auch die Zeichnung des Memex, die von einem Designer für Bush erstellt wurde, gibt wenig Auskunft über den genauen Mechanismus. Dem Text zufolge stellte Bush sich wohl die Möglichkeit einer Fernsehabtastung vor. Hierzu gehört auch die am selben Schreibtisch eingerichtete Vorrichtung zum Aufnehmen neuer Dokumente. Auf einer planen Glasplatte sollten sie mit dem Text oder der Zeichnung zur Platte abgelegt werden können. Eine Abtastvorrichtung übernahm dann die Inhalte und belichtete sie auf schnell entwickelndem Film. Jedes dieser Dokumente konnte nun seinerseits wieder mit Kommentaren versehen werden. Um Dokumente mit einer Verbindung zu versehen, ließen sich zwei Abbildungen oder Dokumente so auf die Bildschirme holen, daß über ein Codesystem eine „Spur“ (trail) zwischen diesen beiden Dokumenten aufgezeichnet werden konnte. Das Vorbild ist ein englischer Langbogen:

“The owner of the memex, let us say, is interested in the origin and properties of the bow and arrow. Specifically he is studying why the short Turkish bow was apparently superior to the English long bow in the skirmishes of the Crusades. He has dozens of possibly pertinent books and articles in his memex. First he runs through an encyclopaedia, finds an interesting but sketchy article, leaves it projected. Next, in a history, he finds another pertinent item, and ties the two together. Thus he goes, building a trail of many items. Occasionally he inserts a comment of his own, either linking it into the main trail or joining it by a side trail to a particular item.”³¹²

Diese Methode, zwei Objekte inhaltlich miteinander zu verbinden, erinnert an die Überlegungen Aby Warburgs, der in seinem Mnemosyne-Atlas Fotografien aus den verschiedenen Kulturen und Epochen zusammenstellte, um die Verbindungen zwischen diesen Zeiten optisch zu dokumentieren.³¹³

Für Bush stellten sich die Probleme des modernen Wissenschaftlers vor allem auf der Ebene der Menge der zu sichtenden Informationen:

³¹² Bush, s. Anm. 299, S. 28.

³¹³ Gombrich, Ernst H., Aby Warburg, Eine intellektuelle Biographie, Frankfurt/M. 1981.

„The prime action of use is selection, and here we are halting indeed. There may be millions of fine thoughts, and the account of the experience on which they are based, all encased within stone walls of acceptable architectural form; but if the scholar can get at only one a week by diligent search, his syntheses are not likely to keep up with the current scene.“³¹⁴

Ohne die Auswahl des Wissenschaftlers und die Möglichkeit zur Sichtung geriet die Wissenschaft insgesamt in Gefahr, von den Massen der Informationen überrollt zu werden. Als Beispiel für die damaligen Möglichkeiten der Adressierung galten Bush die Verbindungsstationen des Telefons. Innerhalb von Sekunden konnte ein Anschluß von Millionen verbunden werden, nur durch die Auswahl einer Nummer. Aber neben dem direkten Adressieren eines gesuchten Objektes über seine Charakteristika sollten auch die Mängel klassischer Bibliothekssysteme überwunden werden. Es ging ihm um das Problem der Zuordnung von Einträgen in alphabetische oder numerische Register, die aus den Informationen eine eindimensionale Liste produzierten. Dies stehe im krassen Widerspruch zum menschlichen Geist, der im wesentlichen assoziativ vorgehe:

„The human mind does not work that way. It operates by association. With one item in its grasp, it snaps instantly to the next that is suggested by the association of thoughts, in accordance with some intricate web of trails carried by the cells of the brain.“³¹⁵

Hier taucht das Modell einer dem menschlichen Geist angepaßten Maschine wieder auf, das wir schon bei von Neumanns Interpretation des Rechners als Organsystem untersucht haben. Die Abbildung der Denkvorgänge, im Sinne eines „passend“-Machens der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, sollte durch die Möglichkeit erfolgen, sichtbare Einzelphänomene in der Maschine wie im Gehirn zu verbinden. Zwar war sich Bush bewußt, daß die Nachbildung lediglich Modellcharakter und wahrscheinlich nie den Status einer „vollen“ Nachbildung haben könne, doch er betrachtete die Möglichkeit der „Externalisierung von Wissen“ als eine sinnvolle „Erweiterung“ der menschlichen Erinnerungsfähigkeiten.

Vannevar Bush kann somit als der Vater der interaktiven Computernutzung bezeichnet werden. Die in seinem Konzept enthaltenen Überlegungen lassen sich noch heute anhand der gängigen Systeme überprüfen und in vielen Fällen als extrem weitsichtig beurteilen. Auch Douglas Engelbart bezog sich auf den Text von Bush, als er 1968 begann, an einem ersten „Hypertextsystem“ wie Bush es avisiert hatte, zu arbeiten.

7.1.3.Hypertext - Vernetzung von Informationen

³¹⁴ Bush, s. Anm. 299, S. 27.

³¹⁵ Bush, s. Anm. 299, S. 29.

Hypertext ist seinem Prinzip nach ein einfaches Konzept. Während normale Texte seriell aufgebaut sind und nur (mit Ausnahme von Anmerkungen) jeweils einen Weg der Informationsaufnahme inhaltlich vorschreiben, können Hypertexte Sprünge enthalten, die zu anderen Lesesträngen führen. Bewerkstelligt werden kann dies durch die Markierung eines Begriffs, der mit einer anderen Textstelle im seriellen Fortgang des Textes verknüpft ist. Markiert man den Begriff, springt das System zu der verknüpften Stelle, an der dann weitergelesen werden kann. Dies läßt sich sowohl durch Sprungstellen außerhalb dieses Textes in ein anderes Dokument, als auch durch die Einführung von Bildern, Grafiken usw., beliebig erweitern. Bushs Konzept des Memex hatte im Prinzip alle Elemente eines solchen Hypertextsystems schon 1930 visioniert, war aber durch die Technologie der Zeit beschränkt. Heutige Hypertextsysteme tragen fälschlich diesen Namen³¹⁶, da sie nicht nur Texte, sondern potentiell jede Form von Medien umfassen. Das Memex-System war damit seiner Zeit weit voraus, seine Konzepte gehen heute jedoch weitgehend im Internet auf. Der Grundgedanke des vernetzten Text- und Bildsystems ist die Abbildung einer Denkstruktur oder einer Denkspur. Hierbei können die Verknüpfungen so vielfältig sein, daß eine sequentielle Form von Informationen überhaupt nicht mehr ausgemacht werden kann. Es würden von einem Punkt beliebige Verbindungen zu andern Punkten erfolgen, die ihrerseits wieder hunderte von Verbindungen zu anderen Informationseinheiten oder Bildern hätten. Wie utopisch die technisch noch nicht realisierbaren Vorstellungen waren, die von einem solchen System ausgingen, zeigen die letzten Bemerkungen in Bushs Text:

„By bone conduction we already introduce sounds into the nerve channels of the deaf in order that they may hear. Is it not possible that we may learn to introduce them without the present cumbersomeness of first transforming electrical vibrations to mechanical ones, which the human mechanism promptly transforms back to the electrical form? With a couple of electrodes on the skull the encephalograph now produces pen-and-ink traces which bear some relation to the electrical phenomena going on in the brain itself. True, the record is unintelligible, except as it points out certain gross malfunctioning of the cerebral mechanism; but who would now place bounds on where such a thing may lead?“

Diese Worte muten fast wie eine Vorwegnahme der heftig diskutierten Thesen Hans Moravecs über das „postbiologische Zeitalter“³¹⁷ an. Gerade deshalb, weil es wenig Anhaltspunkte dafür gab, wie eine solche Technologie aussehen würde und daher auch keine Erfahrungen mit der Nützlichkeit oder auch der „Benutzbarkeit“ solcher Systeme zur Organisation großer Wissensvorräte vorlagen, versprach sich Bush von ihnen eine fast magische Erweiterung der menschlichen Möglichkeiten. Keil-Slavik bemerkt dazu, daß es sich bei der Idee von „Memex“ zumindest im persönlichen Bereich in „gewissem Sinne um Cybercrud“ handle.³¹⁸ Auch wenn es für große Institutionen unter Umständen Sinn machen könnte Dokumente auf diese Weise zu verbinden, was allerdings nicht zu überprüfen sei, würde es

³¹⁶ Zuerst vorgeschlagen wurde der Begriff Hypertext von Ted Nelson 1965. Vgl. Keil-Slavik, Reinhard, *Konstruktives Design*, Habilitationsschrift, Berlin 1990, S. 48.

³¹⁷ Vgl. Moravec, Hans, *Mind Children*, Hamburg 1990.

die Möglichkeiten des Einzelnen wohl übersteigen. Von bleibendem Wert waren allerdings Bushs Erkenntnisse darüber, welche Anforderungen eine den Menschen unterstützende Maschine erfüllen müsse:

1. Die Maschine verfügt über einen beliebig großen Speicher
2. Sie verarbeitet Bild und Text ohne Unterscheidung der Medienform
3. Sie verknüpft Bild und Text zu Assoziationsketten
4. Sie wird visuell bedient, indem direkt der Bildschirm manipuliert wird
5. Ihre interne Informationsstruktur entspricht derjenigen des menschlichen Bewußtseins
6. Sie kann bei geeigneter Übertragungstechnologie von überall her angesprochen werden
7. Durch Erweiterung der Erkenntnisse im Bereich der Hirnforschung könnte es möglich werden, Bewußtseinsbilder direkt über Datensätze aus der Maschine zu erzeugen

Mit dieser Liste sind die Vorstellungen eines weltumspannenden Informationsnetzes, wie es das heutige Internet darstellt, bereits teilweise umrissen. Auch dem Internet wurde und wird die Potenz zugesprochen, zu einem externen Gehirn der Menschheit anzuwachsen. Die Bildung anthropomorphisierender Metaphern ist dabei unübersehbar.³¹⁹ Erstaunlich ist, daß erst fast vier Jahrzehnte später verschiedene Entwicklungen zu der von Bush imaginierten Arbeitsstation auf dem Schreibtisch führten. Der Personal Computer wurde in den siebziger und beginnenden achtziger Jahren erneut mit einer magischen Vorstellung von Demokratisierung, Antihierarchisierung und Dezentralisierung aufgeladen.³²⁰

7.2. Augment Human Intellect - Licklider und Engelbart

Joseph Licklider war als ausgebildeter Psychologe und Spezialist auf dem Gebiet der Psychoakustik 1950 ans MIT gelangt.³²¹ Als im folgenden Jahr das Lincoln Laboratory ausgliedert wurde, in das auch der Großrechner Whirlwind einzog, übernahm er dort die Human-Engineering Gruppe. Diese Arbeitsgruppe hatte unter anderem die Aufgabe, sich Gedanken über einen möglichen Atomschlag der Sowjets zu machen. Aus diesen Überlegungen entsprang, über mehrere Zwischenstationen, das SAGE-Projekt, an dem Licklider maßgeblich beteiligt war. Dieser Kontakt hat Licklider zweifellos beeindruckt, handelte es sich doch um eines der größten Computerprojekte der damaligen Zeit, in dem Mensch und Maschine eine außerordentlich enge Verbindung eingingen. Eine Begegnung mit dem jungen Wesley Clark, der mit Ken Olson den TX-0 Computer gebaut hatte, tat ihr übriges, um Licklider ganz auf die Seite der Computerwissenschaft zu ziehen. Clark hatte Gelegenheit

³¹⁸ Keil-Slavik, s. Anm. 316, S. 70.

³¹⁹ Bredekamp, Horst, Cyberspace - ein Geisterreich, Frankfurter Allgemeine Zeitung, Nr. 29, 3.2.96.

³²⁰ Nelson, Ted, Computer Lib, Untergrund Manifest, 1974, URL: <http://www.venus.co.uk/gordonpask/clib.html>. Vgl. auch Winner, Langdon, Mythinformation, 1984, in: Zerzan, John; Carnes, Alice (Hrsg.), Questioning Technology, Philadelphia 1984. URL: <http://www.hrc.wmin.ac.uk/campains/ef/dt/mythin.html>.

Licklider die schon damals umfassenden grafischen Möglichkeiten des TX-2 vorzuführen. Ein besonderes Gewicht lag dabei auf der für damalige Verhältnisse ungewöhnlichen Möglichkeit, den Computer im Dialogmodus betreiben zu können. Im Gegensatz zum Batchmodus, bei dem ein fertiges Programm nur abgesetzt werden konnte (wie bei fast allen frühen Computern), ermöglichte der Dialogmodus den direkten Eingriff in den Ablauf eines Programms.

1960 veröffentlichte Licklider, der das MIT schon einige Jahre früher verlassen hatte, seinen richtungweisenden Artikel „Man-Computer-Symbiosis“.³²² Darin entwarf er eine Vision der intensiven Zusammenarbeit zwischen Menschen und Computern durch innovative Dialogsysteme. In dieser Symbiose würden der Mensch und die Maschine sich wesentlich entwickeln können und deutlichere Fortschritte machen als ohne die Unterstützung des jeweiligen Partners. Dabei wäre die Zusammenarbeit mit der Maschine eine Aufteilung der Arbeit, bei der jeder Partner die Rolle einnehme, die er am besten beherrsche. Das Ziel einer solchen Zusammenarbeit sei angesichts der großen Aufgaben, vor denen die Menschheit stehe, die Steigerung der Möglichkeiten und eine signifikante Zeitersparnis. Licklider spaltet die Mensch-Maschine Symbiose deutlich von den bisherigen maschinellen Hilfsmitteln des Menschen ab. Statt des „mechanically extended man“,³²³ der Maschinen als Kraftverstärkung nutzt und der der Maschine sämtliche Vorgaben für die auszuführende Tätigkeit geben muß, ist die „Symbiose“ ein Geben und Nehmen von Fähigkeiten. Dies wird über die Schnittstelle und die Art des Kommunikationsaustausches definiert, auch wenn die mögliche Realisierung in der Zukunft liegt. Die Interaktion muß eine der Situation angemessene Geschwindigkeit haben, die Licklider auf Entscheidungen bezieht, die in einer strategischen Kriegssituation notwendig sind. Die Lösung eines Problems muß für den Menschen in „Echtzeit“ realisierbar sein. Der traditionelle Weg, mit einem Computer zu „kommunizieren“, war bekanntlich der des „batch processing“. Dementsprechend kommt dem Computer eine besondere Rolle zu:

„To think in interaction with a computer in the same way that you think with a colleague whose competence supplements your own will require much tighter coupling between man and machine than is suggested by the example and than is possible today.“³²⁴

Nicht der Computer wird hier betrachtet, sondern die Auseinandersetzung mit anderen Menschen. Turing hatte auf die Identität von menschlichen Rechenmaschinen und Maschinen hingewiesen.³²⁵ Der Partner in der Kommunikation soll funktionieren und das erwartete Feedback liefern, egal, ob es sich um einen Menschen oder um eine Maschine handelt.

³²¹ Zu diesen und den folgenden Informationen vgl. Hafner, Katie; Lyon, Matthew, ARPA Kadabra, Die Geschichte des Internet, Heidelberg 1997, S. 27–50.

³²² Licklider, Joseph C. R., Man-Computer-Symbiosis, IRE Transactions on Human Factors in Electronics, Volume HFE-1, S. 4-11, März 1960.

³²³ Licklider, s. Anm. 322. S. 2.

³²⁴ Licklider, s. Anm. 322. S. 2.

³²⁵ Wir werden uns später damit befassen müssen, daß diese Übertragung scheitern mußte, weil die Basisbestimmung schon von einem Irrtum ausgeht. Die Erwartungshaltung der Menschen

Licklider nimmt sich selbst als Beispiel, um die Probleme der Wissenschaft beim Arbeiten ohne das Hilfsmittel Computer zu verdeutlichen. Er verbringe die meiste Zeit des Tages (85%) damit, sich in die „Position, denken zu können“ zu bringen. Dazu müsse er Informationen recherchieren, aufbereiten und sie letztlich in grafische Formen umwandeln. Die Graphen zeigten dann erst die falschen Annahmen auf.³²⁶ Ziel der „engen Verbindung“ zwischen Mensch und Maschine müsse es daher sein, den Kommunikationsprozeß zu verkürzen. Zwischen These und Bestätigung oder Ablehnung der These solle ein möglichst kurzer Zeitraum liegen und im Idealfall Annahme und Beweis zeitlich miteinander verschmelzen.³²⁷ Dies kann erreicht werden, wenn der „Partner Computer“ all diejenigen Aufgaben übernimmt, die den „denkenden“ Wissenschaftler Zeit kosten, aber nicht wesentlich zur Lösung seiner Probleme beitragen. Die Leistungsfähigkeit der Maschine bleibt damit zunächst auf dem Level der schnellen Erledigung von prozeßhaften Tätigkeiten. Der nächste Schritt in die Zukunft sei aber die Präsentation von neuen Möglichkeiten und Schritten durch den Computer, der aus möglichen Alternativen selektieren könne. Dem Mensch komme dann lediglich die Aufgabe zu, die vorgeschlagene Richtung zu sanktionieren.³²⁸ In der Reduktion des Menschen auf den „Entscheider“ sieht Licklider aber keinesfalls einen Nachteil, sondern versteht diese „Entscheidungsautomatik“ als eine auf der Basis logischer Schritte vorgegebene Schlußfolgerung. Die Maschine wäre in der Lage, unbeeinflusst von möglichen Einflußfaktoren die vorgegebenen Schritte streng zu durchlaufen und damit zwangsläufig zu einem Schluß zu kommen.³²⁹

Um die Möglichkeiten der Interaktion auszuschöpfen, stellte sich Licklider, basierend auf seinen Erfahrungen mit dem TX-2 System, eine spezielle Bildschirmkonstruktion vor. Sie sollte es ermöglichen, gleichermaßen Zeichnungen, Abbildungen, berechnete Grafiken und Text auf den Bildschirm zeichnen oder schreiben zu können. Der Computer sollte seinerseits seine Informationsausgabe auf dem gleichen Schirm vollziehen. In der Zusammenarbeit von Mensch und Maschine sollte es möglich sein, rohe Skizzen vom Computer in geradlinige Zeichnungen umwandeln zu lassen.³³⁰

untereinander basiert damit schon auf der falschen Vorstellung, daß alle, die in einem gemeinsamen Prozeß befindlich sind, die gleichen Ziele verfolgen würden. Oder, um das Problem zu verschärfen, überhaupt die gleiche Wahrnehmung der Problemstellung hätten. Für Popper und Eccles sind die verbundenen Welten 1, 2 und 3 auf diese Weise verwoben, daß Computer nichts grundsätzlich anderes tun können als wir selbst, da sie auf unseren Denkprinzipien beruhen. Vgl. Popper, Karl R.; Eccles, John C., Das Ich und sein Gehirn, 5. Aufl. München 1996, S. 105ff.

Die Erwartungen an die Maschine in bezug auf die Effizienz der Zusammenarbeit spiegelt die Erwartungen der Menschen aneinander wieder. Die Fehler, die die Maschine begeht, die nach streng logischen Kriterien vorgeht, sind die Fehler des Menschen der sie bedient oder der sie programmiert.

³²⁶ Licklider, s. Anm. 322, S. 5.

³²⁷ Dabei ist der Faktor Zeit noch speziell ausgeführt. Das zeitliche Zusammenfallen richtet sich nach der Zeit des Tätigseins des Menschen. Echtzeit bedeutet, daß alle „Antworten der Maschine“ in dem Augenblick vorliegen, wenn der menschliche Partner zum nächsten Schritt in der Kette seiner mentalen Handlungsschritte bereit ist. Licklider, s. Anm. 322, S. 4.

³²⁸ Licklider, s. Anm. 322, S. 6.

³²⁹ Licklider hat mit diesem Konzept die Überlegungen zu Expertensystemen zusammengefaßt. Beeinflusst wurde er hierbei durch die Fragestellungen und ersten Ergebnisse der gerade beginnenden KI Forschung. Hauptvertreter waren die an der 1956 stattfindenden Dartmouth-Konferenz Beteiligten, J. McCarthy, A. Newell, H. Simon u.a.. Vgl. Mainzer, Klaus, Computer, Neue Flügel des Geistes, Berlin/New York 1994, S. 115.

³³⁰ Licklider, s. Anm. 322, S. 12.

Die Anforderungen sollen zunächst zusammengefaßt werden, um die daraus resultierenden Konsequenzen in der weiteren Entwicklung leichter beschreiben zu können:

1. Dem Menschen steht ein persönlicher Computer zur Verfügung, auch wenn dieser über ein Timesharing-System an ein größeres System angeschlossen ist.
2. Die zentrale Kommunikationsschnittstelle ist der Bildschirm, an dem die Eingabe durch den Menschen ermöglicht wird, und die Ausgabe durch den Computers erfolgt.
3. Ein- und Ausgabe verhalten sich immer „zeitneutral“ zueinander. Die Eingabe ist abgeschlossen, wenn die letzte Information erfolgt ist, und die Ausgabe erfolgt zeitgleich mit dem Moment der „Erwartung“ einer Ausgabe durch den menschlichen Beobachter.
4. Der Programmierung des Computers kommt eine zentrale Bedeutung zu, da die Programme die Interaktionsmöglichkeiten der Maschine bestimmen.

7.2.1. Interaktive Systeme - Maus und Interaktives Textsystem

Für die Entwicklung der interaktiven Systeme waren die Gedanken Norbert Wieners wegweisend.³³¹ In seinem Buch „Cybernetics“ definierte Wiener drei Hauptkonzepte des lebenden Organismus: Kommunikation, Kontrolle, und Rückkopplung.³³² Wiener stellte heraus, daß durch die Rückkopplung eines Systems die Steuerung³³³ erst ermöglicht wird. Wann immer Wesen Informationen aus der Umwelt erhalten, werden sie benötigt, um die Bewegungen, die Richtung und die Handlung zu bestimmen. Besondere Erkenntnisse gewann die Forschung aus den Fehlfunktionen des menschlichen Gehirns und des Nervenapparates. Die von Wiener erläuterte Ataxie³³⁴ bezeichnet Fehler in der Koordination des Körpers, die auf die Zerstörung der hierzu notwendigen Verschaltung von Propriozeptoren³³⁵ und Gehirn zurückzuführen sind. Die Nachrichten, die die Muskeln im gesunden Menschen an das Gehirn senden und aufgrund derer das Gehirn wiederum Informationen zur Positionierung an die Muskeln schickt, können nicht mehr fehlerfrei empfangen werden.³³⁶ Hieraus schloß Wiener die universale Bedeutung der Informationsvermittlung im Menschen und grenzte das Wissenschaftsgebiet der Kybernetik als Wissenschaft der Steuerung von der Vorstellung des „Lebens als Energiehaushalt“, die das 19. Jh. beherrschte, ab.³³⁷ Die Analogie zwischen der Verschaltung von Informationen im Menschen und der Maschine begründete Wiener durch die Hervorhebung des Alles-oder-Nichts-Prinzips der Neuronen. Demnach wurde die Steuerung im Inneren des Körpers nicht analog, sondern digital vorgenommen, da das Aktivitätspotential eines einzelnen Neurons als Schalter betrachtet werden müsse.

„Der Alles-oder-Nichts-Charakter der Neuronenentladung ist völlig analog der Auswahl einer binären Ziffer; und schon mehr als einer von uns hatte das binäre Zahlensystem als beste Basis des Rechnens in der Maschine erkannt. Die Synapse ist nichts als ein Mechanismus, der bestimmt, ob eine gewisse Kombination von Ausgängen von anderen Elementen ein ausreichender Anreiz für das Entladen des nächsten Elements ist oder nicht, und muß ein genaues Analogon in der Rechenmaschine haben. Das Problem, Natur und die Möglichkeiten des Gedächtnisses beim Lebewesen darzustellen, hat seine Parallele im Problem des Konstruierens künstlicher Gedächtnisse für die Maschine.“³³⁸

³³¹ Hauben, Ronda, Cybernetics, Human-Computer Symbiosis and Online-Communities: The Pioneering Vision and the Future of the Global Computer Network, <http://chrom.imbg.ku.dk/~thorsbro/reports/cybernetics/part1.html> . Teile unter Html1 bis Html4. Communication, Control, Feedback.

³³² Der Ausdruck „kyber“ aus dem Griechischen bezeichnet den Steuermann oder den Lenker.
³³³ Ataxie (gr.: Unordnung, Verwirrung) ist eine Störung koordinierter Bewegungen der Muskeln. Ataxiepatienten fallen durch das starke Mißverhältnis zwischen Anstrengung, Kraftaufwand und ausgeführter Bewegung auf. Hervorgerufen durch die Auflösung des Rückenmarks oder des Kleinhirns. Meyers Enzyklopädisches Lexikon, Mannheim 1971.

³³⁴ Rezeptoren zur Messung der Lage eines Muskels im Raum.

³³⁵ Wiener, Norbert, Kybernetik, Regelung und Nachrichtenübertragung in Mensch und Maschine, Hamburg 1968, Erste Auflage Düsseldorf 1963, S. 28.

³³⁶ Wiener, s. Anm. 336, S. 66.

Mit dem Auftreten digitaler Computer wurde für Wiener die Frage nach der Beziehung zwischen Mensch und Maschine neu gestellt. Es hatte zwar auch schon früher automatische Systeme gegeben, die durch ein internes Kontrollsystem Sollwerte mit Istwerten vergleichen konnten, um auf diese Weise eine Rückkopplung zu ermöglichen, aber Computer bildeten in dieser Beziehung einen neuen Status. Für Wiener waren Computer „unspezifisch“ und daher für die verschiedensten Kontrollaufgaben geeignet. Jedes System, daß mit Informationen arbeitete, die zwischen verschiedenen Sensoren ausgetauscht werden konnten, ähnelte daher auch dem Computersystem. Alle diese Geräte oder Vorrichtungen erschienen als spezialisierte Computer.

Als Beispiel einer solchen Rückkopplungstechnik sieht Wiener den Austausch von Botschaften auf Schiffen und in Flugzeugen. Aufgrund möglicher Beeinträchtigung der Signale durch Geräusche oder heftige Bewegungen wiederholen die Empfänger einer Nachricht diese erneut, damit der Sender der Nachricht sich von der eindeutigen Übermittlung der Nachricht überzeugen kann. Diese Rückversicherung der richtigen Informationsübermittlung hatten wir schon bei der Beobachtung des Speicherbildes festgestellt. Die Maschine prägt damit eine weitere Analogie aus, die sie dem Menschen und seinem Kommunikationsverhältnis in gleicher Weise näher bringt, wie sie sich von anderen Kraft- oder Werkzeugmaschinen absetzt. Der Computer zeigt nicht sofort und nicht eindeutig die richtige Aufnahme der Information, die an ihn abgegeben wurde. Der Mensch, der bei der Übermittlung an einen anderen Menschen nicht sicher sein kann, ob die Nachricht eindeutig verstanden worden ist, wird auf die physische Trennung zwischen den Körpern verwiesen. Beim Werkzeuggebrauch ist durch die mechanische Kraft- oder Bewegungsübertragung, die Rückkopplung durch die mechanische „Verlängerung“ gegeben. Beim „Bauen“, „Bearbeiten“ und direkten „Manipulieren“ spürt der Bewegungsapparat durch den Gegenstand die Funktion oder die Dysfunktion und korrigiert automatisch die Position des Werkzeuges. Mit der Einführung der Steuerung und Kommunikation über Entfernungen hinweg wird diese direkte Verknüpfung aufgehoben. Der Effekt ist ein hohes Maß an Visualisierung und teilweise eine Nutzung von akustischen Signalen, denn nur Augen- und Hörsinn erlauben die Kontrolle eines „Werkzeuges“ auf Entfernung. Die Einbettung visueller und akustischer Rückkopplungen ist ein bestimmendes Merkmal in der Entwicklung der Benutzeroberfläche. Der Mangel an haptischen Erfahrungsmöglichkeiten macht eine solche „Distanzschnittstelle“ erforderlich. Mit steigender Komplexität der Aufgaben muß die Konstruktion der Schnittstelle entsprechend aufwendiger werden, auch wenn sich ihre Handhabung scheinbar vereinfacht. Die Zusammenführung von Funktionen unter ein einzelnes Symbol oder unter einen Befehl bedeutet eine Verdichtung von Funktionalität. Ein einzelner Befehl wird dadurch zwangsläufig immer entscheidender für das Gesamtgefüge.

Wiener konnte die Anwendung solcher Forderungen an ein Computersystem nicht voraussehen und hielt sich daher streng an die ihm zu seiner Zeit bekannten Computersysteme, die in erster Linie Rechenmaschinen waren. Als wichtiges Element erkannte Wiener, neben

der Kommunikation der Teile untereinander, die Funktion des Speichers.³³⁹ Nur durch den Speicher können die Nachrichten aufgenommen und Aufgaben durchgeführt werden, was als Arbeiten „ohne einen Eingriff von außen“ definiert wird. Die Kommunikation mit der Maschine müsse sich auf das Notwendigste beschränken, damit der Geschwindigkeitsvorteil, den der Rechenautomat biete, nicht zerstört werde. „Bei jedem kombinierten Gebrauch von Rechenhilfsmitteln bestimmt [...], das langsamste die Größenordnung der Zeitkonstanten des gesamten Systems.“³⁴⁰ Die daraus resultierende Forderung Wieners ist die vollständige Eingabe aller Werte und Regeln in das System, die für die Abarbeitung in der Maschine benötigt werden. Der Mensch tritt nur am Anfang zur Übermittlung der Eingangsnachrichten und am Ende zur Aufnahme der Ausgangsnachrichten auf. Diese Überlegungen entwickelte Wiener schon Anfang der vierziger Jahre und beeinflusste damit wesentlich die Überlegungen zur Programmspeicherung von Neumanns, den er 1943 und 1944 in Princeton traf.³⁴¹ Genauso entscheidend wie die vom Menschen unabhängige Abarbeitung der rechnerischen Aufgabe war für Wiener die Bedienung der Maschine und vor allem die Ausgabe der Ergebnisse. Die Rückkopplung zum Menschen mußte so erfolgen, daß dieser nicht durch Hürden an der schnellen Aufnahme der ausgegebenen Informationen gehindert werde. In seinen Arbeiten schnitt Wiener fast alle Fragestellungen an, die später für die verschiedenen Felder der Computerwissenschaft und der Informatik interessant werden. Hierzu gehörte auch die Überlegung, welche Speichermedien die höchste Informationsdichte aufwiesen. Nachdem er Lochkarte und Lochband als zu statisch und zu langsam verwarf und das Magnetband zwar als schneller, aber doch für große Datenmengen ungeeignet einstufte, erwähnt Wiener das Foto als Medium höchster Informationsdichte.³⁴² Das Bild wird damit als Form der Nachricht definiert, die allerdings - wegen der damals noch zu langen Entwicklungszeit - nicht schnell genug hergestellt und - wegen der großen Datendichte - auch nicht schnell genug transportiert werden konnte. Diese beiden Punkte werden in der weiteren Diskussion große Bedeutung erhalten.

7.2.2. Der Kreis um Wiener und seine Anregungen für das Interfacedesign

Wiener war während des zweiten Weltkriegs maßgeblich an der Entwicklung von Zielverfolgungsgeräten beteiligt, die sich durch ihre Nachführungsautomatiken auszeichneten.³⁴³ Hierzu mußten Daten von außen in das System eingebracht werden, das diese Daten mit den Zielvorgaben verglich und entsprechend reagierte. Die Bedienung der Geschütze mußte durch verschiedene Rückkopplungssysteme gesteuert werden, damit Unterschiede in den äußeren Bedingungen, z.B. Nässe oder Kälte, ausgeglichen werden konnten. Im Gegensatz zu Vannevar Bush sah Wiener den digitalen Rechenautomaten den analogen Systemen weit überlegen. Wenngleich analoge Systeme mathematische Relationen durch physikalische

³³⁹ Wiener, s. Anm. 336, S. 154.

³⁴⁰ Wiener, s. Anm. 336, S. 150.

³⁴¹ Wiener, s. Anm. 336, S. 36.

³⁴² Wiener, s. Anm. 336, S. 156.

Variablen ausdrücken konnten und insofern abbildende Modelle boten, waren sie in ihrer Genauigkeit begrenzt. Vor allem aber verfügten analoge Computer nur über einen minimalen Speicher und konnten keine logischen Operationen ausführen. Als Bedingung für die Nutzung der elektronischen Rechner forderte Wiener die konsequente Umsetzung von einfachen Ein- und Ausgabemechanismen, die den Operator an einem solchen Gerät bei der Verfolgung des Ziels unterstützen. Erst die reibungslose Kommunikation zwischen Mensch und Maschine konnte die Kommunikation in der Maschine zum Ziel führen. Wieners Vorstellungen und Überlegungen beeinflussten die Wissenschaftler am MIT maßgeblich. Es erschien wegweisend, die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine ebenso zu betrachten wie die Kommunikation zwischen Menschen. Der Begriff des „Interface“, der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, wurde in diesem Zusammenhang virulent. Interaktion wurde als notwendige Voraussetzung für die Steuerung des Computers erkannt. Die technische Entwicklung der Computer hatte diesem Anspruch bisher nur wenig Rechnung getragen. Die einzige Möglichkeit der Kommunikation bestand bei den meisten Computern in der Eingabe von Daten über Lochkarten und das „batch processing“. Die Zeiten, in denen die Wissenschaftler noch direkt an ihren Rechenboliden arbeiten konnten, wie zum Beispiel am Whirlwindsystem, waren Ende der fünfziger Jahre vorbei. Da die Anwendung sich in immer weitere Bereiche der Wissenschaft ausbreitete, mußte die Abarbeitung von Problemstellungen quasi „industrialisiert“ und damit serialisiert werden. Computer wurden nach wie vor als „Rechenautomaten“ betrachtet, die nach abstrakten Regeln nur explizite Ergebnisse erbringen sollten. Die Überlegungen Wieners und die Ansprüche an die Nutzungsmöglichkeiten von Computern müssen dennoch unabhängig voneinander betrachtet werden.

Maschinen zu programmieren, stellte sich als außerordentlich zeitaufwendiger Prozeß heraus. Die Notwendigkeit, früh Erfolg oder Mißerfolg eines programmtechnischen Ansatzes erkennen zu können, ergab sich aus den begrenzten Zeitressourcen an den sehr teuren Computern. Wieners „Rückkopplung“ und die Zentralisierung von Rechnerkapazitäten bei kontinuierlich steigender Nachfrage durch immer mehr Anwender deckten sich als Anforderung, ohne füreinander „entwickelt“ worden zu sein. Auch der von Wiener erläuterte Bergsonsche Zeitbegriff, mit Hilfe dessen er ausführt, daß die Zeit in der Maschine und im Menschen auf gleiche Weise verlaufe, gewann neue Bedeutung.³⁴⁴ Diese Zeit, im Gegensatz zum Newtonschen Zeitbegriff irreversibel, also nur in eine Richtung verlaufend, verbindet Mensch und Maschine auch in ihren „Handlungen“ oder besser „Aktionen“. Mensch und Maschine bewegten sich damit in der gleichen „Zeit“, weil zwischen ihnen Informationen ausgetauscht werden konnten. „Innerhalb jeder Welt, mit der wir Nachrichten austauschen können, läuft die Zeit gleichsinnig ab“.³⁴⁵ Die Bedeutung der Thermodynamik für die Informationsverarbeitung wirkte sich in der Vorstellung aus, daß Maschinen und Menschen in bezug auf die Übertragung von Nachrichten gleich funktionieren. Die Maschine als Partner der Kommunikation lag in der Vorstellung einer eher evolutiven Entwicklung der Maschine

³⁴³ Wiener, s. Anm. 336, S. 24ff. Vgl. auch Pfohl, Stephen, *The Cybernetic Delirium of Norbert Wiener*, in: *Digital Delirium*, Arthur und Marilouise Kroker (Hrsg.), Montreal 1997.

³⁴⁴ Wiener, s. Anm. 336, S. 58.

begründet. Nicht die physikalische Technik, die ja als Disziplin der Newtonschen reversiblen Zeit angehörte, trat in den Vordergrund, sondern die biologische Nachrichtenübermittlung prägte ihren Charakter. Der Bauplan und die Baustoffe von Mensch und Maschine spielten hierbei eine untergeordnete Rolle. Ihre Angleichung, ihre mögliche „Parallelität“ eröffnete den Denkraum für eine Fortsetzung der Evolution mit technischen Mitteln. Dementsprechend können Maschinen verbessert werden, indem die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine verbessert wird und die Grenze zwischen Mensch und Maschine zunehmend schwindet.

Wieners Forderungen gingen dementsprechend von der Hoffnung aus, daß jenes Hilfsmittel des Geistes zur „Kompression“ des Denkens beitragen möge. Die Maschine sollte möglichst nicht nur einmal genutzt werden, sondern seit ihrem Bestehen „für eine ganze Klasse von Eingaben“³⁴⁶ zur Verfügung stehen. Diese Interaktion zwischen Mensch und Maschine ist nicht notwendigerweise auf Rechenautomaten beschränkt, sondern gilt für alle Automaten, die über entsprechende „Sensorien“ verfügen, um eingehende Daten zu verarbeiten. Damit wird die Kybernetik zur beherrschenden Wissenschaft der Zeitspanne von 1930 bis 1960. Auf ihren Überlegungen fußte neben der Informatik auch die Künstliche Intelligenzforschung. Sie konnte vom Begriff des Lernens bei Wiener ausgehen, der das Aneignen von Fähigkeiten zunächst mit dem Aufbewahren von Informationen zur Verwendung zu einem späteren Zeitpunkt, also dem Speichern, gleichsetzte.

Wiener sah in der Kybernetik ein Bindeglied der unterschiedlichsten Wissensgebiete wie der Mathematik, Physik, Chemie, Biologie und nicht zuletzt der Psychologie. Mit der Nachbildung von kybernetischen Automaten sollten Erfahrungen aus allen diesen Wissensgebieten zusammenlaufen, um die neuen Maschinen mit „Verhalten“ und „Sensorien“ auszustatten, die denen des Menschen nachgebildet wurden. Für die weitere Entwicklung muß die Bedeutung der Übertragung von Informationen hervorgehoben werden. Die Eingabe sollte damit weniger durch eine Anpassung des Menschen an die Technik der Maschine im inneren erfolgen. Vielmehr war gefordert Mechanismen zu entwickeln, die der menschlichen Wahrnehmung analog erschienen, wie z.B. ein künstliches Auge in Form der Fozelle oder ein künstliches Gehör durch Mikrophone. Selbiges galt für alle schon bekannten Sensoren, die Hitze, Feuchtigkeit oder das Vorhandensein bestimmter Stoffe feststellen konnten.

Das zukünftige Bild der Maschine, das Wiener und seinen Zeitgenossen vorschwebte, steht hier vielleicht im größten Gegensatz zu heutigen Vorstellungen. Viele der anvisierten Fähigkeiten, insbesondere die Lernfähigkeit der Systeme und ihre Anpassungsfähigkeit an wechselnde Bedingungen, haben sich kaum erfüllt. Demgegenüber ist die Entwicklung der eigentlichen Rechentechnik in bezug auf Leistungsfähigkeit und Verringerung der Größe weit über den Vorstellungsraum der Wissenschaftler um Wiener hinausgegangen. Die Analogie zwischen Mensch und Maschine beflügelte die Visionen von denkenden Maschinen und bildete gleichzeitig eine Plattform für das Streben nach der besten Steuerung der Maschine. Je weniger Visionen die künstliche Intelligenz letztlich einzulösen vermochte, desto mehr Auf-

³⁴⁵

Wiener, s. Anm. 336, S. 58.

wand wurde für die Entwicklung der Steuerung und damit für die Gestaltung des „Interfaces“ betrieben. Das Bild am Computer wird damit von der Enttäuschung getragen, daß die intelligente „Verständigung“ im eigentlichen Sinne sich nicht einstellte. Die Symbole und die „künstlichen Welten“ des Bildschirms reflektieren damit das Scheitern der Verständigung zwischen Mensch und Maschine. Übrig bleibt die Komprimierung von Information, die aber immer nur vom Menschen interpretiert wird und in ihrer rein zahlentechnischen Form, als Code, keine Bedeutung hat. Die Bedeutung der Komprimierung von Information ist eine wesentliche Triebfeder für die Bildproduktion mit dem Computer.

Wiener beschäftigte sich nicht nur als Wissenschaftler, sondern auch als politisch bewußter Kritiker mit der schnellen Computerentwicklung. Während von Neumann sich auch im Rahmen der Atombombenentwicklung intensiv des Computers bediente, lehnte Wiener jede wissenschaftliche Zusammenarbeit auf diesem Gebiet ab. Der Computer und der Mensch arbeiteten nach Wieners Überlegungen zwar in ähnlicher Weise, bedurften aber unterschiedlicher „Informationen“. Diejenigen Informationen, die für das einwandfreie Arbeiten eines Computers notwendig waren, mußten auf jeden Fall durch den Menschen produziert werden. Die Entwicklung von immer komplexeren Aufgaben zur Lösung durch Computer bedürfte der immer komplexeren Denkarbeit durch den menschlichen Betreiber. Wiener stemmte sich damit der schon früh vorherrschenden Ideologie entgegen, daß im Laufe der Zeit die Computersysteme dem Menschen immer mehr „Denkaufgaben“ abnehmen würden.³⁴⁷

Innerhalb des MIT spielten Wieners Seminare eine besondere Rolle. Nach dem Krieg herrschte eine starke Neuausrichtung der Computerwissenschaften vor, an der auch Wiener großen Anteil hatte. Die Seminare brachten viele der zu dieser Zeit wichtigsten Wissenschaftler zusammen. In ungezwungener Atmosphäre, durch ein Abendessen eingeleitet, wurden wissenschaftliche Statements verlesen und diskutiert.³⁴⁸ Das Gebiet der Kommunikation war für die Jungen am MIT eine neue Herausforderung, die sich mit der gerade entstehenden Computerwissenschaft verbinden ließ. Auch Licklider nahm an diesen Seminaren teil.³⁴⁹ Sein Aufsatz zur Symbiose zwischen Mensch und Maschine bezog sich stark auf die von Wiener geäußerte parallele Verarbeitung von Informationen in biologischen wie in künstlichen Systemen. Auf dieser theoretischen Grundlage erschien eine innige Verbindung nicht nur möglich, sondern als eine Erweiterung der menschlichen Fähigkeiten in einem evolutionistischen Sinne. Wiener selbst stellte sich den Computer als Hilfsmittel zur Unterstützung beim wissenschaftlichen Arbeiten vor. Für relativ wenige heuristische Problemlösungen waren laut Wiener viele rein algorithmische Probleme zu lösen.³⁵⁰ Das RLE (Research Lab for Electronics) am MIT wurde zur zentralen Institution im Zusammenhang mit der Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen. Neben der Vorstellung einer „Zusammenarbeit“

³⁴⁶ Wiener, s. Anm. 336, S. 68.

³⁴⁷ Wiener, Norbert, A Scientist's Dilemma in a Materialist World, in: Collected Works, Cambridge 1985, S. 709, zit. nach Hauben, s. Anm. 331.

³⁴⁸ The Legacy of Norbert Wiener: A Centennial Symposium, 1994, S. 19, zit. nach Hauben, s. Anm. 331.

³⁴⁹ Hauben, s. Anm. 331, Teil 2.

von Mensch und Maschine mußte sich auch die praktische Verfügbarkeit von Rechnerkapazitäten entwickeln.

7.3. Time-sharing

Für einen Programmierer in den fünfziger Jahren stellte die Erarbeitung des Programmkonzeptes eine weit geringere Hürde dar als letztlich die Implementierung im System. Auch heute noch gehen Entwickler von einem Zeitverhältnis von 3:1 bei der Entwicklung eines Systems aus. Gegenüber der reinen Konzeption eines Programms wird dreimal soviel Zeit für die Implementierung auf einem Rechner verwendet. Die Fehlerhäufigkeit hatte die ersten Programmierer geradezu überrascht. Schon Maurice Wilkens, einer der Pioniere der Programmierung am EDSAC stellte fest, daß er in Zukunft einen großen Teil seiner Zeit damit verbringen würde, Fehler in seinen eigenen Programmen zu suchen.³⁵¹ Einem Teil des Problems wurde schon mit der Einführung höherer Programmiersprachen begegnet. Fortran und Cobol zeichneten sich dadurch aus, daß sie englische Begriffe nutzten, um bestimmte Vorgänge in der Maschine zu beschreiben. Die noch im Mark I genutzte Binärcodierung bot praktisch keine Möglichkeit, Fehler zu finden, selbst wenn man das Programm geschrieben hatte.³⁵² Programmiersprachen, die sich stärker an die Semantik der englischen Sprache anlehnten, mußten jedoch in eine zweite Bearbeitungsebene umgewandelt werden. Grace Murray Hopper führte 1951 die Idee des Compilers ein, der zwischen Maschine und Programm eine Übersetzungsfunktion einnahm.³⁵³ Durch die Übersetzung einer Hochsprache in eine der Maschine näheren Sprache konnten die Schwierigkeiten für Einsteiger teilweise kompensiert werden. Darüber hinaus mußten nicht alle Operationen direkt durch das Programm ausgeführt werden. Es setzte sich schnell durch, daß die ständigen Funktionen des Computers, wie die Kommunikation des Rechners mit seiner Peripherie, z.B. einem Teletypewriter oder auch einem Bildschirm, besser durch ein Operationsprogramm oder, in der heute gängigen Bezeichnung, durch ein Betriebssystem gesteuert wurden, als durch jedes Programm, das auf dem Rechner implementiert wurde. Ein solches Betriebssystem umfaßte dann einige Operationen, die in einer höheren Programmiersprache als Anweisung abgesetzt werden konnten, aber eine ganze Reihe von Operationen innerhalb des Betriebssystems auslöste. Über die Entwicklung vom Mark I über den ENIAC, zu dessen Programmierung tausende Schalter betätigt und hunderte von Steckverbindungen hergestellt werden mußten, hin zur von Neumann Speicherprogrammierung war ein großer Geschwindigkeitsvorteil für einen Operator erreicht worden. Sobald aber mehrere Probleme an einem Computer gelöst werden sollten, stellte sich die Verarbeitung der Informationen wiederum als Flaschenhals dar. Damit gewann die Geschwindigkeit der Verarbeitung eines Programms und die damit verbundene Fehlersuche eine immer größere Bedeutung. Durch die Schaffung von

³⁵⁰ Hauben, s. Anm. 331, Teil 2, S. 2.

³⁵¹ Zit. nach Kurzweil, Raymond, *The Age of Intelligent Machines*, Originalausgabe Boston 1990, S. 175.

³⁵² Lubar, s. Anm.: 76, S. 359.

³⁵³ Lubar, s. Anm.: 76, S. 360.

Speichermedien innerhalb und außerhalb des Rechners, den sogenannten primären (Hauptspeicher) und sekundären Speichern (Massenspeicher), wurde die Eingabe der Information im Verhältnis zur möglichen Verarbeitungsgeschwindigkeit innerhalb des Rechners immer schlechter.³⁵⁴ Während SAGE mit von außen kommenden Informationen durch die angeschlossenen Radarstationen „überflutet“ wurde, hätten die immer größer werdenden Rechner am Ende der fünfziger und am Anfang der sechziger Jahre zumindest theoretisch deutlich mehr Aufgaben bearbeiten können, als ihnen durch Lochkartenstapel eingegeben wurden. Der Vorgang, ein einzelnes Programm erst auf einen Stapel dieser Karten zu codieren, dann einzulesen, und schließlich nach einiger Zeit das Ergebnis zu erhalten, bedeutete, daß der Rechner oft nicht ausgelastet war. Der Programmierer erfuhr erst sehr spät von der Fehlerhaftigkeit seines Programms. Die Programmierer am Whirlwind hatten dagegen erlebt, was die interaktive Nutzung eines Computers bedeuten konnte.³⁵⁵

Wiener hatte die Kommunikation mit der Maschine zwar als wesentliches Element der Mensch-Maschine-Interaktion ausgewiesen, war aber über die Nutzung der Rechenmaschinen aus der Sicht der weniger exklusiven Nutzer kaum informiert. Letztlich spielte sich die Computernutzung in unterschiedlichen Sphären ab. Studenten hatten deutlich geringere Möglichkeiten, einen der großen Rechenautomaten für sich allein zu beanspruchen. Ebenso war die Situation von J. Forrester und seinem Team, die an einem der größten Rechner der damaligen Zeit arbeiteten, eine ungewöhnliche Ausnahme. Die Notwendigkeit, Rechenleistung zwischen verschiedenen Benutzern aufzuteilen, resultierte daher mehr aus praktischen Erwägungen als aus theoretischen. Dabei war der Begriff des Time-sharing selbst auch einem Wandel unterzogen, der aus der unterschiedlichen Verwendung herrührte.³⁵⁶ Hier soll aber nur der zweite Teil des Time-sharing interessieren, der in direkter Linie zum heutigen Internet führt.

Die Erfindung von Time-sharing beruht auf Entwicklungen am MIT.³⁵⁷ Aber erst durch die Organisation ARPA wurden die theoretischen Überlegungen und die Modellversuche des MIT in die praktische Realität umgesetzt. In den Jahren von 1960 bis 1975 beherrschte das Time-sharing-Verfahren die Computerindustrie. Es ermöglichte auch kleinen Firmen, auf die Kapazitäten eines Großrechners zuzugreifen, ohne ihn selbst anschaffen zu müssen. Time-sharing hat damit fundamental zur Verbreitung der Computertechnologie beigetragen und wurde erstmals weniger bedeutend, als durch den PDP-8 von Digital Equipment 1965 ein Minicomputer auf den Markt kam, der mit weniger als 20.000 \$ zum ersten Mal auch für kleinere Firmen und Institutionen erschwinglich war.³⁵⁸ Die Verbindung zu Großrechnern

³⁵⁴ Randell, Brian, The Origins of Computer Programming, in: Annals of the History of Computing, Vol. 16, No. 4, 1994, S. 13.

³⁵⁵ Rosin, Robert, The CTSS Interviews, in: Annals of the History of Computing, Vol. 14, No. 1, 1992, S. 13.

³⁵⁶ In der neueren Forschung wird Time-sharing in zwei Bedeutungszusammenhängen genannt. Vor 1960 meint Time-sharing die Einführung des Multiprogramming und der Interrupts im allgemeinen. Nach 1960 ist Time-sharing Synonym für die interaktive Nutzung von Großrechnern durch Konsolen und das interaktive computing im allgemeinen. Lee, J. A. N., Claims to the Term „Time-Sharing“, in: Annals of the History of Computing, Vol. 14, No. 1, 1992, S. 17.

³⁵⁷ Lubar, s. Anm. 76, S. 336.

³⁵⁸ Lubar, s. Anm. 76, S. 338.

(Mainframes) blieb aber die beherrschende Technologie, bis der Personalcomputer ab Anfang 1980 auf den Markt drängte.

Die Gestaltung der Interaktionsmöglichkeiten am Eingabeterminale war eng mit der Entwicklung von Time-sharing verbunden, weil zunächst nur hierdurch die Rechenkapazitäten für eine dialogische Nutzung des Computers verfügbar wurden. Die ARPA hat diesen Prozeß organisatorisch und finanziell erheblich gefördert.

Die Entwicklung der ARPA³⁵⁹ ist vielschichtig. Ihre Entstehung wird im allgemeinen auf die „Sputnik Krise“ zurückgeführt, die im Oktober 1957 durch den ersten russischen Satelliten im All ausgelöst wurde.³⁶⁰ Eisenhower, der sich von jeher mit den besten Köpfen der Wissenschaft umgeben hatte, faßte den Entschluß, eine Organisation zu gründen, die den wissenschaftlichen Weltmachtanspruch zurückerobern sollte. An ihre Spitze setzte er im November 1957 den damaligen Präsidenten des MIT, James R. Killian Jr.³⁶¹ Diese Organisation wurde als zentrale Forschungsstelle bewußt neben die schon bestehenden Forschungsinstitute der Air Force, Army und Navy gestellt, um dem Gerangel um Forschungsgelder der verschiedenen Institutionen einen Riegel vorzuschieben. Die neue Forschungsbehörde sollte ungehindert von reinem militärischen Kalkül, aber mit ebenso großen Mitteln arbeiten können. Als dann kurz nach der Gründung die NASA geschaffen wurde, verlor die ARPA auf einen Schlag fast 80% ihrer Mittel an die neue Organisation, die wiederum dem Militär unterstellt war. Erst mit dem Amtsantritt Kennedys und der Berufung von Jack P. Ruina zum Leiter der ARPA, dem ersten Wissenschaftler auf dieser Stelle, verbesserte sich die organisatorische und finanzielle Situation der ARPA erneut. Ruina verpflichtete dann auch den bereits erwähnten Joseph C. Licklider, der 1962 als Leiter des Bereichs Command and Control verpflichtet wurde. Licklider sah in dieser Aufgabe eine entscheidende Möglichkeit, seine 1960 niedergelegten Überlegungen zur Mensch-Maschine-Symbiose weiter auszuarbeiten. Die Aufgabe bestand darin, Kommandostrukturen mit Hilfe von Computern aufzubauen. Da ihn die militärische Ausrichtung seiner Stelle zu sehr einengte, erreichte er eine Änderung der Bezeichnung in „Information Processing Techniques Office“ (IPTO).³⁶² Betrachtet man die Entwicklung der ARPA näher, wird schnell deutlich, daß auch diese Koordinierungsstelle für die Forschung nicht ausschließlich militärischem Kalkül folgte. Licklider verstand es, seine eigenen Interessen weiter auszubauen und die Ebene der militärischen Forschung quasi als „Abfallprodukt“ seiner eigenen Visionen zu behandeln.

In jenem Klima, das durch Wieners Idee der Kommunikation als Grundlage der Steuerung von Mensch und Maschine inspiriert war, bedeutete die Position für Licklider eine weitere Chance, seine Visionen zu vertiefen. Dabei spielte die Technik zunächst eine eher untergeordnete Rolle. Licklider suchte sich Partner aus den verschiedenen Universitäten, die bei

³⁵⁹ Advanced Research Projects Agency.

³⁶⁰ Hafner; Lyon, ARPA Kadabra, s. Anm. 321, S. 14.

³⁶¹ Hafner; Lyon, ARPA Kadabra, s. Anm. 321, S. 18.

³⁶² O'Neill, Judy E., The Role of ARPA in the Development of ARPANET, 1961 – 1972, S. 17, in: Annals of the History of Computing, Vol. 17, No. 4, 1995.

seinem Vorhaben die Informationen, Ideen und die neu zu entwickelnden Werkzeuge in dem geplanten „intergalaktischen“ Netzwerk teilen sollten.³⁶³ Zuvor hatte jedoch John McCarthy 1959 am MIT ein Memorandum verfaßt, das sich mit der praktischen Seite des Time-sharing befaßte.³⁶⁴ Darin hob er noch einmal den wesentlichen Grund für die Idee des Time-sharing hervor, indem er ausführte, wieviel Aufwand es bedurfte, ein Programm fehlerfrei zu erstellen bzw. während der Entwicklung die Fehler auszumerzen (debugging³⁶⁵). Damit entfaltete McCarthy das Problem, das Wiener in seiner grundsätzlichen Fragestellung kaum angeschnitten hatte. Statt den Computer als ein allgemeines Gerät zur Lösung von Problemen einer Klasse zu betrachten, ermöglichte unterschiedliche Software die Lösung von Problemen unterschiedlichster Klassen. Dies bedeutete aber, daß nicht nur ein Programm geschrieben wurde, mit dem dann hunderte von Lösungen erstellt werden konnten, sondern gewissermaßen für jedes Problem ein eigenes Programm.³⁶⁶ Die hohe Fehlerzahl in den Programmen konnte dazu führen, daß die Abarbeitung sehr lange dauerte. Jeder neue Lauf machte eine erneute Konvertierung der Daten notwendig.

Nicht die visionierte interaktive Nutzung, sondern das Zeitproblem spielte die entscheidende Rolle bei der Konzeption von Time-sharing Systemen. Die Zeit, die der Rechner zum Ausführen eines einmal eingegebenen Problems benötigte, stand in einem krassen Mißverhältnis zu der Zeit, die für die Erstellung und die Fehlerbeseitigung in einem Programm aufgewendet werden mußte. McCarthy beschrieb in seinem Memorandum eine Modellrechnung, nach der selbst ein relativ einfaches Programm bis zu 60 Stunden Fehlersuche erforderte.³⁶⁷ Da nur ein Drucker für die Ausgabe zur Verfügung stand, mußten die einzelnen Speicherzustände ausgedruckt (dump)³⁶⁸ und jeder dieser Ausdrücke auf Fehler geprüft werden. Innerhalb der nächsten Jahre wurden am MIT mehrere Projekte ins Leben gerufen, die sich mit der Frage des Time-sharing beschäftigten. Zunächst wurde ein Computer der Serie 704 mit einem Flexowriter ausgestattet, um ein einfaches Modell der notwendigen Vorgänge zu simulieren. Daraufhin willigte IBM ein, einen ihrer Computer der Serie 709 mit den von McCarthy geforderten Änderungen auszustatten.³⁶⁹ Corbato erhielt die Möglichkeit, den Prototyp des PDP-1 von Digital Equipment zusammen mit dem Experimental-Computer TX-0 am MIT zu verwenden. Damit war das erste Time-sharing Projekt, genannt CTSS, geboren. Darauf folgte das Project MAC, daß bereits direkt von Lickliders ARPA Geldern gefördert wurde.

³⁶³ O'Neill, s. Anm. 362, S. 19.

³⁶⁴ O'Neill, s. Anm. 362, S. 20.

³⁶⁵ Debugging (engl.): Fehlersuche.

³⁶⁶ „Computers were originally developed with the idea that programs would be written to solve general classes of problems and that after an initial period most of the computer time would be spent in running these standard programs with new sets of data. This view completely underestimates the variety of uses to which computers would be put. The actual situation is much closer to the opposite extreme, wherein each user has to write his own program....“
O'Neill, s. Anm. 362, S. 20.

³⁶⁷ O'Neill, s. Anm. 362, S. 21.

³⁶⁸ Ein Ausdruck zur Fehlersuche wird als „dump“ bezeichnet. Hierzu wird der Speicherinhalt beim Abbruch im Programm auf einem Drucker ausgegeben. Der Programmierer kann dann den Abbruch in bezug auf die Stelle im Programm genau definieren und das Programm entsprechend ändern.

Herbert Teager, ein weiterer Mitarbeiter am MIT, empfahl die Anschaffung eines IBM 7030 Stretch Computers und gestaltete hierzu ein passendes Time-sharing Eingabegerät. Es zeichnete sich dadurch aus, daß es neben dem grafikfähigen Display auch die Eingabe von Daten über die Benutzung eines Stiftes auf einem monitorähnlichen Eingabesystem erlaubte. Diese Technologie, die erst Anfang der neunziger Jahre in eine greifbarere Nähe rückte, sollte diejenigen entlasten, die bei der Formulierung wissenschaftlicher Probleme Schwierigkeiten mit der Eingabe hatten. Ein benutzerfreundliches System also, „das die Kapazität einer leistungsfähigen Maschine direkt jedem Nutzer zur Verfügung stellen sollte“.³⁷⁰ Dieses System visioniert wie kaum ein anderes die Idealvorstellung von einem visuellen Arbeitsplatz. Im Vordergrund des Interesses steht allerdings noch immer die streng wissenschaftliche Nutzung der Maschine. Diese Vorstellungen hatten noch nichts mit den interaktiven Systemen zu tun, die später im XEROX Parc Institut die Geschichte der grafischen Benutzeroberflächen prägen sollten. Unter Grafik verstand man zunächst die grafische Darstellung von mathematischen Formeln und Ausdrücken, um diese leichter beurteilen zu können. Die Abbildung des Eingabeterminals zeigt dementsprechend auch ein XY-Koordinatensystem auf dem Bildschirm und die Darstellung einer Formel auf dem Eingabefeld, das als Handschriftenerkennungs-System konzipiert war.³⁷¹ Teager, der seine Empfehlung zusammen mit Marvin Minsky verfaßte, stellte besonders die Möglichkeit heraus, Daten per Hand auf ein schreibtischähnliches Gerät eingeben zu können. Hier schälte sich auch zum ersten Mal die Vorstellung von einem „Schreibtisch“ als Metapher der Arbeitsumgebung heraus. Der Schreibtisch als Raum des Wissenschaftlers, an dem alle notwendigen Werkzeuge versammelt sind, die für die Bildung neuer Überlegungen und Theorien notwendig erscheinen. Dies sind zum einen Daten, die über ein Ablagesystem erreicht werden können und zum anderen spezialisierte Werkzeuge in Form von kleinen Programmen, die spezifische Aufgaben lösen können. Die Nähe von Hand und Auge ist dabei bezeichnend. Die Maschine sollte in ihrer „Fähigkeit“ verbessert werden, die Arbeitsweisen des Menschen „wahrnehmen“ zu können. Ohne die technischen Realisierungsmöglichkeiten zu kennen, wurde dabei die Welt des Wissenschaftlers symbolisch transformiert und als Technologie visioniert. Die „Benutzeroberfläche“ als Metapher existierte in der Vorstellungswelt noch nicht, doch die Übertragung der Realität in die funktionalisierte Welt des Computers erforderte die Begründung eines virtuellen Systems von Apparaten. Jedes Werkzeug in dieser virtuellen Arbeitsumgebung gehorchte damit dem Nutzer, der die Leistung von einem zentralen Rechner bezog.

³⁶⁹ Hierzu gehörte der Einbau eines Interruptmechanismus und die Erweiterung des Hauptspeichers. Zusätzlich mußte es möglich gemacht werden, daß der zur Verfügung stehende Speicher den unterschiedlichen Usern zugeteilt wurde.

³⁷⁰ „Making the capacity of a powerful machine more directly available to each user will multiply its effectiveness and eliminate the drawbacks of a large central machine.“ O’Neill, s. Anm. 362, S. 25.

³⁷¹ O’Neill, s. Anm. 362, S. 27.

7.4. Douglas Engelbart und das Augment System

Mit der Erfindung der Maus durch Douglas Engelbart 1965 wurde die Idee des grafischen Interface und der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine entscheidend vorange-
trieben.³⁷² Die Finanzierung dieser Entwicklung erfolgte zwar unter der Schirmherrschaft der
ARPA und der NASA im Zusammenhang mit dem NLS Projekt (Online System), aber die
Verbindung zwischen der Maus und der Entwicklung von Kriegstechnologie ist nicht so eng
wie oft angenommen.³⁷³ Allein die Tatsache, das Douglas Engelbart in seinem Bericht³⁷⁴, in
dem verschiedene Eingabegeräte getestet wurden, von „Zielen“ (target) spricht, rechtfertigt
einen solchen Zusammenhang nicht. Vielmehr muß man bei der Untersuchung des Themas
realisieren, daß die Motive für die Entwicklung von „Verbesserungsmöglichkeiten“³⁷⁵ oder
„Unterstützungen“ des menschlichen Geistes nicht militärisch gespeist sind. Zugrunde liegt
vielmehr eine intensive Auseinandersetzung mit der generellen Nutzung von Werkzeugen.

Engelbart beschreibt seine ersten Kontakte mit dem Bildschirm während seiner Militärzeit bei
der Navy.³⁷⁶ Dort hatte er wie viele andere die Aufgabe, Radargeräte zu beobachten und
gegebenenfalls zu reparieren. Ihn faszinierten die Möglichkeiten, die das Radar bot; vor
allem aber die große Informationsmenge, die durch das einfache Bild ausgedrückt wurde.
Innerhalb einer Umdrehung des Radargerätes veränderte sich auf dem Leuchtschirm unge-
heuer viel. Um 1946 wurde Engelbart trotz Ende des Krieges nochmal für fast ein Jahr auf
See geschickt. Dabei fand er in einer Bibliothek des Roten Kreuzes auf einer Insel eine
Ausgabe des Magazins Atlantic Monthly mit Vannevar Bushs Artikel „As we may think“. Ihn
beeindruckte die Grundidee, daß technische Hilfsmittel den Menschen nicht nur bei seiner
körperlichen, sondern auch bei seiner geistigen Arbeit unterstützen konnten.

Engelbart schloß seine Ausbildung als Elektroingenieur ab und arbeitete bei verschiedenen
Einrichtungen, bis er etwa 1951 ernsthaft über computerunterstütztes Arbeiten nachzuden-
ken begann. Bushs Text, der sich mit Informationsbeschaffung und wissenschaftlicher
Problemlösung beschäftigte, beeinflusste Engelbart sehr. Dabei bildeten seine Erfahrungen
mit dem Radar die entscheidende Grundlage. Das Radargerät verdichtete die Information
und ließ den Operator Symbole manipulieren. Mit wenigen Knöpfen und Reglern wurde die

³⁷² Myers, Brad A., A Brief History of Human Computer Interaction Technology, in: ACM Interac-
tions, Vol. 5, No. 2, March 1998.
<http://almond.srv.cs.cmu.edu/afs/www/papers/uihistory.tr.html>.

³⁷³ Roch, s. Anm. 201, S. 167.

³⁷⁴ English, William K.; Engelbart, Douglas C.; Berman, Melvyn L., Display Selection Techniques
for Test Manipulation, in: Transaction on Human Factors in Electronics March 1967, Vol. HFE-
8, No 1, S. 5-15. S.a. [http://www.histechrwth-
aachen.de/www/quellen/engelbart/display1967.html](http://www.histechrwth-aachen.de/www/quellen/engelbart/display1967.html).

³⁷⁵ „Augment“ ist als Begriff nur unscharf übersetzbar. Websters Dictionary beschreibt Augmenta-
tion als Vergrößerung in der Leistung oder in der Zahl. Im Deutschen kann es als Verbesse-
rung oder Unterstützung übersetzt werden, wobei das Schwergewicht der Bedeutung auf der
qualitativen Ebene liegt.

gesamte Steuerung des Radargerätes von einem Platz aus erledigt. In diesem Sinne stellte sich Engelbart einen großen Bildschirm vor, der Symbole zeigte, die man mit Hilfe von weiteren Geräten auf dem Bildschirm direkt manipulieren konnte. Um Daten aufzunehmen und in hoher Geschwindigkeit wieder abzugeben, war solch eine direkte Steuerung erforderlich.³⁷⁷ Dabei war Engelbart keinesfalls ein Software- oder Hardwareentwickler. Nach dem Abschluß seines Studiums im Jahr 1955 ging er an mehrere Universitäten, die für Computerprojekte bekannt waren, um sich mit seiner Vision einer vernetzten Mensch-Maschine-Interaktion beschäftigen zu können. Aber erst am Stanford Research Institute (SRI) begann 1957 die eigentliche Arbeit an dem System, das später unter den Namen AUGMENT und NLS bekannt wurde.

Eine zentrale Stelle in der Geschichte der Computerentwicklung nahm der von Engelbart 1962 veröffentlichte Text „A Conceptual Framework for the Augmentation of Man’s Intellect“³⁷⁸ ein. Hier präsentierte Engelbart erstmals seine grundlegenden Überlegungen. Dieser Text stellte sich selbst in eine Reihe mit vielen anderen Veröffentlichungen, die zu diesem Zeitpunkt schon erschienen waren.³⁷⁹ Allen voran nennt Engelbart Bush und Licklider, die quasi die Grundlage zu seinen Überlegungen entwickelt hatten. Neben anderen hatte der Autor auch die voranschreitenden Entwicklungen am MIT, hier insbesondere die Arbeit von Ivan Sutherland, wahrgenommen, der sich bereits mit einem interaktiven System aus dem Bereich der Grafik beschäftigte. Die Ausführungen zu anderen Werken zeigen deutlich, wie eingebettet sich Engelbart in die Entwicklung solcher Überlegungen sah. Gleichzeitig stellte er jedoch heraus, daß es ihm unmöglich erschien, bei der Fülle der gegebenen Literatur eine Version seines Textes mit entsprechenden wissenschaftlichen Anmerkungen zu versehen. Hierzu benötigte er genau das System, das er im Vorwege beschrieben habe. Nur durch ein entsprechendes Werkzeug ließen sich die wesentlichen, grundlegenden Gedanken, die zu diesen Überlegungen geführt hätten, sinnvoll zitieren.

In seiner Einleitung beschreibt er „Augmentation“ als eine Methode, ein bisher unerreichtes Verständnis für komplexe Problemstellungen zu erreichen.³⁸⁰ Er baute dabei auf Gedanken von Wiener und Bush auf. Alles, was auf einen Menschen einwirke, erfahre er durch die

³⁷⁶ Vgl. Interview mit Douglas Engelbart am Stanford Research Institute, Dezember 1986 bis April 1987, <http://www-sul.stanford.edu/depts/hasrg/histsci/ssvoral/engelbart/main1-ntb.html>.

³⁷⁷ „Then it unfolded rapidly. I think it was just within an hour that I had the image of sitting at a big CRT screen with all kinds of symbols, new and different symbols, not restricted to our old ones. The computer could be manipulating, and you could be operating all kinds of things to drive the computer. [...]“

“Well, I knew about screens, and how you could use the electronics to shape symbols from any kind of information you had. If there was information that could otherwise go to a card punch or a computer printer, that they had in those days, you could convert that to any kind of symbology you wanted on the screen. That just all came from the radar training, and the engineering I’d had, too, knowing about transistors. It’s so easy for the computer to pick up signals, because in the radar stuff, you’d have knobs to turn that would crank tracers around and all. So the radar training was very critical, about being able to unfold that picture that rapidly.” Engelbart, s. Anm. 376.

³⁷⁸ Engelbart, Douglas, A Conceptual Framework for the Augmentation of Man’s Intellect, in: Greif, Irene (Hrsg.), Computer Supported Cooperative Work. A Book of Readings, San Mateo, Californien 1988, S. 35 – 66, Vgl. auch <http://www.histech.rwth-aachen.de/www/quellen/engelbart/ahi62index.html>.

³⁷⁹ Engelbart, s. Anm. 378, S. 61.

³⁸⁰ Engelbart, s. Anm. 378, S. 35.

verschiedenen sensomotorischen Kanäle. Ebenso könnten Auswirkungen auf die Umwelt nur auf diesem Weg erfolgen, also über Handlung und Kommunikation.³⁸¹ Dabei seien verschiedene Wahrnehmungszustände zu unterscheiden, mit denen der Mensch verschiedene Stufen von Problemen lösen könne. Einfache Probleme, wie zum Beispiel normale Bewegung im Raum, können mit einfachen und direkten Reaktionen auf der Basis unbewußter Handlungen erfolgen. Komplexe Aufgaben - als Beispiel nennt Engelbart u.a. die Einberufung eines Meetings, das Aufsetzen eines Protokolls und dessen Verteilung - erforderten weiterführende Konzepte, auf welche die Untersuchung abziele.³⁸² Mit seiner Liste der „augmentation means“ stellt er die wichtigsten Teile komplexer Problemlösungen zusammen: Artefakt, Sprache, Methode und Training.³⁸³

Der Mensch lerne in kleinen Schritten, weil komplexe Aufgaben nicht im Ganzen verarbeitet werden könnten. Dementsprechend müßten technische Hilfen bei der Bewältigung komplexer Problemstellungen zunächst die Probleme dergestalt zerlegen, daß sie Schritt für Schritt neu aufgebaut werden könnten. Die so gewonnenen Prozeßhierarchien seien geeignet, menschlichen Intellekt abzubilden.³⁸⁴ Bei der Untersuchung von Prozessen erkannte Engelbart, daß nicht alle Subprozesse eines übergeordneten Prozesses genau analysiert werden können. Aus seiner Sicht machte es keinen „Sinn“, alle Prozesse soweit zu zerlegen, daß sie nicht weiter unterteilt werden könnten. Die Lösung komplexer Problemstellungen erfordere lediglich, die wichtigsten Tätigkeiten zu lokalisieren und in Prozeßbeschreibungen abzubilden. Wie ein Handwerker seine Werkzeuge kenne und sie sich entsprechend konstruiere, um damit bestimmte Problemstellungen seines Arbeitsbereiches zu lösen, müsse sich auch der Wissenschaftler einen Werkzeugkasten (Toolbox) zusammenstellen. Alle komplexeren Prozesse lägen zum Teil in den spezifischen Möglichkeiten des Menschen, zum Teil in den spezifischen Möglichkeiten der Artefakte und zuletzt in der Kooperation zwischen Mensch und Artefakt. Werkzeuggebrauch im weitesten Sinne ist damit als Schnittstellenproblem identifiziert. Wann immer ein Mensch ein Werkzeug zur „Bewerkstelligung“ einer Aufgabe gebraucht, überwindet er damit die Grenze zwischen sich und dem Werkzeug und nutzt hierzu ein wie auch immer gestaltetes Interface.³⁸⁵ Insofern stellte für Engelbart die Entwicklung von Werkzeugen mit Hilfe des Computers keinen besonderen Bruch in der evolutionären Entwicklung von Werkzeugen überhaupt dar.³⁸⁶

³⁸¹ Engelbart , s. Anm. 378, S. 37.

³⁸² Engelbart , s. Anm. 378, S. 38.

³⁸³ Engelbart , s. Anm. 378, S. 38.

³⁸⁴ Engelbart , s. Anm. 378, S. 44.

³⁸⁵ Hierauf hat auch Brenda Laurel hingewiesen. Demnach bezeichnet der Begriff Interface die Kontaktstelle zwischen einem Menschen und einem Objekt, auf das sich das Handeln bezieht. So ist die Türklinke das Interface zwischen Mensch und Tür. Laurel, Brenda, *The Art of Human-Computer Interface Design*, Boston 1990, S. 7.

³⁸⁶ In seinen Erinnerungen spielt die Erkenntnis über die Bedeutung von Office-Applikationen eine besondere Rolle. Im zitierten Interview streicht er immer wieder heraus, wie er sich selbst über die Tragweite seiner Überlegungen bewußt wurde. Dies ist wohl auch mit ein Grund, daß seine Konzepte im Prinzip zwar richtig, aber dem technischen Status voraus waren. Im Verlaufe der Entwicklung geriet demnach sein Konzept zwar in die Köpfe anderer, wurde aber nicht in der gleichen Weise realisiert. Seine Frustration über diese Fehlentwicklung ist dem Interview deutlich zu entnehmen.

Mit diesem Ansatz näherte sich Engelbart dem Problem der Algorithmisierung von einer völlig neuen Seite. Nicht nur ein mathematisches Problem kann in kleinere, vom Computer abzuarbeitende, Unterprobleme unterteilt werden. Dies gilt genauso für alltägliche Fragen der Informationssuche, Informationsverarbeitung und Weiterleitung. Damit entfernte er sich erheblich von der bisherigen Nutzung des Computers. Waren bisher Ingenieure mit dem Bau und der Programmierung von Computern beschäftigt gewesen, so meldete sich in Engelbart im Prinzip ein erster „User“ zu Wort, der der Maschine auf einer Ebene Leistung abverlangte, die bereits spezifische Programmierleistungen auf der unteren Ebene als selbstverständlich voraussetzte. Engelbart prägte sich selbst ein Bild von der Nutzung der Maschine und ließ zunächst unbeantwortet, wie diese Nutzung technisch realisiert werden sollte. Im Gegensatz zu Licklider, der zuvor in seinem Aufsatz „Man-Computer-Symbiosis“ die evolutionäre Bedeutung der Mensch-Maschine-Kommunikation beleuchtet hatte, begann Engelbart mit der tatsächlichen technischen Umsetzung einer auf der Bildoberfläche eines Monitors „Symbole bearbeitenden“ Maschine.

Damit setzt sich die Entwicklung des Bildes und des Symbols am Computer weiter fort. Für Engelbart war die Entwicklung von Symbolen und neuen Zeichen ein entscheidender Schritt in eine neue Betrachtung der Welt. Nach einer von ihm zitierten These Benjamin Lee Whorfs ist die Weltsicht einer Kultur begrenzt durch die Sprache, die diese Kultur nutzt.³⁸⁷ Demnach könne die Neuentwicklung von Zeichen und Symbolen, die es bisher im Sprachrepertoire einer Kultur nicht gab, auch eine substantielle Veränderung bzw. Erweiterung dieser Kultur zur Folge haben. Der Computer sollte dieses Symbol- und Funktionsrepertoire zur Verfügung stellen.

Dazu muß die Maschine keinesfalls intelligent sein. Die Konzepte, die in der Maschine entweder auf der optischen oder auf der Strukturebene abgelegt wurden, repräsentieren diese Intelligenz, ohne daß die Maschine etwas von diesen Strukturen verstehen muß. Engelbart legte damit einen Grundstein zum Verständnis der grafischen Benutzeroberfläche. Die Forschung an der Schnittstelle zum Artefakt Computer bedeutete, Intellekt in die Gestaltung der „Oberfläche“ und damit des Bildes zu stecken, das unserem interpretierenden Bewußtsein gegenübersteht. Diese Forschung konnte, im Gegensatz zum Forschungsgebiet der künstlichen Intelligenz, schnell Ergebnisse vorweisen, weil sie sich an Methoden und Mechanismen anlehnte, die schon seit Tausenden von Jahren bei der Gestaltung von Werkzeugen erprobt waren. Zur gleichen Zeit hatte die KI die Vorstellung entwickelt, eine allgemeine Problemlösungsstrategie (den general problem solver) mit der Hilfe von Computer-Software zu entwerfen. Aber mit dem 1962 entwickelten Verfahren ließen sich, wie Mainzer schlicht bemerkt „nur ziemlich unwichtige Probleme speziellen Charakters lösen“.³⁸⁸ Die Strategie, sich Prozesse genauer anzuschauen und zu verstehen, um sie dann auf eine sichtbare Interaktion an einem Bildschirm umzusetzen, stellte sich als wesentlich erfolgversprechender heraus, als nach den Grundprinzipien des menschlichen Verstehens selbst zu forschen. Die Prozesse, das war der entscheidende Nachteil der KI gegenüber der Entwick-

³⁸⁷ Engelbart, s. Anm. 378, S. 48.

lung von Interaktionsmodellen, konnten nicht bis ins letzte Detail zerlegt werden. Die Grenze der Auflösung des menschlichen Bewußtseins ergab sich auf der Ebene der Identifizierung dessen, was wir eigentlich „tun“, wenn wir zielgerichtet handeln. Die Nutzung und die Neuentwicklung von Werkzeugen konnte deshalb entschieden schneller voranschreiten, weil für die Funktionstüchtigkeit des Werkzeuges tatsächlich ein Maßstab gefunden werden konnte. Im Falle von Engelbart ist es zum einen die Zeit, in der ein Nutzer eines Werkzeuges einen Prozeß ausführen kann³⁸⁹, zum anderen die Komplexität der Aufgabe, die mit Hilfe des Werkzeuges bewältigt werden konnte. Deutlich wird, daß dies zunächst nichts mit militärischem Kalkül zu tun hat, sondern sich aus der Effektivität des Handelns am Computer ableitet.

Engelbart stellte in seinem Test heraus, wie sich die Abbildung von Intellekt in externalisierten Prozessen wiederum auf andere Ebenen des Prozesses auswirken konnte. Er glaubte fest an den Umschlag von quantitativer Leistungssteigerung in eine qualitative Verbesserung des Handlungsziels selbst. Um in einem seiner Beispiele zu bleiben: Ein Memorandum könne mit der Unterstützung eines Computers nicht nur schneller, sondern auch besser erstellt werden. Solche Verbesserungen würden durch den Synergieeffekt erreicht, der sich aus der Zusammenführung der Stärken des Menschen und der einer Maschine ergäben. So wie die Nervenzellen durch ihr Zusammenwirken einen synergetischen Effekt³⁹⁰ erzielten, der sich im menschlichen Geist ausdrücke, so könne sich im Zusammenwirken von Mensch und Maschine eine weitere Steigerung des menschlichen Intellekts ergeben. Als Beispiel einer solchen Zusammenführung von menschlichen Fähigkeiten und der Unterstützung durch Computer führt Engelbart ein Beispiel an:

“For instance, imagine that our [...] technology [...] had developed an artifact cheap enough for almost everyone to afford and small and light enough to be carried on the person. Assume that individual cartridges [...] contained the lookup information, [...] of an unabridged dictionary, and that a one-paragraph definition could always be located and displayed on the face of the device [...]. If it were so easy to look things up, how would our vocabulary develop, [...]”³⁹¹

Aus der heutigen Perspektive, die das beschriebene Gerät als kleinen Taschenrechner-ähnlichen Übersetzungscomputer kennt, kann zwar die Annahme nicht bestätigt werden, daß sich das Sprachvermögen durch das Hilfsmittel verbessert habe, muß aber die Weitsichtigkeit Engelbarts erkannt werden. Seine Visionen gingen über die technischen Möglich-

³⁸⁸ Mainzer, s. Anm. 298, S. 116.

³⁸⁹ Dies wird besonders in der Zeitmessung deutlich, die Engelbart im Zusammenhang mit dem Test verschiedener Eingabewerkzeuge vornahm. Dabei wurde auch ein Gerät entwickelt, mit dem der Nutzer am Computer seinen Cursor mit dem Knie über den Bildschirm bewegen konnte. So abwegig die Steuerung durch das Knie auch erscheinen mag, erschien sie Engelbart dennoch als ernstzunehmende Lösung. Die Geschwindigkeit der Kniestuerung des Cursors übertraf die Steuerung mit der Maus sogar noch ein wenig.

³⁹⁰ Synergie ist definiert als das Zusammenwirken zweier unabhängiger Teilstrukturen, deren Zusammenwirken mehr Leistung erbringt, als die Summe der einzeln wirkenden Strukturen. Engelbart, s. Anm. 378, S. 44.

³⁹¹ Engelbart, s. Anm. 378, S. 50.

keiten der Zeit hinaus. Anhand dieser Visionen wird deutlich, wie eng in seiner Vorstellung technischer Fortschritt mit der positivistischen Erweiterung des menschlichen Horizontes verknüpft waren.

Mit der Behandlung des Interface als eine Grenzzone zwischen Mensch und Maschine, an der Energie und Information ausgetauscht werden, wandelt sich die Tätigkeit am Computer von der Programmierung endgültig zur Nutzung. Ohne eine Benutzeroberfläche kann der Nutzer mit den Funktionen der Maschine nichts mehr anfangen, es sei denn, er erlernt ihre diskrete Sprache. Der Übergang vom „Mechaniker“ zum „Fahrer“ erfordert eine symbolische Darstellung dessen, was die Maschine bewirkt. Zusätzlich bietet die Erzeugung von Symbolen die Möglichkeit, geistige Strukturen so zu „verpacken“, daß der interpretierende Mensch die dahinterstehenden Bedeutungen direkt aus seinem Unterbewußtsein abrufen kann.³⁹² Symbole haben damit die Eigenschaft, sich gegenüber der bewußten Wahrnehmung wie Speicher zu verhalten. Sie werden durch einen Bezeichnungsakt definiert und prägen sich als Kette von Bedeutungsmomenten ein, ohne daß die einzelnen Unterprozesse vergegenwärtigt werden müßten. Engelbart führte diese Überlegungen zunächst nur bis zur Setzung von Zeichenketten als Symbole durch. In seinem Onlinesystem galten Kürzel als Befehle, die der Nutzer aus einer Liste von verfügbaren Befehlen wählen konnte. Aber auch die Zeichenketten haben für den Benutzer eine symbolische Wirkung, da sie nicht mehr als Begriffe aufgelöst werden. Sie bilden quasi ein neues Wort, das nur im Zusammenhang mit der Nutzung der Maschine Bedeutung hat und sonst nicht benötigt wird.

7.4.1. Von der Realisierung von NLS zur ersten Videokonferenz der Welt

Nach der Veröffentlichung seines Aufsatzes, der zunächst durch das AFOSR³⁹³ finanziert worden war, benötigte Engelbart weitere finanzielle Mittel. Das SRI wurde weitgehend durch die neue ARPA unter Licklider und die NASA unterstützt und ermöglichte den Wissenschaftlern ein entspanntes Forschen. Engelbart erhielt 1963 für seine Untersuchungen zunächst Geld, Personal und Ressourcen. Licklider, der zu dieser Zeit sehr an der Realisierung von Time-sharing interessiert war, drängte das SRI, interaktive Systeme auf einem Time-sharing Computer zu realisieren.³⁹⁴ Zu dieser Zeit standen wenige Computertypen zur Verfügung, die eine Anwendung wie die beschriebene hätten bieten können. Daher schwebte ihm auch eher ein Einzelplatzcomputer als ein Netzwerksystem vor. Das Management des SRI war sich über die zusätzliche Problematik bewußt, die noch sehr junge Time-sharing-Technologie in Zusammenhang mit den hochtrabenden Ideen Engelbarts zu bringen. Texteditoren existierten zwar bereits, entsprachen aber bei weitem nicht dem, was das

³⁹² „The grasping and processing done by these mechanisms can often be accomplished more easily if the concept is explicitly represented by a symbol. Somehow the mental mechanisms can learn to manipulate images (or something) of symbols in a meaningful way and remain almy confident that the associated concepts are within call.“ Engelbart, s. Anm. 378, S. 53.

³⁹³ Air Force Office of Sientific Research.

³⁹⁴ Engelbart wurde zwischenzeitlich sein eigenes Projekt entzogen, da ihn die Leitung des Institutes nicht als befähigt genug ansah, daß von ihm erdachte System auch organisatorisch

„conceptual framework“ andachte. Sie waren bisher dazu genutzt worden, selbst Programme zu schreiben und richteten sich daher ausschließlich an Entwickler. Einer der am weitesten entwickelten Texteditoren dieser Zeit war der des Projekts MAC, das am MIT Time-sharing erprobte. Um in diesem System ein Wort am Bildschirm zu löschen, mußte die Zeilennummer sowie das zu löschende Wort mit dem Befehl zur Löschung eingegeben werden. Die Zeileneditoren, die zur Programmierung verwendet wurden, richteten sich in der Struktur lediglich nach dem Aufbau von Programmen, die in erster Linie zeilenorientiert waren und heute noch sind. Um in einem Programm an eine bestimmte Stelle zu gelangen, gab man lediglich die Zeilennummer ein. Jede Zeile umfaßte im Prinzip eine Operation und konnte somit als eine Entität betrachtet werden. Im allgemeinen standen an den ersten Systemen auch keine Bildschirme, sondern nur Fernschreiber zur Verfügung. Die Vorstellung, mit einem Computer damaliger Ausprägung „lediglich“ einen Text zu schreiben, versetzte die Ingenieure in Erstaunen. Man konnte sich die Anwendung der großen Rechenmaschinen für solche scheinbar untergeordneten Tätigkeiten schlicht nicht vorstellen.³⁹⁵

Engelbart stellte sich den Bildschirm im Zentrum seiner neuen Arbeitsumgebung vor, weil nur das schnelle, variable Bild des Schirms das Operieren ohne „Umwege“ ermögliche.³⁹⁶ Über Papier konnte man nicht direkt reagieren, weil die Objekte auf dem Papier einen quasi endgültigen Zustand erreicht hatten, von dem aus man immer wieder zurücktreten mußte. Die Reaktionszeit auf die Aktionen des Computers mußten für ein flüssiges Arbeiten auf ein Minimum reduziert werden können. Dazu mußte die Mühe, sich an Befehle zu erinnern, weitgehend ausgeschaltet werden. Da die Programmierung früherer Systeme eher die eindeutige Zuordnung von Aufrufen und Befehlen vorsah, konnte selten kontextabhängig gearbeitet werden. So wurde zum Beispiel im MAC-System für jede Art von Löschung, sei es die eines Buchstaben, eines Wort oder eines Satzes, jeweils ein eigener Befehl genutzt, den sich der Benutzer merken oder in einem externen Handbuch nachschlagen mußte. Die Möglichkeit, zu einem betroffenen Wort hinzusteuern, es zu markieren und dann zu löschen, existierte nicht.

Es bereitet einige Schwierigkeiten, sich den Abstraktionsgrad solcher Handlungen vorzustellen. Die Gewohnheit, im Alltag mit Objekten direkt umzugehen und sie zu manipulieren, hatte in der Welt des Computers praktisch kein Pendant. Jede Einheit konnte nur durch komplizierte Befehle angesteuert werden. Die Fülle der Einzelschritte, die Engelbart als „Subprozesse“ beschrieben hatte, mußten immer alle einzeln abgearbeitet werden. Die praktische Umsetzung des „conceptual frameworks“ sah eine Codierung durch Abkürzungen vor. Ein Wort oder ein ganzer Absatz, jedes Element konnte angesteuert werden, um dann durch den entsprechenden Befehl gelöscht zu werden. Die räumliche Entfernung zwischen zu manipulierendem Objekt und Befehl zur Manipulation sollte aufgehoben werden. Diese

zu realisieren. Vgl. Augarten, Stan, History of the Personal Computer, unveröffentlichtes Manuskript, <http://www.readfilm.com/chapter7/x7-12.htm>.

³⁹⁵ Transcript of a video history interview with Mr. Douglas Engelbart, May 4th, 1994. Smithsonian Institution. <http://www.smithsonian.edu>.

³⁹⁶ Augarten, s. Anm. 394, S. 6.

räumliche Anordnung kann als zunächst abstrakte Formung einer Innenwelt der Maschine gegenüber einer als Vorbild dienenden Außenwelt verstanden werden. Für Engelbart als „Gestalter“ des Systems bestand der Vorteil in seiner großen Entfernung zur Syntax der Maschine. Die Leitlinien seiner Vision orientierten sich an der Praktikabilität der Realität, die uns erlaubt, zu handeln und nur wenig Zeit mit den Konzepten zu verbringen, die hinter diesen Handlungen verborgen sind. Die Bedeutung des Computers nicht nur als Bildraum, sondern als bildlicher Handlungsraum nimmt hier bereits Gestalt an.

Um die Teile eines Textes manipulieren zu können, benötigt der Computer Koordinaten, die ihm in Form von Absatzgliederungen übermittelt wurden. Der Text mußte entsprechend in Einzelabschnitte aufgelöst werden und erhielt Nummern, die in der Form einer Gliederung die jeweils untergeordneten Absätze einrückten. Dieser zunächst ungewohnte Schreibstil ermöglichte die Manipulation ganzer Absätze. Sie konnten verschoben, gelöscht oder auch neu aufgeteilt werden. Solche Textblöcke konnten auch aus anderen Dateien geladen oder in andere verschoben werden. Diese Art der Umgestaltung von Texten bedeutete, die Information innerhalb eines Blockes einzufrieren und an anderer Stelle wieder zu verwenden. Damit bewirkte der funktionale Umgang mit Inhalten die Reduktion auf eine Einzelbedeutung. Die Vorstufe zur Schaffung von „Icons“ oder jeder Art von stellvertretenden Zeichen auf dem Bildschirm beruhte auf der Reduktion mehrerer inhaltlicher Aussagen auf eine Funktion. Zur Benutzung dieser einen Funktion ist das Erinnern an die enthaltende Reihe der Unterprozesse nicht mehr notwendig. Die Gliederungsfunktion sollte auch die Texte in entsprechende Funktionseinheiten aufteilen, die dann gemäß eines Baukastensystems verwendet werden konnten.

Die Parallele zu Sutherlands Sketchpad ist in direkter Weise zu ziehen. Bei Sutherland wurden die Funktionseinheiten auf dem Bildschirm durch Teile gebildet, die immer wieder kopiert und in anderen Zusammenhängen eingesetzt werden konnten. Die Konstruktion eines Frästeils, das in einen größeren Zusammenhang eingebettet war, wurde nur einmal vorgenommen. Jedes dieser Teile gewann damit einen spezifischen Objektcharakter. Diesem Verfahren sehr ähnlich, bildete die Gliederungsfunktion bei Engelbart eine quasi technische Umgangsmöglichkeit mit Textkörpern. Auch die Befehlshierarchien entwickelten sich ähnlich. Um die Befehlsstruktur zu vereinfachen, wurde der Kontext relevant. Wie in der „Realität“ die Situationen die Handlungsmöglichkeiten einschränken, ging es auch darum, im Virtuellen die Handlungsmöglichkeiten einzuschränken. Mit der Vorgabe von Befehlsketten startend, wurden diese um die Elemente reduziert, deren Eingabe unter bestimmten Umständen keinen Sinn machen würde. Der Handlungsraum im Virtuellen ist nur dann funktional, wenn die Einschränkungen, die dem „Benutzer“ in der Realität entgegentreten, ihm auch in ihrer Abbildung begegnen.

Die Befehle wurden als Abkürzungen an einer Eingabeaufforderung eingegeben, die dokumentierte, daß jetzt ein „Input“ erfolgen durfte. Außerhalb dieser Eingabeaufforderung konnte das System keine Befehle annehmen. Die Codes setzten sich aus den Abkürzungen der

englischen Begriffe zusammen, die den Charakter des Befehls beschrieben (zum Beispiel dw = delete word). Mit der Nutzung des Befehls und dem Abrufen aus dem eigenen Gedächtnis verschwindet die Bildung des neuen Begriffs aus dem Bewußtsein. Der Befehl „dw“ kann schon als Icon verstanden werden, da seine Setzung beliebig ist und sein Erinnerungswert nach häufiger Nutzung eher einem grafischen Muster als einer Abkürzung von Worten entspricht.

Die Aufteilung des Bildschirms in eine inhaltliche Zone und eine Kontrollzone, in die auch die Befehle eingetragen werden konnten, bildete die erste Kopplung zwischen Funktion und Bildraum. Damit konnte der Benutzer je nach Wendung seines Blickes oder nach Konzentration auf eine bestimmte Stelle auf dem Bildschirm zwischen den Bereichen „umschalten“. Die Fenstertechnik ist heute allgegenwärtige Technologie zur Darstellung von virtuellen Arbeitsplätzen. In verschiedenen Bereichen können nebeneinander oder überlagert verschiedene Prozesse ablaufen, die alle unter der Kontrolle des Benutzers stehen. Die Entstehung dieser Fenster resultiert aus der sich gegenüber der Programmierung umgekehrt verhaltenden Technik der Weltreproduktion. Die gemeinsame Verarbeitung von Programm und Daten, wie sie im von Neumann-Modell realisiert war, wird auf der Benutzeroberfläche wieder auseinanderdividiert. Die Zonen von Inhalt und Steuerung sind so deutlich voneinander getrennt, daß sie der Unterscheidung von Werkzeug und zu bearbeitendem Material in der „Realität“ entsprechen.

Weitere Schritte auf dem Weg zu einer praktischen Arbeitsumgebung ergaben sich aus der Notwendigkeit, die Objekte auf dem Bildschirm noch direkter ansteuern zu können. 1964 –65 arbeitete Engelbart an der Verbesserung des Textsystems und stellte Versuche darüber an, wie ein spezifisches Element des Bildschirms am besten gewählt werden konnte.³⁹⁷ Ohne konkrete Vorstellungen für ein praktikables Bezeichnungsinstrument zu haben, sollten verschiedene zu jener Zeit auf dem Markt befindliche Geräte in einem Test erprobt werden. Bei der Rand Corporation war schon seit einigen Jahren ein Tablett entwickelt worden, mit dem durch einen Stift eine Position horizontal und vertikal bestimmt werden konnte. Ebenso waren der Joystick und der Trackball bereits entwickelt.³⁹⁸ Das Grundproblem bestand in der Bestimmung der Koordinaten auf dem Bildschirm. Die praktische Umsetzung elektrischer Spannung in eine digitale Form war schon aus den früheren Radartechnologien weitgehend bekannt. Da die Tastatur nur für die Texteingabe vorgesehen war und noch keine Cursorbewegungen kannte, richtete sich das Hauptaugenmerk der Forschungsgruppe auf ein Gerät

³⁹⁷ Diese Untersuchungen führten 1967 zur Herausgabe des Reports, in dem die erreichten Geschwindigkeiten bei der Nutzung der verschiedenen Eingabegeräte getestet wurden. Vgl. Engelbart, s. Anm. 374.

³⁹⁸ Axel Roch hat den Joystick auf ein Steuergerät innerhalb eines Flugzeuges zurückgeführt, das z. B. ferngesteuerte Bomben ins Ziel bringen sollte. Der hergestellte Zusammenhang zwischen Zielführung im Krieg und Zielführung des Benutzers ist jedoch nicht ganz nachvollziehbar. Das Verhältnis zwischen Bewegung und Ziel der Bewegung wird dabei gänzlich außer acht gelassen. Steuerung der Bewegung, um ein Objekt aus der Entfernung auf ein Ziel zu bringen, ist nicht notwendigerweise ein kriegerischer Akt. Engelbart kann zumindest für diesen Zusammenhang nicht bemüht werden, da er in seinen Erinnerungen das Planimeter als Quelle seiner Überlegungen beschreibt. Vgl. Roch, s. Anm. 201, S. 168. Der Trackball arbeitete so wie der Joystick zunächst nur horizontal und vertikal. Erst mit der im Zusammenhang mit der

zum Selektieren von Wörtern oder Textstellen. Engelbart berichtet, daß ihm bei der Entwicklung der Maus ein Planimeter im Sinn gewesen sei.³⁹⁹ Dieses Gerät wurde von Ingenieuren und Landvermessern genutzt, um den Flächeninhalt zu bestimmen, der mit ihm umkreist wurde. Auch Vannevar Bush hatte sich sehr für dieses einfache Gerät interessiert, das man wie einen kleinen Wagen vor sich herschob.⁴⁰⁰ Die Vermessung des zurückgelegten Weges erfolgte über zwei horizontal und vertikal angeordnete Räder. Eine Umsetzung des analogen Weges in eine digitale Information stellte keine größeren Probleme dar. Engelbart ließ seine „mouse“⁴⁰¹ aus einem Holzstück schnitzen und versah sie zunächst mit einem Knopf, damit ein Objekt in dem Moment, in dem es angesteuert worden war, markiert werden konnte.⁴⁰² Die Kontextsensitivität der Maus war zu diesem Zeitpunkt allerdings noch sehr eingeschränkt, so daß der Maschine durch eine zusätzliche Eingabeeinheit die spezifische Aufgabe vermittelt werden mußte. Hierfür entwickelte Engelbart ein weiteres Eingabegerät, bestehend aus vier Metallstreifen, die auf einem Block elektrische Kontakte schließen konnten. Durch die Kombination der vier Schalter konnten sechzehn verschiedene Befehle abgesetzt werden. Durch diese zusätzliche Schalteinheit konnte der Benutzer mit der Maus markieren, um dann verschieden codierte Befehle auszuführen (z.B. Löschen eines Buchstabens oder eines Wortes). Das analoge Abfahren eines Weges wurde also mit einer Tastaturcodierung kombiniert.

Die räumliche Orientierung des Benutzers im zweidimensionalen Raum des Bildschirms spielt eine entscheidende Rolle bei der effektiven Nutzung. Dies erkannte Engelbart frühzeitig und ließ Tests durchführen, bei denen die Geschwindigkeit der gezielten Orientierung gemessen wurde.⁴⁰³ Die Geräte, die zum Einsatz kamen, waren ein Leuchtstift, die Maus, ein Joystick, ein Grafacon⁴⁰⁴ und ein Knieschalter⁴⁰⁵. Allen Testpersonen wurden alle Geräte zur Verfügung gestellt, damit sie sich ca. zwei Minuten an die Eingabeinstrumente gewöhnen konnten. Danach wurde auf dem Bildschirm eine zufällig erzeugte Reihe von Buchstaben gezeigt, die mit jedem Eingabegerät in einer bestimmten Weise markiert werden mußte. Die Maus schnitt am besten ab, mit knappem Vorsprung vor Knieschalter und Lichtstift.

Maus entwickelten Technik konnte der Trackball stufenlos in allen Richtungen genutzt werden.

³⁹⁹ Interview Engelbart, s. Anm. 376, S. 32.

⁴⁰⁰ Auf einem Foto nutzt Vannevar Bush selbst ein Planimeter. Heute werden zumeist Kartenplanimeter verwendet, bei denen in einem Sichtfenster direkt die umfahrene Fläche abgelesen werden kann.

⁴⁰¹ Der Name entstand wohl durch das Kabel, das zunächst hinten und später aus ergonomischen Gründen vorne aus dem Zeigegerät herauskam und es mit dem Computer verband. Die Schaffung des Begriffs deutet auf das Bedürfnis hin, die Elemente des Computers mit der Realität zu verbinden. Interview Engelbart, s. Anm. 376, S. 33.

⁴⁰² Später wurden drei Knöpfe auf der Ur-Maus untergebracht. Die Zahl resultierte aber nur aus dem mangelnden Platz auf der Oberfläche.

⁴⁰³ Engelbart, s. Anm. 374, S. 12.

⁴⁰⁴ Das Graphacon wurde von der Data Equipment Company entwickelt. Es ermöglichte durch ein Linearpotentiometer das Abfahren von Kurven. Anstelle des Stiftes wurde wie bei der Maus ein Schalter eingesetzt.

⁴⁰⁵ Der Knieschalter bestand aus einem horizontalen und einem vertikalen Schalter, die durch Anheben des Knies und Drücken nach links betätigt wurden. Die Idee stammte von Engelbart, der sich die Nutzung der Füße beim Autofahren vergegenwärtigt hatte. Kupplung und Gas wurden mit viel Gefühle betätigt. Eine Nutzung des Knies als Steuerextremität verfolgte das Ziel, die Hände möglichst zum Schreiben frei zu halten.

Ungeübte Benutzer bevorzugten zunächst den Lichtstift, da er die direkteste Markierungsmöglichkeit bot. Allerdings stellte sich bald heraus, daß die Markierung mit dem Lichtstift in der Vertikalen schnell ermüdend wirkte. Die Maus wurde als gewöhnungsbedürftiger empfunden, aber als weniger ermüdend. Mit Hilfe von Grafiken wurde es möglich, die Zeit, die die Testpersonen benötigten, um eine Stelle zu markieren, am Bildschirm darzustellen. Dadurch wurden die Bewegungen um den Zielpunkt herum optisch ablesbar. Mit der Nutzung der Maus, die eine enge Verbindung zwischen Körper und Gerät ermöglichte (im Gegensatz zum Grafacon, das man nur mit zwei Fingern bewegen konnte), wurde nach einiger Übung ein unterbewußtes Bewegen auf der Ebene erreicht. Die Kombination von Hand und Auge wurde so über den leuchtenden Punkt⁴⁰⁶ vermittelt, daß ein direkter Blickkontakt zur Hand sich nicht als notwendig erwies. Analoge Welt und digitaler Raum verbinden sich über die Bewegung des Menschen auf der Ebene. Eine „Transformation jeder Interaktion in diskrete oder sprachliche Repräsentationen“ ist nicht notwendig. Hierdurch werden „zusätzliche Regulationserfordernisse“ vermieden.⁴⁰⁷

Mit dem Schritt in den Raum werden die Konzepte der Arbeit mit dem Computer auf eine neue Ebene gestellt. Von hier aus kann bereits die Behandlung einer virtuellen Welt parallel zur physischen Welt erkannt werden. Die Zeichen auf dem Bildschirm werden zu Objekten, die spezifisch manipuliert werden können. Sie erhalten Eigenschaften, die sie in allen Kontexten beibehalten. Die Andeutungen der Fenster bei Engelbart definieren Räume, in denen sich die Objekte unterschiedlich verhalten. Je nachdem, wie die Maus über die zusätzliche Tastatur angesprochen wird, werden die angesteuerten Objekte unterschiedlich behandelt. Noch lange vor der eigentlichen Visualisierung von Räumen im Cyberspace heutiger Ausprägung wird zunächst die physische Umwelt neu interpretiert. Engelbarts Analyse von Subprozessen, basierend auf Wiener und Licklider, bedeutet nichts anderes als die Trennung von Einzelaspekten des Faßbaren. Die Zerlegung der Realität zur Rekonstruktion erfolgt zunächst auf der Ebene dieser Zerlegung von Handlungsabläufen in Einzelhandlungen. Mit der Rekonstruktion von Abläufen auf dem Computer wird zum ersten Mal definiert, was wir tun, wenn wir (wie Engelbart immer wieder anführt) einen „Bericht“ schreiben. Was vorher als analoge Handlung, in diesem Sinne stufenlos, bloß zur Ausführung kommt, wird durch den Computer zu einem Erkenntnisfeld: vom Handeln zum „wie“ des Handelns.

In der Entwicklung der Konzepte durchmischen sich die erkenntnistheoretischen Aspekte mit der praktischen Ingenieursarbeit. Technische Geräte und Software werden in einem Wechselspiel aus Konzept und Überprüfung an der „Realität“ des Handelns entwickelt. Engelbart nennt dies „bootstrapping“.⁴⁰⁸ Wie im Regelkreis Wieners, der die Organismen dazu befähigt, sich optimal auf ihre Umwelt einzustellen, wird ein Regelkreis der technischen Entwick-

⁴⁰⁶ Engelbart nennt den Cursor zunächst noch „bug“, wohl in Anlehnung an den „bug“, der als Fehler in Software „gefunden“ werden mußte.

⁴⁰⁷ Keil-Slawik, s. Anm. 316, S. 53.

⁴⁰⁸ Bootstrap ist normalerweise der Beginn eines Startprozesses an einem Computer. Der Bootstrap ist eine Abfolge von Befehlen, die dem Computer nacheinander mitteilen wie der Ausgangs- oder Startzustand der Maschine ist.

lung aufgebaut. Das Auge steht dabei als Zentralfunktion im Mittelpunkt, weil es die schnellste Aufnahme von Information ermöglicht. Aktion und Reaktion beruhen auf der Vermittlung zwischen Intention, handelnder Verfolgung eines Ziels und Überprüfung des erreichten Ergebnisses.

Die Zeitmessung der Reiz-Reaktions-Schleifen vor dem Bildschirm bilden einen Prototyp dessen, was als Ikonizität im Raum an der modernen Welt wahrgenommen wird. Mit dem Tempo der Aufnahme von Informationen im Raum steht und fällt die Darstellung von Information. Hieraus resultiert der evolutionäre Aspekt dieser Entwicklung. Ebenso wird hier die Verbindung zur Gedächtniskunst geknüpft, die eine tief in der Kultur verwurzelte Denktradition in Bildern repräsentiert.⁴⁰⁹ In der folgenden Entwicklung von Benutzeroberflächen, der Pixelrepräsentation von Bildern oder der grafischen Darstellung von mathematischen oder physikalischen Zusammenhängen steht das „Erkennen“ im Vordergrund. Das Verhältnis von Abstraktion und Realitätsnähe im Bild aus dem Computer entspringt aus dem Verhältnis von Notwendigkeit und Überfluß an Möglichkeiten.

Im nächsten Schritt wird die Bedeutung der Objektorientiertheit⁴¹⁰, die in der virtuellen Welt gleichzeitig die Materialität repräsentiert, noch stärker in den Vordergrund treten. Sutherlands Sketchpad und Engelbarts Online System beleuchten die Objekte innerhalb der Maschine von zwei entgegengesetzten Seiten. Sketchpad konstruiert sie selbst und verleiht ihnen durch den schöpferischen Akt Eigenschaften, NLS benötigt eine Definition von Zuständen der Objekte (z.B. markiert, nicht markiert, offen oder geschlossen). Das „conceptual framework“ beschäftigt sich im weitesten Sinne mit dem Rahmen, in dem die „Objekte“ wirken.

Eine zentrale Eigenschaft der Objekte im Virtuellen ist ihre Fähigkeit zum Austausch von Nachrichten. Sobald der Kontext eines Objektes über einen Zustand entscheidet, muß ein Austausch von Nachrichten von einem Objekt zum anderen erfolgen. Wo in der Realität durch die physische Präsenz nicht zwei Gegenstände zur gleichen Zeit am gleichen Ort sein können (zumindest nicht in der makroskopischen Welt), da muß in der virtuellen der Zustand der gegenseitigen „Verdrängung“ oder des „Ausschlusses“ definiert sein. In Engelbarts System darf ein Fenster nicht gleichzeitig offen und geschlossen sein. Die „natürlich“ gegebene „Widerspruchsfreiheit“ in der haptischen Welt muß dem Computer erst vermittelt werden. Hierzu müssen die verschiedenen Objekte oder auch Prozesse Nachrichten austauschen. Auf der Ebene des Programms müssen sie sich „erklären“ (so gibt ein Fenster nach dem Schließen die Nachricht zurück „ich bin geschlossen“), um den anderen Objekten zu vermitteln, in welchem Zustand es sich befindet. Ohne solche Rückmeldungen befindet sich ein virtuelles Objekt in einem undefinierten Zustand und führt zwangsläufig zu einem Systemabsturz. Die Stabilität des Bildes und der Funktion wird daher von innen definiert und

⁴⁰⁹ Vgl. Yates, Frances A., Gedächtnis und Erinnern, Mnemonik von Aristoteles bis Shakespeare, Berlin 1994.

⁴¹⁰ Vgl. Keil-Slawik, s. Anm. 316, S. 54.

bezieht seine Materialität nicht aus Stoffen, sondern aus der Widerspruchsfreiheit innerhalb von Handlungen.

Gerade in den Ausgangsbedingungen des Aufbaus virtueller Welten zeigt sich, daß das Virtuelle, entgegen anhaltender Beschwörungen der Medienfeuilletonisten, niemals in die Auflösung der Realität mündet. Vielmehr wird die Bedeutung des Materiellen und seiner Gesetze, die in ihren Objekten verborgen zu liegen scheinen, durch die Konstruktion des Virtuellen wie unter einem Vergrößerungsglas sichtbar. Das Bild, das auf dem Bildschirm erscheint und die genannte Widerspruchsfreiheit von innen her bilden muß, ist der stärkste Agent des „Wirklichen“.

7.4.2. Der Höhepunkt von NLS

1968 führt Douglas Engelbart sein Onlinesystem auf der berühmt gewordenen Computerkonferenz in San Francisco vor. Vor dem Auditorium mit etwa 2000 Gästen wurde das Bild von Doug Engelbart eingeblendet und, getrennt durch eine Linie, der Bildschirm seines Systems. Diese Vorführung gilt neben der ersten öffentlichen Präsentation des Onlinesystems als die erste Videokonferenz der Welt.⁴¹¹ Zuvor hatte Engelbart einen engeren Kreis zu einer ersten Arbeitssitzung eingeladen, bei der alle Teilnehmer am Tisch auf eigenen Bildschirmen eine Vorführung von NLS verfolgen konnten.⁴¹² Jedem der Benutzer stand eine Maus zur Verfügung, mit der er die anderen Teilnehmer auf bestimmte Stellen in der Datei aufmerksam machen konnte. Vielmehr als das heutige Internet, das ja im Prinzip keine Onlinekommunikation darstellt, war diese Konferenz mit Computerunterstützung der erste virtual reality-workshop der Geschichte. Da die Kosten für Bildschirme, die direkt an Computer angeschlossen wurden, extrem hoch waren, wurde über eine Kamera ein Bildschirm abgetastet und auf reguläre Fernsehmonitore übertragen.⁴¹³ Dieses Verfahren kam auch während der Präsentation in San Francisco zur Anwendung. Es ermöglichte eine videotechnische Zusammenstellung von Bildschirmdarstellungen mit den beteiligten Personen. Ein Mitarbeiter Engelbarts war über eine einfache Telefonleitung mit San Francisco verbunden. Über sie wurden das Videobild und die Daten der vernetzten Computer übertragen.⁴¹⁴ Die Reaktionen auf dieses seiner Zeit weit vorseilende Schauspiel waren unterschiedlich.

⁴¹¹ Engelbart, Douglas C.; English, William K., A Research Center for Augmenting Human Intellect, AFIPS Conference Proceedings of the 1968 Fall Joint Computer Conference, San Francisco, CA, December 1968, Vol. 33, S. 395-410.

⁴¹² Engelbart, Douglas C., Study for the Development of Human Augmentation Techniques Final Report, Menlo Park 1968, S. 8.

⁴¹³ Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Monitortechnik war bereits erwähnt worden, daß die Computerdisplays anders aufgebaut waren. Um 1963 gab es noch keine einfachen Bildschirme, sondern nur die sehr viel teureren Vektorbildschirme. Erst mit einer höheren Speicherausstattung wurde die Verbindung von Computer und Rasterbildschirm möglich. Siehe auch den Abschnitt über Sutherlands Sketchpad.

⁴¹⁴ In einem Videofilm wird die Zusammenstellung der Bilder gezeigt. Engelbart trägt einen Hörer und ein Mikrofon und kann über die eingeblendete Tastatur Eingaben auf dem gezeigten Bildschirm vornehmen.

Obleich die Applikationen vorgeführt wurden, stellten sich die Anwendungsmöglichkeiten der Technologie für die meisten Beobachter noch nicht deutlich dar.

7.4.3. Entstehung der Benutzeroberfläche

Um 1968 ist die Nutzung des Computers als Partner in der Kommunikation zwischen Menschen und Maschinen eine sich kontinuierlich ausbreitende Idee. Die intensiven Kontakte der noch relativ kleinen Computergemeinde sorgen für einen stetigen Informations- und Ideenfluß. Dies bedeutet jedoch nicht, daß schon kleine Projekte und Keimzellen von Ideen zu Umbrüchen führen. Die Rechnerwelt wurde sehr von den großen Firmen beherrscht. So hatte IBM sich erst auf die Time-sharing-Problematik eingelassen, als deutlich wurde, daß die meisten Systeme der Zukunft vernetzt arbeiten würden. Die schon umfangreiche Computerindustrie reagiert mit einem großen zeitlichen Abstand auf neue Konzepte. Im Wirtschaftszweig der elektronischen Datenverarbeitung steckt bereits soviel Kapitalkraft, daß Labors eingerichtet werden, die diese Konzepte auf mögliche Vermarktungschancen hin überprüfen.⁴¹⁵ Das SRI, an dem Engelbart arbeitete, stellte eine solche Institution dar. Doch die Ideen und Konzepte Engelbarts wurden auch nach der Konferenz 1968 nicht in ihrer bahnbrechenden Wirkung erkannt. Mehr und mehr verlor Engelbart die Kontrolle über sein eigenes Projekt und wurde zuletzt auch in seiner Führungsposition abgelöst. Einer der wenigen, die die Ausführungen Engelbarts mit großer Spannung verfolgten, war der Softwareentwickler Alan Kay.⁴¹⁶ Er nahm die Konzepte auf, wenn er auch zunächst in eine ganz andere Richtung weiterdachte.

Kay hatte bereits Mathematik und Biologie an der Universität von Colorado studiert, als er 1966 an der Universität von Utah seine Laufbahn im Bereich „Electrical Engineering“ begann.⁴¹⁷ Hier lernte er „Sketchpad“ kennen und bewegte sich im Umkreis der Wienerschen Systemtheorie. Durch die Verbindung zur Biologie entwickelte er die Überlegung, daß Computer wie Zellen funktionieren müßten, um jeweils im Verbund oder auch autonom Aufgaben zu erfüllen und sich jederzeit auf neue Aufgaben einstellen zu können.⁴¹⁸ Diese biologische Analogie stellte seine Interessen in eine direkte Reihe mit den Gedanken Wieners, von Neumanns, Lickliders und Engelbarts. Zwei Ereignisse beeinflussten ihn nach eigener Aussage⁴¹⁹ besonders: die Begegnung mit Seymour Papert und die Vorführung Engelbarts in San Francisco. Papert hatte die Sprache LOGO mit entwickelt und unterrichtete Kinder in seiner Programmierung.⁴²⁰ Daß nicht nur „normale“ User sondern auch Kinder Software

⁴¹⁵ Wichtig für die Entwicklung kleinerer Systeme, die eine Forschung auf breitere Basis stellen konnte, war 1968 zweifellos die Gründung der Firma Intel durch Robert Noyce und Gordon Moore in Kalifornien. In diesem Jahr wurde der erste Speicherchip mit einer Kapazität von 1K hergestellt.

⁴¹⁶ Kay nahm an der Vorführung in San Francisco teil und berichtete über seine Erfahrungen in einem Workstation Workshop in den 70er Jahren. Interview Engelbart 1986.

⁴¹⁷ Vgl. Lazare, *Out of their Minds: The Lives and Discoveries of 15 Great Computer Scientists*, New York 1995.

⁴¹⁸ Gasch, Scott, *Alan Kay Biographie* 1996, <http://ei.cs.vt.edu/~history/GASCH.KAY.html>.

⁴¹⁹ Ryan, Bob, *Dynabook Revisited with Alan Kay*, Byte, Vol. 16, Februar 1991.

⁴²⁰ LOGO wurde in den Jahren 1967 und 1968 bei der Firma BBN von W. Feuerzeig und D. Bobrow mit der Unterstützung von Papert entwickelt. LOGO zeichnete sich durch eine beson-

nutzen sollten, verschob die gesellschaftliche Bedeutung von Computern erheblich. Engelbarts Vorführung hatte Kay gezeigt, daß nicht die Welt der Großrechner die Zukunft bestimmen werden, sondern daß dem Konzept eines den einzelnen Menschen „persönlich“ unterstützenden Systems die Zukunft gehören würde.

Kay verfaßte seine Dissertation über eine neue Form interaktiver Computersysteme mit Hilfe grafisch orientierter Software. Der Titel „The Reactive Engine“⁴²¹, leitete sich von der Sketchpad-Sprache ab. In den zwei folgenden Jahren entwickelte Kay das Konzept eines einfachen „book-size“ Computers mit dem Namen „KiddiKomp“, der später die Grundlage für das „Dynabook“⁴²², den Vorläufer des heutigen Laptops, bilden sollte. Die Erfahrungen mit dem Problemen der Programmierung und der Relation zur Wirklichkeit begründeten die Sprache „Smalltalk“, die Kay in diesen Jahren theoretisch anlegte. Erst mit dem Start seiner Arbeit am Xerox Palo Alto Research Center (kurz Xerox PARC) ab 1972 wurde die Implementierung der Sprache durchgeführt.⁴²³ Dort wurden Kinder mit einer Smalltalk Umgebung konfrontiert und die Reaktionen auf text- oder grafikorientierte Umgebungen getestet. Es stellte sich heraus, daß die grafisch orientierte Sprache das Verständnis der Vorgänge im Computer stark vereinfachte. Den Kindern fiel es leicht, sich in die Welt innerhalb der Maschine hineinzudenken und sie im Rahmen gestellter Aufgaben fast ohne Anleitung zu nutzen. Einige der Kinder erfaßten schnell die Möglichkeiten und entwickelten selbst komplexe Programme.

7.5. Von der „toten“ zur „lebenden“ Welt der Daten

Kay stellte Smalltalk in eine Reihe von Überlegungen zur Repräsentation der Wirklichkeit im Computer. Der Definition von Objekten kam eine zentrale Bedeutung zu. Diese konnten untereinander Nachrichten übermitteln, die sie über den jeweiligen Zustand anderer Objekte informierten. Die Grundlagen der Objektorientierung wurden bereits durch die Sprache Simula67 gelegt, die im Jahre 1967 in Norwegen als Erweiterung von ALGOL entwickelt worden war. Als Grundlage der Objektorientierung gilt die Bildung von Klassen, in denen die Objekte abgebildet werden. Diese Klassen können dann immer wieder in unterschiedlichen Funktionszusammenhängen genutzt werden, indem sie die Eigenschaften eines Objektes an ein neues Objekt der Klasse „vererben“.⁴²⁴ Im Gegensatz zu den passiven Daten, die durch

ders einfache Syntax in englischer Sprache aus, verwendete das Konzept von Darstellungsunterprogrammen und enthielt einfache grafische Funktionen für das Zeichnen von Linien und Kreisen. Lexikon Informatik, s. Anm. 155, S. 508.

⁴²¹ Kay, A., The Reactive Engine, PhD Thesis, Electrical Engineering and Computer Science, University of Utah, 1969.

⁴²² Vgl. Coy, s. Anm. 48, S. 37. Coy hat klar erkannt, daß das Konzept eines portablen Computers in der Art eines Dynabooks bei weitem noch nicht realisiert ist. Diese noch ausstehende Entwicklung ist ein Beispiel für Konzepte, die der technischen Realisierbarkeit weit voraus waren.

⁴²³ Keil-Slawik, s. Anm. 316, S. 58.

⁴²⁴ Keil-Slawik, s. Anm. 316, S. 56. Keil-Slawik weist darauf hin, wie das Konzept der Vererbung als Voraussetzung der Objektorientierung schon bei Sutherland genutzt wurde. Objekte konnten die Eigenschaften anderer Objekte „erben“. Wenn das erste Objekt verändert wurde, änderten sich auch die entsprechenden Eigenschaften bei den Objekten, die diese Eigenschaften „geerbt“ hatten.

Funktionen beeinflusst werden, haben die Objekte in Smalltalk selbst „Eigenschaften“, die sie in die Aufgabe mit einbringen. Ein Element des Bildschirms, z.B. ein Fenster, behält bestimmte Eigenschaften bei, wo immer es verwendet wird. Solche Eigenschaften geben Auskunft über die Gestaltung des Elementes wie auch über seine Möglichkeiten. Statt in einem Programm immer wieder die Möglichkeiten eines Programmteiles zu beschreiben, wurde ein Objekt durch seine Definition von anderen abgekapselt. Damit konnte es einfach wieder „aufgerufen“ werden, wenn die Eigenschaften des Objektes gefordert waren. Damit z.B. andere Objekte mit dem Fensterobjekt interagieren können, werden Nachrichten ausgetauscht. Solche Nachrichten bestehen zumeist aus Anfragen von anderen Objekten und sogenannten Rückgabewerten der angesprochenen Objekte. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine, die von Beginn an dieses Konzept von Frage und Antwort enthielt, wurde mit der objektorientierten Programmierung praktisch auf die „Welt“ innerhalb der Maschine abgebildet. Die Nutzung von visuellen Elementen im Gegensatz zu Text entspringt aus der Notwendigkeit, sich innerhalb der Nutzungsmöglichkeiten des Systems orientieren zu müssen. Eine Benutzeroberfläche wie die des Dynabook sollte es ermöglichen, gleichzeitig Text zu lesen und Zeichnungen oder Musik herzustellen. Ziel war nicht mehr die Eingabe eines Befehls an einer sogenannten Eingabeaufforderung (Prompt)⁴²⁵, sondern die direkte Nutzung eines Werkzeugs. Um gleichzeitig mehrere Applikationen nutzen zu können, mußte für jede ein eigener Anschauungsraum geschaffen werden. Da der Bildschirm bereits einen Rahmen darstellte, in dessen Umgrenzung ein Vorgang ablief, wählte Kay in der Nachfolge von Sutherland und Engelbart die Form einer Aufteilung des Bildschirmrahmens in Unter-rahmen. Neu an der Aufteilung von Kay war lediglich die Situation, daß die Fenster sich gegenseitig überlagern konnten.⁴²⁶ In Programmen mußten normalerweise Reihen von Befehlen eingehalten werden, um bestimmte Funktionen aufzurufen. So muß man bei einem Textsystem ohne Fenstertechnik einen Text erst schließen, um einen anderen Text laden zu können. Will man aber einen Text mit einem anderen Text vergleichen - ein Vorgang, der in der materiellen Welt einfach zu bewerkstelligen ist - , stellte dies für frühere Textsysteme ein unüberwindliches Hindernis dar. Ein Nutzer eines Systems befindet sich danach immer in einem bestimmten „Modus“ des Systems. Will er in einen anderen Modus wechseln, erfordert dies, daß der vorherige Modus erst explizit beendet werden muß, bevor er zu einem anderen wechseln kann. Man muß sich bewußt machen, daß in der Realität ständig Modi gewechselt werden, ohne daß wir explizit bereits laufende Prozesse beenden. Wir können uns mit dem Blick und dem Körper Aufgaben zuwenden, ohne angefangene Dinge aus den Augen oder aus der Kontrolle zu verlieren. Dieser Fähigkeit stand die Nutzung von frühen Computerprogrammen deutlich entgegen. Während in der materiellen Welt alle Objekte an der Stelle verbleiben, an der wir sie ruhen lassen, und daher ein Wechsel der Aufmerksam-

425

Der Prompt ist ein Relikt aus der Zeit der seriellen Eingabe von Befehlen an den Computer. Seltsamerweise hat es sich bis heute bei praktisch jedem Computersystem erhalten. Auf der Ebene des Betriebssystems ist es immer noch möglich, Befehle mit der Tastatur einzugeben. Bei neueren Betriebssystemen muß eine solche Eingabeaufforderung simuliert werden, damit sie noch vorhanden ist. Man kann mit ihr nicht mehr wirklich in die Systemarchitektur eingreifen, sondern lediglich alte Befehlsmuster nutzen, an die sich Benutzer gewöhnt haben. Ein Befehl davon ist die Auflistung des Inhalts eines Datenträgers, die es in fast allen Betriebssystemumgebungen gibt.

keit nicht zum Verschwinden eines Gegenstandes führt, konnte bei den frühen Systemen ein Wechsel zu einer anderen Aufgabe zu vielen Fehlern führen. War man sich zum Beispiel nicht bewußt, daß man sich im sogenannten „Überschreibemodus“ befindet, dann konnte man, statt Text an einer Stelle einzufügen, den nachfolgenden überschreiben, der damit für immer verloren war. Dies ist nur ein Beispiel für die enorme Differenz zwischen der materiellen Welt, in der solche Mißverständnisse durch die praktische Präsenz der Dinge in der Regel ausgeschlossen sind.⁴²⁷ Mit der Idee, Fenster auf dem Bildschirm zu öffnen, entstand die erste Simulation von unterschiedlichen Handlungsräumen, in denen sich der Benutzer aufhalten kann. Die Welt am Bildschirm gewann damit zeitliche und räumliche Ähnlichkeit mit der Realität, um somit die Erfahrungen des Benutzers von einer bekannten Umgebung auf die virtuelle Umgebung zu übertragen.⁴²⁸ Die zuerst angewandte Methode, den Bildschirm lediglich zu teilen (Engelbart, NLS / Sutherland, Sketchpad), hatte noch den Nachteil, daß die Wechsel zwischen den jeweiligen Fenstern nicht immer leicht zu erkennen waren. Das aktive Fenster mußte hervorgehoben werden. Bei den sich überlappenden Fenstern von Alan Kay stellte sich ein Wechsel zwischen ihnen dar, als würde ein Blatt über das andere geschoben und auf ihm mit einer anderen Tätigkeit begonnen.⁴²⁹ Durch die sich überlappenden Fenster entstand zum ersten Mal der Eindruck, daß sich die in zwei Dimensionen abspielende Handlung auf dem Bildschirm auch in die Tiefe des Bildschirms fortsetzen kann. Die hintereinander liegenden Aufgaben stellten damit eine Metapher für die Situation eines mit Gegenständen und Prozessen operierenden Menschen am Schreibtisch dar. Hinzu kamen die bei Kay angedachten Werkzeuge, die einen „Schreibtisch“ weiter als „Bildraum“ entwickelten (Papierkorb, Taschenrechner, Ordner, Ablagesystem usw.). Diese „Abbildung“ einer Arbeitsumgebung sollte auch dem ungeübten Computernutzer ermöglichen, sich zurechtzufinden. „Das mentale Modell des Benutzers soll mit dem konzeptuellen Modell des Designers möglichst gut übereinstimmen“.⁴³⁰ Aus diesem Satz kann geschlossen werden, daß nicht etwa die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine prägend für die Konstruktion von Metaphern ist, sondern die Kommunikation zwischen Entwickler und Benutzer. Zwischen diesen werden Nachrichten in Form von visuellen Referenzen ausgetauscht. Dabei spielt es keine Rolle, wie realistisch diese Referenzen dargestellt werden.⁴³¹ Ent-

⁴²⁶ Keil-Slawik, s. Anm. 316, S. 58.

⁴²⁷ Solche Probleme treten dann wieder auf, wenn zwei Menschen versuchen, an der gleichen Sache zu arbeiten und keine klare Kommunikation über den Zustand (Modus) vorliegt, in dem sich das Objekt der Bearbeitung gerade befindet. Dann wird zum Beispiel an einer falschen Stelle weitergearbeitet, weil die zweite Person nicht weiß, daß zuerst etwas anderes fertiggestellt werden muß. Aus diesem Problem ergeben sich Ablaufpläne für Projekte, die eine Reihenfolge der Modi vorschreiben und als Grundlage für gemeinsames Handeln benötigt werden. Programmierung leitet sich auch von solchen Ablaufplänen ab, die im Prinzip eine Reihe von Entscheidungen enthalten.

⁴²⁸ Eckardt, D., Grafische Benutzeroberflächen, in: Encarnação, J.; Kuhlmann, H. (Hrsg.), *Graphik in Industrie und Technik*, Berlin / Heidelberg 1989, S. 350.

⁴²⁹ Vgl. Teitelman, W., *Ten Years of Window Systems – A Retrospective View*, in: Hopgood, F.R.A.; Duce, D.A. u.a. (Hrsg.), *Methodology of Window Management*, Berlin/Heidelberg/New York, 1986.

⁴³⁰ Lühl, Marie, *Mensch-Computer-Symbiose, Zur technischen Umsetzung einer Vision*, Forschungsberichte des Fachbereichs Informatik, Bericht 96–24, Berlin 1996, S. 54.

⁴³¹ Volker Grassmuck hat in seinem Text „Die Turing Galaxis“ darauf hingewiesen, daß Realismus nicht notwendigerweise mehr Benutzerfreundlichkeit produziere. NEC-Forscher hatten 1995 eine extrem realistische Büroumgebung hergestellt, die große Ansprüche an die Hardware stellte. Solche sehr realistischen Umgebungen haben sich bis heute nicht durchsetzen

scheidend für die Verständigung zwischen Entwickler und Nutzer ist vielmehr die Erschließbarkeit der Umgebung. Der Anwender arbeitet nicht mit Funktionen, sondern mit sichtbaren Anwendungen, die Eigenschaften haben. Man schaltet sie ein und aus, man drückt ihre Tasten, man schiebt Regler. Das Benutzerinterface zeigt seine Bildqualitäten in der geringen Hürde für das Bewußtsein. Die Bilder sollen möglichst nicht aufgelöst werden, sondern für sich selbst stehen. Das beste Interface ist demnach eines, das nicht mehr als solches wahrgenommen wird.

Die Erzeugung von Abbildern realer Gegenstände zur Nutzung durch den Menschen am Bildschirm unterscheidet sich grundlegend von der fiktionalen Produktion von Bildern (z.B. Fotografie oder Film), denn es fehlt ein Interpretationsraum. Alle Objekte am Bildschirm verlangen nach Eindeutigkeit und Widerspruchsfreiheit. Kein Vorgang darf eine Frage aufwerfen, die nicht innerhalb des Systems beantwortet werden kann. Interaktion oder die direkte Manipulation von Objekten stehen in krassem Widerspruch zur kontemplativen Bildbetrachtung. Die Erschließung des Bildraumes am Computer wird nicht durch Betrachtung und Analyse vorgenommen, sondern durch Handlung.⁴³²

Die Reproduktion der Handlungsmechanismen macht es für den Entwickler zunächst notwendig, die praktischen Tätigkeiten, wie zum Beispiel den Wechsel zwischen zwei Handlungsebenen, durch einen entsprechenden Mechanismus nachzubilden. Wir haben gesehen, daß solch ein Mechanismus z.B. die Nutzung von Fenstern sein kann. Mit dieser Übertragung einer Welterfahrung in eine Weltkonstruktion wird umgekehrt auch die Welterfahrung erneut definiert.⁴³³ Das Problem, uns unsere eigenen Methoden transparent zu machen und dadurch begründen zu können,⁴³⁴ wird gelöst, indem ein Modell unserer Methoden konstruiert und in einer visuellen Form an uns zurückvermittelt wird. Das Bild sich überlappender Fenster wird damit zu einem geistigen Bild für die Ausführung verschiedener Tätigkeiten zur „gleichen“⁴³⁵ Zeit. Der Wechsel von Handlungen spielt sich in unterschiedlichen Zeit- und

können. Es zeigt sich immer wieder, daß die Nutzung von Software durch eine zu große Bildlastigkeit erschwert wird. Die Bildfülle erfordert eine Verbesserung und Beschleunigung von Hardware. Die heutige rasante Entwicklung von Grafikkarten ist ein Indiz dafür. Vgl. Grassmuck, Volker, Die Turing Galaxis, Das Universale Medium als Weltsimulation. <http://www.uni-kassel.de/fb3/psych/sim/hyper/dox/tg.html>.

⁴³² Die Erschließung der Umwelt durch Handlung hat besonders Francisco J. Varela hervorgehoben. „Wir denken mit den Beinen“ ist einer der Kernsätze seines Denkens. Vgl. Maturana, H.R., Varela, F. J., Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living, Boston/London 1980.

⁴³³ So spricht man heute im Englischen oft von „task switching“, wenn man den Wechsel zwischen zwei Aufgaben beschreiben will. Am Computer kann ebenso ein Aufgabenbereich gewechselt werden, indem einfach umgeschaltet wird (switch).

⁴³⁴ Dies hat Varela in seinem Essay über „Rückbezüglichkeit“ deutlich gemacht: „Erstens: Wir können aus dem durch unseren Körper und unser Nervensystem festgelegten Bereich nicht heraustreten. Es gibt keine andere Welt als diejenige, die uns durch diese Prozesse vermittelt wird.[...] Zweitens [...]: Wir können eine gegebene Erfahrung nicht in einer einzigartigen, unwiederholbaren Weise auf ihre Ursprünge zurückverfolgen. Jedes Mal, wenn wir versuchen, die Quelle etwa einer Wahrnehmung oder einer Idee aufzuspüren, stoßen wir auf ein ständig vor uns zurückweichendes *fractal*, und wo wir auch nachgraben mögen, stoßen wir auf die gleiche Fülle von Details und wechselseitiger Zusammenhänge. Jedes Mal ist es die Wahrnehmung der Wahrnehmung einer Wahrnehmung [...]. Varela, Francisco, Der kreative Zirkel. Skizzen zur Naturgeschichte der Rückbezüglichkeit, in: Watzlawick, Paul (Hrsg.), Die erfundene Wirklichkeit, München 1985, S. 306.

⁴³⁵ Gleiche Zeit bedeutet in diesem Zusammenhang nicht, daß alles gleichzeitig ablaufe, sondern zunächst nur, daß mehrere Prozesse gleichzeitig „offen“ sind und jederzeit wieder aufge-

Raumfenstern ab. Das Bild eines Objektes ermöglicht die direkte Interaktion mit dem Objekt und erweckt den Eindruck, daß die Handlung sich vollzieht, auch wenn das Objekt nicht wirklich existiert. Wird ein Dokument von einem Schreibtisch mit der Maus in einen Papierkorb geschoben, tritt die symbolische Handlung an die Stelle einer Handlung mit faßbaren Objekten. Sobald der Betrachter die Entsprechung von symbolischem Papierkorb und realem Papierkorb in bezug auf die Handlung akzeptiert hat, erfordert das Wegwerfen eines virtuellen Dokumentes in einen virtuellen Papierkorb keine Umstellung mehr zwischen Datensphäre und materieller Sphäre. Die materielle Sphäre, aus der unsere Erfahrung des Wegwerfens stammt, wird lediglich durch die Konsistenz der Handlung in die immaterielle Sphäre verlängert.

7.5.1. Vom Xerox Star zum Dogma des GUI (Graphical User Interface)

Die Entwicklung in den letzten zwanzig Jahre ist vor allem von Wirtschaftsfragestellungen gesteuert. Das Computerzeitalter wurde durch die Industrie übernommen. Nicht mehr die Forschungsinstitute, sondern die sogenannten Start-up-Companies prägten die achtziger und neunziger Jahre. Computer wurden auf mehreren Gebieten zu Massenphänomenen. Neben der Anwendung im militärischen Bereich und der Wissenschaft nahm der Gedanke des PCs (Personal Computers) langsam Formen an. Die verschiedenen Stränge der Entwicklung lassen sich kaum in einem Zusammenhang darstellen. Viele der damals entstandenen Computerfirmen sind heute kaum noch bekannt, da sie oft schon wenige Jahre nach ihrem Entstehen wieder verschwanden. So sollen hier nur zwei Hauptlinien dargestellt werden. In Vorbereitung der Nutzung von Computern im alltäglichen Leben spielten die weit verbreiteten „radioshops“ eine große Rolle.⁴³⁶ Hier versammelten sich Elektronikbastler aller Schichten.⁴³⁷ Der Traum vom eigenen Computer entwickelte sich schon in den fünfziger und sechziger Jahren parallel zur Entwicklung der großen Rechenmaschinen. Doch aufgrund der hohen Kosten und des schwierig zu handhabenden Materials (Röhren und Relais) blieben solche Bemühungen ein Traum oder ein sehr kostspieliges Vergnügen mit wenig Erfolg. Dies änderte sich erst mit der Einführung des Mikroprozessors 4004 im Jahre 1969 durch INTEL. Die viel leichter integrierbaren Mikroprozessoren erlaubten ein kompaktes und kostengünstiges Design von Computern. Mit jeder Neuauflage der Prozessortechnik steigerte INTEL die Leistung und damit die Möglichkeiten für den Bau von Home Computern.⁴³⁸ Mit

⁴³⁶ nommen werden können. Erst mit der Einführung des Multitasking können Prozesse auch im Hintergrund ablaufen, d.h. auch wenn sie nicht im gerade bearbeiteten Zeitfenster stehen. Deutlich herausgestellt haben dies vor allem Campell-Kelly und Aspray, die bemerken, daß dieser Einfluß in der Literatur unterschätzt wird. In der Regel wird die Geschichte der Großen Vier erzählt, die angeblich das Gesicht der Computerindustrie geprägt hätten (IBM, DEC, VAX, Cray). Vgl. Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 270ff. und S. 233ff.

⁴³⁷ Vgl. Veit, Stan, History of the Personal Computer, o.O. 1993.

⁴³⁸ Intel 8008, April 1972, 200 Khz, 3500 Transistoren
 Intel 8080, April 1974, 2 MHz, 6000 Transistoren
 Intel 8085, März 1976, 5 MHz, 6500 Transistoren
 Intel 8088, 1979, 8 MHz, 29000 Transistoren
 Intel 80286, 1982, 12 MHz, 134000 Transistoren
 Intel Pentium II, 1997, 300 MHz, 7,5 Mio Transistoren.

dem 8008 von INTEL ausgestattet wurde 1972 der erste Home Computer, der Scelbi 8H mit einem Mikroprozessor angeboten. Die Anzeige erschien im Amateur Radio Magazine⁴³⁹ und bot den Bausatz für 440 \$ an. In rascher Folge wurden verschiedene Bausätze angeboten, aber erst der Altair 8800 brachte dem privaten Computermarkt den eigentlichen Schub. Außerhalb von Silicon Valley war es kaum möglich, elektronische Bauteile oder gar Prozessoren zu bekommen. Daher war der Altair als Komplettbausatz den bisherigen Systemen überlegen, bei denen oft nicht alle Teile im gelieferten Bausatz enthalten waren. Dem Schöpfer des Altair war es gelungen, Prozessoren zu einem sehr günstigen Preis zu erstellen und einen Bausatz unter 400 \$ anzubieten.⁴⁴⁰ Um die Kosten für die Bausätze einzubringen, mußten 200 Stück davon verkauft werden. Das Titelblatt der Ausgabe von Popular Electronics (Auflage 450.000 !) brachte 1975 den Altair als „Durchbruch“ und als „Weltpremiere des ersten Minicomputerbausatzes“. Dieser Minicomputer konnte praktisch nichts. Die einzige lauffähige Anwendung, die gleichzeitig auch den Test für die Funktion der Maschine darstellte, bestand aus einem Spiel mit dem Namen „kill the bit“. Die Leuchten an der Frontplatte leuchteten zufällig auf, und der Benutzer mußte durch Umlegen der darunter angeordneten Hebel das Licht ausschalten, bevor es von selbst ausging und ein anderes leuchtete. Der Altair 8800 wurde sofort 2000mal bestellt. Obwohl die kleine Firma auf diese Masse von Bestellungen nicht vorbereitet war und dementsprechend auch nicht liefern konnte, forderte niemand sein Geld zurück. Die fanatischen Kunden warteten teilweise monatelang auf die Lieferung und konnten dann mit dem Grundbausatz praktisch nichts anfangen. Erst durch viele Erweiterungen wie Speicher, Interfacekarte und vor allem ein Ein- und Ausgabeterminal konnte der Altair ein wenig genutzt werden. Dies tat seinem Ruhm kaum Abbruch. Der Altair wurde öfter verkauft als je ein Computer zuvor.

Der Altair muß als Geburt des Home Computers bezeichnet werden. Sein Erfolg hatte enorme Antriebskraft für den Computermarkt und damit auch für die Verbreitung der Idee einer virtuellen Welt innerhalb der Maschine. Ohne die „electronic freaks“ hätte der Computer in den Jahren zwischen 1960 und 1980 weit weniger Aufmerksamkeit erlangt. Der Mythos, einen Computer zu besitzen, spielte dabei eine weit größere Rolle als die Frage, was man mit diesem Computer überhaupt tun konnte. Eine ganze Generation erhielt erst durch den Home Computer-Markt Kontakt zu den Maschinen, die vor allem viel versprachen und wenig davon hielten. Die Computer dieser Zeit waren aus heutiger Sicht übergroße Taschenrechner, die lediglich Grundrechenarten beherrschten und mit denen simpelste Programme geschrieben werden konnten.⁴⁴¹ Noch bis um 1990 blieben Home Computer gemessen an

An der Entwicklung der Transistoren läßt sich das Tempo der Entwicklung ablesen. Mit jeder Leistungsstufe wurde die Integration aufwendigerer Software möglich. Die Rechen- und Speicherkapazität wird vor allem für die grafische Darstellung benötigt. Nur ein kleiner Teil der Kapazität wird durch die Rechenaufgaben des Computers in Anspruch genommen. Als Beispiel mag dienen, daß eine Textverarbeitung mit dem größten Teil der Funktionen auf einem Rechner (z. B. dem C64) mit einem Tausendstel der Kapazität eines heutigen Personalcomputers läuft.

⁴³⁹ Veit, s. Anm. 437, S. 11.

⁴⁴⁰ Damals kostete der Prozessor 8008 von Intel allein schon 300 \$. Veit, s. Anm. 437, S. 40.

⁴⁴¹ Eines der wohl bekanntesten Programme dieser Art ist das „hello world“ Programm. Es wird in der Regel genutzt, um Anfängern Basiskenntnisse der Programmierung zu vermitteln. Im

den Absatzzahlen der weitaus größte Markt. Innerhalb dieses Segmentes spielte sich die gesamte Entwicklung des Computers von der Erfindung des Mikroprozessors an nochmals ab. Mit jeder neuen Generation wurde die Leistung größer und die Software für die Nutzung ausgefeilter. Selbst die Integration grafischer Benutzeroberflächen vollzog sich zunächst viel stärker im Home Computer-Bereich als in dem der Büronutzung. Es kann also kaum unterschätzt werden, was dieses Segment für die Prägung des „Bildes“ vom und am Computer bedeutete. Daß Home Computer heute mehr oder weniger vom Markt verschwunden sind, resultiert aus dem Preisverfall für einen PC oder Macintosh der unteren Klasse. Bürocomputer- und Home Computermarkt sind heute nahezu verschmolzen. Lediglich auf der Softwareseite ist die Trennung zwischen Anwendung und Entertainment zunächst bestehen geblieben, mittlerweile aber auch im Verschwinden begriffen.

7.5.2. Die „Geburt“ von Windows

Mit der Einführung von Time-sharing hatte man bereits erkannt, daß im Zusammenwirken zwischen Mensch und Maschine die Abstimmung der Zeit eine entscheidende Rolle spielte. Es erwies sich als unproduktiv, die Maschinen alle Vorgänge hintereinander abarbeiten zu lassen, während der Mensch auf die Ergebnisse warten mußte. Die Interaktion, die aus diesem Mangel als neues Paradigma entstanden ist, mußte sich auf die Nutzung der Ressourcen am Rechner, gleich, ob sie von einem großen oder einem kleinen System zur Verfügung gestellt wurden, konzentrieren. Alle diese Konzepte wurden allerdings erst sehr viel später realisiert. Aus der Idee des „Dynabook“⁴⁴² ging 1973 der erste Personal Computer der Welt, der „Alto“, hervor. Erst 1981 konnte eine mit mehr Speicherkapazität ausgestattete Maschine entwickelt werden, die auch die Benutzeroberfläche, die Kay visioniert hatte, nutzen konnte. Der Xerox Star war ein Bürocomputer, der schon viele der gängigen Problemstellungen aufgriff, die auch heute noch für Personal Computer relevant sind. Eine Textverarbeitung, ein grafisches System zum Zeichnen von Diagrammen und eine Ablagefunktionalität für Dateien konnten auf der ca. 50.000 \$ kostenden Maschine genutzt werden.⁴⁴³ Xerox erkannte zu dieser Zeit die Bedeutung des Entwurfs nicht und verweigerte ähnlichen oder weiterführenden Projekten größere finanzielle Mittel.

Als Steven Jobs, der Gründer von Apple, 1979 die Forschungslabors von Xerox besuchte, wurde ihm schnell deutlich, daß die grafische Benutzeroberfläche einen bedeutend leichteren Zugang zum Computer schaffen konnte. Er warb den damaligen Mitarbeiter Lerry Tesler ab und machte ihn zum Chef seiner eigenen neuen Entwicklungsabteilung. Aus diesem

Prinzip besteht es, je nach Programmiersprache, lediglich aus wenigen Zeilen, die den Computer dazu bringen, auf seinem Ausgabegerät (Bildschirm oder Drucker) die Worte „hello world“ auszugeben. Das Interessante an diesem Programmbeispiel ist sicher die Form der Kommunikation, die der Programmierer scheinbar mit der Welt aufbaut. Nicht mehr er selbst, sondern sein Programm vermittelt die Nachricht, daß der Computer gewissermaßen zum Leben erweckt wurde. In der Regel konnten die Home Computer nur Basic, da dieses System sehr geringe Anforderungen an die Hardware stellte.

⁴⁴² Kay, Alan, Personal Dynamic Media, IEEE Computer, 1977, Vol. 10, S. 31-42.

⁴⁴³ Vgl. Lühl, Marie, Mensch-Computer-Symbiose, Zur technischen Umsetzung einer Vision, Forschungsberichte des Fachbereichs Informatik, Bericht 96 –24, Berlin 1996, S. 53.

Team ging 1983 der Macintosh Lisa hervor.⁴⁴⁴ Obgleich diesem System aufgrund des zu hohen Preises (16.000\$) kein Erfolg beschert war, hielt Jobs an der Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche fest. Die intuitive Steuerung und die „Desktop Metapher“ kostete sehr viel Speicherplatz innerhalb des Systemspeichers. Bei fallenden Mikroprozessorpreisen waren damals die Speicherbausteine, neben der Peripherie, das Teuerste innerhalb des Gehäuses. Lisa war ein finanzielles Desaster, das die junge Firma nah an den Ruin brachte. Am Beispiel dieses Rechners, wie auch des Alto von Xerox, kann die bereits oben ausgeführte These erhärtet werden, daß das Überflußphänomen entscheidend zur Entwicklung des grafischen und interaktiven Bildschirms beigetragen hat. Es konnte sich schlicht niemand vorstellen, eine so horrende Summe auszugeben, nur um einen Taschenrechner statt auf dem Tisch auf einem Bildschirm sehen und benutzen zu können. Es gab also zunächst ein System ohne Anwendung, das auch bei der Nutzung keinen sofortigen Vorteil über die „realen“ Werkzeuge hinaus bot. Dies unterschied die Desktopmetapher deutlich von den bisherigen Anwendungen am Computer.

Demgegenüber standen die mathematischen Möglichkeiten der Systeme in einem direkten Nutzungszusammenhang. Mit dem Auftreten der Bürocomputer änderte sich dies grundlegend. Engelbart war sich darüber klar geworden, daß für die Unterstützung des Menschen – z. B. bei der Erstellung eines Memorandums - die Schritte hierzu zunächst in logische Prozesse untergliedert werden, mußten die sich wiederum in symbolischer Form am Bildschirm darstellen ließen.

Lisas Bildschirm war zwar ein Ergebnis dieser Überlegungen, erschien aber zunächst nur als Abbildung von Gegenständen der Realwelt. Hierzu gehörten der Taschenrechner, ein Schreibprogramm, eine Art Zeichensystem und ein Ablagesystem, in dem die erstellten Dateien problemlos geordnet werden sollten. Mit dem Bild der Werkzeuge wurde der Einstieg in die Nutzung von Computer erheblich erleichtert. Der Benutzer mußte immer geringere Hürden überwinden, um einen Computer zu beherrschen. Mit der Einführung der Benutzeroberfläche wurde gleichzeitig auch die Frage nach der Nutzung des Computers neu gestellt. Jeder sollte einen Computer besitzen. Die Vorstellung einer intuitiven Benutzbarkeit der Maschine verdrängt zunehmend die Frage nach dem Zweck der Nutzung. Es spielt immer weniger eine Rolle, wofür man einen Computer benötigt, und die Leichtigkeit der Bedienung eine immer größere.

Die echte Massennutzung von Personalcomputern hat erst vor wenigen Jahren begonnen. Mit der Einführung des PCs in den achtziger Jahren durch IBM und die Freigabe von Bauplänen für Lizenznehmer verbreitete sich die PC-Architektur in großer Geschwindigkeit. Mit der Entwicklung von Microsoft Windows gelang es dem Softwareerfinder Bill Gates Ende der achtziger Jahre, den Vorsprung von Apple bei grafischen Benutzeroberflächen aufzuholen.⁴⁴⁵ Apples Versuch, 1988 durch Klage eine Nachahmung ihres Interface zu verhindern, scheiterte. Ein solches visuelles Konzept war nicht schützbar. Nur in Details konnte sich

⁴⁴⁴ Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 270ff.

⁴⁴⁵ Vgl. Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 275ff. Hier wird die Entwicklung von Microsoft ausführlich dargestellt.

Apple durchsetzen und somit die größten Ähnlichkeiten verhindern.⁴⁴⁶ Seit dieser Zeit hat die grafische Benutzeroberfläche praktisch alle anderen Benutzerschnittstellen verdrängt. Selbst der Unix-Bereich, dessen Betriebssystem traditionell mit einem kryptischen, auf Tastatureingaben beruhenden Interface ausgestattet ist, wird zunehmend durch ein GUI (X-Windows) abgelöst. Mit dem Auftreten des Internet und des World Wide Web ist es unumgänglich geworden, grafische Benutzeroberflächen und Mausbedienung zu akzeptieren. Es gibt praktisch keine Möglichkeit mehr, die audiovisuellen Daten anders abzurufen.

Die Geschichte der Entwicklung von der ersten Nutzung von Bildschirmen an Großrechenanlagen bis zur Einführung grafischer Benutzeroberflächen ist damit soweit beendet. Zahlreiche Randphänomene und Randentwicklungen mußten unerwähnt bleiben,⁴⁴⁷ da sie zwar als Ereignisse signifikant waren, aber zu der Entwicklung der Technologie nichts Wesentliches beitrugen. Damit ist zunächst die Fragestellung abgedeckt, wie der Bildschirm als Kontrollinstrument seine Funktion aufnahm. Weiterhin stellte dieser Teil die Entwicklung des Bildschirms zur Repräsentation und Simulation von Handlungsmustern nach. Es zeigte sich, daß ein generiertes Bild zur Nutzung des Computers in Form einer Benutzeroberfläche deutlich zu unterscheiden ist von der Produktion eines Bildes mit dem Computer. Der zweite, nun folgende Teil, soll sich daher stärker mit der Entwicklung der Bildproduktion mit Hilfe des Computers beschäftigen.

⁴⁴⁶ Aspray; Campbell-Kelly, s. Anm. 59, S. 279.

⁴⁴⁷ Eine ausführliche Aufstellung aller für die Entwicklung von Mensch-Computer-Interfaces relevanten Namen und Fakten findet man in einer ersten Kurzfassung bei Brad A. Myers., A Brief History of Human Computer Interaction Technology, in: ACM interactions, Vol. 5, No. 2 März 1998.

8. Die Entwicklung der bewegten Computergrafik aus der Filmtechnologie

Die Computergrafik wird als eigener historischer Strang behandelt, vor allem wegen ihrer engen Verknüpfung mit informationstheoretischen Konzepten in Kunst und Naturwissenschaft. Computergrafiken dienen einerseits zur Erforschung des Ästhetischen, andererseits zur leichteren Visualisierung komplexer Probleme in den Naturwissenschaften. Computergrafik wurde zu einem Werkzeug in der Erforschung des Bildverstehens beim Menschen. Künstler haben diese Entwicklung stark beeinflusst, aber nicht allein ihre Grundlagen entwickelt.⁴⁴⁸

Für die vorliegende Arbeit spielt daneben eine ebenso große Rolle, daß die Computergrafik schlichtweg das ist, was man vom Computer sieht. Alle Abbildungen auf Bildschirmen oder durch Ausgabegeräte reproduziert, sind Computergrafiken, seien sie nun Benutzeroberflächen, Spiele oder 3D-Welten. Daß beim Computer in der Regel von Grafiken gesprochen wird und nicht von Bildern, hängt mit der Entstehungsgeschichte zusammen. Graphen sind Linien, die sich aus Punkten zusammensetzen. In der Anfangszeit der Computergrafik standen lediglich Ausgabegeräte mit geringer Auflösung zur Verfügung wie das Oszilloskop, Plotter oder Fernschreibersysteme. Das programmierte Ergebnis wurde in Linien, Schraffuren oder Punkthäufungen ausgegeben.⁴⁴⁹ Dort, wo sich Punktmengen zu Grauwerten verdichteten⁴⁵⁰, näherte sich die Grafik der Fotografie an. Eine Annäherung an die Bildmittel der Malerei wird erst heute mit entsprechend leistungsfähiger Software sowie hochauflösenden Bildschirmen und Sublimationsdruckern⁴⁵¹ erreicht.⁴⁵² Der Übergang von der Grafik zum realistischen oder Wirklichkeit simulierenden Bild ist fließend. Dennoch wird auch heute noch von „realistischer Computergrafik“ gesprochen, während man bei anderen Künsten und Techniken wie Malerei oder Fotografie von „Bildern“ spricht. Diese Begriffsverwirrung hat viel zu der ebenso angstbesetzten wie irrigen Auffassung beigetragen, daß der Computer alle anderen Medien gleichsam verschlucken und damit ersetzen könne.

Andererseits haben digital hergestellte Bilder bewußt gemacht, wie willkürlich herkömmliche Trennungen und Gebietszuweisungen bei der Bezeichnung von Darstellungs- und Abbildungstechniken waren. Sie gingen nur vom Kriterium der Auflösung aus, während jetzt ein

⁴⁴⁸ Franke hat dargestellt, daß viele Techniker und Wissenschaftler durch die grafischen Möglichkeiten des Computers selbst zu Computerkünstlern wurden. Erst später haben, abgesehen von den frühen interaktiven Kunstwerken, andere Künstler die Computergrafik in ihr Form- und Werkzeugrepertoire aufgenommen. Vgl. Franke, Herbert W., *Computer-Grafik Galerie, Bilder nach Programm – Kunst im elektronischen Zeitalter*, Köln 1984, S. 10.

⁴⁴⁹ Franke, Herbert W., *Computergrafik – Computerkunst*, Berlin 1985, S. 7.

⁴⁵⁰ Vor allem Kenneth Knowlton experimentierte mit Punktmengen, die an die Grauwertabstufungen von Fotografien heranreichten. Vgl. Steller, s. Anm. 61, S. 32.

⁴⁵¹ Thermosublimationsdrucker erzeugen eine glatte Farboberfläche und können Farbschichten miteinander mischen, so daß keine Rasterpunkte mehr sichtbar sind.

⁴⁵² Malen wie Van Gogh, Neue Techniken zur Erzeugung von malerischen Effekten, in: *MACup*, Nr. 6, 1998.

anderes Kriterium entscheidend geworden ist: das der Interaktivität. Im folgenden sollen Grundlage und Entwicklung der Interaktivität im Grafikbereich diskutiert werden.⁴⁵³ Interaktivität kommt zunächst in der Erstellung der Grafik, später durch den Eingriff der Benutzer in die Grafik zum Tragen. Sie bildet die Grundlage für alle weiteren Entwicklungen, die die visuelle Simulation von Prozessen zum Ziel haben.

Der Begriff der Computergrafik und der Computeranimation

Der Begriff Computergrafik wird heute für eine ganze Klasse digital hergestellter Bilder oder Visualisierungen genutzt. Oft läßt sich nicht einmal mehr unterscheiden, ob eine Computergrafik vorliegt, oder ob die Darstellung auf herkömmlichem Wege erstellt wurde.

Im folgenden wird die Entwicklung von Computergrafik mit einem Schwerpunkt auf dem Faktor Bewegung betrachtet. Aus der Computergrafik entstand die animierte Computergrafik, die Computeranimation. Bewegung ist Voraussetzung für jede Form visueller Simulation. Um Veränderungen innerhalb einer Bildschirmdarstellung zu erreichen, wurden zunächst Konzepte der klassischen Trickanimation übernommen. Von Anfang an wurden fast gleichzeitig statische und bewegte Computergrafiken erstellt. Die Entwicklung der Computergrafik ist somit kaum von der der Animation zu trennen.

8.1. Voraussetzungen der Computergrafik

Ausgabe von Grafiken

Noch bevor die Computergrafik den Bildschirm eroberte, wurde sie zunächst auf Plottern⁴⁵⁴ und später auf Druckern sichtbar.⁴⁵⁵ Mit den ersten verfügbaren Druckern wurden neben Texten auch bereits Grafiken erstellt.⁴⁵⁶ Die Notwendigkeit eines schreibenden oder zeichnenden Ausgabegerätes wurde zunächst nicht realisiert, da man von einer sekundären Speicherung von Daten aus der Maschine ausging. Zur Zeit der ENIAC-Entwicklung in den vierziger Jahren dachte man noch wenig daran, tatsächlich Ergebnisse auszudrucken. Die Experimente richteten sich daher, an der Tradition der Lochkarte orientiert, auf Systeme, die

⁴⁵³ Das Gebiet der Computergrafik vom Programmierer aus gesehen ist zu vielschichtig, um hier dargestellt zu werden. Die angegebenen Definitionen und Beschreibungen müssen daher relativ verkürzt erscheinen. Exemplarisch seien zwei Bücher angegeben, die dies übersichtlich, vertiefend und strukturiert darstellen. Hearn, Donald; Baker, Paulin M., Computer Graphics, New Jersey 1986. Kelow, Isaac; Rosebush, Judson, Computer Graphics for Designers and Artists, New York 1986.

⁴⁵⁴ Präzises Zeichensystem mit einem horizontalen und einem vertikalen Freiheitsgrad. Durch kontinuierliche Bewegungen der horizontalen und vertikalen Achse und einem daran fixierten Zeichenstift können beliebige zweidimensionale Zeichnungen hergestellt werden.

⁴⁵⁵ Franke und Jäger haben die vor der Entwicklung von Druckern und Plottern liegenden technischen Entwicklungen ausführlich dargestellt, so daß sie hier nicht weiter ausgeführt werden müssen.

⁴⁵⁶ Vgl. hierzu die genauen Ausführungen über die Geschichte der Drucker von 1940 bis heute. Wieselmann, Irving; Tomash, Erwin, Marks on Paper, Part 1, in: Annals of the History of Computing, Vol. 13, No. 1, 1991, S. 63 - 79. Part 2, Vol. 13, No. 2, 1991, 203- 222.

Zwischenergebnisse festhalten sollten, die sich während des Verarbeitungsprozesses wieder einlesen ließen. Hierzu mußten maschinenlesbare Techniken angewandt werden. So blieb die Lochkarte lange Zeit als Zwischenglied zwischen Computereingabe und Computerausgabe bestehen. An solche Lochkarteneinheiten wurden dann die Teletyper oder elektrischen Schreibmaschinen angeschlossen, so daß der Ausdruck auf den relativ langsamen Druckern nicht direkt am Computer vollzogen werden mußte. Mit der Entwicklung verschiedenster Druckertechniken wurde auch gleichzeitig die Möglichkeit des Grafikdrucks erprobt. Aus der Technik der Werkzeugmaschinensteuerung hatten sich in den 50er Jahren erste lochkartengesteuerte Plotter-Prototypen⁴⁵⁷ entwickelt. Erst 1959 kam der erste serienmäßige Plotter, der CalComp Digiplot auf den Markt.⁴⁵⁸ Die Entwicklung der Plotter entstammte aber auch der Technologie der Koordinatographen, die für die Zeichnung von Plänen und Landkarten eingesetzt wurden.⁴⁵⁹ Diese Geräte verfügten schon über die horizontale und vertikale Bewegungsachse, die spätere Plotter auszeichnete. Mit der Möglichkeit, die horizontale und die vertikale Achse auf einem Drucker anzusprechen, konnten zweidimensionale Zeichnungen realisiert werden: durch einfache Übergabe von Koordinaten an den Rechner, die dann schrittweise abgearbeitet wurden.⁴⁶⁰ Die mechanischen Zeichenautomaten als Vorläufer der elektronischen Plotter hatten auch wesentlichen Einfluß auf die Programmierung.⁴⁶¹ Eine formale Sprache mußte die Positionierung des Stiftes in zwei Dimensionen beschreiben.

Speicherung von Computergrafiken

Die Speicherung einfacher Grafiken stellte keine besonderen Forderungen an die ersten digitalen Rechner. Im allgemeinen lag der Grafik ein Modell zugrunde und die Grafik selbst

⁴⁵⁷ Im Prinzip wurden die schon bekannten Zeichengeräte mit einer motorisch gesteuerten Fräseinheit verbunden.

⁴⁵⁸ Goodmann, s. Anm. 227, S. 20. Konrad Zuse hatte schon sehr früh mit der Automatisierung des Zeichenvorgangs experimentiert. Dies wird in der Literatur, die meist aus dem englischsprachigen Raum stammt, in der Regel unterschlagen. So hatte Zuse einen Automaten entwickelt, der über einzugebende Koordinaten die wichtigsten Punkte innerhalb einer Zeichnung markieren konnte, um die Zeichenarbeit zu erleichtern. Vgl. Zuse, Konrad, *Der Computer, mein Lebenswerk*, Berlin 1984.

⁴⁵⁹ Vgl. Mathes, W., *Vom Planimeter zum CAD*, in: Encarnação, J.; Kuhlmann, H. (Hrsg.): *Grafik in Industrie und Technik*, Berlin / Heidelberg 1989, S. 1 – 22.

⁴⁶⁰ 1964 stellte Zuse den ersten Zeichenautomaten der Welt vor. Der Graphomat Z64 war seiner Zeit und auch den amerikanischen Plottersystemen weit voraus. Willim, Bernd: *Leitfaden der Computer Grafik*, Berlin 1989, S. 682.

⁴⁶¹ Für die Erstellung einer Grafik mit einem Zeichenautomaten ist keinesfalls ein Computer notwendig. Es müssen lediglich die Koordinaten von Punkten und Linien so codiert werden können, daß sie durch den Zeichenautomaten schrittweise abgearbeitet werden können. Eine solche Codierung erfordert jedoch, daß alle Elemente, die gezeichnet werden sollen zuvor auf diese abstrakte Weise festgelegt werden. Sollen komplexere Figuren erstellt werden erfordert es wesentlich weniger Zeit eine mathematische Beschreibung der Form zu entwickeln, also ein Modell zu bilden. Dieses Modell wird in einem Algorithmus abgebildet und stellt bei jeder Nutzung die entsprechende Form zur Verfügung, ohne daß ihre einzelnen Elemente erneut durch Koordinaten angegeben werden müssen. Lediglich die Erscheinung der Form, Größe, Position und Farbe werden der Grundform als Eingabewerte mitgegeben.

wurde durch den Iterationsprozess des Rechners erzeugt.⁴⁶² Die Darstellung einer solchen Ergebnismenge konnte dann auf einem Ausgabegerät stattfinden.

Die Computerkünstler entwickelten Programme, welche die gewünschten grafischen Effekte auf dem Bildschirm oder einem anderen Ausgabegerät fixiert erscheinen ließen. Erst durch eine Veränderung des Programms und erneutes Kompilieren wurde auch die Darstellung variiert. Die Dynamik scheiterte zunächst an der Zeit, die ein Computer benötigte, um das Programm in eine Grafik umzusetzen. Je nach Komplexität des Programms konnten zwischen Kompilierung und Ausgabe lange Zeiträume liegen.

Um eine Grafik in Bewegung zu setzen, war ein hoher Rechenaufwand notwendig. Während geometrische Projektionen hierfür schon lange vorlagen, war dieses für Computersysteme je nach Komplexität eine schwierige Aufgabe. Bei einer Onlinedarstellung⁴⁶³ mußten alle Elemente im Speicher des Bildschirms gehalten und dann durch Berechnungen an ihre neue Position gestellt werden. Dieses entscheidende technische Problem der Computergrafik wurde schon im Zusammenhang mit der Entwicklung von Vektor- und Rasterbildschirm angesprochen. Matrixbildschirme erfordern für die Darstellung einen Speicher, der die gesamten Informationen aller Punkte aufnehmen kann, dafür lassen sich aber alle Punkte einzeln ansteuern und verändern. Dabei sind neben der Position des Punktes auch die Farbinformation und die Helligkeitswerte abzulegen. Vektorbildschirme speicherten nur Linien und benötigten hierfür weit geringere Speicherkapazitäten. Der Nachteil bestand in der geringeren Manipulierbarkeit eines Vektorbildes. Rasterbildschirme ermöglichten eine weitaus direktere Interaktion bei der Erstellung von Computergrafiken.

Mitte der sechziger Jahre stellte dies eine enorme Anforderung an die noch wenig entwickelten Speichertechnologien. Erst mit der Einführung von Trommelspeichern war es möglich, einen Rasterbildschirm mit besserer Kosten-Nutzen-Relation zu betreiben. Ein großer Metallzylinder, mit einer magnetischen Beschichtung versehen, rotierte in einem Gehäuse. Über eine Abtastvorrichtung konnten die zuvor magnetisierten Stellen, die jeweils einen Punkt des Bildschirms repräsentierten, ausgelesen werden.⁴⁶⁴ Durch eine Umdrehung der Trommel konnte so eine Zeile des Bildschirms aufgebaut werden.⁴⁶⁵ Aufgrund der hohen Drehgeschwindigkeit und des konstanten Lesens und Schreibens war es möglich, ein ganzes Bild in relativ hoher Frequenz aufzubauen. Die erforderliche Rechenleistung stand Ende der fünfziger und Anfang der sechziger Jahre nur in den Großrechenanlagen von Forschungsinstitutionen oder großen Firmen zur Verfügung. Die Entwicklung der Grafik war eng an die Verfügbarkeit von Computerhardware geknüpft. Einen breiten Durchbruch erfuhr die Computergra-

⁴⁶² Nees hat die Erstellung von Computergrafiken mit Hilfe einfacher Programmierbeispiele hinreichend dargestellt, so daß sie hier nicht ausgeführt werden müssen. Vgl. Nees, Georg, *Formel Farbe Form, Computerästhetik für Medien und Design*, Berlin 1995.

⁴⁶³ Onlinedarstellung bedeutet, daß die berechneten Einzelgrafiken in ihrer Folge direkt am Bildschirm dargestellt werden.

⁴⁶⁴ *Time Life*, s. Anm. 225, S. 50.

⁴⁶⁵ Ab 1965 lieferte IBM das Modell 360 in Verbindung mit einem Grafikterminal aus. In diesem Zusammenhang wurden Trommelspeicher für die Rastergrafik verwendet.

fik mit der weiten Verbreitung von kleineren, auf integrierten Schaltkreisen basierenden Systemen Anfang der siebziger Jahre.⁴⁶⁶

8.2. Computergrafik als künstlerische Technik

Eine klare Abgrenzung zwischen den verschiedenen Bereichen der Computergrafik in Kunst und Naturwissenschaft soll hier nicht geleistet werden.⁴⁶⁷ Die Entwicklung der Computergrafik wird von ihrem Beginn an von der Nutzung durch Künstler begleitet.⁴⁶⁸ Künstler erprobten früh die technischen und ästhetischen Möglichkeiten von Computern und anderen Bildgeneratoren.⁴⁶⁹ Die meisten der Effekte, die durch Computergrafik in den Anfangszeiten der digitalen Datenverarbeitung erzielt wurden, basierten auf den Berechnungsmöglichkeiten, die Programmiersprachen anboten. Durch Formeln konnten Symmetrien und die rhythmische Wiederkehr von Zeichen produziert werden. Ausgegeben auf einem präzisen Plotter, waren sie von einer Gleichmäßigkeit und Präzision, wie sie von Menschenhand nur mit äußerstem Geschick realisierbar wäre. Der ästhetische Reiz solcher Präzision durchzieht fast alle Kunstwerke der Anfangsjahre von 1950 bis 1970.⁴⁷⁰ Computerkunst dieser Phase hat keine ähnliche Bedeutung erlangt wie andere Kunstformen. Dies mag an der Eindimensionalität liegen, die vielen Werken anhing. Außer der Symmetrie oder der genau berechneten Ordnung fehlte den Produkten der programmierten Rechenmaschine fast alles, was Spannung in Kunstwerken ausmacht. Vor allem aber konnte die frühe Computerkunst die medienspezifischen Eigenschaften nicht transportieren. Grafiken zeigten vielmehr eine Nachahmung von früheren, ohne Computer erstellten Ausdrucksformen. Programmierte Ästhetik, die Abraham Moles aus dem Informationsbegriff ableitete⁴⁷¹, vermochte zwar visuelle Reize zu produzieren, transportierte aber keine tieferen Sinnstrukturen.⁴⁷² Gleichwohl wurde die Computerkunst als historische Fortführung der Abstraktion der klassischen Moderne gedeutet.⁴⁷³ Der entscheidende Umschlag zu einer Auseinandersetzung mit den

⁴⁶⁶ Time Life, s. Anm. 225, S. 51.

⁴⁶⁷ Vgl. hierzu, Willim, Bernd, Digitale Kreativität, Computergrafik in der Kommunikationsgestaltung, Berlin 1986.

⁴⁶⁸ Vgl. Bauer, H. (Hrsg.), Design, Kunst, Computer. Computer in den künstlerischen Bereichen, Kassel 1991. Vgl. Goodmann, s. Anm. 227, S. 45ff.

⁴⁶⁹ Hier sind vor allem die Lissajous Figuren von Ben. F. Laposky zu nennen. Vgl. zur Geschichte der Lissajous Figuren. Jäger, Gottfried; Franke, Herbert W., Apparative Kunst vom Kaleidoskop zum Computer, Köln 1973, S. 31ff.

⁴⁷⁰ Vgl. den geschichtlichen Überblick bei: Franke, s. Anm. 449, S. 97ff.

⁴⁷¹ Vgl. Moles, Abraham A., Informationstheorie und ästhetische Wahrnehmung, Köln 1971.

⁴⁷² Als besonderes Beispiel für den vereinfachenden Grundgedanken der Computerkunst mag der „Test“ von A. Michael Noll gelten. Hier wurden mit Hilfe eines Computers und eines Zufallsgenerators auf der Basis eines Bildes von Piet Mondrian andere Versionen des Bildes geschaffen. Testkandidaten sollten dann ihr Votum für die beste Variante abgeben. Das durch die meisten Aspiranten ausgewählte Bild war durch den Zufallsgenerator erzeugt worden. Gegenüber dem echten Werk von Mondrian zeichnete es sich durch eine größere Ausgewogenheit bzw. eine gleichmäßigere Verteilung der Grundelemente aus. An diesem Beispiel kann nach Franke die Neigung zur Ordnung, welche die Computerwerke besonders befriedigten, erkannt werden. Franke, s. Anm. 449, S. 167.

⁴⁷³ Steller, s. Anm. 61., S. 28. Erwin Steller hat in seiner Darstellung der Computerkunst gezeigt, daß ihre an Punkt und Strich orientierten Grundlagen in den Tendenzen zur Abstraktion am Beginn des 20. Jh. zu suchen seien. Als Beispiele werden die grundlegenden Texte von Kand-

spezifischen Charakteristika des Mediums kam erst durch die Einführung interaktiver Techniken.⁴⁷⁴ Zu diesen Kunstwerken zählen auch mixed media-Installationen, das Medium stärker im Sinne seiner spezifischen Eigenschaften genutzt wird. Hierdurch wird das Medium selbst zum Thema kritischer Betrachtung durch den Künstler.⁴⁷⁵

Für die Verbreitung computergenerierter Abbildungen in der Öffentlichkeit spielten Künstler zweifellos eine wichtige Rolle.⁴⁷⁶ Bahnbrechend war ein von der Zeitschrift „Computers and Automation“ ausgeschriebener Wettbewerb für computergrafische Arbeiten im August 1963. Das Echo war nicht sehr groß, setzte aber einen Prozeß in Gang, der jedes Jahr neue Ergebnisse im Bereich der Computerkunst hervorbrachte.⁴⁷⁷ Die Mathematiker Frieder Nake, Georg Nees und der Amerikaner A. Michael Noll begannen um 1965 praktisch gleichzeitig, Computergrafiken mit Hilfe von Großrechneranlagen zu erstellen. In frühen Ausstellungen in Galerien in den USA und Europa wurden die Arbeiten bekannt gemacht.⁴⁷⁸ Franke hat darauf hingewiesen, daß zunächst auf die Programmierkenntnisse von Mathematikern und Wissenschaftlern zurückgegriffen werden mußte. Erst in einer zweiten Phase eigneten sich die Künstler das zur Handhabung von Computern nötige Wissen an.⁴⁷⁹ Computerkunst nutzte einen Aspekt, der in der zuvor behandelten Geschichte der Interaktivität deutlich geworden ist. Der Computerkünstler konnte seine Entwürfe schnell variieren und erneut betrachten. Das zugrunde liegende mathematische Modell ließ es zu, mit nur geringfügig veränderten Ausgangsbedingungen sehr unterschiedliche grafische Effekte zu erzeugen. Für den Künstler wurde der Computer zu einem Modell, mit dem sich Entwürfe durchspielen ließen und auf ihre Wirkung beim Betrachter hin „testen“ ließen. Dabei wurde die kybernetische Auffassung des Menschen als Regelkreis zugrunde gelegt. Die menschliche Fähigkeit zur Auffassung von Informationen wurden von den Informationstheoretikern auf eine bestimmte Menge von bits pro Zeiteinheit festgelegt.⁴⁸⁰ Alle Informationszuflüsse oberhalb dieses Wertes führten zu einer Überforderung und einem damit verbundenen fehlenden Überblick, alle darunter liegenden Werte zu einer Unterforderung und damit zu Langeweile beim Betrachter. Aufgrund einer solchen „Technisierung der Kunst“, wie Franke sie vorschlug, erprobten Künstler die verschiedenen Darstellungsweisen, die ihnen die Computergrafik in kurzer Folge ermöglichten. Die Auffassung, der Mensch sei ein „datenverarbeitendes System“, regte zu experimenteller Forschung darüber an, auf welche Weise Informatio-

insky „über das Geistige in der Kunst“ (1911/1912) sowie „Punkt und Linie zu Fläche“ (1923) diskutiert, um aus ihnen ein Verständnis für die spätere Computerkunst zu bilden.

⁴⁷⁴ Einen guten Überblick hierzu bietet Söke Dinkla, Vom Zuschauer zum Benutzer, Interaktive Installationen und Environments im späten 20. Jh., Diss. Hamburg 1995.

⁴⁷⁵ Vgl. Popper, Frank, Art of the Electronic Age, London 1993.

⁴⁷⁶ Die Entwicklung der Computergrafik spielte sich in wissenschaftlich-technischen Labors weitgehend unter Ausschluß der Öffentlichkeit ab. Erst Ausstellungen und die Gründung von Computergrafikwerkstätten machten die Computergrafik bekannt. Vgl. Reichhardt, Jasia, Cybernetic Serendipity, New York 1968 und Neue Tendenzen 4, Zagreb 1969; Impulse – Computerkunst, Hannover 1969 u.v.m.

⁴⁷⁷ Franke, s. Anm. 449, S. 100. Von 1963 bis 1966 wurden jedes Jahr Preise für die besten Arbeiten vergeben, die an Künstler und an Wissenschaftler gingen.

⁴⁷⁸ Die erste von Georg Nees organisierte Ausstellung fand 1965 im Institut von Max Bense in der Studiogalerie der technischen Hochschule (heute Universität) Stuttgart statt. In den USA zeigte die Howard Wise Gallery, New York im April 1965 Arbeiten von A. Michael Noll.

⁴⁷⁹ Franke, s. Anm. 449, S. 116.

⁴⁸⁰ Franke, s. Anm. 449, S. 164. Von Franke werden etwa 16 bit pro Sekunde angegeben. Eine Erklärung, wie es zu diesem Richtwert kam, liefern Franke; Jäger, s. Anm. 449, S. 116.

nen vom „System“ Mensch zu Inhalten verarbeitet werden. Ein beliebtes Motiv der ersten Computergrafiken war die Auflösung von Porträts berühmter Persönlichkeiten in Punktmen- gen. Sie zeigten, bis zu welchem Reduktionsgrad der Bildinformationen das Bewußtsein immer noch in der Lage war, bekannte Gesichter zu erkennen.

Vor dem Hintergrund der informationspsychologischen Forschung entfaltete sich nicht nur die künstlerische Computergrafik, sondern vor allem auch die wissenschaftliche. Mit Grafi- ken sollten Informationen schneller und sicherer durch die Sinnesorgane an das Bewußtsein transportiert werden. Wenn man die Mechanismen der Bildererkennung durchschauen könnte, so hoffte man, wäre jede Information auf schnellstem und direktestem Wege jedem Individu- um transparent zu machen. So wurde die Vorstellung eines schnellen, ermüdungsfreien Lernens mit Hilfe der Computergrafik gefördert.⁴⁸¹

8.3. Von der analogen zur digitalen Computergrafik

Als erste Computerbilder der Welt gelten die von Ben Laposky mit einem analogen Compu- tersystem ab 1952 hergestellten Lissajous-Figuren.⁴⁸² Zuvor waren lediglich abstrakte Figu- ren mit Oszilloskopen hergestellt worden und tauchten in experimentellen Filmen auf.⁴⁸³ Von 1956 an nutzte Herbert W. Franke ebenfalls analoge Systeme zur Erstellung elektronischer Grafiken.⁴⁸⁴ Mit digitalen Computern Grafiken herzustellen, war weitaus schwieriger. An den TX-0 Computer am MIT, auch Whirlwind genannt, wurde schon etwa 1950 der erste Bild- schirm als Grafikausgabegerät angeschlossen. Die zu dieser Zeit entwickelte Leuchtpistole wurde genutzt, um beschädigte Speicherstellen zu identifizieren. Diese Technik legte die Grundlage für Sutherlands Sketchpad. Zuvor wurden einfache Formeln in Grafiken umge- setzt, die an dem Vorläuferbildschirm des späteren SAGE-Systems ausgegeben werden konnten.⁴⁸⁵ An den Lawrence Livermore National Laboratories wurde ein erster Monitor 1956 an einen IBM 704 angeschlossen. Da die Rechner zu dieser Zeit für ganz andere Aufgaben eingesetzt wurden, mußten sich diejenigen, die sich mit Computergrafik beschäftigten, die Zeit am System regelrecht stehlen.⁴⁸⁶ Die Arbeiten in den Laboratorien beschäftigten sich in der ersten Linie mit Waffenexperimenten, daher wurden sie bisher kaum in der historischen Betrachtung erwähnt. Die Wissenschaftler beschäftigten sich mit der Darstellung dynami- scher Flüssigkeiten und dynamischer Partikelströme, wie sie z.B. bei Explosionen entstehen.

⁴⁸¹ Der Aspekt des Lernens mit Hilfe von Computern ist auch in der heutigen Zeit ein wesentli- cher Faktor zur Verbreitung der Technologie. Dabei spielt die Verwendung von Abbildungen eine zentrale Rolle. Frontale Unterrichtsformen, bei denen die Schüler keinen Einfluß auf die Darstellung des Stoffes haben, geraten dabei zusehends in die Kritik. Auf das Thema Lernen mit dem Computer kann jedoch in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden.

⁴⁸² Vgl. Goodmann, s. Anm. 227, S. 19 und Franke; Jäger, s. Anm. 449; S. 106. Die Vorläufer solcher Figuren haben Franke und Jäger ausführlich dargestellt.

⁴⁸³ Davis, Douglas, *Art and the Future*, New York 1973, S. 98.

⁴⁸⁴ Franke; Jäger, s. Anm. 449, S. 106.

⁴⁸⁵ *Time Life*, s. Anm. 225, S. 12. Der hier dargestellte springende Ball war nicht nur eine der ersten grafischen Darstellungen überhaupt, sondern auch eine Computeranimation in Echt- zeit.

⁴⁸⁶ Auzenne, Valliere Richard, *The Visualization Quest*, London 1994, S. 32.

Man erkannte schon zu dieser Zeit, daß die grafische Darstellung von Gleichungen und deren Lösungsräumen eine großartige Methode war, um die komplexen Ergebnisse auf einfache Weise darzustellen.⁴⁸⁷ Sutherland entwickelte mit seinem Sketchpad ein wegweisendes System zur Erstellung von Computergrafiken (s.o.). Sutherland zeichnete auf seinem Sketchpadsystem ein Auge, das auf einer nächsten Zeichnung durch das Augenlid mit Wimpern bedeckt wurde. Durch schnelles Umschalten zwischen den beiden Einzelbildern ergab sich ein erster animierter Computertrickfilm.⁴⁸⁸ Damit wurde am Horizont der Computerentwicklung aufgezeigt, daß mit genügend schnell hintereinander produzierten Bildern praktisch jede Animationen erzeugt werden konnte.

Im selben Jahr stellten IBM und GM die gemeinsame Entwicklung einer grafischen „Workstation“ vor, mit der Fahrzeuge konstruiert werden konnten.⁴⁸⁹ Im Gegensatz zu Sutherlands Entwicklung mußten allerdings Kurven auf herkömmlichen Wege über Digitalisierung in das System eingebracht werden.⁴⁹⁰ Waren solche Kurven aber einmal auf dem Bildschirm, konnte der Designer – für den dieses System im wesentlichen gedacht war - diese „Freiformlinien“ beliebig variieren. Dadurch wurde die erste praktische Anwendung der Simulation von Designprozessen ermöglicht.

Kurz zuvor (1960) erstellte William Fetter im Rahmen seiner Forschungsarbeit bei der Firma Boeing mit Hilfe von Computern erste Zeichnungen, die Möglichkeiten von CAD vorwegnahmen und gleichzeitig die menschliche Figur für die Simulation entdeckten.⁴⁹¹ Ziel war es, den Aktionsbereich eines Piloten im Cockpit so zu simulieren, daß aus den Daten die Positionierung bestimmter Schalter und Bedienelemente geschlossen werden konnte. Das Flugzeug wurde vermessen und die Daten auf Lochkarten gespeichert. Mit Hilfe eines angeschlossenen Zeichenplotters konnten exakte Linien aus verschiedenen Perspektiven dargestellt werden. Zusätzlich erstellte Fetter mit Hilfe von analogen, mechanischen Zeichenmaschinen eine menschliche Figur in Gitterkonstruktion, die in der Länge der Extremitäten genau bemessen war. Um diese Figur herum wurde ein maßstabgerechtes Cockpit hinzugefügt. Durch verschiedene Perspektiven auf die Figur konnte der mögliche Aktionsradius, vorgegeben durch die Größe der Figuren, innerhalb des Cockpits gemessen werden. Aus den verschiedenen Blickwinkeln wurde mit Hilfe klassischer Trickfilmtechnik ein erster computergenerierter Trickfilm hergestellt.⁴⁹²

⁴⁸⁷ “Computer animations became an absolutely beautiful way to show the results of equations. They would do simulations so that you could see the shock waves and get a physical, graphical sense, which they could never get from equations.” Interview Michael Noll, 9. Mai 1988. Die Wirkung von Animation wird von Noll als eine physische beschrieben. Statt nur Formeln oder Zahlen sehen zu können, beobachtete man selbst in den einfachsten Simulationen Effekte, die einer physischen Erfahrung näher kamen. Auzenne, s. Anm. 486, S. 32 f.

⁴⁸⁸ Machover, C., Fundamentals and Overview of Computer Graphics, in: Association For Computer Machinery’s Special Interest Group on Computer Graphics 15th Annual Conference Course Notes, S. 366.

⁴⁸⁹ Time Life, s. Anm. 225, S. 36.

⁴⁹⁰ Hierzu wurde später eine elektronische Abtasteinheit verwendet, die einen Vorläufer des Scanners darstellte.

⁴⁹¹ Baker, s. Anm. 286, S. 36. Goodmann, s. Anm. 227, S. 20.

⁴⁹² Auzenne, s. Anm. 486, S. 26.

Erst mit Sutherlands Arbeit war eine Möglichkeit zur interaktiven Erstellung oder auch zur Vermessung gegeben. Trotz dieser Einschränkung zeigte die Arbeit Fetters, lange bevor solche Systeme die Entwicklungslabors erobern sollten, daß computerberechnete Bilder eines Tages in der Lage sein würden, solche Modellierungsprozesse erheblich zu verkürzen. In der bisherigen Verfahrensweise hatten viele Modelle gebaut werden müssen, die praktisch alle durch das jeweils nächste Modell überholt und nutzlos wurden. Von Fetters ersten Plotterzeichnungen soll auch der Begriff Computergrafik stammen, der seither für diesen sehr heterogenen Bereich computergestützter Bildgenerierung verwendet wird.⁴⁹³

8.4. Computergrafik und Filmtechnik

Bewegte Computergrafiken waren vom Konzept her vorgedacht, ihre Realisierung aber wegen der genannten Hardwareprobleme schwierig. Aufgrund der geringen Speicherkapazitäten und der geringen Bildaufbaugeschwindigkeiten konnten komplexe Sequenzen nicht direkt am Bildschirm aufgebaut werden. Waren die Darstellungen umfangreicher als der berühmte Ball, der auf dem Grafikmonitor von Whirlwind als Punkt seine von der Schwerkraft beeinflussten Kurven zog, benötigte man den Zwischenschritt der Filmtechnik, um eine Animation zu erzeugen. Dieses Verfahren wurde lange Zeit beibehalten. Zunächst wurden exakte Zeichnungen mit Hilfe des Computers und Plottern erstellt, die dann, in eine Sequenz gebracht, nacheinander mit einer Filmkamera abfotografiert wurden. Diese Filme wurden auf normalem Filmmaterial erstellt und bieten heute einen guten Einblick in die technischen Möglichkeiten der damaligen Grafiksyste-me. Später wurden Systeme entwickelt, die eine Filmkamera direkt vor dem ausgebenden Grafikbildschirm einsetzten. Zunächst wurden die Anweisungen programmiert und auf Lochkarten gespeichert. Dann wurden die Daten auf Magnetstreifen ausgegeben. Die Kamera war mit einem Impulsgeber verbunden, der den Bildvorschub steuerte. Das Programm im Rechner erzeugte ein Bild auf der Bildröhre und die Kamera zeichnete es auf dem 35 mm Film auf. Sobald das nächste Bild erzeugt wurde, ließ der Impulsgeber den Film um einen „Frame“ weiter rücken, bis das gesamte Programm abgelaufen war. Der so entstandenen 35 mm Film von den einzelnen Sequenzen erschien dann beim Abspielen als kontinuierliche Animation.⁴⁹⁴

Viele Bereiche, die bisher auf sehr zeitaufwendige Handarbeit angewiesen waren, erhielten durch die schnelle Entwicklung von Computergrafiksystemen eine neue Perspektive. Edvard Zajac, ein Forscher an den Bell Laboratorien, erstellte 1961 den ersten computeranimierten Film auf einem IBM 7090.⁴⁹⁵ Der Film mit dem Titel „Two-Gyro Gravity-Gradient Attitude Control System“ zeigte, wie ein Satellit so stabilisiert werden konnte, daß eine seiner Seiten

⁴⁹³ Vgl. Fetter, W., Computer Graphics in Communication, New York 1964.

⁴⁹⁴ Zajac, Edward E., Computer Animation: A New Scientific and Educational Tool, in: Society of Motion Pictures and Television Engineering Journal, November 1965, S. 1006.

⁴⁹⁵ Vgl. Thalmann, N.; Thalmann D., Computer Animation Theorie and Practice, Tokyo 1985, S. 221.

ständig auf die Erde ausgerichtet blieb.⁴⁹⁶ Seinem Beispiel folgten Ken Knowlton, Sten Vanderbeck und Michael Noll. Vanderbeck und Knowlton erstellten 1964 eine Serie von Animationsfilmen mit Hilfe der von Knowlton entwickelten grafischen Programmiersprache BEFLIX.⁴⁹⁷ Diese Filme beruhten auf zweidimensionalen Veränderungen von Mustern. Es entstanden mehr oder weniger geometrische Variationen, die durch das Auftauchen von Buchstaben aus dem Alphabet unterbrochen wurden. Für Knowlton war klar, daß die Entwicklung von Computeranimationen schnell voranschreiten würde. Er schrieb, daß durch die neuen Technologien die Kosten für eine Minute Animation nur noch zwischen 200 und 20.00\$ betragen würden. Nun könne der Filmemacher es sich leisten, mehrere Filme des gleichen Inhalts zu erstellen und sich dann denjenigen auszusuchen, der ihm am besten gefalle.⁴⁹⁸ Auch im Bereich der ästhetischen Produktion wurden die Möglichkeiten computergestützten Arbeitens so genutzt, daß das Endprodukt möglichst endgültig erschien. Einerseits entwickelte sich durch die Technik die spezifische Ästhetik, andererseits wäre, so Knowlton, die Erstellung eines solchen Filmes mit herkömmlichen Mitteln gänzlich unmöglich gewesen. Die Möglichkeiten zur Erzeugung solcher „unmöglichen“ Bilder spornte die Phantasie der Forscher ebenso wie die der Künstler an.⁴⁹⁹ Zahlreiche Innovationen in der Hard- und Software zwischen 1960 und 1970 trugen zur weiteren Verbreitung der Computeranimation und Simulation bei.⁵⁰⁰ Besonders zu erwähnen ist die Entwicklung des ersten „hidden line“ Algorithmus⁵⁰¹ durch Roberts 1963 am MIT. Ohne einen solchen Algorithmus erschienen alle Körper, die sich in einem dreidimensionalen Raum aufbauten, durchsichtig, weil alle Linien sichtbar blieben. Wollte man nun nur diejenigen Linien zeigen, die auf der dem Betrachter zugewandten Seite eines Körpers zu sehen waren, mußten die durch die im Vordergrund liegenden Körper verdeckten Linien aus der Zeichnung entfernt werden. Durch die automatische Berechnung aller verdeckten Linien erschienen Körper geschlossen und konnten mit unterschiedlichen Texturen versehen werden. Insgesamt steigerte dies den realistischen Eindruck erheblich.

Einen weiteren Bereich der entstehenden Computergrafik markierte das sog. Image Processing. Um 1967 wurden erste Versuche zur Computerauswertung von Bildern durchgeführt. Dieses Verfahren legte den Grundstein für die Analyse von Satellitenbildern.⁵⁰² Harmon und Knowlton, die beiden ausführenden Wissenschaftler am Bell Laboratory, beschäftigten sich

⁴⁹⁶ Vgl. auch Goodmann, s. Anm. 227, S. 153.

⁴⁹⁷ Auzenne, s. Anm. 486, S. 29.

⁴⁹⁸ Reichhardt, s. Anm. 476, S.67.

⁴⁹⁹ So entwickelte die Tokyo Computer Group 1967 eine Animation, die Außenlinien eines laufenden Menschen in eine Coca Cola Flasche und dann in die Umriss des Afrikanischen Kontinents verwandelte. Hiermit waren die Grundlagen des Morphings gelegt. Goodmann, s. Anm. 227, S. 158.

⁵⁰⁰ Vgl. Liste der Entwicklungen und Innovationen: An Historical Timeline of Computer Graphics and Animation. <http://www.cgrg.ohio-state.edu/~waynec/history/timeline.html>.

⁵⁰¹ „Hidden Line“ bedeutet, verborgene oder verdeckte Linie und meint diejenigen Linien, die sich bei einer perspektivischen Betrachtung hinter soliden Flächen verbergen.

⁵⁰² Zwar hatte die Erforschung der Erde aus dem Weltall schon mit der Sonde Explorer 1 am 1. Februar 1958 begonnen, doch die eigentlichen Entwicklungsschübe resultierten aus der immer weiter verbesserten Auswertungs- und Analysesoftware späterer Jahre.

mit Bildern, die sie zuvor mit einem Scanner⁵⁰³ aufgenommen hatten. Ihr Ziel war es, neue Programmsysteme zur Manipulation von Bildern zu entwickeln. Das Besondere an den Abbildungen von Harmon and Knowlton war vor allem, daß ihre Grafiken aus Buchstaben und anderen Standardzeichen bestanden.⁵⁰⁴ Viele Jahre beherrschte diese Art des Ausdrucks von Bildern mit Hilfe von frei platzierten Zeichen die visuelle Phantasie der Computernutzer. Dieses Verfahren, spöttisch „Computerdoodling“⁵⁰⁵ genannt, machte deutlich, daß Bilder sich aus Wahrnehmungsfragmenten zusammensetzen lassen, die sich erst im Auge zu einer sinnvollen Darstellung zusammenfügen.⁵⁰⁶ Oft genügen schon verschwommene Hell-Dunkel Kontraste, die durch die Streuung oder Häufung von Zeichen an einer Stelle hervorgerufen werden, um den Eindruck einer realistischen Darstellung zu erzeugen.⁵⁰⁷ Diese Abbildungen waren ein Experimentierfeld dafür, wie Abbildungen mit Hilfe von Scannern digitalisiert und wieder reproduziert werden konnten. Gleichzeitig erprobten die Programmierer damit zukünftige Anwendungen im Printbereich. Durch die Umstellung von der klassischen Fotolithographie, bei der Fotos durch Raster hindurch auf eine neue lichtempfindliche Platte übertragen wurden, auf moderne Scanningverfahren wurde die gesamte Druckindustrie revolutioniert. Mit der Technik der Computerlithographie vereinfachte sich die Erzeugung von Druckwerken derart, daß eine viel größere Anzahl in erheblich kürzerer Zeit hergestellt werden konnte.

8.5. Die Anwendung moderner Computergrafik

Die weitere Entwicklung der Computergrafik spielte sich auf verschiedenen Schauplätzen ab. Vor allem in der Filmindustrie nahm sie breiten Raum ein.⁵⁰⁸ Bekannte Filme wie *Westworld* (1973), *Future World* (1967), *Star Wars* (1977), *Star Trek II* oder *Die Rache des Khan*⁵⁰⁹ bildeten den Beginn dieser Entwicklung. Bis in die Gegenwart hinein übertrafen sich die digital erzeugten Animationen und Computergrafikeffekte mit immer neuen Superlati-

⁵⁰³ Vgl. Goodmann, s. Anm. 227, S. 32. Die hier genannte Technik ist ein Filmscanner, wie er schon beim DEC / GM System eingesetzt wurde. Der erste Scanner wurde wahrscheinlich 1957 am US National Bureau of Standards entwickelt. Mit Hilfe einer rotierenden Trommel, auf der eine Fozelle angebracht war, wurde das Bild streifenweise in helle und dunkle Zonen zerlegt. Goodmann, s. Anm. 227, S. 20.

⁵⁰⁴ Diese Ersetzung von Linien und Flächen in diskrete Punkte, die darüber hinaus von anderen Zeichen ersetzt wurden, haben das Bild von der Zerlegung des Sichtbaren in austauschbare Zeichenketten sicher mit geprägt. Baker, s. Anm. 286, S. 47.

⁵⁰⁵ „Computerdoodling“ entwickelte sich schon in den fünfziger Jahren und damit lange bevor sich das Konzept der Computergrafik durchsetzte. Beliebtestes Motiv der damaligen „Computergrafiker“ war die Comicfigur Snoopy von Charles M. Schulz. Vgl. Rivlin, Robert, *The Algorithmic Image: Graphic Visions of the Computer Age*, Redmond 1986, S. 15.

⁵⁰⁶ Knowlton, Kenneth; Harmon, Leon, *Computer Generated Pictures*, in: Reichhardt, s. Anm. 476, S. 87.

⁵⁰⁷ Diese Technik ist durch den Pointillismus in der Malerei vorweggenommen worden. Die Zielstellung bei der Erzeugung solcher Abbildungen war jedoch eine völlig andere. In den Computerprints drückte sich das Interesse aus, Bilder am Bildschirm oder später auch im Print realistisch wiederzugeben.

⁵⁰⁸ Hierzu kann im Internet die Geschichte des computeranimierten Films eingesehen werden. Vgl. <http://www.cis.ohio-state.edu/~parent/book/lntr.html>.

⁵⁰⁹ In diesem Film wurde die erste komplett durch einen Computer hergestellte Sequenz gezeigt.

ven.⁵¹⁰ Filme boten den Vorteil, daß die Effekte nicht online erzeugt werden mußten, sondern aus einzeln berechneten Abbildungen anschließend zu Sequenzen zusammengesetzt werden konnten. Die Effekte in Spielfilmen haben die Vorstellung von der Allmacht des simulierenden Computers erheblich gesteigert. Allerdings hat dieser sichtbare Zweig der Computergrafik nur eine geringe Bedeutung für die Kernfrage dieses Abschnittes, der Interaktion. Die Herstellung von Filmen setzte allerdings solche Mittel frei, daß die Entwicklung von spezialisierter Hard- und Software auch durch die Filmindustrie beschleunigt wurde.⁵¹¹ Vor allem aber wurde mit der Präsentation perfekter Simulationen in Filmen der Eindruck erweckt, Computer seien heute schon in der Lage, solche Simulationen online zu erzeugen und den Menschen in eine gänzlich aus solchen Figuren bestehende Welt zu versetzen.⁵¹² An dieser Stelle ist ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Erzeugen von Bildern mit Hilfe des Computers und der Steuerung von Bildern, die mit Hilfe des Computers erzeugt wurden, herauszustellen. Unter Steuerung ist dabei zu verstehen, daß der Betrachter auf spezifische Parameter des Bildes Einfluß nehmen kann, um das Bild in seiner Struktur oder Perspektive zu ändern. Der Realismus computergenerierter Bilder hat zwar die Verfügbarkeit solcher Bilder erheblich gesteigert, aber gegenüber einem seit jeher bestehenden Vermögen zur Illusion mit Hilfe von Darstellungstechniken hat der Computer hier keine Neuerungen gebracht. Viel interessanter als die Darstellung selbst erscheinen daher auch die algorithmischen Verfahren, die hierfür entwickelt wurden.

Die Entwicklung realistischer Simulationen wurde durch die Programmierung immer neuer Algorithmen zur Erzeugung von Körpern und vor allem Oberflächen angetrieben. Ray Tracing, um 1980 an den Bell Laboratorien entwickelt, ermöglichte eine realistische Beleuchtung von Körpern im Raum durch verschiedene Lichtquellen. Reflexionen und Lichtbrechungen an der Oberfläche von gleichmäßigen und strukturierten Körpern wurde möglich. Einen weiteren Schub erhielt die Entwicklung durch die fraktale Geometrie⁵¹³, die mit Hilfe des Computers das Prinzip der Selbstähnlichkeit in der Natur auf den Bildschirm des Computers brachte.⁵¹⁴ 1981 erstellte Nelson Max einen Film, der die Möglichkeiten dieser neuen Grafiktechniken zeigte.⁵¹⁵ „Carlas Island“ dauerte nur vier Minuten und zeigte im Zeitraffer eine Inselgruppe über 24 Stunden hinweg, vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang sowie im Mondschein. Der Film sollte zeigen, wie weit sich die Darstellungsmöglichkeiten des Computers entwickelt hatten. Später wurde die Möglichkeit hinzugefügt, mit der Simulation zu interagieren, die Tageszeit, Farbgebung und Geschwindigkeit der Simulation zu beein-

⁵¹⁰ Die Reihe der Filme sprengt hier den Rahmen. Genannt seien nur: Tron (1982), The Abyss (1989), Terminator 2 (1991), Jurassic Park (1993), Forest Gump (1994), Twister (1996), Spawn (1997), Alien 4 (1998).

⁵¹¹ Dies ist vor allem an der Geschichte der Computergrafik auf den Internetseiten von Disney festzustellen. Vgl. hierzu: <http://movieweb.com/movie/toystory/toystory.txt>.

⁵¹² Ein großer Teil der überschwenglichen Interpretationen einer total simulierten Welt mag aus dem Mißverständnis heraus entstehen, daß sogenannte „gerenderte Bilder“ ähnlich erzeugt werden könnten wie die Umgebungen von VR-Systemen. Es bestehen große Unterschiede in der Dauer der Herstellung eines einzigen Bildes aus einer Sequenz von Jurassic Park und der kurzen Zeit, die die Neuberechnung eines Bildes in einer VR-Umgebung erfordert.

⁵¹³ Vorgestellt durch Benoit Mandelbrot 1975.

⁵¹⁴ Vgl. Mandelbrot, Benoit, Die fraktale Geometrie der Natur, Berlin 1991, Englische Originalausgabe, New York 1977.

flussen. Der Betrachter hatte so den Eindruck, er könne an der visuellen Gestaltung der Landschaft mitwirken. Für Max, den Mathematiker und Erfinder von Carlas Island, war klar, daß er, ohne Künstler zu sein, aufgrund seiner mathematischen und Programmierfähigkeiten Welten erschaffen konnte, die ästhetisch reizvoll waren: „You see I can't paint, but I can do the mathematics and the programming, so the computer allows me to create fictional worlds I would not otherwise be able to.“⁵¹⁶ Diese Haltung bestimmte eine ganze Generation von Computerprogrammierern auf dem Feld der Grafik. Die Herstellung von Bildern orientierte sich dabei an der naturwissenschaftlichen Analyse des Betrachteten. Eine Bild war in erster Linie die Visualisierung eines Modells, einer in der Natur betrachteten Form oder eines Ablaufes. Mit den anwachsenden Möglichkeiten von Computern steigerte sich auch die Vorstellung einer total durch den Menschen simulierten und gesteuerten Welt. Die Visionen eines interaktiven Fernsehens vermittelten das Bild einer kurz bevorstehenden totalen Veränderung der Sehgewohnheiten:

„The realtime simulation channel would be a direct feed from a supercomputer like the Cray-1 running twenty-four hours a day [...] So just tune in and connect your home computer to the central computer by phone modem and you become a part of the movie. [...] You control things, create a custom movie that will never be seen by anyone else. [...] The AT&T of the future is the company that sells custom visual simulation. I am certain it will be common in ten to fifteen years.“⁵¹⁷

Daß wir heute weiter entfernt denn je von solchen Visionen sind, liegt einerseits an der damals viel zu hoch bewerteten Entwicklung der interaktiven Computergrafik, andererseits an der sehr viel langsameren gesellschaftlichen Entwicklung.⁵¹⁸ Im Prinzip herrschen auch heute alle passiven Formen des Medienkonsums vor, daran hat auch die sich entwickelnde Internettechnologie wenig geändert.

8.6. Visualisierung in der Naturwissenschaft als Motor der Funktionalisierung des Sehens.⁵¹⁹

⁵¹⁵ Goodmann, s. Anm. 227, S. 164.

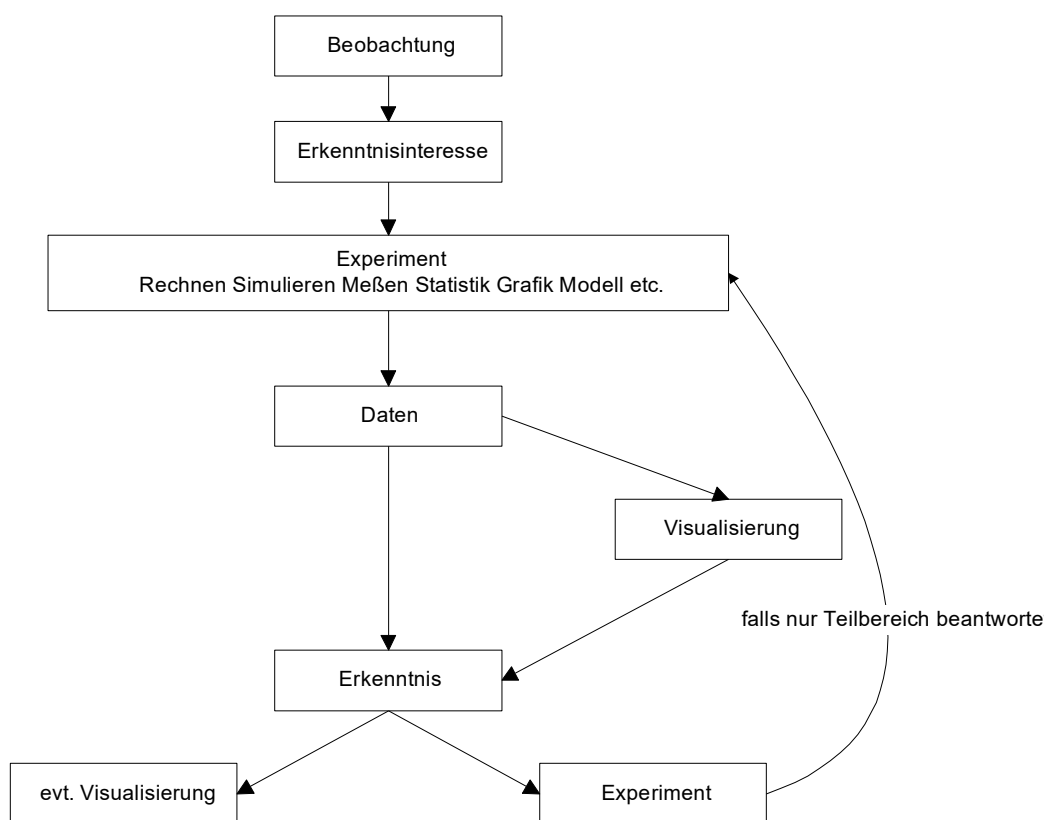
⁵¹⁶ Nelson, Max, zit. nach Computing for Art's Sake, in: Science News, 20. November 1982, S. 331.

⁵¹⁷ Demos, Gary, zit. nach Gene Youngblood, A Medium Matures: The Myth of Computer Art, in: Siggraph, 1983.

⁵¹⁸ Man kann feststellen, daß die Geschwindigkeit, in der technische Standards erreicht werden, meist unterschätzt wird, alle Veränderungen in den Seh- und Erfahrungsgewohnheiten der Menschen aber weit überschätzt werden. Viele technische Möglichkeiten zur interaktiven Steuerung von Filmen sind heute nutzbar, die gesellschaftliche Akzeptanz allerdings ist praktisch gleich null.

⁵¹⁹ Die Visualisierung in der Naturwissenschaft ist ein riesiges Feld und kann hier nur sehr verkürzt dargestellt werden. In der Geisteswissenschaft wird Simulation oft gänzlich falsch mit der Erzeugung einer optischen Wirklichkeit gleichgesetzt. In der Naturwissenschaft ist das visualisierte Modell oder die Simulation nichts anderes als ein Werkzeug. Philosophische Gedanken über den Status der Wirklichkeit macht man sich hierbei nicht, weil es nicht die Zielsetzung der Naturwissenschaft ist, Wirklichkeit abzubilden.

Je besser Animationen oder auch digitale Bilder wurden, desto kritischer war die Beurteilung ihrer Qualität. Bei der Nutzung solcher Systeme für naturwissenschaftliche Zwecke diente die visuelle Wirklichkeit nicht als Maßstab für die Genauigkeit von Animationen. Nicht die naturalistische Entsprechung, sondern eine formale Übereinstimmung wurde angestrebt. Zunächst erkannten die Naturwissenschaftler die Möglichkeit, mathematische Abstraktionen digital zu visualisieren. Ein Beispiel solcher Arbeiten waren Frank Sindens Animationen zu den Newtonschen Theoremen und Michael Nolls vierdimensionale Räume. Auch die Erschließung weiterer Anwendungsgebiete führte zunächst nicht zur Erhöhung des Naturalismus. Robert Abel, einer der führenden Computeranimateure, führte in einem Interview 1988 aus, daß die Computergrafik vor allem die Aufgabe habe, „das Unsichtbare sichtbar zu machen“.⁵²⁰ Zuvor kaum darstellbare Prozesse, das Innere dynamischer Flüssigkeiten, die Entstehung von Stürmen oder die Explosion von Bomben konnten durch Simulationen erfahrbar gemacht werden.⁵²¹ Der Weg für die wissenschaftliche Visualisierung wurde bereits in den ersten Jahren durch die Erkenntnis geebnet, die Grinstein und Levkowitz in einer neuen Publikation treffend zusammengefaßt haben: „Harnessing human perception can increase in a number of ways not only the effectiveness of the presentation but also the amount of data explored.“⁵²² Grafiken transportieren zum einen pro Zeiteinheit mehr Informationen, zum anderen lassen sie zu, auf optischem Wege Strukturen in Daten zu erkennen, für deren Aufnahme sonst große Mengen an textueller Information verarbeitet werden müßten. Den Naturwissenschaftler leitet dabei das Erkenntnisinteresse. Anhand einer Grafik kann dieser Prozeß am einfachsten dargestellt werden:



⁵²⁰ Abel, Robert, Interview 1988, nach Auzenne, s. Anm. 486, S. 128.

⁵²¹ Vgl. Kaufmann; Smarr, s. Anm. 188. Siehe auch: Grinstein; Levkowitz (Hrsg.), *Perceptual Issues in Visualization*. New York 1995.

Visualisierung meint die Übertragung eines Datenpools, also in der Regel von Zahlen in möglichst aussagekräftige Bilder. Eine Simulation wird im allgemeinen bereits als eine solche Visualisierung betrachtet. Im Prinzip ist aber auch eine rein numerische Simulation möglich.⁵²³ Gleichzeitig muß einer Visualisierung nicht automatisch eine Simulation zugrundeliegen. Aus den ersten Visualisierungen mit Hilfe des Computers als Animationsinstrument entwickelte sich die Möglichkeit, hochkomplexe mathematische oder physikalische Modelle in Bilder umzusetzen.⁵²⁴ Realismus im Sinne einer Ähnlichkeit gegenüber realen Objekten ist kein Maßstab interaktiver wissenschaftlicher Visualisierung. Im Vordergrund steht lediglich die Übereinstimmung des abstrakten Modells mit den in der Natur beobachteten oder gemessenen Phänomenen.

Die Entwicklung von computergestützter Visualisierung bis heute läßt sich in folgenden Punkten zusammenfassen:⁵²⁵

1. Visualisierung ist die Transformation des Symbolischen in das Geometrische. Die Betrachter können die zugrundeliegenden Modelle oder Simulationen beobachten.
2. Visualisierung komplexer Daten erfüllt die Aufgabe, eine größere Menge an Informationen schneller und fehlerfreier der Wahrnehmung des Betrachters zuzuführen und dabei die Aufmerksamkeit weniger zu belasten, sprich: den Rezipienten nicht zu ermüden.⁵²⁶
3. Idealerweise stellt sich auf diese Weise Erkenntnis automatisch ein, weil die Evidenz des Dargestellten maximal ist.
4. Wenn erforscht ist, wie die Wahrnehmungsprozesse des Menschen organisiert sind, dann lassen sich Visualisierungen erzeugen, die bereits auf die Psychologie des menschlichen Wahrnehmungsapparates abgestimmt sind und somit schnell zu besseren Erkenntnisergebnissen führen.⁵²⁷

⁵²² Grinstein; Levkowitz (Hrsg.), s. Anm. 521, S. 1.

⁵²³ Die ersten Simulatoren hatten keine visuellen Ausgabeeinheiten und arbeiteten daher rein numerisch. Die Werte, welche die Simulation erzeugte, wurden dann interpretiert. Vgl. Bell, C. G.; McCredie, J. W., The Impact of Minicomputers on Simulation – An Overview, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, March 1971, S. 98–101.

⁵²⁴ Eine Liste der Innovationen im Bereich der Grafikprogrammierung findet man unter: <http://www.cgrg.ohio-state.edu/~waynec/history/timeline.html>.

⁵²⁵ Die grundlegende Bestimmung der wissenschaftlichen Visualisierung erfolgte 1987 durch den Bericht der National Science Foundation, Advisory Panel on Graphics, Image Processing and Workstations.

⁵²⁶ Hibbard, W. u.a., Interaction in Perceptually-Based Visualization, in: Grinstein; Levkowitz (Hrsg.), s. Anm. 521, S. 23-32. „The purpose of visualization is to present information to human beings. Perceptually based visualization aims at making such presentations as efficient and effective as possible, from the humans point of view. I.e., it seeks to maximize the amount of information that the human viewer can perceive out of the presentation. To achieve that, we need to understand perception, and apply it to all visualizations.“ S. 23.

⁵²⁷ Gershon, Nahum, From Perception to Visualization, in: Rosenblum u. a. (Hrsg.), Scientific Visualization, London 1994, S. 129-139, S. 129.

Diese Punkte gehen davon aus, daß ein Bereich der menschlichen Wahrnehmung ein determinierter Prozeß sei.⁵²⁸ Dieser Teil, der im Englischen mit dem Ausdruck „pre-conscious“, also vor-bewußt, übersetzt wird, verarbeitet eingehende Sinnesreize im Gehirn nach im Gehirn vernetzten Mustern.⁵²⁹ Unsere Sehgewohnheiten ließen sich damit in Modelle umsetzen, die spezifische Werte unseren Sehgewohnheiten entsprechend darstellen und hierdurch den „vor-bewußten“ Prozeß der Datenaufnahme in das Bewußtsein verkürzen.⁵³⁰

8.7. Der Einfluß von Spielecomputern

Neben der Nutzung für wissenschaftliche und künstlerische Arbeit entfaltete sich die Bildschirmgrafik besonders im Bereich der Spiele. Computerspiele demonstrierten eine erste, sehr greifbare Anwendung von Computergrafik und deren Bedeutung von vor-bewußter Wahrnehmung am Computer. Um die meisten Computerspiele zu spielen, genügte zunächst oft ein minimales interpretatorisches Verständnis. Erst später kamen komplexe visuelle Animationen auf, die, wie z.B. Flugsimulatoren, lange Trainingszeiten erforderten. Dennoch geht es auch bei komplexeren Spielen, von Adventure Games abgesehen, um die Einübung praktischer Handlungen, die, einmal erlernt, nur durch Optimierung der manuellen Vorgänge verbessert werden können. Eine Geschichte der Computerspiele ist noch nicht geschrieben worden.⁵³¹ Allerdings hat man sich früh mit dem Zusammenhang von Spiel und Computertechnologie beschäftigt.⁵³² Spieler und Computer bildeten eines der ersten Regelsysteme im Wienerischen Sinn. Von den ersten bis zu den heutigen Computerspielen funktionierte das Feedbacksystem über den Austausch von Nachrichten zwischen Spieler und Spielobjekt und umgekehrt.

Steve Russell schrieb 1962 das erste Computerspiel auf einem verfügbaren DEC PD-1 Computer.⁵³³ Das Programm mit dem Namen „SpaceWar“ bestand lediglich aus einem Raumschiff in Form eines Dreiecks, das horizontal und vertikal auf dem Bildschirm bewegt und 360 Grad um sich selbst gedreht werden konnte. Rund um das Raumschiff wurden fremde Angreifer durch andere Formen und Punkte symbolisiert. Mit Hilfe eines Joysticks

⁵²⁸ Grinstein; Levkowitz (Hrsg.), s. Anm. 521, S. 1. „Pre-conscious processes are parallel, hard-wired or entrained, fast, and relentless. They occur simultaneously with conscious analysis and thus do not interfere with our ability to think.“

⁵²⁹ Vgl. Schnabel, Ulrich; Sentker, Andreas, Wie kommt die Welt in den Kopf? Reise durch die Werkstätten der Bewußtseinsforscher, Reinbek bei Hamburg 1997.

⁵³⁰ Dies läßt sich am einfachen Beispiel des Suchens deutlich machen. Sind alle Objekte in einer Menge weitgehend gleicher Form und Farbe, fällt das Auffinden einer besonderen Form schwer. Werden durch Berechnungen die Unterschiede verstärkt und die Objekte durch unterschiedliche Farbigkeit hervorgehoben, ist das Auffinden einer Struktur viel leichter. Diese Anwendung der Visualisierung erfolgt vor allem in der Medizin, wo Anomalien im Gewebe durch Berechnungen verstärkt und hervorgehoben werden können, z.B. beim Auffinden von Tumoren.

⁵³¹ Vgl. Veit, Stan, History of the Personal Computer, Asheville, North Carolina 1993.

⁵³² Vgl. Turkle, Sherry, Die Wunschmaschine. Vom Entstehen der Computerkultur. Reinbek bei Hamburg 1984.

⁵³³ Lubar, s. Anm. 76, S. 273. Hier wird auch erwähnt, daß es bereits 1958 ein Computerspiel auf einem analogen System und einem Radarschirm gab. Der Erfinder dieses Ping-Pong-Spiels, William Higinbotham, hat seine Erfindung nie patentieren lassen.

und eines Feuerknopfes ließ sich das Raumschiff bewegen. Wie mit einem virtuellen Laserstrahl in Form kleiner Leuchtpunkte konnten andere Raumschiffe beschossen werden. Auch wenn Spiele dieser Art zunächst nicht kommerziell angeboten wurden⁵³⁴, kursierten sie an praktisch allen Hochschulen, die sich mit der Entwicklung von Grafiksystemen beschäftigten. Dieses Spiel läutete eine wahre Flut ähnlicher „point and shoot“ Spiele ein, die sich zunächst vor allem in Spielhallen verbreiteten.⁵³⁵ Die zu bespielende „Form“ auf dem Bildschirm war im allgemeinen eine ferngesteuerte Maschine (auch wenn ein Mensch dargestellt wurde), die sich aufgrund der Reaktionszeiten durchaus „eigensinnig“ verhielt. Es mußte intensiv geübt werden, damit, die Trägheit der Reaktion eingerechnet, eine schnelle Bewegung der Form erreicht wurde. Sieger wurde derjenige, der sich am engsten mit der Mensch-Maschine-Schnittstelle vertraut machte und am schnellsten reagierte.⁵³⁶ Die enge Kopplung zwischen Mensch und Maschine gleicht einem Belohnungsmechanismus. Je schneller der Mensch die Aufgabenstellung des Spiels erledigen konnte, desto mehr Punkte wurden gesammelt. Spiele stellen damit die Reinform des programmierten Handlungsspektrums am Computer dar. Außerdem boten Computerspiele zum ersten Mal eine weitgehende Kontrolle über die Vorgänge des Computersystems. Auf den Zusammenhang von Machtphantasien und das Messen eigener Fähigkeiten wies Sherry Turkle 1984 hin.⁵³⁷ In diesen Jahren erlebte die Computerspielemanie in den USA ihren ersten Höhepunkt. Heute beherrschen einige wenige Konzerne den gesamten Spielmarkt und produzieren immer realistischere Darstellungen, die jedoch an dem Prinzip einer kurzgeschlossenen Interaktion zwischen Unterbewußtsein und Computer nichts ändern.⁵³⁸

8.8. Zusammenfassung

Die Herstellung von Computergrafik erlaubt den Anschluß an die bisher aufgestellten Thesen. Die Entwicklung von Programmiersprachen forderte einen schnelleren Wechsel zwischen Modell und Ergebnis. Der direkt am Computer durchgeführte Kompilierungslauf erfüllt die Forderung nach Onlineprogrammierung. Dies gilt auf gleiche Weise für die Erstellung von Grafiken am Bildschirm. Schrittweise kommt zur einfachen Erzeugung von Punkten und

⁵³⁴ Die kostbare Rechenzeit der Systeme sollte nicht durch Spiele genutzt werden. So wurde am MIT das Spielen an den Rechnersystemen nur nachts gestattet, Lubar, s. Anm. 76, S. 20.

⁵³⁵ Der Aufstieg der Spieleindustrie ist ein ebenso spannendes wie weitreichendes Thema, das hier nicht ausführlich behandelt werden kann. Zunächst waren Videospiele abhängig von Großcomputern. Mit der Einführung der Videotechnik in Kombination mit normalen Fernsehern und der Reduktion der Schaltung auf das notwendigste für das Spiel (Spielkonsolen), konnten die Geräte kostengünstiger für Spielhallen hergestellt werden. Massenproduktion drückte den Preis soweit herunter, daß Spiele für private Haushalte erschwinglich wurden. Bis 1983 explodierte der Markt für Videospiele in Amerika, um dann ab 1983 durch die japanische Spieleindustrie aufgerollt zu werden. Vgl. Fiske, John, *Understanding Popular Culture*, Boston 1989.

⁵³⁶ Hierüber wurde auch ein Film gedreht, in dem die mögliche Abhängigkeit vom Computerspiel thematisiert wurde, „Nightmares“ (1983), Lubar, s. Anm. 76, S. 274

⁵³⁷ Turkle, s. Anm. 532, S. 75 ff.

⁵³⁸ Die parallel dazu verlaufende Entwicklung von Adventure Games, wie z.B. dem heutigen Myhst, paßt nicht in dieses Konzept. Hier muß der Spieler sehr wohl interpretieren, wobei allerdings alle Möglichkeiten durch das Programm vorgegeben sind. Zu einer Geschichte der Adventure Games vgl. <http://www.apocalypse.org/pub/u/lpb/mudline.html>.

Linien die Bewegung mit Hilfe der Filmtechnik hinzu. Die Interaktivität der Grafikerzeugung liegt damit auf der gleichen Ebene wie die Erstellung von Programmen insgesamt. Interaktive Systeme sollten die Geschwindigkeit der Herstellung erhöhen. Durch fertige Programme wurde der Umgang für Nicht-Programmierer erleichtert. Der Herstellungsprozeß visuellen Materials verkürzte sich in allen Bereichen, in denen Computergrafiken angewendet werden, dramatisch.⁵³⁹ In der Naturwissenschaft sind Modelle nicht zwingend an eine Visualisierung gebunden. Sie wurde aber mehr und mehr genutzt, da sie einen weitaus stärkeren und vor allem schnelleren Reiz im Bewußtsein auslöst als textuelle Information. Doch Edward A. Tufte kritisiert, daß dabei die Information oft auf der Strecke blieb: „In one scholarly compilation of supercomputer scientific animations, 65% of the 134 color images published had no scales or labeled dimensions at all and 22% had partial labels or scales. Only 13% had complete labels and scales.“⁵⁴⁰ Die Eingängigkeit der visuellen Darstellung erübrigt die nähere Bezeichnung des Dargestellten, oft wird sie sogar genutzt, um gezielt Effekte zu erreichen.

Wie schon bei der Entwicklung der Benutzeroberfläche spielte bei der Computergrafik die Überlegung eines intuitiven, weil vor dem eigentlichen Denkprozeß angeordneten Umgangs mit der Umwelt, eine entscheidende Rolle. In der Benutzeroberfläche, deren Grundgedanke die Speicherung von Intelligiblen in einer räumlich-funktionsorientierten Arbeitsumgebung ist, wird das Handeln des Menschen intuitiv. Einmal aufgenommen soll die Nutzung der Benutzeroberfläche selbst im Unterbewußtsein verankert sein und den Umgang mit den eigentlichen Inhalten lediglich unterstützen. In der Computergrafik und der daran anschließenden Animation und Visualisierung soll die Vermittlung von Basisinformation nicht mehr über die Ebene eines interpretierenden Bewußtseins, sondern auf der Ebene einer allgemeinen Welterfahrung realisiert werden. Erst wenn alle Daten aufgenommen sind, beginnt die Phase der Interpretation. Mit der Aufbereitung der Daten in Form einer Visualisierung wird allerdings die Gefahr groß, daß Gesehene aufgrund der Seherfahrung für die eigentliche Information zu halten und nicht weiter zu interpretieren. Was dies bedeuten kann, zeigt Tufte anschaulich am Beispiel der Venusfotografie.⁵⁴¹

Technische Innovation und sinkende Kosten für Speicher und Software öffneten eine Vision immer weiter fortsetzbarer Experimente mit Hilfe des Computers. Mit der Einführung des virtuellen Speichers konnte die Menge der zu verarbeitenden Daten soweit erhöht werden,

⁵³⁹ So hatte der Programmierer des Films TRON ironisch über die Computersequenzen gesagt: „There was nothing done with the computers on TRON, that could not have been done with conventional animation, given 45 million dollars and hundred years.“ Kroyer, Bill, zit. nach: Patterson, Richard, Computer Imagery for TRON, in: American Cinematographer, August 1982, S. 803.

⁵⁴⁰ Tufte, Edward A., The Visual Display of Quantitative Information, Conneticut, 1997.

⁵⁴¹ Die Aufnahmen, die die Magellan Sonde 1992 vom Jupiter machte, wurden weithin verbreitet. Sie zeigten einen Berg, der über 8000 Meter hoch sein soll. Um die Erhebung darzustellen, wurde allerdings bei der Berechnung des Bildes aus den Daten der Sonde ein Verzerrungsfaktor von 25:1 angegeben. Hierdurch erscheint der Berg viel steiler als in Wirklichkeit. Die Verzerrung des Bildes ist der Visualisierung der Daten nicht anzusehen. Damit wird das Bild zu einer „wahren“ Darstellung, die auf einer falschen Interpretation der Daten beruht. In Wirk-

daß immer komplexere Fragestellungen visuell umgesetzt werden konnten. Damit änderte sich auch die Art der Wahrnehmung. Zunächst konzentrierten sich Wissenschaft und Kunst auf die Grundfragen der Wahrnehmung. Diese wurden später durch die Fragen der Interaktion und der Oberflächengestaltung vollständig verdrängt. Wie auch in den bisherigen Beispielen zeigt sich, daß die Umsetzung bzw. Erprobung visueller Sprachformen sich in den Überflußkapazitäten von Rechnergenerationen entfalten. Die Modelle mögen zwar als abstrakte Ideen vorhanden gewesen sein, ihre programmtechnische Umsetzung konnte aber erst erprobt werden, als ausreichende Rechnerkapazität vorhanden war. So wurden mit jedem neuen Schub von besserer und schnellerer Hardware die damit erzeugten Bilder Abfallprodukte eines marktorientierten Steigerungsprozesses. Die Erprobung von Algorithmen konnte in eine endlose „try and error“ Strategie eingebunden werden. Immer wieder wurden neue, noch „bessere“ Algorithmen zur Darstellung entwickelt. Auch in der Entwicklung der Computergrafik war das Ziel, ein möglichst perfektes Modell zu erreichen. Dann erst wurde das Bild als Produkt aus dem Entwicklungsprozeß entlassen. Die Kritik am Bild liegt nicht auf der Ebene des Dargestellten, sondern betrifft stets nur das Verhältnis von eingesetzten Mitteln, Eleganz des Algorithmus und die damit hergestellte „realistische“ Wirkung des Bildes. Durch immer neue Innovationen ist ein Ende dieses Kreislaufes nicht abzusehen.⁵⁴²

Die Interaktion zwischen Programmierer und Computer setzt sich in der Interaktion zwischen Computer und Benutzer eines Grafikprogramms fort. Die Bewegung wird als Konzept für die Darstellung von Abläufen von der Trickfilmtechnik übernommen. In dem Maße, in dem die Erstellung von Visualisierungen einfacher wird, kann auch die Aufnahme von Information tendenziell zu einem kalkulierbaren und damit kontrollierbaren Prozeß werden. Da es einfacher wird, etwas zu visualisieren, wird es auch visualisiert und erst dann am Betrachter „getestet“.

In der technischen Entwicklung spielt dabei die Frage nach dem Realitätsgehalt der visuellen Erfahrung keine Rolle mehr. In der Grafik ist Realität, was an ihr per Definition unser Bewußtsein erreichen soll. Nicht nur das Bild wird in seiner Erstellung berechnet, sondern auch die Wirkung auf den Betrachter. Die Flexibilität der Werkzeuge zur Erstellung wirkt sich ähnlich aus wie die Wirkung der Textverarbeitung auf die Texterstellung. Der Zustand einer Darstellung ist solange transitorisch wie es die ökonomischen Bedingungen zulassen. Wie das „fertige“ Werk dann gedruckt wird, wird auch die fertige Grafik entweder gedruckt, geplottet oder auf ein Videoband übertragen oder (wenn der Wert höher eingeschätzt wird) auf Film belichtet. Auch die Computergrafik soll, ihrer erklärenden Aufgabe entsprechend, möglichst wenig Interpretationsspielraum haben. Die Umsetzung von Bild in Erkenntnis soll durch

lichkeit ist die Venus sehr flach. Die maximale Steigung beträgt 3%. Vgl. Tufte, Anm. 540, S. 24.

⁵⁴² Die Entwicklung von neuen Algorithmen erfolgte im interaktiven Entwicklungsprozeß an der hierfür ausgestatteten Hardware. Dementsprechend gibt es keine Begrenzung der Entwicklung, es sei denn, die Hardwareentwicklung würde stagnieren.

die Ausschaltung all dessen bewirkt werden, was an der Wahrnehmung einen bewußten Umgang mit Problemen erfordern würde.

Der Programmierer macht sich selbst zum Maßstab der Wahrnehmungsmechanik, indem er die einmal gewonnenen Erkenntnisse über die Art der vorbewußten Wahrnehmung reproduziert. Damit erklärt sich die Computergrafik weitgehend selbst. Wenn sie keinen Sachverhalt erläutert, hat sie in der Regel ihre eigene Technizität zum Inhalt. Sie zeigt oft, was sie ist und was sie kann, und verharnt nicht selten in der Ausgewogenheit zwischen ihrer eigenen Technik und der Darstellung dieser Technik.

Mit der Technologie des Cyberspace wird die Erforschung der Wirkung des Visuellen um den Aspekt der Bewegung im Raum und damit um den Handlungsraum erweitert. Bewegung ist eine unterbewußte Handlung, die als Mittel zum Zweck der Interaktion mit der Welt dient. Insofern ist unsere Bewegung in der Umwelt nicht mit Interpretationen belastet. Bringt man die Computergrafik mit ihrer Möglichkeit der Vor-Ordnung von Datenströmen mit der Bewegung im Raum zusammen, erscheint am Horizont die Möglichkeit, mit Wissens-elementen so umzugehen wie mit unserer Alltagserfahrung. Millionen Informationen strömen auf uns ein, aber nur ein Bruchteil von ihnen gelangt in das Bewußtsein, weil der größte Teil bereits durch Sinnesorgane und andere Filter des Körpers analysiert wurde und nur noch Quintessenzen auf die Ebene des bewußten Denken gelangen. Gelänge es, komplexe Aufgaben bereits auf der Ebene vor-bewußter Verarbeitung zu lösen, dann würde sich die empfundene Dauer einer Handlung im Verhältnis zur wirklichen Handlungsdauer verkürzen. Wie schon bei der Entwicklung der Benutzeroberfläche als Handlungsraum festgestellt wurde, erscheint die Zeit in der Handlung aufgehoben, weil wir keine Differenz mehr zwischen der Interaktion mit Umwelt (Alltag) und der Interaktion mit Maschinen (Arbeit) spüren. So kann auch erstmals eine Maschine⁵⁴³ von der Arbeitswelt fundamental in die Welt der Freizeit übergehen.

Die Entwicklung der Interaktion mit Computern und damit auch anderen Maschinen tritt damit in eine neue Phase ein. Von der frühen Interaktion mit dem Speicher, über die Interaktion mit der Benutzeroberfläche und Systemen zur Erstellung von Grafiken, gelangen wir zur Interaktion mit Programmen in visueller Form. Die virtuelle Realität ist von der Idee her nichts anderes als eine begehbare Entwicklungsumgebung. Ihre Entstehung aus der Flugsimulation ist insofern bemerkenswert, als in ihr die grundsätzlichen Fragen der Interaktion mit Umwelt früh gestellt wurden. Während im Alltag die Einübung in Handlungszusammenhänge mehr oder weniger ungefährlich erscheint, haben beim Fliegen kleinste Handlungen große Konsequenzen. Daher ist das Erlernen des Fliegens eine Programmierung des Unterbewußtseins, um schnelle, interpretationsfreie Entscheidungen herbeizuführen. Situationen, in denen sich Menschen kalkulierbar verhalten sollen, sind daher die am besten zu simulie-

⁵⁴³ Absehen wollen wir hier vom Auto. Auch dies ist eine Maschine, in der Handlungszeit und empfundene Zeit divergieren. Die Wahrnehmung des "schneller Seins" begründet sich ebenso wie beim Computer auf den Eindruck des "selbst tätig Seins".

renden Zustände. Hier können einfache Reiz-Reaktionsmuster erprobt werden. Computergrafik ist daher eine wesentliche Grundlage jeglicher handlungsorientierten Simulation.

9. Die virtuelle Realität als dreidimensionale Benutzeroberfläche

9.1. Virtuelle Realität

Nicht die letzte technische Entwicklung auf der Ebene der computergestützten Bilderzeugung, aber die öffentlich am stärksten diskutierte, ist die Technologie der virtuellen Realität, kurz VR genannt.⁵⁴⁴ Ihr wurde in den letzten Jahren zugeschrieben, endgültig die letzten Grenzen zwischen dem Realen und dem Virtuellen zu verwischen.⁵⁴⁵ Vor allem Baudrillards Schriften nährten die Auffassung, daß sich die gesamte Menschheit in einem Zustand der vollkommenen, alles umschließenden Simulation befinde⁵⁴⁶. Den Kulminationspunkt erreichte die Diskussion, als Baudrillard postulierte, daß der Golfkrieg nicht stattfindet, sondern lediglich ein Medienereignis sei.⁵⁴⁷ Als Ikonen des vermeintlichen Simulationszeitalters wurden die Bilder aus den Zielkameras der Düsenjäger um die Welt geschickt. Sie zeigen kaum erkennbare architektonische Formen, die als irakische Bunker interpretiert wurden. Das eingblendete Fadenkreuz brachte die undeutlichen Aufnahmen mehr mit der Welt der Videospiele zur Deckung als mit einer abgebildeten Realität. Der Krieg, belegt durch Bilder, deren wirkliche Herkunft kaum bestimmt werden konnte, fand nicht in der Wüste, sondern auf den Fernsehschirmen statt.⁵⁴⁸

Mediale Vermittlung von Ereignissen ruft zwangsläufig die Frage nach der Herkunft der Bilder hervor. Die Wahrheit der Bilder steht auch bei der virtuellen Realität zur Debatte. Der Diskurs über die Simulakren beschäftigt sich nicht mit der Frage nach ihren Motivationen und Ursprüngen. Das „Bildmoment“ wird vollständig von der Frage abgelöst, wie die Bilder entstehen und welche „Bildnutzungen“ es gibt. Wenn der Nutzer sich den Datenhelm aufsetzt und in eine gänzlich andere visuelle Umgebung einsteigt, wird ihm eine Abbildung von Phänomenen direkt in die Augen projiziert. Aber Realität entsteht nicht erst auf der Netzhaut.

Alle Technologien zur Erzeugung von Reproduktionen der Realität beziehen sich vor allem auf das Visuelle. Die Entstehung der virtuellen Realität ist daher bezeichnenderweise zum Teil auf die Abwesenheit visueller Eindrücke begründet. In Ihrem Kern entwickelte sie sich aus der Anforderung, immer perfektere Flugsimulatoren zu bauen und den Augensinn in

⁵⁴⁴ Virtuelle Realität steht als Synonym für die Widersprüchlichkeit des Begriffs. Einerseits handelt es sich um die Erzeugung eines Bildraumes, der eine künstliche Umgebung darstellt, andererseits ist durch die Ausschaltung aller anderen visuellen Sinneseindrücke der Eindruck einer umgebenden Realität geschaffen. Einen guten Überblick über die Technologie der Virtuellen Realität verschaffen folgende Bücher: Aukstakalnis, Steve; Blatner, David, *Silicon Mirage, The Art and Science of Virtual Reality*, Berkeley 1992. Weibel, Peter u.a. (Hrsg.), *Ars Electronica 1990: Virtuelle Welten*, Band II, Linz 1990.

⁵⁴⁵ Vgl. Flusser, Vilém, *Digitaler Schein*, in: Rötzer, Florian (Hrsg.): *Digitaler Schein. Ästhetik der elektronischen Medien*, Frankfurt/M. 1991, S. 147-159.

⁵⁴⁶ Vgl. Baudrillard, Jean, *Die Agonie des Realen*, Berlin 1978. Baudrillard, Jean, *Der symbolische Tausch und der Tod*, München 1982.

⁵⁴⁷ Baudrillard, Jean, in: *The Guardian*, 11. Januar 1991, S. 25.

⁵⁴⁸ Woolley, Benjamin, *Die Wirklichkeit der virtuellen Welten*, Basel 1994, S. 196. Auch die rumänische Revolution wurde als Medienereignis analysiert in dem sich Reales und Simulier-

einen Verbund von Sinnen einzuschließen, der die Wahrnehmung der restlichen Welt ausschloß. Die zweite Triebfeder bestand darin, den Sehsinn an einen anderen Ort zu verlagern, um Einblick in Räume und Objekte zu erhalten, die sonst dem Blick verschlossen bleiben. Um die Herstellung von illusionistischen Bildern im Sinne einer Naturnachahmung ist es dabei nicht gegangen. Dies hat weniger mit den mangelnden Auflösungen der Videoscreens zu tun als mit der grundsätzlichen Differenz von medialer Vermittlung durch den Film und das Computerbild. Simulation ist die Herstellung einer eigenen Welt, deren Funktionsweise und Regeln allein durch die Programmierer bestimmt werden kann. Die bloße Aufnahme der Umwelt durch Kameras brachte mehr Naturalismus ins Bild, aber erlaubt keine Kontrolle über die Blickrichtung und die eigene Bewegung im Raum. Mediale Vermittlung ist eine Kopie von tatsächlichen oder imaginierten Ereignissen. Nur, wenn die Technologie der Computersimulation innerhalb der Medienvermittlung, z.B. im Film, erscheint, verliert sie ihren eigentlichen interaktiven Status und wird erneut zur Abbildungstechnik, indem es die früheren Medien simuliert.

Der eigentliche Unterschied besteht nicht zwischen Realität und Täuschung, sondern zwischen Handlung und Betrachtung. Die Wandlung des Realitätsbegriffes wird durch diese Durchgangsstufe des Bildes am Computer forciert. Die letzte Konsequenz ist daher auch nicht die Verbesserung der visuellen Auflösung, sondern die Weiterentwicklung des Handlungsbegriffes. Nicht mehr die Handlung zwischen Mensch und Objekt steht heute auf der Entwicklungsliste der Softwarehersteller, sondern die autonome Handlung der Maschine.

9.2. Die Technik

Kurz zusammengefaßt kann über die virtuelle Realität gesagt werden, daß sie die visuelle Wahrnehmung des Menschen vollkommen in sich einschließt. Durch zwei direkt vor den Augen angebrachte Monitore mit Flüssigquarzdisplays wird der komplette Blickwinkel des Sehapparates abgedeckt. Die Bildschirme zeigen eine digital berechnete Darstellung von Räumen und Körpern, meist in der Form einfacher euklidischer Formen. Durch Sensoren wird die aktuelle Position des Kopfes und damit die der Blickrichtung auf diese künstliche Umgebung gemessen, um die Perspektive stets der aktuellen Position angleichen zu können. Hierdurch entsteht die Illusion einer Umgebung, in der man sich durch Bewegung des Kopfes orientieren kann. Durch Hinzunahme weiterer Sensoren, die auch die Position des Körpers oder bestimmter Körperteile aufnehmen können, lassen sich in die virtuelle Darstellung des Raumes auch die Körperbewegungen aufnehmen. Durch das Überstreifen eines Handschuhs (bestückt mit Beugungssensoren) kann die Hand des VR-Nutzers in die virtuelle Darstellung übertragen werden. Durch die Sicht auf die eigene Hand in der Simulation des Raumes wird der Eindruck des „Eintauchens“ verstärkt, da die Bewegungssensoren, die ein

Bild vom eigenen Körper produzieren und die Propriozeptoren⁵⁴⁹ im Körper in ihren Signalen korrelieren. Die technischen Probleme der VR liegen damit von vornherein in der Geschwindigkeit, in der die Bewegungen des physischen Körpers und die Veränderung des virtuellen Blickfeldes zur Deckung gebracht werden können. Reagiert die virtuelle Umgebung langsamer als die vom eigenen Körper wahrgenommene Lageveränderung im Raum, wird die Trennung zwischen Körper und Sichtfeld schnell bewußt, was meist Schwindelgefühle zur Folge hat.⁵⁵⁰

Zu einem normalen VR-System gehören damit:

1. Eine Rechnerkonstellation, die in Echtzeit den Raum, in dem sich der Betrachter bewegt, berechnen kann.
2. Eine Einrichtung zur Bestimmung der Kopfposition im Raum und zur Einspeisung dieser Daten in den berechnenden Computer.
3. Ein weiteres Abtastungsgerät, das entweder die Hand (Datenhandschuh) oder den ganzen Körper (Datasuite) so in Daten verwandelt, daß eine Abbildung der abgetasteten Körperformen und Positionen im berechneten virtuellen Raum erscheinen kann.
4. Eine Einrichtung zur Darstellung des computerberechneten Bildes in Form von kleinen LCD-Monitoren, Netzhautlasern oder ähnlichen Bilderzeugern, die das Blickfeld vollkommen einschließen. Durch zwei unabhängige Bilder, die optisch leicht zueinander versetzt sind, entsteht ein stereoskopisches Bild.

Mit Hilfe mehrerer Rechner sowie paralleler Tracking- und Abtasteinrichtungen ist auch die Begegnung zweier oder mehrerer Personen in einem virtuellen Raum grundsätzlich denkbar.⁵⁵¹ Um das Gesichtsfeld ganz einzuschließen und alle Bewegungen des Kopfes oder abgetasteten Körpers ohne Zeitverzögerung nachzuführen, muß die Leistung der Computer sehr hoch sein. Deshalb wurden die Umgebungen zunächst sehr einfach gestaltet. Da jede dargestellte Linie und jeder Punkt innerhalb von Millisekunden neu berechnet werden muß, läßt sich die Rechenlast nur reduzieren, indem die Anzahl zu berechnender Linien und Punkte begrenzt wird. Die hieran zunächst anknüpfende Kritik an der VR als „begehbarer Schmierzettel“⁵⁵² oder an der „bonbonfarbenen Kinderzimmer“⁵⁵³-Ästhetik bezog sich fast

⁵⁴⁹ Fühler, die innerhalb von Organen gelegen auf Zustandsänderungen dieser Organe reagieren. Sie dienen der kinästhetischen Empfindung sowie der Koordination von Muskeltonus und Muskelkontraktion. Propriozeptoren liegen auch in den Gleichgewichtsorganen.

⁵⁵⁰ Diese Schwindelgefühle waren entscheidend bei der Untersuchung der Chancen und Risiken solcher Technologien durch das Militär. Erst wenn die Echtzeitkomponente und die Bewegung in Koordination zum Blickfeld in der Simulation ausreichend hergestellt ist, kann die virtuelle Realität ohne dieses Schwindelgefühl genutzt werden. Vgl. New York Times 20.2.89: Simulatoren-Schwindel oder: wie einem in der virtuellen Welt schlecht werden kann, „...Mit der wachsenden Raffinesse der Simulatoren hat sich auch das Schwindelsyndrom immer weiter verschärft. Experten meinen deshalb, das Wahrnehmungsungleichgewicht werde um so störender, je realistischer das Trainingsgerät die Wirklichkeit nachahme....“

⁵⁵¹ Blanchard, Chuck; Lasko Harvill, Ann; Jones, Lou Ellyn, Was ist neu an Reality build for two, in: Weibel, Peter u.a. (Hrsg.), Ars Electronica 1990, Virtuelle Welten Band II, Linz 1990, S. 189 – 196.

⁵⁵² Ct (Computertechnologie) 1992/1, S. 54.

⁵⁵³ Bredekamp, Horst, Mimesis grundlos, in: Kunstforum International, Band 114, 1991, S. 285.

immer auf diesen praktisch notwendigen Reduktionismus. Mit den wachsenden Computerleistungen sind hier jedoch in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht worden.⁵⁵⁴ Längst sind die einfachen Polygonzüge, durch die sich die ersten VR-Umgebungen auszeichneten, weit komplexeren Modellen gewichen. Im Gegensatz zu einfachen Linien und Punkten werden heute zunehmend flächige Texturen eingesetzt, die in ihrem Realitätseindruck verblüffend sind. Sie erzeugen ein Seherlebnis, das den Betrachter immer wieder verführt, die gesehenen Objekte anfassen zu wollen. Auch die Displaytechnik hat sich weiterentwickelt. Waren die ersten VR-Bildschirme mit sehr geringen Auflösungen (120x180 Punkten) ausgestattet, so bieten Mini LCDs oder Projektoren heute eine Auflösung von bis zu 1280x1024 Punkten. Eine noch neuere Darstellungstechnik ist die Verlagerung der Darstellung auf Projektionsflächen innerhalb eines Raumes. In diesen sogenannten „Cave-Installationen“ befinden sich die Betrachter in einem Raum, der von vier Seiten mit Projektionen versorgt wird.⁵⁵⁵ Durch den so entstehenden 3D-Eindruck und das Abtasten der Handposition durch einen Datenhandschuh lassen sich realistische Eindrücke von Innenräumen produzieren, mit denen direkt über Handzeichen oder virtuelle Menüs interagiert werden kann. Durch die allseitige Projektion und die einfache Handhabung der Brillen⁵⁵⁶ ist die Belastung für die Orientierung im Raum geringer, der Eindruck der virtuellen Umgebung aber vergleichbar stark.

9.3. Das Panorama als Vorläufer der virtuellen Realität?

Die den Betrachter gänzlich umgebende VR erinnert historisch an die Panoramen des 19. Jahrhunderts.⁵⁵⁷ Stephan Oettermann hat darauf hingewiesen, daß die Vorläufer des Panoramas, ausgedehnte perspektivische Decken und Wandgemälde, zwar ähnliche Tendenzen zur Erfassung des gesamten Blickfeldes gezeigt haben, aber dennoch nicht mit dem Begriff

⁵⁵⁴ Die Firma Silicon Graphics, die schon zu Beginn der Entwicklung die entsprechenden Geräte für VR-Umgebungen anbot, liefert heute wesentlich leistungsfähigere Computer zu geringeren Preisen. Sie laufen zur Zeit unter dem Namen „Onyx2 Reality-Monster“. Die Leistung eines solchen Computers ist nochmals um einige Dimensionen gegenüber den früheren Maschinen angestiegen. Mit Hilfe neuer Softwarestandards wurde der Grad des Realismus trotz einer Verringerung der darzustellenden Polygonzüge erreicht. Informationsblatt Silicon Graphics, Thema Automobilindustrie, 9/97, S. 11.

⁵⁵⁵ Die Darstellungen erfolgen mit Hilfe von LCD-Projektoren von hinten auf durchlässige Leinwände, von links, rechts, vorn und oben. Bis auf den Eingang des Raumes sind somit alle Wand-, Boden- und Deckenflächen mit einer Projektion versehen. Durch die Projektion zweier versetzter Bilder durch die LCD-Beamer und mit Hilfe sogenannter Shutter-Brillen wird durch schnelles, abwechselndes Verdunkeln der Brillengläser ein optisch sehr starker 3D-Eindruck erzeugt.

⁵⁵⁶ Die Brillen sind sehr leicht und umschließen das Sehfeld nahezu vollständig. Eine Orientierung im physischen Raum ist aber dennoch möglich. Insgesamt ist daher die Nutzung einer CAVE-Installation sehr viel verträglicher für das Orientierungs- und Gleichgewichtsgefühl.

⁵⁵⁷ Das grundlegende Standardwerk zum Panorama ist: Oettermann, Stephan, Das Panorama. Die Geschichte eines Massenmediums, Frankfurt/Main 1980. Die wichtigste neuere Publikation ist der zahlreiche Aufsätze enthaltende Katalog einer großen Bonner Ausstellung von 1993: Sehsucht. Das Panorama als Massenunterhaltung des 19. Jahrhunderts, Kat. Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn, Basel/Frankfurt/M. 1993. Die epochale kulturgeschichtliche Bedeutung des Panoramas für das 19. Jahrhundert stellte der Politologe Dolf Sternberger bereits 1938 heraus. Sein Buch „Panorama oder Ansichten vom 19. Jahrhundert“ (Frankfurt/M. 1974) hat unverdientermaßen nie die Bekanntheit von Walter Benjamins gleichzeitigen Untersuchungen über das 19. Jahrhundert erreicht.

Panorama belegt werden dürfen.⁵⁵⁸ Zwar besteht die Möglichkeit, den Grundgedanken des Rundumblicks bereits in früheren Fresken und Illusionsgemälden verwirklicht zu sehen,⁵⁵⁹ aber anhand der Herleitung des Begriffs zeigt sich nach Oettermann, wie deutlich sich die Betrachtung und Nutzung des Panoramas von der bisher bekannten Theater- und Illusionsmalerei absetzt. In seiner Zusammensetzung aus dem griechischen »pan« (=alles) und »hórama« (=sehen) sei dieses Kunstwort Ausdruck für die Perspektive, die der Betrachter gegenüber dem Gesehenen einnehmen solle.⁵⁶⁰ Von einem erhobenen Standpunkt aus wird die Naturlandschaft oder die Stadtlandschaft überblickt und dem ruhenden Betrachter erschlossen. Durch die Übertragung des möglichen „erhabenen Blicks“ auf Natur- und Stadtlandschaft in eine „symbolische Form“ werde das Panorama zu einer „Maschine, in der die Herrschaft des bürgerlichen Blicks gelernt und zugleich verherrlicht wird...“⁵⁶¹ Das Panorama wird damit zu einem ersten Massenmedium, in dem die Sehweisen auf ein definiertes Stück Natur oder Kultur bestimmt werden. Heutige Formen des Panoramas wären zunächst das Rundumkino oder der Cinemascopefilm⁵⁶², weniger die virtuelle Realität auf der Basis von Computermodellen. Beide Medienformen (Panorama und VR-Installation) unterscheiden sich so grundsätzlich, daß nur sehr allgemein von einer Genealogie gesprochen werden kann. Vielmehr ist die moderne Form des Sensationskinos, das weniger erzählerisch operierend, den Betrachter in die Faszination des, das Blickfeld ausfüllenden übergroßen Bildes stürzt, die konsequente Fortführung des Panoramas. Das Panorama entbehrt in allen seinen Ausprägungen⁵⁶³ der Idee einer Interaktion des Einzelnen mit dem Betrachtungsgegenstand, abgesehen von der intentionalen Wendung des Blicks in alle Richtungen. Auch das Rundumkino und die verschiedenen Tendenzen des 3D-Kinos schlossen die Steuerung der Handlung und des Blickwinkels durch den Betrachter grundsätzlich aus. Es ist notwendig, auf der Ebene der Handlungen und der Blicksteuerung zu unterscheiden, und nicht den Einschluß des Blicks durch eine Rundumsicht zur Begründung einer historischen Entwicklung von der einen technischen Einrichtung zur anderen zu nutzen.⁵⁶⁴ Gerade für das Erleb-

⁵⁵⁸ Oettermann, s. Anm. 557, S. 7.

⁵⁵⁹ Vgl. Grau, Oliver, Into the Belly of the Image, unveröffentlichtes Vortragsmanuskript. Art History and Virtual Reality, 8. International Symposium on Electronic Art im Art Institute Chicago, 22.-25.9.1997.

⁵⁶⁰ Oettermann, s. Anm. 557, S. 8.

⁵⁶¹ Oettermann, s. Anm. 557, S. 9.

⁵⁶² Vgl. Belach, Helga; Jacobsen, Wolfgang (Hrsg.), Cinemascope. Zur Geschichte der Breitwandfilme, Berlin 1993; Pirr, Uwe, Zur technischen Geschichte des Rundumblicks, Vom Panoramagemälde zur interaktiven virtuellen Realität, in: Hyperkult, Geschichte, Theorie und Kontext digitaler Medien. Warnke, Martin; Coy, Wolfgang; Tholen, Christoph (Hrsg.), Basel 1997, S. 291ff. Pirr stellt anhand der Panoramen eine Genealogie der heutigen Techniken zur Erzeugung von Panoramabildern her. Dies ist mit der Technik der Zusammensetzung und Verrechnung von Einzelbildern z.B. durch das System Quicktime VR der Firma Apple möglich geworden. Die Interaktivität solcher modernen Panoramen bezieht sich ausschließlich auf die Veränderung der Blickrichtung durch entsprechende Steuerungswerkzeuge. Es geht bei VR Panoramen allerdings nicht um die Interaktion von Betrachtern mit dargestellten Objekten. Wann immer solche Objekte genutzt werden sollen, kann dies nur durch eine virtuelle Erzeugung der Objekte durch Modelle möglich gemacht werden.

⁵⁶³ Oettermann beschreibt neben dem statischen Panorama auch die verschiedenen Formen der beweglichen Panoramen, die eine Veränderung von Landschaft durch die Zeit hinweg ermöglichen, wie z.B. das Mareorama der Weltausstellung von 1900 in Paris. S. Anm. 557, S. 140.

⁵⁶⁴ Dies hat auch Lev Manovich getan. In seinem Text führt er jedoch auch aus, daß sich VR und Panorama durch die Handlungsebene deutlich unterscheiden. Vgl. Manovich, Lev, Eine Archäologie des Computerbildschirms, in: Kunstforum International, Nr. 132, 1995/96, S. 15. Vgl. auch http://jupiter.ucsd.edu/~manovich/text/digital_nature.html

nis des Panoramas ist die Einhaltung der Blicksituation entscheidend. Das Verlassen der Position, für die das Dargestellte perspektivisch berechnet wurde, würde zu Verzerrungen führen und den Illusionscharakter zerstören.⁵⁶⁵ Auch heutige Panoramasyysteme auf dem Computer arbeiten mit ähnlichen Verzerrungsmechanismen, die durch die Berechnung am Bildschirm ausgeführt werden.

Aus der Sicht einer virtuellen Realität haben das Medium Panorama und eine VR-Umgebung weder von der optischen Seite noch von der inhaltlichen Vermittlungsebene etwas gemeinsam. Im Panorama wird ein Blick auf eine landschaftliche Situation oder ein historisches Ereignis geschaffen, in dem die Blicksituation den Betrachter in eine erhabene oder den historischen Moment antizipierende Position bewegen soll. Der Illusionismus sich bewegendes Panoramen oder der späteren Pleoramen zielte immer auf die Führung einer Gruppe von Betrachtern durch einen Darstellungsraum, dessen Naturalismus in der Malerei oder der Fotografie durch die Bewegung des Betrachters (in Booten oder auf Plattformen) oder besonderer Beleuchtungstechniken (Diorama) verstärkt werden sollte. Fern- und Nahsicht von Objekten verfolgten die Absicht, einen Überblicksraum zu schaffen, der die Täuschung vergessen machen sollte. Im späteren Abschnitt über die optischen Implikationen der VR wird nochmals auf die Differenz zu dem Massenmedium Panorama eingegangen.

Andere technische Experimente führten in Richtungen, die zum damaligen Zeitpunkt nicht weiter verfolgt wurden.⁵⁶⁶ Wichtig war das Projekt Aspen Movie Map, das von Studenten des MIT durchgeführt wurde. Die kleine Stadt Aspen in Colorado wurde mit einem Fahrzeug befahren. Alle zehn Fuß wurde in allen Blickrichtungen ein Foto gemacht. Jede mögliche Abzweigung des gesamten, etwa zwanzig Meilen messenden Straßennetzes wurde so aufgenommen und auf Bildplatten zusammengesetzt. Durch eine Steuerung konnte später das Straßennetz virtuell befahren werden und in allen Richtungen die Stadt von der Straße aus betrachtet werden. Die Herstellung einer virtuellen Umgebung durch das Aneinanderreihen von Abbildungen erinnert noch sehr deutlich an Panorama und Diorama. Hier lag jedoch auch die Grenze des Systems. Michael W. McGreevy, ein Wissenschaftler der Nasa, hielt diese Entwicklung für eine „Sackgasse“. Es lägen potentiell so viele Blickrichtungen vor, daß eine Erfassung aller nur möglichen Perspektiven selbst bei einer so kleinen Stadt wie Aspen bereits alle Dimensionen gesprengt hätte.⁵⁶⁷ Die Explosion der Möglichkeiten und vor allem

⁵⁶⁵ Oettermann hat auf die klare Ausrichtung der dargestellten Objekte und auf die geführten Blicke hingewiesen. Auf die Leinwand der Rundumbilder mußten die Zeichnungen verzerrt übertragen werden. S. Anm. 557, S. 45 ff.

⁵⁶⁶ Heute ist die Idee der Aspen Movie Map in der Entwicklung der Apple Quicktime VR Technologie erneut aufgegriffen. Die Bedingungen zur Herstellung solcher Filme sind sehr viel einfacher geworden. Dennoch ist die Menge der aufzunehmenden Bilder für eine größere Umgebung erheblich. Beispiele hierfür findet man im Internet in großer Zahl. Bekannt ist unter anderem ein virtueller Rundgang durch das Vitra Museum.

⁵⁶⁷ Although this was an exciting, historic, and valuable project, its underlying model of the environment is a collection of pictures, which leads to combinatorial explosion. This type of model is an evolutionary dead end. It can't scale up to full-sized cities, or to more general environments. Aspen's small, regular grid of streets was very convenient to capture with a collection of images, but most environments are much more complex. There are an infinite number of possible views of any environment, and an infinite number of trajectories to travel. Rather than attempting to store all possible views, or even a representative subset, it is ultimately mo-

der Kombination verschiedener Blick- und Bewegungsrichtungen zeigt auf eindrucksvolle Weise, wo der entscheidende Unterschied zwischen einer modellierten, diskreten Weltsicht und der analogen Abbildung der Welt liegt. Sobald versucht wird, die analoge Sicht unter Kontrolle zu bringen und eine Reproduktion von Bewegungsrichtung zu integrieren, ist jede noch so kleine Abbildungsaufgabe praktisch unlösbar. Die fundamentale Trennung der Wege zwischen den klassischen Abbildungsmedien Fotografie und Film und jeder Art von Computersimulation liegen auf der Ebene der Kontrolle des Blicks und der erscheinenden Elemente. Nur durch die dramatische Reduktion der Objekte in einer virtuellen Umgebung ließen sich Modelle⁵⁶⁸ schaffen, die das Prinzip der Kontrolle ermöglichten. Eine differenzierte Darstellung von Einzelobjekten kann und wird nie das Ziel einer virtuellen Realität sein. Dies würde letztlich erfordern, Atome oder zumindest Moleküle einzeln zu simulieren, um sie zu komplexeren Formen in allen ihren Variationen zusammensetzen. Kontrolle über den Blick und Steuerung von visuellen Umgebungen schließen eine große Detailtreue des Gesehenen praktisch aus. Eine weitere Erkenntnis aus dem Experiment Movie Map war die Tatsache, daß es weit ökonomischer war, eine Umgebung in ihren Grundstrukturen zu konstruieren und alle möglichen Blickrichtungen zu interpolieren, als von ihrer Abbildung auszugehen.

9.4. Vorstufen und Entwicklung der virtuellen Realität

Die technische Entwicklung der vierziger Jahre brachte ein für Ingenieure anhaltend wichtiges Thema mit sich. Wir hatten festgestellt, daß die zivile und militärische Luftfahrtindustrie in dieser Zeit eine der am stärksten wachsenden Industrien war.⁵⁶⁹ Mit der steigenden Anzahl von Flugzeugen und auch Passagieren wurde die Ausbildung von Piloten zu einer Hauptaufgabe, die zunächst nur am Boden in einem stehenden oder fahrenden Flugzeug oder schließlich in der Luft durchgeführt werden konnte. Zwar waren schon seit 1910 die ersten Versuche gemacht worden, mit Modellen am Boden einen Eindruck von der Flugsituation zu simulieren, doch ging es bei diesen Versuchen zunächst nur um die Bedienung der Steuerungssysteme.⁵⁷⁰ Die Firma Link Aviation griff auf eine Technik aus dem mechanischen Klavierbau zurück, als sie zwischen 1927 und 1929 den ersten Typ eines interaktiven Flugsimulators baute. Wo vorher ein Instruktor die Bewegungen des Modells ausführte, auf die der Flugschüler reagieren sollte, war es in den ersten Link-Trainern möglich, den Steuerknüppel und die Pedale mit einer Bewegungseinrichtung zu verbinden. Zunächst erfolgte dies über Motoren, Zahnräder und Zahnschienen, später über pneumatische Pumpen. Die

re efficient to model and store the environmental contents. Then, the particular view of the moment can be generated as needed. McGreevy, Michael W., *Personal Simulators and Planetary Exploration*, NASA Ames Research Center 1989. Vortrag auf dem Kongress ACM CHI '89 in Austin, Texas, 2. Mai 1989.

⁵⁶⁸ Die Modelle, die in der Folge und parallel zur Aspen Movie Map entwickelt wurden (VCASS, VIVID, VIEW, GROPE usw.), zeichnen sich alle durch spezifische Zwecke aus. Da enorme Summen in die Entwicklung solcher virtuellen Modelle investiert wurden, achtete man sehr auf die Fokussierung der Projekte.

⁵⁶⁹ Vgl. Tylor, W. R., Munson, K. (Hrsg.), *History of Aviation*, New York 1973.

Bewegungen, die durch die Bedienung der Steuerung in der Luft hervorgerufen werden konnten (Neigungen zur Seite, nach vorn und hinten) wurden auf die Pumpen übertragen und so das gesamte Modell in seinen Freiheitsgraden bewegt. Im Patent von 1930 heißt es „an efficient aeronautical training aid – a novel, profitable amusement device“⁵⁷¹. Es war klar, daß diese Einrichtung, die ein analoges Feedback für den Flugschüler erlaubte, auch für die Nutzung in anderen, eher unterhaltenden Zusammenhängen geeignet war. Praktisch ohne Gefährdung für den Nutzer konnte „Fliegen“ am Boden erlebt werden. Solche frühen Trainingsgeräte, die mit einer Lochbandsteuerung sogar Störungen (Luftlöcher, Seitenwinde etc.) eingespeist bekommen konnten, bildeten aber nach wie vor keine echte Alternative zum Fliegen. Vor allem die fehlende Rückkopplung zu den Instrumenten trieb die Entwicklung weiter voran. In den dreißiger Jahren wurde daher die Ansteuerung der Instrumente fokussiert, um die Orientierung anhand der Instrumente bei Nacht- oder Blindflügen zu trainieren. Ab 1930 erhielten die Simulatoren Instrumente, die durch die Bewegung der Steuerung beeinflusst werden konnten (Kompaß, Höhenmesser, Geschwindigkeitsmesser). 1937 verkaufte Link seinen ersten Flugsimulator an American Airlines und an die RAF. Mit dem Beginn des zweiten Weltkriegs mußte eine große Zahl von Piloten ausgebildet werden. Die entsprechenden Flugzeugtypen wurden einfach um Heck und Flügel beraubt in Hallen gestellt; ein Link-Trainer steuerte die Instrumente an. 1939 wurde der erste Großtrainer gebaut, der für den Piloten, den Navigator und den Schützen Platz bot. Der Navigator erhielt, wie im richtigen Flugzeug, über sich einen Ausguck. So konnte er die Sternbilder verfolgen, die auf einer beweglichen Kuppel über dem Simulator angebracht wurden. Die ganze Einrichtung wurde in einem über dreizehn Meter hohen Gebäude untergebracht. Der Schütze konnte unter sich Ziele ausmachen, der Pilot durch die Bewegungen der Steuerungseinrichtungen das gesamte Cockpit auf einer Plattform bewegen. Töne und eingespeiste Störungen taten ihr übriges, um die Situation realistisch erscheinen zu lassen. Viele hundert dieser Trainer wurden in den USA und Großbritannien installiert.

Über die Entwicklung analoger Computer zur Ansteuerung der Instrumente gelangte die Mathematik in die Simulation von Flugsituationen. Alle Bewegungen im Raum konnten als dynamische Gleichungen zunächst von analogen und später von digitalen Computern berechnet werden und in die Anzeige der Instrumente umgesetzt werden.⁵⁷² Die Mechanisierung zur Berechnung von Differentialgleichungen machen die Berechnung der Bewegung eines Körpers im freien Raum möglich. Voraussetzung für eine sinnvolle Anwendung war jedoch die Geschwindigkeit, in der die Operation zu einem Ergebnis führte. Bei der Simulation von Instrumenten im Flugzeug durfte die Reaktionszeit zwischen Ursache und Darstellung an den Instrumenten nicht langsamer sein als in der Wirklichkeit. Das Problem der Echtzeit (real time), wurde schon bei der Entwicklungsgeschichte von Whirlwind angesprochen. Die analogen Maschinen⁵⁷³ waren zwar sehr erfolgreich beim Berechnen von Feuer-

⁵⁷⁰ Moore, Kevin, A Brief History of Aircraft Flight Simulation, Internet Resource 3/1997. [Http://bleep.demon.co.uk/SimHist1.html](http://bleep.demon.co.uk/SimHist1.html)

⁵⁷¹ Zit. Nach Moore, s. Anm. 570, S. 4.

⁵⁷² Woolley, s. Anm. 548, S. 44ff.

⁵⁷³ Wie z.B. der Differential Analyzer von Vannevar Bush.

tabellen, leisteten aber nicht genug, um die komplexen Berechnungen durchzuführen, die für eine adäquate Anzeige der Instrumente während eines simulierten Fluges benötigt wurden. Alle Bewegungen der Steuerungseinrichtungen wirkten sich sofort auf die verschiedenen Anzeigen wie Höhenmesser, Kreiselkompaß, künstlicher Horizont u.v.a. aus. Dies galt erst recht für dynamische Vorgänge in der Luft, die harte Stöße gegen die Flügel, Taumeln des Rumpfes u.ä. hervorrufen konnten.

So steht die forcierte Entwicklung des digitalen Computers in den vierziger und fünfziger Jahren auch vor dem Hintergrund der in der Flugsimulation erforderlichen hohen Rechengeschwindigkeiten. Die gewünschte Feedbackeinrichtung zwischen Steuerung und Reaktionen der Maschine bzw. der Instrumente nimmt die Anforderungen an heutige VR-Installationen vorweg. Virtuelle Realität ist in erster Linie die Interaktion zwischen Mensch und Objekt in einer simulierten Umgebung und nicht die Sicht auf eine künstliche Szenerie. Wie zu Beginn der Flugsimulation ist die Szenerie auch heute schmückendes Beiwerk, um das Erlebnis zu verstärken, sich in einem Flugzeug zu befinden. Im Simulator ist nicht das Bedürfnis angesprochen, „im Bild“ zu sein, sondern zu handeln und die Konsequenzen dieses Handelns erproben zu können.

Die Entwicklung des Whirlwind Computers von einer analogen Einrichtung zur Steuerung eines Flugsimulators hin zum digitalen Rechner und zur Grundlage der Luftabwehr über Radar liegen daher weniger weit auseinander als dies zuerst erscheinen mochte. Der Berechnung der dynamischen Vorgänge im Flugzeug während des Fliegens liegen im Prinzip die gleichen Algorithmen zugrunde wie der Beobachtung des Flugzeuges von außerhalb zur Berechnung des Flugkurses. Bekannte Eigenschaften der verschiedenen Flugzeugtypen erlaubten die Berechnung dessen, was diese Maschinen an Bewegungen im Raum vollführen und mit welchen Geschwindigkeiten sie fliegen konnten.

Flugsimulatoren brachten, je weiter sie sich entwickelten, immer mehr Vorteile für die Fluggesellschaften und das Militär. Große Mengen Flugbenzin konnten eingespart werden, das Gefahrenpotential war gegenüber realen Flügen weit geringer. Darin lag auch die große ökonomische Bedeutung dieser Technologie. Dementsprechend aufwendig wurde investiert. Alle Bereiche des Fliegens wurden sukzessive in die Simulationen einbezogen. Um die umgebende Landschaft darzustellen, wurden zunächst Modelle eingesetzt, die durch Kameras in der Bewegungsrichtung überflogen werden konnten. Die so gewonnenen Bilder wurden in die Cockpitfenster projiziert. Fernsehbilder stellten die erste Immersionsstrategie in Flugsimulatoren dar und breiteten sich von dort auf andere Simulatoren für Panzer, Luftabwehr, Schiffe u.ä. aus. Das Bewegungsmoment der Plattform wurde nach der Entwicklung der digitalen Simulatoren zunächst bis in die fünfziger Jahre hinein vernachlässigt, da die entsprechenden Belastungen der Steuerungssysteme (Widerstände im Ruder oder den Pedalen) auch durch einfachere Mechanismen realisiert werden konnten. Allerdings wurde die Bewegung der Plattform später wieder mehr und mehr mit einbezogen.

Die Entwickler des ENIAC arbeiteten unter Vertrag der Navy an der Universität von Pennsylvania, um einen Flugsimulator zu realisieren, der in Echtzeit die Bewegungen des Steuerknüppels und die der Pedale in computerberechnete Anzeigen auf den Instrumenten umsetzte. Ebenfalls in den sechziger Jahren entwickelte die Firma Link erneut einen richtungweisenden Simulator (Mark I), der sich durch einen sehr realistischen Flugeindruck auszeichnete. Bewegte Fernsehbilder in den Cockpitfenstern, Fluggeräusche und eine simultan zur Steuerung funktionierende Instrumentenanzeige gaben einen frühen Eindruck von den Möglichkeiten eines spezialisierten Interfaces zwischen Mensch und Maschine.⁵⁷⁴

9.5. Der Blick in eine andere Realität

Nach dem Sputnik-Schock versuchten die Amerikaner, das Rennen um die erste bemannte Mondlandung für sich zu entscheiden. Drei Jahre vor der ersten bemannten Mondlandung landete 1966 die erste unbemannte Sonde auf dem Mond. Sie machte Fotografien, die zur Erde gesendet wurden. Um sich ein besseres Bild von den in alle Richtungen aufgenommenen Bildern zu machen und einen Raumeindruck zu erhalten, klebten die Wissenschaftler die Fotos an die Innenseite einer Kugel. In eine untere Öffnung konnte dann der Betrachter seinen Kopf hineinstecken, um sich ganz von den fotografischen Eindrücken der Sonde umgeben zu lassen.⁵⁷⁵ Auf diese Weise versuchte man, sich ein Bild von dem geplanten Landeort zu machen.⁵⁷⁶

Ebenfalls in den sechziger Jahren entwickelte die Firma General Electric im Auftrag der Nasa eine Einrichtung zur Simulation der ersten geplanten Mondlandemission.⁵⁷⁷ Es war der erste Simulator, der eine computergenerierte Umgebung produzierte. Im Film *City Scape* von 1968 wurde diese erste virtuelle Realität dokumentiert.

Ivan Sutherland, der 1962 am MIT arbeitete, kannte durch seine Arbeit die Entwicklung im Bereich der Flugsimulatoren gut. Nach seiner Promotion verließ Sutherland das MIT und arbeitete als Direktor der ARPA. Um 1966 war Sutherland Professor an der Harvard University, wo er mit ersten Experimenten zur VR begann.⁵⁷⁸ Die Firma Bell Helicopter experimentierte zuvor mit der Verbindung einer Infrarotkamera auf einem Hubschrauber und einer Verbindung zum Helm des Piloten. An diesem Helm waren zwei Röhren angebracht, die dem Betrachter durch ein Spiegelsystem ein Bild der Kamera ins Auge projizierte. Mit dieser Installation konnte der Hubschrauber die Kamera oben auf dem Cockpit steuern und so mit

⁵⁷⁴ Woolley, s. Anm. 548, S. 52.

⁵⁷⁵ McGreevy, s. Anm. 567, S. 4.

⁵⁷⁶ Einige Wissenschaftler hatten angenommen, der Mond sei durch eine 50 Fuß hohe Staubschicht bedeckt, in die die Mondlandesonde einsinken werde. McGreevy, s. Anm. 567, S. 9.

⁵⁷⁷ McGreevy, s. Anm. 567, S. 5.

⁵⁷⁸ Vgl. Simon, Joel, *Notable Twentieth Century Scientist*, Vol. 4, New York 1995, Eintrag Ivan Sutherland.

einem Infrarotblick die Landschaft auch bei tiefster Dunkelheit erkennen.⁵⁷⁹ Damit wurde deutlich, daß ein Betrachter durch die Sicht einer Kamera sein Gesichtsfeld räumlich so verlagern konnte, daß er quasi in einen anderen Raum eintrat und dort Vorgänge verfolgte. In weiteren Experimenten wurden die Kameras auf einem Hausdach angebracht und durch eine Stange mit der Kopfbewegung verbunden. Das Besondere an diesen ersten Versuchen lag in der direkten Kopplung der Kamerasteuerung mit der Kopfbewegung des Betrachters. Nur so konnte ein Eindruck davon geschaffen werden, daß der Betrachter, obwohl physisch an einem Ort, durch die Verlagerung seines Sehsinnes auch an einen anderen Ort schauen konnte. Dies war in den U-Boot-Periskopen zwar schon vorgedacht, aber die feste Verbindung zwischen Kopf und Sehinstrument fehlte. Durch die Optik veränderte sich zudem die Perspektive auf die Gegenstände, wodurch der Eindruck der Immersion eher vermieden wurde. Mit dem Kameraauge, das einen ähnlichen Blickwinkel bot wie die normale Sicht, vergaßen die Probanden schnell, daß sie nicht an dem Ort standen, den sie betrachteten. So duckten die ersten Nutzer der Installation den Kopf, wenn ein Ball auf ihr Sehfeld zusprang. Wenn sich die Kamera von einer Dachkante nach unten richtete, gerieten die Probanden regelmäßig in Panik.⁵⁸⁰

Sutherland und sein Assistent adaptierten diese Entwicklung, genannt „Remote Reality“⁵⁸¹, und entwickelten ein Programm, das die beiden Röhrenbildschirme des Monitorhelms mit einem grafischen 3D-Objekt aus dem Computer belieferte.⁵⁸² Ziel war es zu zeigen, daß die Bilder nicht notwendigerweise realistische Fernsehbilder sein mußten, sondern daß auch einfache Drahtgitter-Modelle einen Eindruck des „Eintauchens“ in eine andere Umgebung ermöglichten. Bei Drehung des Kopfes sorgt der sogenannte „kinetische Tiefeneffekt“⁵⁸³ selbst dann für ein räumliches Bild, wenn das Bild nur zweidimensional auf die Netzhaut projiziert wird. Die Bewegung ersetzt auf diese Weise die vom Gehirn angenommene Tie-

⁵⁷⁹ Sutherland, Ivan, Windows Into Alice's Wonderland. A head-mounted three dimensional display. Internet Resource: <http://www.sun.com/960710/feature/alice>

⁵⁸⁰ Eine moderne Version dieses Sehereignisses zeigt der Film „Enthüllung“ von 1996. Der Hauptdarsteller, gespielt von Michael Douglas, gerät in einer Virtual Reality Installation, genannt „der Korridor“, an eine solche Kante, unter der ein Abgrund gähnt. Im Film schwankt der Held am Rande des Abgrundes, während die Kamera die Perspektive wechselt und die schwankende Figur im normalen Raum zeigt. Selbst in den modernsten Beispielen für virtuelle Realität werden die instinktiven Verhaltensweisen, die durch bestimmte Sehsituationen ausgelöst werden, als Beweis für den Realismus der Szenerie innerhalb des virtuellen Raumes bewertet.

⁵⁸¹ Fisher, Scott S., Wenn das Interface im Virtuellen verschwindet, in: Waffenender, Manfred, Cyberspace, Hamburg 1991, S. 35 – 52, hier S. 38. Laut Fisher soll die Firma Philco 1958 die ersten Experimente mit der Trennung von Betrachterbild und Kamera durchgeführt haben.

⁵⁸² Rheingold, Howard, Virtuelle Welten, Hamburg 1992, S. 156. Rheingold gibt für die erste funktionstüchtige Installation des HMD von Sutherland das Jahr 1970 an. Sutherland selbst habe ihm dies in einem Interview bestätigt. Sutherland schreibt in seinem Aufsatz für die *Ars Electronica* jedoch, daß er schon am MIT vor 1968 mit einer ersten Vorrichtung zur Erzeugung einer virtuellen Realität gearbeitet habe. (Siehe Anm. 585, S. 135) Alle Teile, die zur Erzeugung der ersten virtuellen Realität genutzt wurden, mußte sich Sutherland zusammensuchen. Er konnte sie nur nutzen, wenn niemand anders sie gerade benötigte. Hier kam der Rechner TX-2 zum Einsatz, mit dem schon Sketchpad entwickelt worden war. Als Bildschirm diente ein Monobildschirm. Der Sensor für die Kopfbewegung funktionierte immer nur für kurze Zeitspannen, bevor die Fehlerrate bei der Nachverfolgung der Kopfposition kulminierte. Bei diesen Versuchen wurde zunächst nur ein Würfel in den Raum gezeichnet, später kamen auch andere geometrische Figuren hinzu.

fenstruktur aller ins Blickfeld kommenden Figuren. Einer der ersten VR-Gegenstände aus dem Computer war nach Angaben Sutherlands lediglich ein Drahtgitter-Raum, in dessen Türen und Fenstern die Anfangsbuchstaben für Norden, Süden, Westen und Osten eingesetzt waren.⁵⁸⁴ Das Drahtgitter zeigte alle Linien des Kubus an, so daß lediglich durch die Buchstaben der Raum in eine ganz bestimmte Perspektive gestellt wurde.⁵⁸⁵ Die zunächst einfache Tatsache, daß Linien und Flächen von Gegenständen durch vor ihnen liegende andere Gegenstände verdeckt werden, stellt die Grafikfähigkeiten des Computers vor schwer zu lösende Aufgaben. Da im zweidimensionalen Raum des Bildschirms alle Objekte auf der gleichen Ebene liegen, muß zunächst realisiert werden, daß alle Objekte eine Tiefenstaffelung aufweisen. Sutherland verzichtete auf die Berechnung von verdeckten Linien, da diese den Computer an den Rand seiner Leistungsfähigkeit brachten.⁵⁸⁶ Um die Gesamtmenge der zu berechnenden Linien möglichst gering zu halten, führte Sutherland eine weitere richtungweisende Methode ein. Das System sollte immer nur diejenigen Objekte und Linien berechnen, die auch wirklich im Blickfeld des Betrachters liegen. Alle anderen Objekte, die z.B. durch eine Drehung des Kopfes außerhalb liegen, wurden praktisch „vergessen“. Um dies zu erreichen, entwickelte sein Team einen sogenannten „clipping divider“. Wie bei einem Ausschnitt aus einem schwarzen Rahmen werden nur die Objekte gezeigt, die ganz oder teilweise innerhalb des Rahmens liegen. Das Bild der umgebenden virtuellen Realität wurde somit immer vor den Augen mitbewegt. Die ersten Objekte, die in den kleinen, rechts und links an den Schläfen angebrachten Röhren sichtbar gemacht wurden, überlagerten das Bild der Realität. Durch die halb durchlässigen Prismen, die das Bild der Röhren in den Strahlengang der Augen einblendeten, sollte eine Kombination aus Computergrafik und Realität erzeugt werden, die vielfältig einsetzbar erschien. So könnten Wege in Karten eingezeichnet oder komplizierte mechanische Geräte durch sichtbare grafische Hinweise auf bestimmte Teile transparent gemacht werden. Am Beginn der VR-Entwicklung standen Anwendungen im Vordergrund, die eine Verquickung von Realraum und Realhandlung mit Informationen aus dem Computer vorsahen.⁵⁸⁷

Sutherland leitete die gesamte Entwicklung eines, wie er es nannte „ultimate display“⁵⁸⁸ von der Frage ab, wie ein Mensch mit Gegenständen in der virtuellen Welt interagieren könne.

Sein Credo lautete:

„The ultimate display would, of course, be a room within which the computer can control the existence of matter. A chair displayed in such a room would be good enough to sit in.

⁵⁸³ Green, B. F., Figure Coherence in the Kinetic Depth Effect, *Journal of experimental Psychology*, Vol. 62, No. 3, 1963, S. 272-282.

⁵⁸⁴ Das erste Objekt war nach Sutherlands Aussagen ein Würfel, der frei im Raum schwebte. Mit einer verbesserten Ausstattung und mehr Computerleistung wurde das oben genannte Objekt mit den Himmelsrichtungen ausgestattet, um es besser im Raum zu positionieren und um die Orientierung der Person in diesem Raum zu ermöglichen.

⁵⁸⁵ Sutherland, Ivan, Eine am Kopf montierte Vorrichtung für dreidimensionale Displays, in: *Ars Electronica, Festival für Kunst, Technologie und Gesellschaft, Katalog Bd. I+II, Linz 1990, S. 123 –137, hier S. 136.*

⁵⁸⁶ Sutherland, s. Anm. 585, S.125.

⁵⁸⁷ Weibel, Peter, Virtuelle Realität, der Endo-Zugang zur Elektronik, in: Rötzer, Florian; Weibel, Peter (Hrsg.), *Cyberspace, Zum Medialen Gesamtkunstwerk*, München 1993, S. 15-46.

Handcuffs displayed in such a room would be confining, and a bullet displayed in such a room would be fatal. With appropriate programming, such a display could literally be the Wonderland into which Alice walked.⁵⁸⁹

Wenn auch die Anspielung auf die tödliche Kugel hier eher ironisch aufzufassen ist, zeigte Sutherland schon 1965 die eigentliche Zukunft der visionierten Technologie auf. Die Handlungen im Datenraum sind ebenso Handlungen wie im materiellen Raum. Die Wirklichkeit zeichnet sich für das Bewußtsein nicht durch ihre Bildlichkeit oder durch ihre Haptik aus, sondern durch unseren Umgang mit ihr. Die eigentliche Realität ist Interaktion.⁵⁹⁰ Die hohe Materialdichte in der uns umgebenden Welt ist für den Umgang mit ihr nicht entscheidend. In diesem Sinne stellt Sutherland ein neues Paradigma auf, dessen Umriss sich in der heutigen Phase des Einsatzes solcher Instrumente erst abzeichnen und lange noch nicht „greifbar“ sein werden. Noch beschäftigt sich die Geisteswissenschaft mit der alten Frage: Wie wirklich ist die Wirklichkeit und wie wirkt sich die Nutzung der Simulation auf unser Verständnis von Wirklichkeit aus? Für Sutherland stellte sich die Frage ganz anders. Mit der Vorstellung, daß ein Stuhl im Virtuellen gut genug zum Sitzen sei, wirft er auf, daß die Nutzung von Gegenständen ihre Adäquatheit aus ihrem Nutzungszusammenhang gewinnen und nicht aus ihrer physikalischen Struktur. Wenn Gegenstände dem Begriff nach eine Bedeutung, also zugewiesene Parameter, besitzen, dann ist die Fortsetzung Ihrer Existenz im virtuellen Raum lediglich eine Verschiebung ihrer Parameter.

Die Nutzung der Technologie und die weiteren Forschungen durch die Nasa und später durch die Airforce⁵⁹¹ schlossen an die zunächst intendierte Verknüpfung von Realraum mit optischen Computerelementen im Blickfeld an. Es ging nicht so sehr um den Ausschluß der umgebenden Informationen, sondern um das Hereinholen einer weiteren Ebene des Sichtbaren. Für die Flieger stellte das Koordinatensystem, mit dem ein anderes, feindliches Flugzeug ins Visier genommen werden sollte, von jeher solch eine zusätzliche Ebene dar. Mit Hilfe der VR sollte dieses System nicht nur mit einfachen mechanischen Mitteln in den Strahlengang des Auges projiziert werden, sondern gleichzeitig weitere Informationen vermitteln. Neben der vor dem Gesichtsfeld schwebenden Visiereinrichtung konnten dem Piloten optisch die Geschwindigkeit, die Zeit oder sonstige wichtige Fluginformationen angezeigt werden. Zum alles beherrschenden Ziel der VR wurde allerdings der Aspekt, der schon in den ersten Versuchen mit Fernsehkameras angeklungen war: die visuelle Präsenz in einem entfernten Raum, die Telepräsenz.⁵⁹²

⁵⁸⁸ Sutherland, Ivan, *The Ultimate Display*, Proceedings of the International Federation of Information Processing Congress, 1965, S. 506-508.

⁵⁸⁹ Sutherland, siehe Anm. 588, S. 508.

⁵⁹⁰ Krüger, Myron, „Geometry is not reality, interactivity is reality“ Zit. nach: Garassini, S, *The Ultimate High of Myron W. Krueger, Father of Artificial Reality*, in: *Tech Images/Paris-Cité*, No. 18, Oct/Nov 1991, S. 41-42.

⁵⁹¹ Sutherland arbeitete 1967 im Auftrag der ARPA (Teil des Department of Defense) und der Naval Research. Siehe Anm. 585, S. 123.

⁵⁹² Heute ist wiederum die umgekehrte Bewegung zu beobachten. Dies zeigt die später noch genauer auszuführende Hinwendung der Technologie zu den CAVE-Installationen. Hierbei

Telepräsenz erfordert den vollkommenen Ausschluß der umgebenden Sinneseindrücke, um dem Eindruck der Anwesenheit in einem anderen Raum nicht zu widersprechen. Ausschluß der Realität ist somit ein wesentlicher Grundstein zur psychologischen Identifikation mit dem Gesehenen. Durch die Einführung von LCD-Bildschirmen an Stelle der sehr viel höher auflösenden Röhrengeräte konnte die Größe der HMDs erheblich verkleinert werden. Die damit ausgestatteten Helme wurden mit der Zeit sehr viel leichter und erlaubten daher einen vereinfachten Einstieg in die virtuelle Welt. Die Nasa trieb die Entwicklung zur Erzeugung von Telepräsenz weiter voran. Innerhalb des Raumfahrtprogramms, aber auch in der militärischen Luftfahrt ergaben sich viele Anwendungsgebiete.⁵⁹³ Telepräsenz machte die Fernsteuerung von Robotern und anderen Maschinen denkbar, so daß selbst feinmotorische Operationen möglich schienen. Die „visuelle“ Anwesenheit in Räumen, die entweder zu gefährlich oder aber nicht erschließbar durch den menschlichen Körper waren, stellte eine ganze Reihe von Handlungen in Aussicht, die bisher als undurchführbar galten.⁵⁹⁴ In Zusammenarbeit mit der Firma VPL entwickelte die Nasa 1985 einen leichten Handschuh, mit dem Handpositionen und die Beugungswinkel der Finger gemessen werden konnten. Mit dem dreidimensionalen Abbild dieses Handschuhs konnte der Nutzer im virtuellen Raum Objekte greifen oder berühren. Dieser Handschuh leitete sich von einem Stab ab, der zuerst als Zeige- und Operationswerkzeug im virtuellen Raum genutzt wurde.⁵⁹⁵ Um die Handlungsmöglichkeiten zu erweitern, wurden entsprechende Steuerelemente notwendig, die die körperlichen Bewegungen in praktische Darstellungen verwandelten. Nur durch solche Feedbacksysteme konnte im Virtuellen eine Handlung visuell kontrolliert werden. Ähnlich wie bei der Entwicklung von Benutzeroberflächen stellte man fest, daß Menüs und Symbole auch im dreidimensionalen Raum geeignete Elemente sind, um Handlungen zu initiieren oder dem System Befehle zu erteilen. Entsprechend der Idee einer 3D-Umgebung konnte man das erste Menü ausrollen wie eine Wandkarte. Es stellte sich seitlich neben, oder direkt vor das Sichtfeld. Durch das Drücken einer Taste ließen sich die Befehle auf der Wandkarte ändern, so daß eine ganze Reihe von Befehlskombinationen mit nur einem Menüsystem realisiert wurde.⁵⁹⁶ Die geforderte Interaktion setzte fast immer eine Umgebung voraus, die für den in die virtuelle Welt eintretenden Benutzer leicht zu vergegenwärtigen war. Im Gegensatz zur Fiktion, in der Räume geschaffen wurden, in denen sich die Nutzer verloren fühlten oder in denen sich die Grenzen zwischen Realität und Fiktion so vermischten, daß eine Unterscheidung nicht möglich war⁵⁹⁷, ging es in den praktischen Anwendungen vor

bietet wiederum das Blickfeld eine Mischung aus virtueller und Realwelt, wodurch ein produktiver Umgang mit der Computer basierten 3D-Animation ermöglicht wird.

⁵⁹³ Furness, T.; Kocian, D.F., Putting Humans Into Virtual Space. (R-86-1) Seattle: HIT Lab. 1986. <http://www.washington.edu/publications/r-86-1>

⁵⁹⁴ Fisher, s. Anm. 581, S. 44.

⁵⁹⁵ Vickers, Daniel L., Sorcerer's Apprentice: Head Mounted Display and Wand, unveröffentlichte Dissertation, University of Utah, 1971.

⁵⁹⁶ Rheingold, s. Anm. 582, S. 163. Rheingold sieht in dieser Wandkarte einen Vorläufer der später genutzten Pulldownmenüs grafischer Benutzeroberflächen. Die Idee von Menüs ist aber wohl schon früher in Programmen realisiert worden.

⁵⁹⁷ Ein besonderes Beispiel für den fiktionalen Umgang mit den elektronischen Medien ist dabei James Galoways „Simulacron III“. In diesem Roman entdeckt ein Wissenschaftler, daß er als Forscher an einem Computersimulator zur Erzeugung künstlicher Wirklichkeiten, selbst eine Simulation aus eben einem solchen Simulator ist. Das Buch wurde 1972 von Rainer Werner Fassbinder verfilmt („Welt am Draht“). Simulacron III bezieht sich in keiner Weise auf die

allem darum, Orientierung herzustellen. Sutherland hatte hier schon vorausgedacht, indem er die Wände seines Raumes mit den Himmelsrichtungen ausstattete. In den folgenden künstlichen Räumen wurde durch besondere Kennzeichnung der Flächen vermittelt, ob es sich um Wand-, Boden- oder Deckenflächen handelte. Aufgrund der einfach herzustellenden und schnell zu bewegenden Grafik rechtwinkliger Körper, bot sich die Darstellung von Räumen an. Gleichzeitig konnten in Räumen leichter Handlungen ausgeführt werden, weil der Sinnesapparat durch die räumlichen Begrenzungen ein Bezugssystem erhielt. Alle Anwendungen zeichneten sich dadurch aus, daß nur diejenigen Elemente ausgearbeitet wurden, die für die Durchführung der Aufgabe unbedingt notwendig erschienen.⁵⁹⁸ Diese Eigenschaft teilt die VR mit allen Bildschirmentwicklungen am Computer. Nur ein erhebliches Maß an Überfluß von Rechenkapazitäten kann einen neuen Entwicklungsschub visueller Komponenten antreiben.

Alle weiteren technischen Entwicklungen der VR richteten sich nach den jeweils erreichten Leistungen der Computersysteme. Trotz der zunächst schwachen Systemen erkannte man die Potentiale der Technologie sehr schnell. So hatte z.B. das in den achtziger Jahren entwickelte Gropo-System⁵⁹⁹ seinen Startpunkt in der ersten Vorführung von Sutherlands System, bei dem ein Zyklhexan gezeigt wurde.⁶⁰⁰ Gropo ist heute eines der ausgereiftesten Systeme überhaupt. Mit seiner Hilfe werden neueste Molekülverbindungen auf ihre Funktionalität hin komplett in der virtuellen Realität getestet. Durch ein ausgeklügeltes Feedbacksystem ist die Manipulation von Molekülen mit dem Systemarm von den Anziehungs- und Abstoßungskräften der Atome gekennzeichnet, die durch Berechnungen von den einzelnen Atomen angenommen werden. Während der Wissenschaftler also im virtuellen Raum große 3D-Moleküle herumschiebt und dabei optisch die besten Anschlußstellen wahrnimmt, spürt er durch die Steuerung hindurch die Kräfte, die bei der Verbindung aufgebracht werden müssen. Hieraus lassen sich mit Hilfe von Computerauswertungen weitreichende Schlüsse ziehen. Diese führen letztlich dazu, daß sich die Zusammenstellung der Elementen zur Erzeugung neuer Werkstoffe solange in der VR erproben läßt, bis die einzelnen Möglichkeiten auf ein menschliches Maß zusammengeschrumpft sind.

technische Umsetzung des Beschriebenen. Dies ist für das Gedankenexperiment über die Wahrheit der eigenen Existenz auch relativ belanglos. Interessant in der filmischen Umsetzung ist die Darstellung der Simulation durch das plötzliche Verschwinden von Personen, Gegenständen oder ganzer Landschaften. In einer totalen Simulation kann nur ein solches Verschwinden gegen die „Gesetze“ der „Realität“ ein Hinweis auf ihre Künstlichkeit sein.

⁵⁹⁸ Rheingold hat darauf hingewiesen, daß CAD-Systeme lange Zeit wenig interaktiv gestaltet waren. Dies lag sicher an den hohen Anforderungen, die eine grafische Benutzeroberfläche an ein System stellte. Erst mit der enormen Leistungssteigerung der Systeme durch integrierte Schaltkreise wurde es möglich, der Benutzeroberfläche eine ähnliche Bedeutung einzuräumen wie der Durchführung der eigentlichen Aufgabe. Dies konnte auch mit sehr viel einfacheren Steuerungsmechanismen erreicht werden, für deren Handhabung der Nutzer lediglich Übung benötigte. Rheingold, s. Anm. 582, S. 166.

⁵⁹⁹ Mazuryk, Tomasz; Gervautz, Michael, *Virtual Reality History, Applications, Technology and Future*, Institute of Computer Graphics, Vienna University of Technology, <http://www.cg.tuwien.ac.at>, S. 47.

⁶⁰⁰ Rheingold, s. Anm. 582, S. 161.

Ein weiterer Entwicklungsschritt begann schon 1966 an der Luftwaffenbasis Wright Patterson in Ohio.⁶⁰¹ Dort entwickelte Thomas Furness ein System, in dem angehende Luftwaffenpiloten virtuell an den neuesten Düsenjägern trainiert werden sollten.⁶⁰² Mit Hilfe von Faseroptiken und speziell hierfür angefertigten hochauflösenden Bildröhren blendete VCASS⁶⁰³ alle Information, die der Pilot während des Fluges benötigte, zusammen mit einer kompletten Landschaft in seinen Helm ein. Erst 1981 entwickelte sich aus diesen Experimenten ein vorzeigbares Ergebnis.⁶⁰⁴ Der schon erwähnte McGreevy, damals Student am Labor für physiologische Optik in Berkeley, arbeitete an einer Doktorarbeit zum Thema kognitive Technik. In Zusammenarbeit mit der Nasa sollte erforscht werden, wie sich immersive Displays für virtuelle Explorationen im Rahmen der Raumfahrtentwicklung nutzen ließen. VCASS war ein bereits sehr fortschrittliches System, bei dem Geld keine Rolle gespielt hatte. Die speziellen Optiken⁶⁰⁵ und der Head Tracker⁶⁰⁶ waren das Optimum des damals Machbaren. McGreevy, der sich für die technische Entwicklung interessierte, aber nicht die finanziellen Mittel aufbringen konnte, um die Technologie des VCASS Systems zu adaptieren,⁶⁰⁷ suchte nach Alternativen, die deutlich günstiger waren, aber ebenso kompakt in einen Helm eingebaut werden konnten. Die bereits entwickelten Flüssigquarzdisplays, die in kleine transportable Fernsehgeräte eingebaut wurden, eigneten sich hervorragend, um über eine spezielle Optik ein breites Sehfeld zu ermöglichen. Das System, genannt VIVID⁶⁰⁸, war nach wenigen Monaten fertiggestellt und lieferte den ersten Beweis, daß VR Systeme finanziell auch so machbar sein konnten, daß eine breitere Nutzung erschwinglich würde. Die Auflösung der Monitore verbesserte sich zwar im Laufe der Jahre, doch blieb sie gegenüber dem VCASS System weit zurück (100x100 Pixel). Der breitere Sehwinkel von 120 Grad und eine Augenüberlappung von 90 Grad⁶⁰⁹ machten die Darstellung für die Nutzer jedoch weit realistischer. Vor allem das periphere Sehen trägt dazu entscheidend bei.

Wichtig für die Erkenntnisse der Wissenschaftler war das 1950 erschienene Buch „Die Wahrnehmung der visuellen Welt“ von James J. Gibson.⁶¹⁰ In diesem Buch wurde Wahrnehmung als ein in-der-Welt-Sein definiert, das weit mehr bedeutet als die bloße Abbildung der äußeren Umgebung durch den visuellen Apparat. Alle Sinne, der Sehsinn ebenso wie die Wahrnehmung von Schwerkraft und Beschleunigung, seien als Stimuli aufzufassen, die den Menschen als seine „Natur“ umgeben. Nur unter diesen Bedingungen könne von Wahrnehmung gesprochen werden. Dementsprechend sollten diejenigen Stimuli, die auch in der Realität zu bestimmten Eindrücken führen, auch unter künstlichen Bedingungen solche Eindrücke produzieren können. Dabei wirken die weniger bewußt verarbeiteten Sinnesein-

⁶⁰¹ Rheingold, s. Anm. 582, S. 207.

⁶⁰² Oliveri, F., Virtual Warriors, Air Force Magazine, Jan. 1994, S. 30-34.

⁶⁰³ Visually Coupled Airborne Systems Simulator, McGreevy, s. Anm. 568, S. 6.

⁶⁰⁴ Aus dem Experiment VCASS ging 1981 die Idee des „Virtual Cockpit“ hervor.

⁶⁰⁵ Dabei handelte es sich um die 1979 durch Howlett entwickelten LEEP (Large Expanse Enhanced Perspective) Optiken. Vgl. Vince, John, Virtual Reality Systems, Addison Wesley 1995, Kapitel 2. Siehe auch <http://www.vrs.org.uk/VR/reference/history.html>.

⁶⁰⁶ Raab beschreibt 1979 das Polehmus Head-Tracking-System. Vgl. Vince, Anm. 605.

⁶⁰⁷ Das Budget von McGreevy belief sich auf 10.000 \$, während das optische System von VCASS fast 1 Million \$ gekostet hatte. McGreevy, s. Anm. 568, S. 7.

⁶⁰⁸ Virtual Visual Environment Display.

⁶⁰⁹ Das VCASS System hatte lediglich ein Sehfeld von 60 Grad mit einer maximalen Überlappung von 25 Grad. McGreevy, siehe Anm. 568, S. 7.

drücke realitätsbildender als die bewusst wahrgenommenen. Mit der Entwicklung der VR-Technologie entdeckten die Wissenschaftler einen aus ihrer Sicht wesentlicheren Zugang zur Realität, als dies durch die bloße Abbildung der Welt herzustellen wäre. Die Verdrängung der abbildenden Techniken als Repräsentanten einer Wirklichkeit der Wahrnehmung durch die computergestützte Berechnung und Rekonstruktion von Weltmodellen begründete sich auf diese ersten Erfahrungen in virtuellen Realitäten. Wirklicher als die Wirklichkeit sind nicht etwa exakte Bilder im Sinne einer analogen Wiedergabe, sondern ist der emotionale Umgang mit Materie. Deren visuelle Komponente bedeutet lediglich eine zweidimensionale Abbildung auf der Netzhaut.

Als Konsequenz stellte man fest: Der am leichtesten zu täuschende Sinn ist der Augensinn. Er wird vom Gehirn in der Ausführung seiner Aufgabe unterstützt, indem die meisten fehlenden Informationen vom Gehirn ersetzt werden. Das Bewußtsein wird durch mangelnde visuelle Informationen in der Erkenntnis seiner Umgebung am wenigsten gestört.⁶¹¹ Alle anderen Sinne benötigen wesentlich eindeutiger Stimuli, die auch kaum durch das Gehirn übernommen werden können. In der vorerst letzten Stufe der computertechnischen Bilderzeugung deutet sich wiederum der Sieg der Materie über das Immaterielle an. Die Trennung des Bewußtseins vom Körper, Descartes' Unterscheidung von *res cogitans* und *res extensa*, ist unter den Bedingungen der virtuellen Realität nicht mehr zu halten. In der Experimentierphase, in der der Körper als Ganzes in den Prüfstand der „Realitätsempfindung“ gestellt wird, kristallisiert sich der ganze Körper als Empfänger von Realität heraus und keinesfalls nur das Bewußtsein mit seinem Königssinn, dem Sehen. In der Entwicklung von Interaktion spielte die Schaffung von Interaktionsräumen daher eine wesentliche Rolle. Die Verortung von Handlung ist eine der Grundvoraussetzungen für eine Orientierung des Denkens. Denken ist räumliche Ordnung.

9.6. Interaktion als Raumordnung

Bei den ersten VR-Systemen konnte der Betrachter durch alle Gegenstände hindurchsehen. Sobald technisch möglich, wurde mit Texturen gearbeitet, um die Flächen solide erscheinen zu lassen. Allerdings konnten noch alle Körper durchdrungen werden. Mit einer einzigen Bewegung befand man sich außerhalb eines Raumes, da die Wände als optische Barrieren keine wirklichen Grenzen darstellten. So war es schwierig, sich in solchen Räumen zu bewegen und zu orientieren. Durch die relative Trägheit des Systems fanden sich die Probanden leicht außerhalb der nutzbaren Umgebung wieder. Um sie herum herrschte dann das vollkommene Nichts, da alle Räume nur in ihren Innenstrukturen ausgebildet waren und keine Umgebung hatten. Daher wurde schnellstmöglich daran gearbeitet, neben visuellen Strukturen auch Algorithmen einzuführen, die ein Erleben physischer Raumgrenzen möglich

⁶¹⁰ Vgl. Gibson, James J., *The Perception of the Visual World*, Boston 1950.

⁶¹¹ Vgl. Damasio, Antonio R., *Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn*, München 1997, S. 152ff.

machten.⁶¹² Das Stoßen an Raumgrenzen wurde zu einer Herausforderung für die Programmierung, da die Koordinaten der Bewegung, gemessen durch den Trackingsensor, sehr viel genauer mit den Raumgrenzen zur Deckung gebracht werden mußten. Man erkannte, daß die Wirklichkeitserfahrung zwar stark an den Sehsinn, die Interaktionserfahrung jedoch direkter an den Tastsinn gebunden ist. Eine Schwäche der VR-Installationen war die mangelnde Rückkopplung zwischen den Bewegungen und den Berührungen virtueller Gegenstände. Als „berührende“ Instanz wurde der erste „Cyberspace“ Handschuh in Zusammenarbeit von VPL und der Nasa entwickelt.⁶¹³ Dieser Handschuh hatte zunächst keine Feedbackkontrolle im Sinne einer Tastempfindung. Bereits bei den frühen Flugsimulatoren war durch Druck auf den Steuerknüppel ein Druck auf die Seiten- und Höhenruder simuliert worden. Mit sogenannten Exoskeletonen versehene Handschuhe ermöglichten eine sehr feine Abtastung der Beugungswinkel der Hand.⁶¹⁴ Auf dieser Basis wurden auch Entwicklungen vorangetrieben, die eine umgekehrte Krafrichtung ermöglichten. Kleine Motoren oder hydraulische Systeme bewirkten, daß in dem Moment des „Ergreifens“ eines Objektes in der virtuellen Welt ein entsprechender Widerstand an den Fingerkuppen oder an der ganzen Hand erzeugt wurde. Durch die vollkommene Immersion kann der Benutzer die Vorrichtung nicht wahrnehmen und bringt den Gegendruck mit dem gesehenen Objekt in Verbindung. Innerhalb der Räume konnten Gegenstände angefaßt werden, die spezifisch auf die Berührung reagieren sollten. In der „Weltbeschreibung“ wurden solche Reaktionen vordefiniert, wie auch bei den bereits erläuterten Benutzeroberflächen. Ein Raum war damit nicht nur architektonisch im Sinne einer Perspektive und der Raumelemente bestimmt, sondern auch durch die in ihm enthaltenen Objekte, denen man begegnen oder mit denen man interagieren konnte. Virtuelle Realität ist eine Fortsetzung der Benutzeroberfläche im dreidimensionalen Raum. Sutherlands Konzept des „Ultimate Display“ visionierte die Erweiterung der Objekt-Eigenschaften. Die Objekte sollten nicht mehr nur auf bestimmte Befehle reagieren wie bei Sketchpad, sondern physische Kerngrößen einprogrammiert erhalten wie „Gewicht“ oder „Widerstand“, die sie im Virtuellen der Kraft des Menschen entgegensetzen könnten. Wiederum ging es nicht um die Reproduktion von Wirklichkeit. Die dem Objekt durch Gewichts- oder Material-Simulationen zugewiesenen, zusätzlichen Eigenschaften dienten dazu, besser und schneller mit ihm interagieren zu können. Für den Designprozeß, über den Sutherland nachdachte, war es von enormen Vorteil, wenn den Stoffen und Gegenständen ihre Eigenschaften nicht als separate Informationen geliefert wurden, sondern sie diese im physischen Sinne „an sich“ hätten.⁶¹⁵ In diesem „Wunderland“ könnte der Designer mit den virtuellen Gegenständen „real“ operieren. Operieren heißt: Die Gegenstände bearbeiten, ohne ihre Form in einer materiellen Welt festzulegen, bevor alle Parameter dieser Festlegung vollkommen durchgespielt wurden. Die hierin liegenden Erwartungen stoßen jedoch bis

⁶¹² Vgl. Schröder, Peter, Wir bauen eine Maschine, die stolz auf uns sein wird, in: Waffender, s. Anm. 581, S. 128.

⁶¹³ Rheingold weist auf die Verträge zwischen VPL und der Nasa hin, die 1985 abgeschlossen wurden. Der Datenhandschuh selbst ist von Jaron Lanier entwickelt worden. Rheingold, s. Anm. 582, S. 212.

⁶¹⁴ Mazuryk; Gervautz, s. Anm. 599.

⁶¹⁵ Woolley, s. Anm. 572, S. 55.

heute auf große technische Probleme.⁶¹⁶ Eine Welt zu kreieren, in der sich Gedanken in Realität verwandeln und nicht etwa Realität in Gedanken, ist nach wie vor die Motivation einer intensiven „Immersionforschung“.

Wenn auch Sutherland nicht als der Erfinder der virtuellen Realität gelten kann⁶¹⁷, so hat er doch das Konzept der Interaktion im virtuellen Raum besonders deutlich formuliert. Etwa zur gleichen Zeit haben sich, wie Söke Dinkla ausführt, viele Künstler mit der Frage von Interaktion im Raum eingehend beschäftigt. Es ist klar, daß die Leitlinien dieser Entwicklungen eng zusammengehören. Ebenso deutlich muß aber auch die Trennungslinie zwischen Sutherlands perspektivischer Nutzung des virtuellen Raumes als praktische Handlungsumgebung und der künstlerischen Idee von der Integration des Betrachters ins Kunstwerk gezogen werden.

9.7. Ergebnisse der Entwicklung

Virtuelle Realität hat sich vor allem in den Bereichen durchgesetzt, in denen der Mensch Versuche durchführen möchte. Alle diese Versuche stehen entweder in enger Verbindung zur Ökonomie oder zum Schutz von Leib und Leben. Neben den praktischen Anwendungen folgen in einigem technologischen Abstand virtuelle Umgebungen, die lediglich Spiele ermöglichen.⁶¹⁸ Gemessen am Aufwand für reale Handlungen ist die Entwicklung und der Einsatz von Simulationen ein reines Rechenexempel. In der realen Welt wird eine bestimmte Menge an Rohstoffen zu einem bestimmten Preis verbraucht. Eine Konstruktion im virtuellen Raum lohnt sich von dem Moment an, in dem die Kosten für die Realhandlung die Kosten der Simulation übersteigen. Dies gilt vor allem für VR-Anwendungen in der Medizin. Auch der Körper kann dahingehend in Werte ausdifferenziert werden, daß eine Operation dann sinnvollerweise zunächst simuliert wird, wenn der Operateur sich seines Erfolges bei der Operation im Vorwege versichern will.⁶¹⁹ Die Medizin wurde schon früh einer der größten Investoren in die VR-Technologie. Da das Innere des Menschen ebenso wie Räume am besten in einer 3D-Welt erschlossen werden kann, erkannten Ärzte schon 1971 die enormen Potentiale von VR-Installationen für die Chirurgie. Alle Abbildungen vom Inneren des Men-

⁶¹⁶ F. Brooks Jr.: Realizing Virtual Worlds. EUROGRAPHICS'95, Vortrag 1995, Zit. nach: Mazuryk, u.a. Siehe Anm. 614, S. 2.

⁶¹⁷ Zu viele parallele Entwicklungen, die hier nicht weiter erörtert werden, stehen neben der Entwicklung des head mounted displays von Sutherland. Hierzu gehören das Sensorama von Morton Heiliger (1962) oder die genannten Versuche der Firma Philco und Bell Helicopters (1958). Zu Heiligers Sensorama vgl. Dinkla, Söke, Vom Zuschauer zum Benutzer, Dissertation Hamburg 1995, S. 53.

⁶¹⁸ Das Spiel "Dactylus Nightmare" war eines der ersten verfügbaren Spiele für die virtuelle Realität und wurde von der englischen Firma I Vision zusammen mit den ersten VR Geräten an Spielhallen ausgeliefert. Diese Cybercafés wurden Anfang der neunziger Jahre in großer Zahl eröffnet und ermöglichten Spielern den Zugang zu der noch sehr teuren Technologie. Da diese Cyberspace-Geräte heute kaum noch interessieren, liegt auch an dem enorm schnellen Leistungsverfall der Geräte. Heute können Personalcomputer oft schon mehr als die großen Geräte in den Spielsalons.

⁶¹⁹ Rheingold, s. Anm. 582, S. 165.

schen waren bis dato mehr oder weniger zweidimensional⁶²⁰ gewesen. Erst durch 3D-Simulationen konnte die Lage des zu operierenden Teils innerhalb der umgebenden Gewebe so veranschaulicht werden, daß der Chirurg den späteren Eingriff „üben“ konnte.⁶²¹ Daneben interessierte sich auch die Raumfahrt für ein Experimentierfeld, bei dem die Kosten in einem überschaubaren Rahmen bleiben konnten.

Cyberspace als überschätztes Dogma

Die Entwicklung der VR-Technologie hat sich in den letzten Jahren deutlich gewandelt. Das Eingeschlossensein innerhalb einer eigenen visuellen Welt zeigte sich in vielerlei Hinsicht als ein Nachteil. Die Einengung der Bewegungsfreiheit und auch die mögliche Desorientierung als Folge der totalen Entkopplung des Bildes von den Gleichgewichtsorganen führte oftmals zu starker Übelkeit. Die Zusammenführung von mehreren Personen in eine VR-Welt, die 1989 von VPL auf der Siggraph vorgestellt wurde⁶²², war mit so hohem technischen Aufwand verbunden, daß zwar die Vision deutlich wurde, die Kosten solche Anwendungen aber in weite Ferne rückten. Selbst Jaron Lanier, der Guru⁶²³ der virtuellen Realität, stellte fest, daß die heftige Reaktion der Medien in der Öffentlichkeit Erwartungen hervorgerufen hatte, die nicht erfüllt werden konnten. Vince schrieb 1995 in seinem Schlußwort, daß die VR am Beginn ihrer Entwicklung stünde und wir erst im nächsten Jahrhundert mit einer ausgereiften Technologie rechnen dürften. Die großen Probleme, vor die Entwickler gestellt werden, sobald sie versuchen, komplexe Zusammenhänge zu simulieren, werden von Vince eingehend thematisiert.⁶²⁴ Sobald nur ein Element der Wirklichkeit betrachtet wird, erweist es sich als tendenziell unbegrenzt und kontinuierlich. Jedes einzelne Objekt der realen Welt hat so viele Eigenschaften, daß die Reproduktion selbst eines Elementes zu einer unendlichen Rechenarbeit eines Computers führen kann.⁶²⁵ Alle Systeme beruhen daher auf dem

⁶²⁰ Erst mit dem Auftreten der Computer entwickelte sich die Erweiterung der bereits seit 1930 bekannten Technologie der Tomographie. Durch Computerberechnungen konnten seit 1972/73 aus den Bildern der Tomographie dreidimensionale Körper zusammengesetzt werden, die sich dann am Computerbildschirm betrachten lassen. (Computertomographie). Vgl. Propyläen Technikgeschichte, Band 5, Braunschweig 1992, S. 505ff.

⁶²¹ Mit der Entwicklung der Kernspintomographie, die ein hervorragendes Bild auch von weichen Gewebeteilen ermöglicht, ist diese Anwendung zunächst ins Hintertreffen geraten. Dies liegt auch darin begründet, daß sich abstrakte Abbildungen noch stark von dem individuellen Menschen unterscheiden, und daß die Computersimulation mehr in den Bereich des Studiums verwiesen worden ist. Für die Vorbereitung zu einer echten Operation bieten Kernspinaufnahmen eine weit bessere Grundlage. Allerdings ist heute die Kombination virtueller Realität mit der Verrechnung von Kernspinaufnahmen in einem bemerkenswerten Entwicklungsstadium.

⁶²² Woolley, s. Anm. 548, S. 32.

⁶²³ Pollock, Andrew, What is Artificial Reality? Wear a Computer and See, New York Times 10. April 1989, S.1.

⁶²⁴ Vgl. Vince, John, Virtual Reality Systems, Cambridge 1995, S. 166 ff.

⁶²⁵ Abbildung in der Simulation ist nicht die bloße Abbildung von Objekten der wirklichen Welt. Vielmehr sind schon bei der Darstellung einfachster Objekte und Vorgänge die Eigenschaften der Objekte und ihr Verhalten unter spezifischen Bedingungen zu simulieren. Vince beschreibt das einfache Beispiel eines zu Boden fallenden Objektes. Neben dem reinen Vorgang des Fallens muß in einer der Realität nahe kommenden Simulation das Objekt mit „Masse“ ausgestattet werden. Selbst die Eigenschaft von Objekten, sich im freien Fall zu drehen oder die Art, wie sie am Boden aufschlagen und unter Umständen in tausend Teile zerspringen, öffnen einen Blick auf die Tatsache, daß Realität ein unendlich komplexer Vorgang ist. Vgl. Vince, s. Anm. 624, S. 174.

Verhältnis von wiedergegebenen Details zu den nicht wiedergegebenen Details von 1 bis unendlich. In jeder Simulation bleiben unendlich viele Eigenschaften eines Elementes nicht dargestellt.

Als Reaktion auf die begrenzten Darstellungsmöglichkeiten der klassischen VR-Installation entwickelten die Amerikaner Thomas DeFanti und Dan Sandin 1991 das CAVE-Environment.⁶²⁶ Ein mit stereoskopischer Rückprojektion ausgestatteter Raum wird durch eine 3D-Brille⁶²⁷ betrachtet. Die projizierten Bilder erscheinen als 3D-Umgebung. Mehrere Personen können sich in diesem Raum aufhalten und gemeinsam Objekte betrachten, die einerseits reine Projektionen oder Kombinationen aus virtuellen und realen Objekten sein können. Eine ganze Reihe von Vorteilen gegenüber der totalen Immersion wurden schon zu Beginn dieser Entwicklung ausgemacht. Der Einschluß in eine visuelle Welt und der Ausschluß der tatsächlichen scheiterte meist daran, daß der Rest der Sinne, z.B. des Bewegungsapparates, nach wie vor mit den physischen Begrenzungen des Raumes kollidieren konnte.⁶²⁸ In der entwickeltsten heute verfügbaren Form der VR kehrte sich die Entwicklung erneut zu Sutherlands Überlagerung der Welt mit dreidimensionalen Formen um. Zur Förderung der Interaktion sollten andere Menschen durch die bewährten Kommunikationskanäle miteinander an Objekten arbeiten können.

Wirklichkeit ist nicht abbildbar

Am Ende unserer Geschichte der Simulation und der Bildgenerierung am Computer steht vor allem eine Erkenntnis: Die Wirklichkeit darzustellen, ist keine Aufgabe, die ernsthaft verfolgt werden kann. Wirklichkeit kann nicht 1:1 wiedergegeben werden, da die Objekte der Wirklichkeit über Eigenschaften verfügen die wir a) zum großen Teil möglicherweise gar nicht kennen und b) deren Beschreibung in einer formalen Sprache so viele Schritte erfordern würde, daß ein System sie nicht in endlicher Zeit abarbeiten könnte. Statt dessen etabliert sich in der praktischen Nutzung der Computergrafik und der Visualisierung das Dogma der Interaktion. Es genügt für den Betrachter vollkommen, ein Objekt mit einem begrenzten Set an Eigenschaften zu definieren, um so sein Verhalten in der Interaktion

Wenn ein System unendlich rechnet, dann ist auch das Halteproblem Turings angesprochen. Dementsprechend ergibt sich, daß ein Problem mit einem unendlichen Detaillierungsgrad nicht formalisiert werden kann.

⁶²⁶ Vgl. <http://evlweb.eecs.uic.edu/EVL/SHOWCASE/cave/vrpaper/enviroment.html>. Eine CAVE-Umgebung enthält mindestens drei Projektionsflächen (Rückwand, rechte Wand und linke Wand), auf die mit Hilfe hochauflösender Projektoren Bilder geworfen werden. Die Darstellung wird durch die Nutzung von Polarisationsfiltern in einfachen Brillen und einer versetzten Projektion von zwei überlagerten stereoskopischen Bildern dreidimensional erfahrbar gemacht. Die Brille des Betrachters ist mit einem Signalgeber ausgestattet, durch den die Kopfposition berechnet werden kann. Ausgestattet mit einem Datenhandschuh oder einer kleinen 3D-Maus kann der Benutzer das virtuelle Umfeld steuern. Durch die Einbindung in einen Raum läßt sich ein erheblich größeres Blickfeld erzeugen, als dies bei der Nutzung von LCD-Displays oder CRTs möglich ist.

⁶²⁷ Die Brillen für CAVE-Installationen bestehen aus zwei - durch einen schnellen Flüssigquarzsutter abwechselnd verdunkelnden - Brillengläsern. Bei den Brillen kann man im Gegensatz zu Flüssigquarzdisplays auch alle anderen Objekte im Raum sehen. Im Gegensatz zum HMD sind sie sehr leicht und benötigen keine Kabel.

vollkommen beschreiben zu können. Die sich steigernde Detaillierung des Objektes spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Im Prinzip ist sie das Ergebnis einer sich immer weiter steigenden Hardware-Kapazität aufgrund eines andauernden Preisverfalls elektronischer Bauteile durch Massenherstellung. In der Regel müssen solche Kapazitätssteigerungen auch erst in jahrelanger Entwicklungsarbeit durch neue Betriebssysteme, Compiler und Entwicklungsumgebungen ausgefüllt werden, bevor sie praktisch genutzt werden können.⁶²⁹

Dies ändert jedoch nichts an der Tatsache, daß die Simulation von Ereignissen die Möglichkeit eröffnet, sich mit höherer Wahrscheinlichkeit eines Gelingens an die wirkliche Handlung heranzutasten.⁶³⁰ Von der Frage nach der Realitätsabbildung ist nach unserem geschichtlichen Durchgang nichts übriggeblieben außer der Frage nach den minimalen Elementen zur Akzeptanz einer definierten Realität. Dies ist ein Ergebnis der schrittweisen Reduktion von Wirklichkeit auf die Definition von Wirklichkeit. Eine als kontinuierlich und unendlich detailliert definierte Wirklichkeit widersetzt sich der Kontrolle des Betrachter. Mit ihr kann nur interagiert werden, wenn sie in ihrer Informationsfülle reduziert wird. Das Maß dieser Reduktion ist abhängig von dem darzustellenden Problem. Kann ein Problem innerhalb einer virtuellen Realität nicht dargestellt werden, dann liegt dies nicht an der mangelnden Wirklichkeitsnähe der Darstellung, sondern an der inadäquaten Problembeschreibung bzw. der Unmöglichkeit, die Informationsmenge zu reduzieren. Werden mehr Informationen benötigt, um eine Situation „wirklich“ erscheinen zu lassen, d.h. dem menschlichen Empfindungsvermögen gemäßer, dann erfordert dies nicht unbedingt die Verbesserung der optischen Qualitäten. Statt dessen wird die darzustellende „Wirklichkeit“ eingegrenzt auf die, für die darin auszuführenden Handlungen notwendigen, Sinnesreize. Sind die Handlungen zu vielschichtig, versagen die Instrumente zur Erzeugung einer virtuellen Realität sehr schnell. Daher ist es auch mit einer direkten Reizung der die Sinneseindrücke verarbeitenden Zentren im Gehirn allein nicht getan. Mögen sie auch die entsprechenden Gefühle erzeugen, so erlauben sie noch keine Handlung, die ja letztlich das Ziel der computergestützten VR ist. Ohne Interaktion mit ihnen wären die eingespeisten Gefühle lediglich künstlich hergestellte Träume.

9.8. Von der virtuellen Realität zum Cyberspace

Der immer wieder verwendete Ausdruck Cyberspace⁶³¹ wird heute nicht mehr nur für die virtuelle Realität verwendet, sondern mehr im Sinne eines gesamten elektronischen Daten-

⁶²⁸ Der Effekt war im allgemeinen, daß die Probanden entweder über die Kabel stolperten, sich in ihnen verhedderten oder schlicht gegen Wände liefen.

⁶²⁹ Vgl. die Aufsätze im Sammelband: Leebaert, Derek (Hrsg.), *The Future of Software*, Cambridge 1995. Hier besonders: Gazis, Denos C., *The Evolving Resource*, S. 29–44.

⁶³⁰ So geschehen bei der Simulation der Reparatur des Hubble Weltraumteleskops im Jahr 1993, durchgeführt durch die NASA. Es gibt bereits unzählige Beispiele dafür, wie Simulationen zu einer sichereren Handhabung von Aufgaben in der Realität geführt haben. Es ist aber nicht nachweisbar, daß die Aufgabe ohne die Computer-Simulation nicht hätte gelöst werden können.

⁶³¹ Der Ausdruck wird auf den Roman „*Neuromancer*“ von William Gibson zurückgeführt. In dieser Geschichte handelt es sich jedoch um einen direkten Anschluß des Gehirns an die Da-

raumes genutzt. Damit ist auch die Datenwelt des Internet gemeint, die sich im Gegensatz zur VR nicht um realistische Sinneseindrücke bemüht. An die Stelle eines Handlungsraumes ist zunächst nur ein Informationsraum getreten. Daß dieser in Wirklichkeit doch eher eine Vorform der virtuellen Realität sein soll, mag zunächst nicht überzeugen. Bei näherer Betrachtung ist allerdings das Internet ebenso ein realer Handlungsraum wie andere Medienverbände. In ihm spielen sich bereits Warentransfers, Produktionsorganisation und interpersonale Kommunikation ab. Das Problem der Datenmengen, die über die heutigen Netzstrukturen noch nicht verteilt werden können, verhindert jedoch eine baldige Verschmelzung von virtueller Realität und dem globalen Netz. Konzeptuell angelegt und bereits mit entsprechenden Programmiersprachen ausgestattet, wird das Internet die Vision einer direkten Zusammenkunft von virtuellen Persönlichkeiten erfüllen. Diese Handlungen werden aber keinesfalls Realitätsverluste nach sich ziehen, sie werden lediglich die Bedeutung von persönlicher Kommunikation steigern, weil sie in die Hierarchie vermittelter Kommunikation eine weitere Ebene einziehen. Solche virtuellen Zusammenkünfte werden, durch das Fehlen jeglicher haptischer- oder auch Geruchseindrücke, die Bedeutung gerade dieser Eindrücke weiter steigern. Fortgesetzte Virtualisierung verstärkt damit die körperlichen Bedingtheiten des Menschen immer weiter. Der verbleibende, sich hartnäckig der Simulation verweigernde Rest, zeigt damit seine in Wirklichkeit wesentlich höhere Komplexität. Unser Sehsinn verliert damit endgültig seine Bedeutung als Königssinn, da er auf der Ebene seiner technischen Täuschbarkeit der simpelste ist.

10. Das Internet. Der Sieg des Bildes oder die Rückkehr zum Text?

10.1. Netzwelten als Sieg der Bildlichkeit

Oft ist die Rede davon, daß eine neue Bildkultur die Schriftkultur ablöse.⁶³² Dieser Wechsel wird mit der überlegenen Funktion der Bildmaschinen als „Kompressor“ für Information begründet, der die lineare Struktur von Texten gegen die simultane Struktur der Bilder aufwiegt.⁶³³ Bolz stellt dar, wie die seriellen Textmedien sich auf die hypermediale Struktur des Computermediensverbundes einzustellen versuchten. Das Bild aber scheint trotz aller Veränderung der Textkultur dennoch mächtiger in der Geschwindigkeit seiner Erstellung und Verbreitung. Der eigentliche Wechsel vollzieht sich weniger durch den Wandel der Geisteskultur als vielmehr durch eine Optimierung des Kommunikationsprozesses⁶³⁴. Wenn Bilder sich unserem Bewußtsein schneller erschließen, weil sie die Regeln ihrer Decodierung als universellen Schlüssel in sich selbst tragen, dann brauchen wir nach der Einführung der grafischen Benutzeroberfläche, der grafischen Simulation und der dreidimensionalen Realität der VR-Installationen keine linearen Texte mehr. Alles zu Erklärende wird in sich selbst erklärt, indem die erklärenden Bilder autonome, in sich geschlossene Sinnzusammenhänge abbilden. Für den Einzelnen mag das gelten. Programmierer, die sich durch Programme Regelsysteme auferlegen, können in den selbstgebildeten Regelsystemen mit nur minimalem Außenkontakt lange verweilen.⁶³⁵ In der Entwicklung des Computers ist die eingebettete Entwicklung der Interaktion nicht nur die zwischen Mensch und Maschine, sondern auch die zwischen Menschen. Daher schließt sich die Geschichte der Entwicklung des Internet an die Geschichte der Entwicklung des Computers an.

10.2. Vernetzung

Rechner brauchen Peripheriegeräte. Die von Neumann-Architektur⁶³⁶ ermöglichte es, das Programm mit den Daten gemeinsam im Speicher des Computers zu halten. Dies war eine der wesentlichen Voraussetzungen, um das Eingabegerät vom Hauptrechner entfernen zu können. Es war damit nicht mehr notwendig, zunächst die Programmierung am Zentralrechner vorzunehmen, um dann später über einen Fernschreiber die Daten hinzuzufügen. Beide „Datenarten“ wurden später von den Terminals direkt in das System eingespeist und auch die Ergebnisse konnten an das Terminal⁶³⁷ zurückgeführt werden. Mit der Einführung ent-

⁶³² Vgl. Bolz, Norbert, *Das Ende der Gutenberg Galaxis*, München 1993, S. 182 und *Die Welt als Chaos und als Simulation*, München 1992, S. 128ff.

⁶³³ Vgl. Schuck-Wersig, Petra, *Expeditionen zum Bild*, Europäische Hochschulschriften, Bd. 35, Frankfurt/M. 1993.

⁶³⁴ Eine solche Optimierung wurde bereits im Teil zur Entstehung der Computergrafik angesprochen und meint die Beschleunigung der Informationsaufnahme durch visuelle Verdichtung.

⁶³⁵ Vgl. Weizenbaum, Joseph, *Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft*, Frankfurt/Main (9) 1994.

⁶³⁶ Slater, Robert, *Portraits in Silicon*, Boston 1992, S.28f.

⁶³⁷ Terminal kommt von der Beschreibung des Endgerätes an einem Großrechner.

ferner Eingabestationen konnten Rechner von verschiedenen Arbeitsplätzen gleichzeitig genutzt werden. Time-sharing, ein Teil der Bemühung um interaktive Arbeit am Computer, erforderte Verbindungen zu Zentraleinheiten. Zwischen den Teilnehmern des Netzwerkes kann durch das Zeit-Scheiben-Verfahren⁶³⁸ umgeschaltet werden. Schon 1940 hatte Georg Stibitz gezeigt, daß mit einer Standard-Telegraphenleitung Daten von einem Fernschreiberterminal von Hanover (New Hampshire) an einen Zentralrechner in New York übermittelt werden konnten.⁶³⁹ Damit war die Übertragungseinheit (A/D-Wandler⁶⁴⁰) geboren, die aus den alphanumerischen Eingaben eines Fernschreibers, digitale Eingaben für den Computer herstellen konnte. Time-sharing und Datenübertragung galten als Grundvoraussetzung für ein interaktives Arbeiten am Computer. Dies war zunächst noch unabhängig von der Bedeutung interaktiver Software.

Wenn wir hier von Interaktivität sprechen, dann muß vergegenwärtigt werden, daß dieser Begriff noch nicht den heutigen Sinn trug. Interaktive Medien werden heute diejenigen genannt, die sich einem Benutzer an seinem Personal Computer in Form von Interaktion bieten, die in der Software angelegt ist. Als der Begriff entstand, kannte man aber noch keine PCs. Vielmehr war gemeint, mit verschiedenen Netzteilnehmern, Computerbenutzern interagieren zu können. Hier stand zunächst im Vordergrund, die Bedingungen für die Entwickler zu vereinfachen. Bei einer Programmierung sollten mehrere Mitarbeiter an gleichen oder verschiedenen Problemen arbeiten können. Daneben stand das Ziel, die Bedienung von Computern insgesamt einfacher zu gestalten und die komplexen Formulierungen, die zuvor in Lochkarten und Lochstreifen eingegeben werden mußten (Batch-Verfahren), in eine Dialogform am Bildschirm umzugestalten. Das Dialog-Verfahren sollte auch den Nicht-Computerexperten den Weg zum Umgang mit den Maschinen eröffnen.

Mit der Vernetzung von Input-Outputgeräten mit einer Zentraleinheit wurde die Technologie zur Vernetzung vieler Rechnersystemen entwickelt. Die Kommunikation in den ersten Netzen beruhte auf der Versendung von Paketen, die ihre Adresse mitgesendet erhielten. Auch der Hauptspeicher einer Recheneinheit arbeitet mit der Adressierung des Speicherbereiches, an den die Informationen geschrieben werden, in ähnlicher Weise. Von innen nach außen wird aller Austausch einer ähnlichen Schematik folgend abgewickelt. Im Gegensatz zu den Adressen, die heute in der Vernetzung gebräuchlich sind, wird in den Hauptspeichern

⁶³⁸ Um der jeweiligen Aufgabe eine bestimmte Zeit zur Verfügung zu stellen, wurde dem Terminal, das seine Werte und Aufgaben an den Hauptrechner sandte, innerhalb seiner Prozessorzeit ein bestimmtes Zeitfenster zugeordnet. Dieses Verfahren, auch Zeit-Scheiben-Verfahren oder Dialogbetrieb genannt, ermöglichte mehreren Benutzern, ihre Aufgabe der Recheneinheit zu senden und dann auf umgekehrte Weise vom Rechner zurückgesandt zu erhalten. Der Nutzer merkte durch die schnellen Reaktionszeiten des Rechners nicht, daß im kurzen Wechsel verschiedene Prozesse bearbeitet wurden. Dieses Verfahren erlaubte eine Online-Arbeit am Hauptrechner, die im Gegensatz zum Batch-Processing stand, bei dem die einzelnen Aufgaben nacheinander abgearbeitet werden mußten. Vgl. dtv Informatik, München 1995, S. 93.

⁶³⁹ Stiebitz, Georg, Early Computers, in: A History of Computing in the Twentieth Century, S. 479-483, S. 481.

⁶⁴⁰ Analog Digital Wandler. Solche Wandler übertragen Daten in eine analoge Form, z.B. Frequenzen, die auf der Empfängerseite wiederum in digitale Informationen umgewandelt werden. Bei einer Kopplung von Eingabegerät und Zentralrechner benötigt man zwei A/D-Wandler, um eine Verbindung herzustellen.

moderner Rechner der Adreßraum hexadezimal codiert, wodurch sich die Anzahl der Bytes, die zur Benennung der Adressen genutzt werden, reduzieren läßt. In jeden dieser Speicherbereiche kann das Ergebnis einer Operation oder auch deren Ausgangszahlen geschrieben werden. Das sogenannte ARPANET, welches den ersten Zusammenschluß von Rechner-systemen darstellte, übertrug das Prinzip der Adressierung auf die Kommunikation zwischen Computern.

10.3. Das ARPANET als Kind des kalten Krieges

1957 versetzte der Sputnik-Schock die amerikanische Regierung in einen Zustand höchster Erregung.⁶⁴¹ Neue Forschungsprojekte wurden angeschoben, um den offensichtlichen Vorsprung, den die Sowjetunion in bezug auf Raumfahrt und moderne Technologien zu haben schien, so schnell wie möglich aufzuholen. Das US-Verteidigungsministerium (DoD, Department of Defense) gründete zu diesem Zweck kurz darauf die Advanced Research Project Agency (ARPA). J.C.R. Licklider sollte nach neuen Technologien Ausschau halten, die die Kommunikation von Wissenschaftlern verschiedener Wissensgebiete verbessern sollte.⁶⁴² Lickliders Büro für informationsverarbeitende Technologien suchte Computerentwickler aus allen Teilen des Landes zusammen. Wie z.B. Ivan Sutherland, der dort Ende der sechziger Jahre Lickliders Nachfolger wurde. Douglas Engelbart, der im Krieg als Radarbeobachter gearbeitet hatte, schrieb in seinem Text von 1963 „A Conceptual Framework for the Augmentation of Man’s Intellect“⁶⁴³ über die Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Kommunikation. Schon in den fünfziger Jahren hatte er ein Konzept von Arbeitsgruppen entwickelt, die über Bildschirme einem gemeinsamen Geschehen folgen konnten. Ähnlich wie bei einer Radarstation, in der die Gruppe der Beobachter ein Geschehen verfolgt, sollten die Computer, statt ihre Daten auf Druckern oder Lochkarten auszugeben, diese auf Bildschirmen darstellen, mit denen die Benutzer direkt interagieren und über die sie mit anderen Teilnehmern kommunizieren könnten. Engelbart war seiner Zeit weit voraus. Mit seiner Vision von Kommunikation und Interaktivität stieß er an Instituten und Universitäten fast ein Jahrzehnt lang auf taube Ohren. Es schien unvorstellbar, daß die damals noch ganze Säle füllenden Computer flexibler genutzt werden könnten. Der Zugriff auf diese Maschinen war Wissenschaftlern mit speziellen Problemstellungen vorbehalten, die das Verfahren kaum in Frage stellten. Ende der fünfziger Jahre rechnete kaum jemand damit, daß Computer eine weite Verbreitung finden würden, da sie als zu speziell und vor allem als zu teuer einge-

⁶⁴¹ Die folgenden Ausführungen können im Detail in folgenden Werken nachgelesen werden. Rheingold, Howard, Virtuelle Gemeinschaft, Bonn 1994 und Hafner; Lyon, s. Anm. 321.

⁶⁴² Robert Taylor, Lickliders Leiter am IPTO, erinnerte sich, auf welche Weise Licklider sich den Wechsel im Umgang mit den neuen Systemen für ein gemeinsames Arbeiten im Netz vorstellte: „Lick was among the first to perceive the spirit of community created among the users of the first time-sharing systems [...]. In pointing out the community phenomena created, in part, by the sharing of resources in one time-sharing system, Lick made it easy to think about interconnecting the communities, the interconnection of interactive, on-line communities of people, [...]“ (ARPA draft, III-21).

⁶⁴³ Engelbart, Douglas C., A Conceptual Framework for the Augmentation of Man’s Intellect, in: Howerton, William; Weeks, David C. (Hrsg.), Vistas in Information Handling, Band 1, Washington 1963, S. 1–29.

schätzt wurden. Insofern wurde die ARPA auch kritisch betrachtet, weil man davon ausging, daß ihre Problemstellungen ebensogut von der Computerindustrie erledigt werden könnten.⁶⁴⁴ Diese hatte jedoch an der Vernetzung kaum Interesse. Sie hielt den Computer nach wie vor für eine Rechenmaschine, die möglichst an verschiedene Institutionen verkauft werden sollte.⁶⁴⁵ Die Computerfirmen, die Großrechner zu bauen begannen, gingen nur von einem relativ kleinen Markt aus. Wenige Firmen (IBM und die kleine Firma CDC⁶⁴⁶) teilten sich in Amerika den Markt für große Systeme. Die kleine Firma DEC (Digital Equipment Corporation) begann in den fünfziger Jahren, mit Hilfe des jungen Ingenieurs Gordon Bell, die ersten Minicomputer zu entwickeln, die sich am Markt durchsetzten.⁶⁴⁷ Diese Systeme waren nicht zu vergleichen mit den großen „Number Crunchern“, den Mainframes von CDC oder IBM, aber sie waren in der Lage, wissenschaftliche Problemstellungen zu berechnen und eigneten sich aufgrund ihres weit geringeren Anschaffungspreises⁶⁴⁸, um Erfahrungen im Umgang mit Computern zu sammeln. Mit der Durchsetzung der Rechner Typen PDP-2 bis 8 gelang es DEC, den Markt der Minicomputer innerhalb der Großrechnerwelt zu etablieren. Zusätzlich zu der Vereinfachung des Zugangs entwickelte sich dieser Rechner Typ auch in der Bedienbarkeit stärker auf den Benutzer zu. Der PDP-1 war der erste Rechner, der auf einem Bildschirm direkt Informationen ausgeben konnte, die über das Anzeigen von Rechenvorgängen oder die Kontrolle bestimmter Bauteile im Computer hinausgingen. Licklider erkannte die Möglichkeiten der Bildschirme als Vorstufe zum interaktiven Arbeiten mit dem Computer. Neben ihm erkannten aber auch andere die besondere Bedeutung, die diese kleinen Rechner neben den großen Forschungsrechnern gewinnen konnten, wenn man ihre kommunikative Seite höher bewertete.⁶⁴⁹

Mitte der sechziger Jahre versuchte die ARPA mit Unterstützung des MIT den Gedanken des interaktiven Arbeitens verschiedener Computerterminals weiter voranzutreiben. Zu-

⁶⁴⁴ As early as 1963, a commonly asked question of the IPTO directors by the ARPA directors about IPTO projects was "Why don't we rely on the computer industry to do that?", or occasionally more strongly, "We should not support that effort because ABC (read, "computer industry") will do it - if it's worth doing!" (ARPA draft, III-23) This question leads to an important point - this ARPA research was different from what the computer industry had in mind to do - or was likely to undertake.

⁶⁴⁵ Doch in einem Report stellte das IPTO zusammen, warum von der Industrie diese Entwicklung nicht zu erwarten sei: „The ARPA theme is that the promise offered by the computer as a communication medium between people, dwarfs into relative insignificance the historical beginnings of the computer as an arithmetic engine.“ (ARPA draft, III-24) und weiter: „The computer industry, in the main, still thinks of the computer as an arithmetic engine. Their heritage is reflected even in current designs of their communication systems. They have an economic and psychological commitment to the arithmetic engine model, and it can die only slowly...“ (ARPA draft, III-24).

⁶⁴⁶ Bei CDC (Control Data Company) arbeitete der von Sperry Rand abgewanderte Seymour Cray, der 1976 den Cray 1, den ersten Supercomputer der Welt, verkaufte.

⁶⁴⁷ Slater, Robert: Portraits in Silicon, Cambridge (Massachusetts) 1987, S. 208ff.

⁶⁴⁸ Der PDP-1 kostete 120.000 \$, wurde aber auch sehr selten verkauft. Er arbeitete im Gegensatz zu den meisten Großrechnern bereits 1960 mit der Transistortechnologie.

⁶⁴⁹ So zum Beispiel David Clark, der in einem Bericht am MIT über die Bedeutung des „networking“ ausführt: „It is not proper to think of networks as connecting computers. Rather, they connect people using computers to mediate. The great success of the internet is not technical, but in human impact. Electronic mail may not be a wonderful advance in Computer Science, but it is a whole new way for people to communicate. The continued growth of the Internet is a technical challenge to all of us, but we must never lose sight of where we came from, the

nächst wurde am MIT das Time-sharing-Verfahren entwickelt. Engelbart leitete das Forschungsinstitut ARC (Augmentation Research Center), das von der ARPA weitreichend unterstützt wurde. Hier wurden weitere interaktive Techniken entwickelt wie zum Beispiel Hypertextsysteme⁶⁵⁰ und die ersten Zeigegeräte, die spätere Computermaus.⁶⁵¹ Neben dem Time-sharing-Verfahren begann man auch die Kommunikation dieser nun verbundenen Systeme aufzubauen und entwickelte e-mail als erste Möglichkeit der Kontaktaufnahme zwischen den Benutzern einer gemeinsamen Zentraleinheit.

Hier eignete sich das Verfahren, das schon in den fünfziger Jahren bei der Rand Corporation als Geheimauftrag der Regierung entwickelt worden war. Angesichts der atomaren Bedrohung wuchs das Bewußtsein über die Verwundbarkeit der militärischen Informationsdienste. Eine Atombombe konnte das informationsverarbeitende Herz des Militärs lahmlegen. So wurde RAND damit beauftragt, sich Gedanken über die Sicherung von Informationssystemen zu machen. Das Ergebnis war ein dezentrales Netzsystem, das sich weitgehend selbst regelt. Die Elemente dieses Netzes sollten sogenannte Router⁶⁵² sein, die in der Lage waren, Pakete von einem Rechner an einen anderen Rechner zu schicken. Diese Router informierten sich auch gegenseitig über den Zustand des Netzes. Fiel einer der Router aus irgendeinem Grund aus, wurden die anderen Router darüber informiert und die Pakete entsprechend des Ausfalls über andere Router umgelenkt. Mit jedem Knoten mehr, der im Netz zur Verfügung stand, wurde die Ausfallsicherheit des Gesamtsystems erhöht.⁶⁵³ Die in kleinere Einheiten zerlegten Daten sollten im Zielsystem wieder zusammengesetzt werden. Wenn dann im Zielsystem die Daten nicht eindeutig oder richtig ankamen, konnten die Datenpakete über den funktionierenden Teil des Netzes neu angefordert werden. 1968 begannen am National Physical Laboratory in Großbritannien die ersten Tests mit der Paketverteilung in der Praxis. Robert Kahn, der vom MIT kommend zu der Denkfabrik BBN (Bolt, Baranek und Newmann) wechselte, entwickelte dort 1969 weitere Schlüsselkomponenten, die grundlegend für das ARPANET wurden. Ende 1969 ging UCLA als erster Knoten ins Netz, dicht gefolgt vom MIT und Stanford. 1971 waren schon über 40 Knoten im Netz, an denen alle Nutzer der internen Computersysteme arbeiteten. Parallel hierzu entwickelten die Forscher der Bell Laboratories das Betriebssystem UNIX, das 1969 in einer ersten

great change we have worked on the larger computer community, and the great potential we have for future change."

⁶⁵⁰ Hypertext wird durch die Verknüpfung von Textstellen erreicht. Klickt man mit einem Zeigegerät auf ein markiertes Wort, so kann der Computer zu einem mit dieser Textstelle verknüpften Textstelle springen. Heute hat die gesamte Welt des World Wide Web Hypertextstruktur. Vgl. zur Vorgeschichte des Hypertext: Kahn, Paul, Nyce, James M.: From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine, San Diego CA 1991. Zur Entwicklungsgeschichte des Hypertext: Nelson, Theodor H., Dream Machines: New Freedoms Through Computer Screens -- A Minority Report; Computer Lib: You Can and Must Understand Computers. Redmond, 1987. Siehe auch: http://www.lcc.gatech.edu/~harpold/papers/ht_bibliography/history.html.

⁶⁵¹ Rheingold, s. Anm. 582, S. 95.

⁶⁵² Verbindungssysteme, im Prinzip kleine Computer, die Wegetabellen gespeichert haben. Durch ständigen Kontakt zu anderen Routern im Netz tauschen sie Nachrichten über den Zustand des Netzes aus, wie z.B. verfügbare Wege, kürzeste Strecke oder höchster Datendurchsatz. Vgl. Lexikon Informatik, s. Anm. 155, S. 730.

⁶⁵³ Dieser Wechsel von der Zentralisierung zur Dezentralisierung war zunächst eine sehr theoretische Überlegung. Man konnte im Prinzip nichts mit der Idee anfangen, da diese Art der In-

Version fertiggestellt wurde. UNIX folgte dem Prinzip der Interaktivität, indem kleine Dienstprogramme die Routineaufgaben, die für den Betrieb des Rechners notwendig waren, formalisierten und automatisch ablaufbar machten. Hiermit konnte die Benutzung weiter vereinfacht werden. Die Vorgänge, die zuvor vom Benutzer allein realisiert werden mußten, also die Kommunikation zwischen den verschiedenen Teilen einer Rechenanlage wie Terminal, Hauptspeicher und Massenspeicher wie auch der Ausgabeeinheiten, wurde komplett durch das „Betriebssystem“ übernommen. Der Benutzer mußte sich fast keine Gedanken mehr über die Organisation der Kommunikation zwischen den Teilen der Maschine machen, die ja selbst ein Netzwerk darstellte.

Das Rückgrat (Backbone) der heutigen weltumspannenden Netze bildeten dann aber nicht mehr die ersten Netze des ARPANET, sondern das moderne Hochgeschwindigkeitsnetz NSFNET, das zwischen den Supercomputercentern in Amerika aufgebaut wurde und bis zu 1 Mio. Baud pro Sekunde transportieren kann.⁶⁵⁴ Heute wird das eigentliche „Internet“ kaum noch genutzt.⁶⁵⁵ Vielmehr hat sich die grafische Variante des Internet, das sogenannte World Wide Web, durchgesetzt, das durch seine leicht zu bedienende Benutzeroberfläche auch Computerlaien den Zugang ermöglicht.

10.4. Personal Computer und die Entwicklung der Netztechnologie

Mit der Einführung des Personal Computers Ende der siebziger Jahre machte die Entwicklung der Rechensysteme augenscheinlich einen Rückschritt. Die Reduktion der Leistung auf ein kleines Gehäuse und einen einzelnen Bildschirm nahm aber nur vorweg, was in diesem Maßstab kaum jemand annehmen konnte. Die Rechenleistung eines EDVAC von 1953 entspricht der eines heutigen Taschenrechners. Das Intermezzo des persönlichen Computers zwischen 1975 und 1985 kann rückblickend fast als eine Modeerscheinung gesehen werden, die nicht zuletzt die Ängste der Gesellschaft vor Überwachung reflektierte.⁶⁵⁶ Der persönliche Computer bot die Möglichkeiten einer Nutzung immer leistungsfähigerer Software auf dem eigenen Schreibtisch. Der größte Teil der privaten „Benutzer“ verfügte aber schon zu diesem Zeitpunkt über Möglichkeiten, die er kaum ausschöpfen konnte. Im kommerziellen Umfang spielten voneinander getrennte Systeme immer nur eine untergeordnete Rolle, da Firmen auf die Vernetzung der Arbeitsstationen angewiesen waren. Die Zirkulation

formationsverarbeitung im diametralen Gegensatz zur Verwaltungstechnologie des Staates und der Regierung stand.

⁶⁵⁴ Im Gegensatz zu der Vorstellung, die Entwicklung des Internets beruhe auf der Basis des Telefonnetzes, waren die ersten Netze dezidierte Kupferleitungen, die die Knoten direkt miteinander verbanden. Hier wurden auch schon sehr hohe Geschwindigkeiten realisiert. Das ARPANET verfügte 1969 schon über 56.000 Baud pro Sekunde, ein Wert der heute ISDN Nutzern im Telefonbereich zumindest theoretisch zur Verfügung steht.

⁶⁵⁵ Das Internet besteht aus einer ganzen Reihe von Diensten, von denen das World Wide Web nur einer der Dienste ist. Teilweise werden innerhalb des WWW auch noch andere Dienste genutzt, wie z.B. das FTP (File transfer protocol), das zur Übertragung von Dateien im WWW genutzt wird.

der Information oder genauer gesagt der gemeinsame Zugriff auf gleiche Informationen reflektiert den Produktionszusammenhang des Unternehmens, seien es hergestellte Waren oder Dienstleistungen.

Mit der Einführung des seit langem entwickelten Modems, das sich als willentliche Einschaltung des Einzel-PCs in die Netzwelt verstehen läßt, wurde der Zusammenschluß aller Geräte zu einem erneuten umso globaleren Netzwerkes vorbereitet, dem Internet.

10.5. Zusammenfassung

Wir kommen zum Schluß der konzeptionellen Entwicklung des Computers. Die vorgestellten Stufen vereinigen sich in der Technologie von Computer und Netzverbindung: dem Internet.

1. Nutzung von Programmen zur Lösung spezieller Aufgaben.
2. Sichtkontrolle über den Programmablauf.
3. Gestaltung der eigenen grafischen Benutzeroberfläche und Interaktion mit Bild- und Textwelten.
4. Bildung von Verbindungen zwischen Text- und Bildelementen (Hypertextualität).
5. Zugriff auf alle Daten aller Computer im Netz.

Alle diese Punkte konzentrieren sich im Internet, so daß es gleichzeitig auch die Basis der gesamten Softwareentwicklung wird.⁶⁵⁷ In dieser Umgebung wird sich von der Nutzung von Programmen, über das Fernsehen, VR-Installationen und den Zugang zu Verwaltungseinrichtungen, alles abspielen, was mit Bildern operieren kann.

Das heutige Internet zu beschreiben, ist ein müßiges Unterfangen.⁶⁵⁸ Es ist zu einem alle bisherigen quantitativen Vorstellungen sprengenden digitalen Bild- und Textspeicher geworden. Anhand der technischen Entwicklung sollte eines deutlich werden: Der Ursprung des dezentralen Netzwerkes ist ein Unfall der Geschichte. Die unkontrollierte Anschließbarkeit jeglicher Systeme untereinander diente der schnellen Verbindung unterschiedlicher Betriebssysteme.⁶⁵⁹ Der Standard des Internet hat eine Schneise in den Regionalismus menschlicher Technikkultur geschlagen. Der weltweite Austausch von Information erhöht aber nicht zwangsläufig das kulturelle Bewußtsein über diesen Austausch.

⁶⁵⁶ Diese Erregung war vor allem im Orwell Jahr 1984 zu spüren, als die Medien die Frage nach dem „Big Brother“ vor allem auf den Computer und die Kontrollmöglichkeiten über ihn bezogen.

⁶⁵⁷ Interview Bill Gates, IDG 1996, in: Fuglewicz, Marion, Das Internet Lesebuch, Wien 1996, S. 12.

⁶⁵⁸ Die Literatur über das Internet ist so unüberschaubar geworden, daß kaum eine Orientierung möglich ist. Vgl. zur Orientierung: Münker, Stefan; Roesler, Alexander (Hrsg.), Mythos Internet, Frankfurt/M. 1997.

⁶⁵⁹ Zur Geschichte der Betriebssysteme vgl.: <http://www.armory.com/~spectre/tech.html>.

Viel wird heute über die mangelnde Kapazität von Computernetzen diskutiert: Das World Wide Web heißt ironisch World Wide Wait. Doch mit einer Deregulierung des weltumspannenden Telefonleitungsmarktes und einer wachsenden Zahl von Satellitenverbindungen werden die technischen Engpässe in naher Zukunft leicht zu beheben sein. Die Kosten der Nutzung von Internetdiensten sind in den wenigen Jahren seit der Einführung so drastisch gefallen, daß es nicht sinnvoll erscheint, sie als spezifische Bremse einer Entwicklung zu betrachten.

Das Wachstum ist exponentiell und ungebremst, da es kein vertikales, sondern ein horizontales ist. Die Verknüpfung von Nachrichtenübertragung, Programmierung und Hypertextualisierung im Internet befindet sich in einem Zustand des weitgehend ungeordneten Chaos. Zweifellos gibt es bereits Inseln, auf denen homogene Informationssysteme arbeiten. Doch diese haben sich wohlweislich schon von Beginn an abgekapselt, indem sie die Verknüpfung zu außerhalb liegenden Systemen nicht zulassen und sich hinter sog. Firewalls⁶⁶⁰ gegenüber fremdem Zugriff absichern. Innerhalb solcher Systeme spielen dann auch Visualisierung und grafische Aufbereitung praktisch keine Rolle. In solchen Intranets werden in der Regel fast ausschließlich Texte distribuiert. Doch für das öffentliche Netz mag gelten, daß sich in der überbordenden Menge der visuellen und textuellen Fragmente das Prinzip der Entwicklung zur Interaktion fortsetzt. Es wird nur insofern ein Abbild der Realität geschaffen, als es dem funktionalen Handlungsanspruch der Nutzer gerecht wird. Mit anderen Worten: Die Handlung am Objekt, sei es ein immaterielles oder ein materielles, bestimmt das System. Wird ein Informationsangebot nicht gebraucht, erfährt es (abgesehen von Zufällen) auch keine Zugänge durch Benutzer.

Die Bilder, die das Internet bzw. das World Wide Web produzieren, sind funktionsorientiert und erfüllen den Zweck einer scheinbaren Ordnung, ohne selbst semantische Bedeutung zu entfalten oder über sich hinauszudeuten.⁶⁶¹ Die Ordnung basiert darauf, daß die Menge der Bilder ihre Unterschiede mehr und mehr verschleiert, und sich aus diesen Gründen immer stärker zu Icons formt.⁶⁶² Je mehr das Internet als gemeinsamer Handlungsraum operieren soll, desto einheitlicher werden in ihm die Bilder.

⁶⁶⁰ Engl. Bezeichnung für eine Schutzvorrichtung, die nur bestimmte Datenpakete durch einen Router passieren läßt. Hierdurch kann ein System innerhalb des Internet von anderen Systemen abgeschottet werden. Abgeleitet aus dem architektonischen Begriff der Brandschutzwand kehrt es die Systematik des Internet um. Statt alle einkommenden Anfragen gleich zu behandeln, werden manche akzeptiert und andere zurückgewiesen.

⁶⁶¹ Hartmut Winkler hat auf die Konventionalisierung der Bilder hingewiesen: „Die Häufung der Rezeptionsakte wird zwangsläufig dazu führen, daß die Bilder immer weniger konkret und als Einzelne wahrgenommen werden. [...] die Bilder (werden sich) – unterhalb ihrer differentiellen Oberfläche – organisieren; kurz: es tritt exakt jener Effekt ein, der [...] als Verdichtung beschrieben worden ist.“ Winkler, Hartmut, Docuverse, Regensburg 1997, S. 211.

⁶⁶² Zur Erzeugung von Sprachzeichen aus Bildern und der Evozierung von Bildern aus Sprachzeichen vgl. Mitchell, Anm. 26.

10.6. Sieg der Bildlichkeit

Die Bildlichkeit im Internet ergibt sich aus verschiedenen Strömungen der Entwicklung, die hier zusammenlaufen. Die gesamte Entwicklung der Interaktivität mit unserer Umwelt, die den eigentlichen Hintergrund unseres Realitätsverständnisses bildet, steuert auf die enge Verzahnung von einem Wunsch und Zeigegestus hin. Die grafische Version des Internet, einst als reines Distributionssystem für Nachrichten gedacht, hat sich durchgesetzt, weil in ihr nicht das Lesen, sondern das Auslösen symbolischer Reflexe dominiert. Durch den Zeigegestus der Maus kann jede Information angewählt, jeder link⁶⁶³ kann verfolgt werden, als würde man beliebigen Straßenschildern folgen, ohne ein spezielles Ziel erreichen zu wollen. Der wahlfreie Zugriff auf Versatzstücke, die durch grafische Orientierung zu Informationsräumen⁶⁶⁴ gestaltet werden, befriedigt den Wählenden. Die Befriedigung erfolgt auf der Ebene einer freien Zusammenstellung von Elementen und der Erzeugung eines als persönlich empfundenen Handlungsstranges. Gegenüber der Möglichkeit, überall hingehen zu können und alles sehen zu können ohne zu ermüden, tritt das Bedürfnis nach einem konkreten Ziel deutlich zurück. Wie die interaktive Benutzeroberfläche jedes Icon zu einem komprimierten Funktionsaufruf wandelt,⁶⁶⁵ werden die Verweise im Internet automatisch als eine Kette betrachtet, deren Elemente bedeutungsvoll aufeinander bezogen sind. Bei Vannevar Bushs Vision, eine Spur durch Wissens Elemente zu legen und sie auf diese Weise zu verbinden⁶⁶⁶, ging es um die Verknüpfung sinnvoller Elemente für den Wissenschaftler. Er ging davon aus, daß wohl schnell kollektive Systeme entstehen können, die homogen aufbereitetes Material zur Verfügung stellen würden. Dies ist allerdings, z.T. aufgrund der Bildlastigkeit im Internet, nicht eingetreten. Statt dessen enthält das heutige Internet große Mengen an fragmentarischer Information, die, solange sie schnell zu visuellen Ergebnissen führen, wahrgenommen wird. Reine Textlandschaften dagegen werden von den Netznutzern abgelehnt. Von der Seite der Informationslieferanten besteht darüberhinaus, bei der derzeit gegebenen Struktur des Copyrights und seiner Kontrolle, kein massives Interesse, homogene Textinformationen zur Verfügung zu stellen. Die Zusammenstellung von bildlicher und textlicher Information, wie sie Bush vorschwebte, ist weit von einer Realisierung entfernt. Vielmehr etabliert sich ein gigantisches Verweissystem auf materielle Objekte. Das Internet ist seiner Anlage nach ein globaler Katalog, der alles erreichbar aber immer weniger (solange es kapitalbindend ist) direkt Verfügbar macht. Die Hierarchisierung des Wertes von Material gegenüber materieloser Information wird damit wesentlich verstärkt.

⁶⁶³ Engl. Ausdruck für einen Verweis oder eine Verknüpfung, die in der Regel zu einem anderen Informationspool führt. Hypertexte sind durch "links" strukturiert.

⁶⁶⁴ Die Entwicklung der dreidimensionalen Umgebung im Internet ist durch die mangelnden Verbindungen zwischen den Rechnersystemen behindert. Dennoch findet man in vielen Bereichen bereits solche Nachbildungen von Räumen, weil die Orientierung in diesen Räumen weitaus einfacher erscheint als auf Textseiten, die ähnlich Büchern mit Inhaltsverzeichnissen gegliedert sind. Vgl. die Web Site: <http://www.ssc.com/wwwsmith/issues/i6/>; <http://www.intervista.com/vrml/gallery/index.html>.

⁶⁶⁵ Steinbrink, Bernd, Multimediabaukästen, in: c't 5/92, S. 76.

Bushs Vorstellung von einer Verlagerung von Information durch die sie verwaltenden Institutionen muß ebenso ernüchternd betrachtet werden. Die Mittel, die bei einem Wechsel der Medien aufzubringen wären, stehen in keinem Verhältnis zum gesellschaftlichen Nutzen der neuen Medien. Eine solche Umsetzung erfordert im Gegensatz zur sonstigen Entwicklung der Computer und Softwareindustrie qualitative, zur Zeit nicht automatisierbare menschliche Arbeit, die in dieser Größenordnung praktisch unbezahlbar geworden ist. Ihre Kosten werden, durch die laufende Entwertung mechanisierbarer Arbeiten, überproportional anwachsen.

Daneben geht das Prinzip der Interaktion als Programmierung des Sehens im Internet vollständig auf.⁶⁶⁷ Handlung, beschränkt auf die Wahl von Elementen, braucht die grafische Strukturierung, um den hier gemeinten Handlungsbegriff, den Umgang mit schnell visuell erfahrbaren Objekten, zu erfüllen. Jeder, der Informationen sucht, soll dies nicht durch vorstrukturierte Information erleichtert finden, sondern soll sich durch grafische Elemente, die allein durch das Moment eine vor-bewußte Aufmerksamkeit erregen, führen lassen. Die Erfahrungen, die Wissenschaftler mit der Wirkung grafischer Elemente auf das Unterbewußtsein gemacht haben, kommt hier umfassend zur Geltung. Die enge Verbindung zwischen Werkzeugcharakter und Informationsmedium fördert dabei weiter den Prozeß der Standardisierung, der sich notwendigerweise bei Software für Computer durchsetzt.⁶⁶⁸ Die Bilder am Computer tragen den Kern ihrer funktionalen Ausrichtung über alle Barrieren menschlicher Individualbedürfnisse hinweg. Die Konditionierung erfordert, daß die Inhalte sich dem Betrachter leicht (im Sinne einer intuitiven Aufnahme und Bedürfnisbefriedigung) vermitteln, da er sonst die Nutzung des Mediums ablehnen würde. Für die Durchsetzung des Internet als Massenmedium steht das Optische zur Zeit noch zu stark im Hintergrund.⁶⁶⁹ Wissensvermittlung wird, vor dem Hintergrund einer steigenden Erwartung an eine a priori-Erkennntnisfähigkeit des Sehens und Reagierens, als ein Prozeß betrachtet, bei dem das Maß der Entropie für das System möglichst niedrig bleiben soll. Wissen soll uns nicht verwirren und die Aufmerksamkeit nicht ermüden. Demnach ist die Bildlastigkeit elektronischer Medien eine Methode, Wissen praktisch in den Bildern aufzubewahren und es je nach Bedarf wieder abzurufen. Dabei spielt die räumliche Anordnung auf dem Bildschirm eine entscheidende Rolle. Die Geschwindigkeit, mit der wir uns in unserem Lebensraum bewegen, soll auch im virtuellen Raum herrschen. Demnach interpretiert der Betrachter im Inter-

⁶⁶⁶ Trigg, Randall, H., From Trailblazing to Guided Tours: The Legacy of Vannevar Bush's Vision of Hypertext Use, in: Nyce; Kahn, s. Anm. 123, S. 353.

⁶⁶⁷ Hier hat auch Norbert Bolz schon 1993 im Zusammenhang mit dem Ende der Schriftkultur bemerkt: „Und die Massen werden durch die Codes technischer Bilder programmiert und in diesem Sinne wieder zu Analphabeten.“ Bolz, Norbert, Am Ende der Gutenberg-Galaxis, München 1993, S. 202.

⁶⁶⁸ Williams, David; O'Brian, Timothy, Software without Borders: Applications that Collaborate, in: Leebaert, Derek (Hrsg.), The Future of Software, Cambridge (Massachusetts) 1995, S. 127-156, S. 133.

⁶⁶⁹ Daher ist die Verschmelzung der Medienformen auch das angestrebte Ziel, weil erst dadurch wirklich der Teil der Gesellschaft erschlossen werden kann, der zur Zeit noch überhaupt kein Interesse am elektronischen Kosmos hat, weil ihn die Menge der Informationen, die er dort finden kann, schlicht nicht interessiert.

net nicht mehr Schriftzeichen, sondern speichert Koordinaten und auslösende Bildelemente, deren Signale nach häufiger Nutzung eine Kettenreaktion im Unterbewußtsein auslösen. So wie ein Bild einen wahlfreien Zugriff auf die Stelle der Betrachtung liefert, soll der Umgang mit dem Medium eher ein räumliches „Wo“ als ein inhaltliches „Was“ bieten. Kritisiert wird an der Medienwelt dann auch regelmäßig, daß „links“ nicht dahin führen, was sie symbolisieren, wenn Icons widersprüchlich oder uneindeutig sind, wenn optische Elemente nicht an der Zielsetzung der Website ausgerichtet sind.⁶⁷⁰ Ob die Inhalte wichtig oder richtig sind, spielt dagegen eine nur untergeordnete Rolle.

⁶⁷⁰ Regelmäßig vergibt die Zeitschrift „Online“ Lob und Tadel für gut und schlecht gestaltete Websites. Darin wird fast immer eine Dissonanz zwischen optischer und funktionaler Gestaltung kritisiert. Solche Zeitschriften fordern dann auch folgerichtig spezifische Standards, nach denen Site´s aufgebaut sein sollten.

11. Zusammenfassung

Die Besetzung von Bildwelten durch die neuen Technologien war Ende der achtziger und Anfang der neunziger Jahre eines der beherrschenden Themen.⁶⁷¹ Die Welt und mit ihr die Menschheit löste sich scheinbar in ihren Bildern auf.⁶⁷² Als einer der großen Bildproduzenten und sicherlich der größte Bildmanipulator wurde der Computer ausgemacht. Mit seiner unbegrenzten Transformationsfähigkeit⁶⁷³, durch die ihm eigene „Ignoranz“ gegen jede Semantik innerhalb von Zeichen, Sprache und Bildern, lag es nahe, ihn für die sukzessive Loslösung des Bezeichnenden vom Bezeichneten verantwortlich zu machen.

Transformation von Zeichen wurde gleichgesetzt mit dem Verschwinden der Bedeutung in einem diskreten Strom von binären Oppositionen. So schrieb Florian Rötzer 1988:

„Das Subjekt entwindet sich den sozialen Einschreibungen, die traditionellen Codierungen des Bildes von der Welt und vom Menschen werden aufgelöst, und so ergibt sich die moderne Konstellation von freiem symbolischen Ausdruck und einem über alle Objektivitäten hinweg flottierenden Subjekt als einer Wundermaschine, während die wissenschaftlich-technische Rationalität aus einem subjektivierten Code ihre Welten entwirft.“⁶⁷⁴

Das Verschwinden der Realität in den Medien ist ein bekannter Topos. Das berühmte „anything goes“⁶⁷⁵ von Paul Feyerabend wurde zum Leitsatz einer sich bereits in der „totalen Simulation“ befindlichen Welt, deren Ereignisse sich nicht mehr wirklich, sondern ausschließlich in den Medien abspielten.⁶⁷⁶ Weil er die manipulativen Eingriffe des Computers in den Bilderstrom von Printmedien und Fernsehen möglich machte, wurde er zur Hauptursache solcher Auflösungstendenzen erklärt.

Parallel zu jeder Medienentwicklung wurde die Möglichkeit der Zerstörung oder zumindest Störung der primären Wahrnehmung diskutiert.⁶⁷⁷ Wann immer Technologien zur Überwin-

⁶⁷¹ Vgl. Ästhetik des Immateriellen? Zum Verhältnis von Kunst und Neuen Technologien. Kunstforum International 97/98 (1988/89).

⁶⁷² Kittler, F., Fiktion und Simulation, in: Philosophien der neuen Technologie, Berlin 1989, S. 79.

⁶⁷³ Die Übersetzung praktisch jeder Informationsart unabhängig von ihrem Inhalt, ihrer Bedeutung und Form in einen Code aus 0 und 1 bedeutet innerhalb des Computers in jedem Fall eine unterschiedslose Transformation. Die Übersetzung in die Maschine und die Rückübersetzung aus der Maschine muß aber als Einheit betrachtet werden. In der Geschichte der Computer ist wie bei jeder medialen Übertragung von Information ein Zwischenstatus notwendig, der den Transport über einen technischen Kanal ermöglicht.

⁶⁷⁴ Rötzer, Florian, Ästhetik des Immateriellen? In: Kunstforum International 97/98, S. 72.

⁶⁷⁵ Zitiert nach Ulrich Greiner *Die Zeit*: Wahrscheinlich ein Ausspruch von Paul Feyerabend, in: Postmoderne, Dokumentation im ZDF am 17.1.91. Greiner sagt, daß Feyerabend diesen Satz sicher nicht so gemeint habe, wie er letztlich durch die Konsumwelt geprägt wurde. Vgl. auch Feyerabend, Erkenntnis für freie Menschen, Frankfurt 1981, Wider den Methodenzwang, Frankfurt 1975, 3. Auflage 1983. Im Vorwort sagt Feyerabend allerdings, daß anything goes **nicht** sein Grundsatz sei.

⁶⁷⁶ Vgl. Weibel, Peter, Von der Bürokratie zur Telekratie, Rumänien im Fernsehen, Berlin 1990.

⁶⁷⁷ So wurde zum Beispiel im Zusammenhang mit der Fotografie immer wieder die Frage diskutiert, ob die Realität des Abgebildeten noch nötig sei, oder ob man nicht dazu übergehen wer-

derung von physischen Grenzen des Menschen eingesetzt wurden, beschäftigte man sich folgerichtig mit der Frage, was dem Menschen als Leistung oder primäre Fähigkeit erhalten bliebe. Darüber hinaus wurde die Frage gestellt, welchen Einfluß jede Art der Reproduktion auf die abgebildeten Gegenstände hätte.

Die Auseinandersetzung mit der Geschichte der Entwicklung von Ein- und Ausgabesystemen hat uns gezeigt, daß die „frei flottierenden Zeichen“ eher vom Diskurs über die kulturellen Auswirkungen des Computers produziert werden als vom Computer selbst. Grundlegende Fragen werden nicht gestellt wie etwa die nach dem primären Motiv zur Nutzung des Bildschirms am Computer. Umgang mit und Bewußtsein über Maschinen muß aus ihrem Gebrauch heraus analysiert werden.

Wie ein Computer tatsächlich funktioniert, spielt für die meisten Benutzer offensichtlich keine Rolle. So wie sich der Mensch in der Regel nicht mit der Frage beschäftigt, ob ein Gegenstand, den er berührt, nur eine Ansammlung von Atomen ist, treten die binären Oppositionen, auf denen alle digitalen Operationen beruhen, normalerweise nicht ins Bewußtsein. Je ausgefeilter die Interfaces werden, desto weniger muß sich der User darum kümmern, was die Maschine macht, wenn er auf dem Bildschirm eine Funktion auslöst.

Professor Bill Buxton von der Universität Toronto gab 500 Studenten einer Generation, die bereits mehr oder weniger mit Computern aufgewachsen waren, folgende Aufgaben:

Exercise 1: In 15-20 seconds, draw a computer.

Exercise 2: Imagine that it is 1960. Again, in 15-20 seconds, draw a computer.

Das Ergebnis erscheint auf den ersten Blick nicht überraschend:



Ein typisches Beispiel für eine studentische Lösung der Aufgabe

„Virtually nobody will draw a schematic of an arithmetic/logic unit (ALU) and/or a set of data registers interconnected by a data and an address bus. From an engineer's perspective, this may be the "correct" response. (At least it would more-or-less lead to the same result in each exercise.) The consistency of the results is very telling. The key to its significance lies in the observation that what people draw are the input/output devices of the computer, not the computer itself. What this emphasizes first is the power of what users

see and touch (the input/output devices) to shape their mental model of the system. Second, it reminds us that these very same input/output transducers are "accidents of history" and therefore candidates for change."⁶⁷⁸

Das Bild, das vom Computer im Bewußtsein existiert, ist vor allem von der Art seiner Nutzung geprägt. Daher war diese Arbeit stärker auf das Sichtbare konzentriert als auf eine Geschichte des Unsichtbaren. Der Computer ist selbst ein Artefakt, der, so haben wir versucht deutlich zu machen, aufgrund der Unfaßbarkeit seiner Operationen im Inneren schnell zu einer visuellen Ausgabeeinheit drängte.

Infolgedessen wurde der Bildschirm, oder zumindest irgend eine Aus- und Eingabeeinheit, häufig mit dem Begriff des Computers gleichgesetzt. Von allem, was der Computer verarbeiten kann, scheint das Bild als komplexes Informationsmuster am wirkungsmächtigsten zu sein. Die extrem hohe Leistungsfähigkeit der Mikroprozessoren hat sich vom Beginn der Entwicklung der Bildschirme an als Ausgabeeinheit an der Berechnung komplexer Bildrealitäten festgemacht. Auch Anfang der neunziger Jahre blieb die Kapazität der Rechner das entscheidende Merkmal und vor allem der Prüfstein für die Möglichkeit, komplexe Realitäten in annehmbarer Geschwindigkeit zu simulieren.⁶⁷⁹ Zu diesen Realitäten und Abbildungen gehört nicht nur die Abbildung von Natur, sondern ebenso die „Abbildung“ des menschlichen Geistes. Auch der menschliche Geist gehört zur Natur, auch wenn der Begriff der Natur hierdurch als Universalbezeichnung für alles nicht technisch Hergestellte festgelegt werden muß. So schwimmt in der Betrachtung von Nachahmung, Mimesis und Simulation während der letzten zehn Jahre immer wieder Herstellung von technischen Bildern mit der Herstellung von technischer Intelligenz.⁶⁸⁰ Diese Vermischung der Kategorien wurde aber auch kritisiert. Da Technik grundsätzlich als Verlängerung menschlicher Extremitäten oder Erweiterung der sinnlichen und geistigen Fähigkeiten betrachtet wird⁶⁸¹, liegt es nahe, Bildproduktion und Bildwahrnehmung, einst eine Domäne des Menschen, zunehmend durch digitale Maschinen besetzt zu finden. Thesenartig kann daher zusammengefaßt werden: Computer können den Menschen nachbilden, weil sie zunächst das nachbilden, was den Menschen von anderen Lebewesen unterscheidet - eine nach logischen Regeln aufgebaute Sprache und die Produktion von Bildern.

Wir haben auch festgestellt, daß sich die strukturelle Arbeitsweise der Computer bisher nicht verändert hat. Es handelt sich immer noch um die klassische von Neumann-Architektur, die eine Integration von Daten und Programmen erlaubt und technisch einen Speicher, ein Rechenwerk sowie Ein- und Ausgabeinstrumente miteinander verbindet. Wirklich verändert hat sich der Computer nur an seiner „Oberfläche“, sei damit die Benutzeroberfläche gemeint

⁶⁷⁸ Vgl. Buxton, Bill, URL: <http://www.dgp.toronto.edu/people/BillBuxton/billbuxton.html>.

⁶⁷⁹ Weibel, Peter, Virtuelle Welten: Des Kaisers neuer Körper, in: Ars Electronica 1993, Hattinger; Russel; Schöpf; Weibel (Hrsg.), Linz 1990, S. 18.

⁶⁸⁰ Bredekamp, Horst, Mimesis Grundlos, in: Kunstforum International, Mimesis und Simulation, Band 114, 1991, S. 278 –288.

oder auch die Art, wie der Computer mit der Umwelt interagiert. Computer können unsichtbar sein und werden dann auch nicht mehr als solche wahrgenommen. Die unzähligen Computer in Flugzeugen, Autos, Fabriken usw. erscheinen uns als Steuerungssysteme, als Herzstücke kybernetischer Regelungsprozesse, aber nicht als Computer. So gilt letztlich nur die elektronische Schaltung als Computer, der Bilder erzeugen und sie uns zeigen kann. Ein struktureller Unterschied zwischen einem Computer in einem Auto und einem Computer auf unserem Schreibtisch besteht nicht. Beide operieren mit einem Programm, beide verfügen über Speicher, manipulieren Symbolfolgen und geben ihre Daten an eine Ausgabereinheit ab. Doch der eine bleibt bild- und damit auch sprachlos.

Im Durchgang durch die Geschichte der Bildschirmentwicklung und -nutzung sollte deutlich werden, daß der Computer sich als funktionales Instrument entwickelte. Der Versuch, die Virtualisierung von der Technologie unabhängig zu betrachten, greift zu kurz. Anhand der Entwicklung von elektronischen Zeichensystemen, ausgehend von „Sketchpad“, wurde deutlich, welches Ziel mit der Virtualisierung des Werkstückes verfolgt wurde. Das virtuelle Werkstück am Computer erzeugt einen größeren Raum an Möglichkeiten⁶⁸², bevor das Produkt tatsächlich in die materielle Welt übergeht. Alle Gegenstände oder geistigen Produkte, die mit Hilfe des Computers erzeugt werden, haben den Status eines vom Menschen geschaffenen Artefaktes nicht verloren. Vielmehr ist die Zeit bis zur endgültigen Fertigstellung anders definiert worden. Das Produkt hält sich in einem Möglichkeitsraum auf, den es erst verläßt, wenn ein unter den gegebenen Bedingungen optimaler Zustand erreicht wurde. Dieser Zusammenhang läßt sich auch auf die Simulation nicht-materieller Gegenstände beziehen. Entscheidungen, die auf Simulationen beruhen, haben einen ähnlichen Zweck wie diejenigen, die Werkstücke simulieren, bevor sie gefräßt oder gebaut werden. Sie halten die Entscheidung solange im Bereich des Möglichen, bis die höchste Evidenz der einen oder anderen möglichen Entscheidung vorliegt, dann erst geht die Simulation der Entscheidung auf die Realität über.

Die Entwicklung von elektronischen Rechenmaschinen warf erstmals in der Geschichte der Technik das Problem auf, daß Vorgänge innerhalb von Maschinen zunächst nicht mehr visuell kontrolliert werden konnten. Schäden an der Gesamtmaschine lassen sich nur durch eine Identifizierung jedes einzelnen Elementes durchführen. Im Gegensatz zu der Toleranz von mechanischen Maschinen, die oft ihre Funktion beibehalten, wenn einzelne Bestandteile verschleifen, kann beim Computer eine einzige ausgefallene Röhre zum Stillstand des ganzen Systems führen. Am Beginn der Computerentwicklung steht das Problem der Kontrolle im Vordergrund. Um sie zu gewährleisten, mußte frühzeitig ein Mechanismus gefunden

⁶⁸¹ Tholen, Georg Ch., Platzverweis, Unmögliche Zwischenspiele von Mensch und Maschine, in: Computer als Medium, Bolz u.a. (Hrsg.), München 1994, S. 112.

⁶⁸² Damit werden die Möglichkeiten zur Bestimmung der letztendlichen Form eine der Formen des Virtuellen. Virtuell ist damit alles, was noch im Vollbesitz seiner Möglichkeiten zur Veränderung verbleibt. Mit dem Produktionsprozeß wird das Virtuelle stufenweise in die Realität transformiert. Ohne die Umformung des in seinen Möglichkeiten Unbeschränkten und das in seinen Möglichkeiten fest Definierte macht aber das Virtuelle keinen Sinn. Denn ein Verhältnis

werden, der die schon damals unüberschaubare Zahl von Röhren in eine für den menschlichen Blick überschaubare Matrix abbildete. Die Grundeinheiten eines jeden Computers, das Rechenwerk und der Speicher, wurden um Ausgabeeinheiten erweitert. Einerseits mußte nach erfolgtem Programmdurchlauf ein Ergebnis ausgegeben werden können, andererseits mußte die Funktionstüchtigkeit des Systems überwacht werden können. Der Bildschirm hatte seinen Ursprung im Überwachen des Speicherinhaltes und nicht in der Ausgabe eines Ergebnisses. Hier wurden von Anfang an und werden noch heute andere, materielle Speichermedien, allen voran das Papier, genutzt.

Es ist daher gänzlich irreführend zu behaupten, daß eine immaterielle Welt hinter den „Screens“ mehr und mehr die materielle Welt verdrängen würde. Daß Speichermedien flüchtiger Natur (elektronische Datenträger) an die Stelle robusterer Speicher getreten sind, nimmt dem Gespeicherten nicht seine Realität. Entmaterialisierung und Ortlosigkeit sind weniger Eigenschaften der Computertechnik als Gefühlsregungen, die der relativen Unerfahrenheit der Menschheit im Umgang mit elektronischer Datenspeicherung entspringen. Die langfristigen Differenzenerfahrungen des Umstieges von Trägermaterial wie Papier auf elektronische Datenträger werden sich erst später beurteilen lassen.

Der Bildschirm nimmt von Beginn an eine Kontrollfunktion ein. In dieser Funktion beeinflusst er auch das an ihm erzeugte Bild. Die Entwicklung des Bildschirms im Zusammenhang mit dem SAGE-System reduziert das Bild auf die aus der Sicht des Benutzers notwendigen Informationen. Insofern wirken der Bildschirm und der ihm zugeordnete Computer als komplexitätsreduzierender Filter vor den Sinneseindrücken einer äußeren Realität. Diese komplexitätsreduzierende Funktion ist nicht nur beibehalten, sondern kontinuierlich ausgebaut worden. SAGE reduzierte die anfliegenden Feindflugzeuge auf Zeichen in einem neu geschaffenen Zeichenraum. Durch die Distanzierung und die Ausgrenzung aller weiteren Informationen aus dem Mechanismus der Feindverfolgung entstand die Möglichkeit einer vor das Bewußtsein geschobenen Wahrnehmungsschwelle.

Die Funktionalisierung des Blicks auf den Bildschirm geht einher mit dem Aufbau vorfunktionaler Filter, die das zu Betrachtende auf die Informationen reduziert, die unter Kontrolle gehalten werden sollen. In der Entwicklung des Bildschirms als Bildproduzent wird zunächst folgerichtig immer nur soviel an der Leistungsfähigkeit verändert, wie es die Kontrolle des Betrachteten erfordert. Da sich die Entwicklung immer am äußeren Rand der technischen Möglichkeiten bewegt, werden ständig Kompromisse zwischen Laufzeit, Speicherkosten und Geschwindigkeit der Darstellung eingegangen.

Die Konstruktion einer Welt innerhalb des Computers basiert daher auf dem „Weglassen“ von Details und dem Ausfiltern von Störfaktoren. Dies entspricht der Modellbildung im allgemeinen, die eine Idealisierung eines Zustandes oder eines Verlaufs antizipiert. Dies wider-

spricht der verbreiteten Vorstellung, bei der Computerentwicklung sei es von Anfang an um sukzessive Vollständigkeit in der Darstellung oder Verarbeitung von Problemen gegangen. Im Gegenteil ist die Reduktion der Variablen eine Grundvoraussetzung der Berechenbarkeit.

Das Bild, welches bei der Reduzierung der Außenwelt in der Innenwelt einer Maschine erzeugt wird, hat den Zweck, einerseits die Vorgänge auf dem Bildschirm begreifbar und andererseits beherrschbar zu machen. Unter diesem Blickwinkel stellt sich die beschworene Virtualisierung durch Computer als eine Verringerung des Unkontrollierbaren, Zufälligen dar.

Das ideologische Fundament hierfür lieferte die Informationstheorie. Information kann dann berechnet werden, wenn der Faktor des Rauschens entsprechend reduziert wird. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine Informationseinheit den einen oder den anderen Zustand einnimmt, ist das Maß ihrer Informationsmenge. Je größer also die Wahlmöglichkeiten, desto größer die berechnete Informationsmenge. Rauschen stört die Übertragung von Information insofern, als es die Möglichkeit zur fehlerfreien Übertragung der Information einschränkt. Ist das Rauschen zu stark, können nur wenige Informationen pro Zeiteinheit über einen gegebenen Kanal übermittelt werden. Im Verlauf der Entwicklung stellt sich heraus, daß die Verbindung vom Entwickler zum Nutzer von Software einen solchen Informationskanal darstellt. Zwischen ihnen und nicht etwa zwischen Mensch und Maschine wird eine Kommunikation aufgenommen. Das Rauschen in dieser Kommunikation besteht in den undefinierten oder falsch interpretierbaren Zuständen, in die ein Programm gelangen kann. Das Maß der Kontrolle, daß der Programmierer über sein Programm hat, spiegelt sich in der Verständigung zwischen ihm und dem Benutzer wider. In den auf der Basis grafischer Benutzeroberflächen funktionierenden Programmen sind Befehlsketten soweit auf einzelne Ikonen reduziert worden, daß die Sprache zwischen Benutzer und Entwickler sich auf eine universelle Sprache von Zeichen hin entwickeln kann, die vor allem eine Eigenschaft hat: keine Wahlmöglichkeit zu lassen. Das Ideal der Programmierung ist daher nicht die Programmierung der Maschine, sondern die visuelle Programmierung des Menschen. Wenn Standardisierung soweit greift, daß alle menschlichen Individuen unter einem bestimmten Icon eine bestimmte Kette von Befehlen verstehen, dann ist die maximale Entropie der Information erreicht. Jedem Zeichen steht nur ein Vorgang gegenüber.

Zeichen sind nicht mehr losgelöst von ihrer Bedeutung, sondern sind endgültig auf eine Bedeutung festgelegt. Der Erkenntnis einer fraktalen Natur wird die Eindeutigkeit der funktionalen Bilderkenntnis entgegengestellt. Poincarés Erkenntnis vom Anfang des 20. Jahrhunderts, daß geringe Abweichungen in den Anfangsbedingungen die Abschätzung des Ergebnisses eines Ereignisses unmöglich machen,⁶⁸³ führte zu einer Verunsicherung der Welterfahrung. Die Vorstellung eines überall herrschenden Indeterminismus trat an die Stelle des von der Newtonschen Mechanik geprägten wissenschaftlichen Weltbildes.

⁶⁸³ der menschlichen Existenz nicht möglich.
Poincaré, H., *Wissenschaft und Methode*, Leipzig / Berlin 1914, S. 57.

Der Computer verhält sich allerdings nicht indeterministisch. Alle Ausgangsbedingungen bestimmen das Ergebnis auch dann, wenn mit der chaotischen Rekursion operiert wird. Denn im Gegensatz zur Wirklichkeit, in der lediglich das Ergebnis betrachtet werden kann, erlaubt der Computer das Setzen der Ausgangsbedingungen. Auch hier wird die Reduktion der Welt betrieben, denn die Menge der Variablen, die in der Realität immer unendlich ist, muß beim deterministischen Rechenvorgang immer vorher festgelegt werden. Auch der Computer kann nicht in der Zeit rückwärts gerichtet, also vom Ergebnis zu den Ausgangsbedingungen, rechnen.

11.1. Zeit

Wir haben gezeigt, daß die Entwicklung vom Codieren über Lochstreifen zur interaktiven Nutzung von Computern eine notwendige Verringerung des Abstandes zwischen Mensch und Maschine darstellte. Die bessere Nutzung der Ressourcen erforderte eine Verbindung der menschlichen Zeit mit der des Computers. Durch die hohe Geschwindigkeit der Rechenvorgänge konnten viele Nutzer ihre Programme parallel an die Maschine abgeben, die damit zeitversetzt operierte. Mit dieser Differenz zwischen der internen Zeit der Maschine und der internen Zeit des Menschen entstand eine Lücke, die es erlaubte, ein großes Maß an Überfluß an Rechenzeit in die Produktion von visuellen Modellen für den Benutzer zu stecken. Rechenkapazität und Visualisierung sind eng miteinander verknüpft. Mit der Entstehung von persönlichen Computern (PCs) steigt die pro Benutzer zur Verfügung stehende Rechenkapazität weiter an. Seit der ersten Tage des Rechners wird weit mehr Leistung für die Kommunikation zwischen Maschine und Nutzer aufgebracht als für die Rechenvorgänge selbst. Dies zeigt sich an der Tatsache, das man schon mit den ersten Systemen Texte in ähnlicher Weise bearbeiten konnte wie heute, obgleich die Leistungsunterschiede zwischen den Systemen damals und heute immens sind.

Funktion und Design entfalten sich in der steigenden Kapazität des Computers, die nicht gefordert wird, sondern ihrerseits mehr Funktionalität und Design fordert. Die Diskrepanz zwischen Rechenzeit und Denkzeit füllt die Maschine in ihrer Entwicklung durch die zunehmende visuelle Reduktion des Vorgestellten. Ist die Auseinandersetzung mit der Maschine zunächst magisch, weil die glühenden Bildschirme geheime, kaum verstehbare Symbole abgeben und mit ebenso geheimen Symbolen gefüttert werden, wird die Magie durch die Entwicklung von Metaphern (Desktop) und Sinnbildern verdrängt. Die Vorstellung eines Lebens im virtuellen Raum, im Cyberspace, wird in den Alltag der Benutzeroberfläche eingemeindet. Bildschirmschoner und kleine sichtbare Agenten, die plötzlich auftauchen und Fragen beantworten, die keiner gestellt hat, sollen helfen, sich wohl zu fühlen. Der Schoner versinnbildlicht den Überfluß an Leistung am deutlichsten. Die Denkzeit am Computer steht in einem starken Gegensatz zur Handlungszeit. Wirklich benutzt werden Computer nur einen Bruchteil ihrer Laufzeit, den Rest der Zeit laufen Bildschirmschoner oder Energiesparmodi in Form des „stand by“.

Ein weiterer Aspekt der Zeit ist die schnelle Transportierbarkeit des Bildes im elektronischen Zeitalter. Mit dem Internet haben sich, wie wir sahen, erneut die Dimensionen des Raumes gekrümmt. Unter der Gravitation eines weltumspannenden Datennetzes, in dem Informationen und Bilder mit Lichtgeschwindigkeit um den Globus jagen, wird die Zeit erneut gedehnt statt verkürzt. Durch das Internet wird es denkbar, daß alle Plätze der Welt zur gleichen Zeit an allen anderen Plätzen sichtbar werden. „Web Cameras“ sind noch am Anfang ihrer Verbreitung.⁶⁸⁴ Doch tendenziell kann jeder Computer mit einer oder mehreren solcher Kameras bestückt werden, die über das World Wide Web 24 Stunden am Tag Bilder liefern, einen Ausschnitt der Wirklichkeit ohne Zeitverzögerung. An allen Plätzen kann der Betrachter anwesend sein. Dagegen ist das Fernsehen mit seinen Auswahlkriterien und Sendevorbereitungen eine langsame Einrichtung. Sind die Bandbreiten entsprechend hoch genügt ein Blick in eine der Webcams, um sich einen Eindruck vom gegenwärtigen Augenblick zu machen. Angesichts solcher Möglichkeiten zeigt die Geschwindigkeit der Nachrichtenübertragung ihr eigentliches Gesicht. Die Computernetze parallelisieren alle Welten und trennen sie in dieser Weise wiederum voneinander. Das Bewußtsein, nur an einer Stelle zur Zeit sein zu können, die Aufmerksamkeit nur für einen Bildvorgang zur Zeit aufbringen zu können, ließ schon die Fernsehapparate scheitern, die mehrere Bilder zur Zeit einblenden konnten. Angesichts des Datennetzes wird die Bedingung der Bewegungslosigkeit schmerzlich bewußt.

Die Datennetze entstanden nicht aus der Beschleunigung der Kommunikation, sondern aus der Vorstellung der Vereinigung von Kommunikationspartnern in einem Kommunikationsraum. So sind die Webcams die neuen Sendboten einer gemeinsamen Verortung von Einzelgruppen. Allein die Möglichkeit, ins Netz zu schauen und praktisch jeden Ort per „Webcam“ zu besuchen, wird schnell seinen Reiz verlieren. Statt dessen werden die „Webcams“ der Nachbarschaft, oder die des eigenen Büros oder der Uni aufgesucht. Betrachtet werden die Orte, die man schon kennt, weil die fehlenden Elemente im Bewußtsein des Betrachters immer ergänzt werden können. Die Orte, die wir nicht kennen, werden besucht, wenn Zeit und Muße bleibt, wenn der Reisende Urlaub von der eigenen Umgebung macht und das Exotische, Fremde, kennenlernen will.

11.2. Abbildung

Wurde zu Anfang die Frage gestellt, was Abbildung am Computer bedeutet, so muß am Ende festgestellt werden: Abbildung der Wirklichkeit am Computer ist die Konstruktion eines Bedeutungsraumes ohne Unbekannte. Funktionen, die erfüllt sein wollen, erlauben keine Lücken in der Erklärung. Ein Programm, das Abbildungen produzieren kann, ist selbst eine

⁶⁸⁴ Eine Liste der derzeit in der Welt aufgestellten Kameras ist noch recht kurz (1116). Allerdings kommen täglich neue hinzu, die gleichermaßen Einblicke in die wichtigsten wie auch die banalsten Räume der Welt ermöglichen. <http://www.camcentral.com>.

endliche Abbildung aller Abbildungen, die es herstellen kann.⁶⁸⁵ Auch Spiele und Zeitvertreib bilden hier keine Ausnahme. Alles Unbekannte ist auf den Spielverlauf begrenzt und auf sein Entdecken und Entschlüsseln ausgelegt. Ein Spiel, das am Ende keine Überwindung des Unbekannten zulassen würde, so schwierig sich dies auch gestalten möge, hätte am Markt keine Chance.⁶⁸⁶

Die Verbindung zu Platons Höhlengleichnis bleibt bestehen. Die Konstruktion einer Welt in der Maschine stellt keine Erweiterung des Wahrnehmbaren dar, sondern transformiert das Ungesehene in Schatten an der Höhlenwand. Die Visualisierung der Naturwissenschaft beruht auf Modellen, die ihrerseits mathematische Abbildungen begründen. Die damit konstruierten Bilder, die besprochenen Visualisierungen, sind Ergebnisse einer Reduktion von Bedeutung. Ein Bild von der Venus mit Hilfe einer Computerberechnung aus den Fragmenten einer Satellitenbeobachtung erscheint wie ein Foto, ist aber in Wirklichkeit die Rekonstruktion eines vermeintlichen Bildes.⁶⁸⁷ Der Computer kann genutzt werden, um Bilder zu produzieren, die keine direkte Aufnahme ermöglichen. Im Prinzip muß dann davon gesprochen werden, daß das Bild simuliert und nicht abgebildet wird. Das Ungesehene sichtbar zu machen, bedeutet damit auf den ersten Blick, der seit jeher bestehenden Situation der Konstruktion von Realität, eine weitere Schicht der platonischen Trugbilder hinzuzufügen. Der zweite Blick zeigt etwas anderes. Der Trugbildzusammenhang wird durch die Abbildungsfähigkeit des Computers entlarvt. Die früheren Medien werden unter Einwirkung des Computers in ihrer Objektivität ins Wanken gebracht.⁶⁸⁸ Somit wird unter den Bedingungen maximaler Variabilität alles Sichtbaren die Frage nach der Abbildung erst wirklich wirksam. Wenn nichts mehr so sein muß wie es scheint, wird alles unwirklich und die Maschine, mit der diese Entlarvung des Materiellen vorgenommen werden kann, der letzte Außenposten der Wiedergabe einer physischen Weltordnung außerhalb unserer Wahrnehmung.

11.3. Beherrschung der Bilder

Software, so haben wir gesehen, bildet Prozesse ab, die als Regeln verstanden werden können. Alles, was ein Mensch nach einer Anweisung ausführen kann, kann auch von einem Computer ausgeführt werden. Menschliche Computer sind Menschen, die nach einer Anwei-

⁶⁸⁵ Ein Beispiel ist Adobe Freehand, ein Zeichenprogramm, das alle Instrumente zur Erstellung von Grafiken und Bildern enthält. Hier findet der Benutzer ein genau festgelegtes Set von Pinseln, Farben, Strukturen und Filtern, mit denen Bilder aufgebaut werden können. Durch die Kombination aller dieser Mittel entsteht eine unbegrenzte Zahl von Möglichkeiten. Dennoch ist die Zahl der Bilder durch die verwendbaren Elemente des Programms determiniert. Mit der Verbesserung der Programme wird versucht, der Begrenztheit der Gestaltungsmittel entgegenzuwirken. Tatsache ist jedoch, daß die meisten Grafiker Produkte erkennen und bestimmten Programmen zuordnen können, weil sie die jeweiligen Stile der Systeme unterscheiden können.

⁶⁸⁶ Mit steigender Leistung werden solche Spiele immer komplexer wie z.B. das kürzlich erschienene „Riven“, die Fortsetzung des erfolgreichen Spieles „Myst“.

⁶⁸⁷ Mitchell, William, *The Reconfigured Eye*, Boston 1992, S. 64.

⁶⁸⁸ Mitchell, s. Anm. 687, S. 23. Mitchell zeigt, daß die Objektivität des Fotos immer schon bezweifelt werden konnte. Mit dem Auftreten der digitalen Bildmanipulation sind allerdings die

sung Aufgaben ausführen, wobei jeder Schritt der Anweisung durch den vorhergehenden oder den nachfolgenden Schritt determiniert ist. In keinem Schritt darf der menschliche Computer in einen nicht definierten Zustand geraten. Ein solcher Zustand führt dazu, daß das Programm nicht mehr abgearbeitet werden kann, und somit eine Lösung nicht erreicht wird. Turings Halteproblem bezieht sich auf das Ende jeder Kette von Anweisungen. Kann der Computer nicht zum Halten kommen, oder anders gesagt, gibt es für eine Klasse von Problemen keine Lösung in endlicher Zeit, dann kann das Problem nicht durch einen Computer berechnet werden. Die Kapazität des Computers wird durch die Länge des Papierbandes symbolisiert, das Turing für seine „Papiermaschine“ verwendete. Da der Speicher eines Rechners immer größer werden kann, ist anzunehmen, daß immer komplexere Probleme durch Computer berechnet werden können. Weizenbaum hat die Allmacht des Computers durch die von ihm abhängigen Programmierer bestimmt:

„Der Programmierer ist jedoch der Schöpfer von Universen, deren allgemeiner Gesetzgeber er selber ist [...] Kein Dramatiker, kein Regisseur und kein noch so mächtiger Herrscher haben jemals eine so absolute Macht ausgeübt, eine Bühne oder ein Schlachtfeld zu arrangieren und dann so unerschütterliche gehorsame Schauspieler bzw. Truppen zu befehligen.“⁶⁸⁹

Die Vorstellungen von Macht resultieren aus der Eindeutigkeit der Maschinensprache. Tautologisch erklärt sich die Unfehlbarkeit des Turingschen Computers selbst. Sind die Operationen determiniert⁶⁹⁰, dann wird das abzubildende Modell, ob es nun mit der Realität übereinstimmt oder nicht, in jedem Falle von beiden Richtungen her eindeutig bestimmbar: von seinen Voraussetzungen (Variablen) und von seinem Ergebnis her. Das System des Computers verhält sich zu dem ihn umgebenden System, indem es seine Entropie verringert. Demnach erzeugen die entwickelten Programme eine Stabilität und Struktur, die dem äußeren, ins Wanken geratene System überlegen erscheint. Für den „zwanghaften Programmierer“⁶⁹¹, der jetzt noch eine kleine Gruppe darstellt, aber als Matritze für spätere Generationen gelten kann, erscheint die Umgebung nur dann als sicher, wenn sie programmiert, d.h. simuliert werden kann. Denn die Tatsache, daß Computer auf der Basis von Regeln konstruiert sind sowie die Annahme, daß, wenn sie richtig arbeiten, also fehlerfrei sind, sie zu richtigen Ergebnissen kommen, ermöglichen, dem Bild aus dem Computer mehr zu trauen als jedem anderen Verfahren zur Bestimmung des Realen. Die älteren Technolo-

Grenzen für die unsichtbare Veränderung des Bildes wesentlich weiter gesteckt worden als bisher.

⁶⁸⁹ Weizenbaum, Joseph, Die Allmacht des Computers und die Ohnmacht der Vernunft, Frankfurt/M. 1994, S. 160.

⁶⁹⁰ „Der moderne Computer gehört der Klasse der sogenannten ‘finite state machines’ an, wobei machine nicht in einem physikalischen, sondern in einem logisch-mathematischen Zusammenhang zu verstehen ist. Geräte dieser Art sind dadurch charakterisiert, daß sie logische Strukturen, vorhin Daten genannt, von einem wohldefinierten Zustand in einen anderen solchen Zustand zu überführen vermögen. Dieser Zustandswechsel darf ausschließlich mit Hilfe von Operationen geschehen, deren Ausgang eindeutig ist. Aus diesem Grunde werden solche Geräte auch deterministische Maschinen genannt.“ Johnson, Grant, F., Der Computer und die Technologisierung des Inneren, in: Psyche 34, 1980, S. 790–811, hier S. 802.

⁶⁹¹ Weizenbaum, s. Anm. 689, S. 160.

gien (Foto und Film) werden vollständig durch die neuere aufgesogen und in ihrer Stabilität demontiert. Sie erscheinen schließlich als das, was sie sind: manipulierte Objekte unserer Wahrnehmung.

Grant Johnson erschließt aus diesem Zusammenhang eine mögliche „Technologisierung des Inneren“⁶⁹². Wir haben gesehen, daß die Entwicklung der Maschine und ihrer Bildhaftigkeit nur zum Teil auf rationalen Zielen beruhte. Ein Teil der Leistungsfähigkeit der Maschinen wurde zu allen Zeiten dazu benutzt, Aufgaben zu definieren, zu denen es zunächst keine Problemstellungen gab.⁶⁹³ Da die Ein- und Ausgabe von Daten am Bildschirm einen wesentlichen Teil der Rechnerleistung beanspruchte, mußte ein Weg gefunden werden, die Programmierung zu optimieren. Vereinfachung der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine bedeutete Vereinfachung der Beherrschung des technischen Apparates. Je ausgefeilter die Technologien zur Steuerung der Maschine wurden, bis hin zur grafischen Benutzeroberfläche mit ihren komplexen Befehlsketten, desto intensiver wurde die Erfahrung am Bildschirm. Erfahrung meint am Computer ein Feld von komplexen Anforderungen und sichtbarer Befriedigung dieser Anforderungen. Das Universum des Computers und seiner erzeugten Funktionen erlaubt eine „Erfahrung ... jenseits der Erfahrung“.⁶⁹⁴ Komplexe Symbolmanipulationen können aber nur sichtbar gemacht werden, indem gleichzeitig die vom Computer hergestellten Bilder höhere Schwierigkeitsgrade darstellen. Die höchsten Schwierigkeitsstufen aber fordert die Abbildung der Natur selbst.⁶⁹⁵

Programmierer und Benutzer stellen dabei in der Entwicklung des Computers keinen Gegensatz, sondern einen fließenden Übergang dar. Der Benutzer wird zum Programmierer. Zur Vereinfachung der Programmierung wird Schicht um Schicht zwischen Mensch und Maschine gelegt. Compiler und Hochsprache greifen so ineinander, daß dem Benutzer die Last der einfachen Symbolmanipulation abgenommen wird. Nicht mehr 0 und 1 werden manipuliert, sondern Objekte, deren bekannte Eigenschaften für eine ganze Klasse von Aufgaben genutzt werden können. Das WYSIWIG⁶⁹⁶ in der Textverarbeitung wird laufend auf alle Systeme erweitert. Demnach wird das Programmieren selbst nur noch eine Zusammenstellung von Bausteinen sein, die nach dem WYSIWIG-Prinzip im Augenblick ihrer Verwendung zeigen wie sie im Gesamtsystem interagieren. Programmieren wird sein wie Texte verfassen.

⁶⁹² Vgl. Johnson, s. Anm. 690.

⁶⁹³ Dies macht die Aussage eines Entwicklers über den TX-0 Computer deutlich. „You remember we had 65K of memory. None of us were used to that situation. In fact, we thought we were operating in outer space, we had so much room. And a great many of the programs that were written for the TX-0 were doing a lot of iterations and were operating for long periods of time without any form of output. So this technique provided those people with the ability to see what was happening in their computer program and we rigged it up so that not only could they see what part of a program they were operating in, but we had logical switches that they could open and close using toggle switches on the console of the TX-0.“ In: Siggraph Proceedings 1989, s. Anm. 264, Vortrag von Jack Gilmore.

⁶⁹⁴ Johnson, s. Anm. 690, S. 798.

⁶⁹⁵ Böhme, Gernot, Die Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit, in: Kunstforum, Imitation und Mimesis, Bd. 114, 1991, S. 166-177

⁶⁹⁶ Wat you see is what you get.

11.4. Die Bevölkerung des Cyberspace

Florian Rötzer schrieb 1991:

„Mit der virtuellen Realität im Datenraum taucht zumindest am Horizont die Möglichkeit auf, die gesamte sinnlich erfahrbare Welt noch einmal zu reproduzieren, nur das sie jetzt verfügbar und an jeder Stelle manipulierbar ist. Mit diesem Höhepunkt der Illusionstechnologie, die den Zuschauer nun als wirklichen Akteur in eine virtuelle Realität mit einbezieht, die auf ihn antwortet, rückt eine nun gar nicht mehr an Natürlichkeit gebundene mimetische Wirklichkeit in den Vorstellungsraum, die technisch das umsetzt, was Platon in seinem Höhlengleichnis nur als Metapher inszeniert hat.“ ??

Der Horizont ist uns näher gerückt. Bildschirmkarten aus dem Kaufhaus versprechen 3D-Grafik in „atemberaubender Geschwindigkeit“⁶⁹⁷, die in Verbindung mit neu entwickelten Brillen⁶⁹⁸ auch schon für den kleinen Geldbeutel intensive „virtual reality“ Erfahrungen verspricht. Trotz der enormen technischen Leistungssteigerungen von Computer, Bildschirmen und Programmen ist die Bevölkerung eines Anfang der neunziger Jahre in Aussicht gestellten Cyberspace bisher ausgeblieben. Dies mag zum einen daran liegen, daß die groben Schätzungen zur benötigten Rechenkapazität für die Nachbildung der „gesamten sinnlich erfahrbaren Welt“ immer wieder um Zehnerpotenzen hinaufgestuft werden müssen, zum anderen aber daran, daß wohl noch gänzlich unbekannt ist, was wir in dieser illusionären Welt denn eigentlich tun sollen. Der Beginn der neunziger Jahre war von der Ausbreitung der Supercomputer beherrscht, die sich in immer größeren Operationen pro Zeiteinheiten übertrumpften.⁶⁹⁹ Unbemerkt bildete sich zu dieser Zeit eine Datensphäre aus, die fast selbstverständlich den Begriff des Cyberspace übernommen hat, wenn er auch mit der Vision der körperlichen Telepräsenz eigentlich nichts zu tun hat. An die Stelle der Imitation einer sinnlich erfahrbaren Welt ist eine eigene Welt mit eigenen Gesetzen getreten.⁷⁰⁰ Körper scheinen sich in dieser Welt nicht zu begegnen, wie auch die sinnliche Wahrnehmung weniger auf die Frage von Naturnachahmung gerichtet scheint, sondern eine eigene visuelle Gesetzmäßigkeit vorliegt. Diese Gesetze resultieren aus der beschriebenen Entwicklung. Internet-Seiten werden nicht nach ihrem Nachahmungscharakter bewertet, sondern dem Zweck ihrer Erstellung entsprechend. Sie dürfen sich, wie Programme, nicht widersprüchlich oder indeterministisch verhalten. Die Schalter, die das Sichtfenster in den Cyberspace beherrschen, sind der „vorwärts und zurück“-Button. Sie bestimmen das Maß der Ordnung,

⁶⁹⁷ So in einem Werbetext einer neuen Grafikkarte mit dem Namen Matrox Mystic (!).

⁶⁹⁸ Solche Brillen arbeiten mit einer neuartigen Shutter-Technik, die in schneller Folge abwechselnd das rechte und das linke Auge verdunkeln. Im Zusammenhang mit einem auf dem Bildschirm leicht gegeneinander versetzten Bild ist, je nach Qualität der Brille, eine intensive 3D-Erfahrung möglich.

⁶⁹⁹ Spektrum der Wissenschaft, Sonderheft 11, Ultrarechner, Heidelberg 1991

das im Chaos der Informationsfragmente aufrecht erhalten bleiben soll. Die Funktionalisierung des Cyberspace fordert, dass jeder „Link“ auch wirklich zu einer „page“ führt. Wann immer der Versuch, einen Weg einzuschlagen, mit der Meldung quittiert wird, daß eine solche Seite nicht gefunden werden konnte, sind die Ersteller der Seite die Schuldigen. Scheinbar haben sie die Kontrolle über den von Ihnen selbst zur Verfügung gestellten Raum im Cyberspace verloren. Als Kriterien für „gelungene“ websites dienen auch die unter den gegebenen technischen Bedingungen realisierte Geschwindigkeit sowie die Übersichtlichkeit der Seiten. Abbildungen sollen Zwecke erfüllen, Beschreibungen sinnhaft sein. Die Paradigmen der Computerbedienung, die sich im Laufe seiner Jahrzehnte herausgebildet haben, wiederholen sich in der Ausgestaltung des Cyberspace.

Auch hier ist Fortschritt nicht als Mimesis zu begreifen. Mimesis ist eine Angleichung, eine körperliche Anverwandlung oder die Nachahmung des Vorbildes. Mimesis ist aber auch ein Erkenntnisprozeß im Handeln. Durch Anverwandlung wird der Gegenstand der Nachahmung angeeignet.

11.5. Computer und Erfahrung

Simulation ist die Vorwegnahme von Erfahrungen. In den Bereichen der Simulation werden vor allem schwierige mathematische Modelle dargestellt, die nur durch dynamische Differentiale berechnet werden können. Der Zeitraum, der für solche Berechnungen durch Menschen benötigt würde, steht in keinem Verhältnis zu menschlichen Lebenszeit.

Nicht die Abbildung der Realität, sondern die Vorwegnahme und Bildung von Erfahrung ist Ziel der Simulation mit dem Rechner. Hierzu gehört auch die Bildschirmoberfläche, die eine komplexe Erfahrungslandschaft symbolisiert. In ihr soll sich der Benutzer wie innerhalb eines erschlossenen Gebietes bewegen. Das Erkennen von Zeichen innerhalb dieser Erfahrungslandschaft ist das primäre Ziel aller Standardisierung. Erfahrung bedeutet, daß alle Reaktionen, die ein System visuell oder textuell liefert, bekannt sind und den Benutzer nicht in eine Differenz zwischen Erwartungen und Ereignissen stürzen. Hier liegt dann auch die gegenüber der Abbildung von Realität wichtigere Konsequenz der Nutzung von Computern und Simulation, bzw. der Nutzung der Bildsysteme, die Computer liefern. Es geht nicht um die Reproduktion von Welt, sondern um die Produktion von Erfahrung über Welt. Innerhalb eines Systems, daß widerspruchsfrei ist, werden damit auf Dauer auch immer mehr widerspruchsfreie Systeme entwickelt. Dabei bleiben die Bereiche Text und Bild deutlich getrennt. Innerhalb der Bildsysteme ist das Ziel, keine Differenzerfahrung zu erzeugen, während in den Textwelten Differenzerfahrungen verbleiben, da der Text nicht auf das Medium des Computers angewiesen ist. An der Verwendung von Bildsystemen haben wir festgestellt, daß sie zunächst im technischen Bereich expandierten und vor allem in den Bereichen, in

⁷⁰⁰ Die „netiquette“ ist das bisher weitgehend ungeschriebene Gesetz des Cyberspace, in dem Menschen sich vor allem mit Hilfe von versendeten oder hinterlassenen Nachrichten begegnen. Das Gesetz regelt die Art und Weise der Begegnung.

denen Präzision und Sicherheitsanforderungen eine enge Verbindung eingingen (Fahrzeug- und Flugzeugbau).

Funktionale Bildsysteme am Computer dürfen, wie wir festgestellt haben, keine Diskrepanz zwischen Darstellung und Interpretation aufweisen, da der Zweck ihrer Erzeugung die Umgehung definitorischer Begriffssysteme ist. Auch in Grafiken und Visualisierungen von Simulationen wird ein Prozeß der Bestimmung oder Bedeutungsdefinition vorgenommen. Bei Oberflächenfärbungen in Simulationen wird von einer psychologischen Farbbesetzung ausgegangen.⁷⁰¹ Dabei werden Farben in spezifischen Kontrasten eingesetzt, um die größtmögliche Unterscheidbarkeit unterschiedlicher, bedeutungstragender Elemente festzustellen. Die Ableitung solcher Farbsystem erfolgt jedoch aus ganz anderen Bereichen. Als Quelle für Farbwahl und Zuordnung zu Werten werden in der Regel Erfahrungen aus der Farbpsychologie, aber oft auch aus der Kunst genutzt.⁷⁰²

11.6. Zielsetzung der Simulation

Das vernichtende Urteil Platons über die Kunst⁷⁰³ ist eine Quelle für das Überlegenheitsgefühl, das die Naturwissenschaft zu Beginn der neunziger Jahre gegenüber der bildenden Kunst empfand. Die Scheinhaftigkeit der Darstellung, die fehlende Repräsentation der Zusammenhänge, aus denen heraus die Welt verstanden werden sollte, stand einem Kosmos von Erkenntnissen gegenüber, der aus der Nutzung von Computersystemen entstand. Die fraktale Geometrie, die Berechnung von mehrdimensionalen Räumen, hat ebenso wie die Simulation dynamischer Systeme den Eindruck erweckt, die Grundprinzipien und Baupläne des Universums entschlüsseln zu können. Erst in den letzten Jahren wurde deutlich, daß das Computerbild nicht konstruktiv oder ersetzend wirkt, sondern in erster Linie affirmativ. Die Einübung in Logiken, die durch visuelle Systeme vorgegeben werden, finden ihren einzigen Kontrollmechanismus in der Generationenfolge von Hard- und Software. Aus dem einstigen Kontrollmechanismus des Speichers ist eine Kontrolle des menschlichen Datenspeichers geworden. Verstanden wird damit, was aus den Speichern von Bildsystemen abgerufen und klassifiziert werden konnte. Verstanden wird auch, was sich dem Bewußtsein als differenzlose Erfahrung und Klarheit offenbart, ohne eine Begriffswelt zu strapazieren, die voller Interpretationsspielräume wäre. Die Eingängigkeit der computererzeugten Bilder liegt in ihrer Kommensurabilität, in ihrem direkten Zugang zur visuellen Erfahrung. Mit der Funktionalisierung des Blicks einher geht die Forderung, die Geschwindigkeit stetig zu erhöhen, mit der die Daten durch den sensorischen Apparat direkt zu den Entscheidungszentren des Gehirns und damit zu unseren Muskeln transportiert werden sollen. Wer schnell

⁷⁰¹ Vgl. Greenberg, Marcus; Schmidt, Gorter (Hrsg.), *The Computer Image: Applications of Computer Graphics*, London 1982, S. 76ff.

⁷⁰² Nees, Georg, *Formel Farbe Form, Computerästhetik für Medien und Design*, Berlin u.a. 1995, S. 99ff.

⁷⁰³ Vgl. Birgit Recki, *Mimesis: Nachahmung der Natur. Kleine Apologie eines mißverstandenen Leitbegriffs*, in: *Kunstforum International, Imitation und Mimesis*, Bd. 114, 1991, S. 116-126.

handeln will, muß die Reflexion auf ein Minimum beschränken und Kurzschlüsse akzeptieren.⁷⁰⁴

Im Gegensatz zum Mimesisbegriff, der eine anlehrende Nachschöpfung mit dem ganzen Körper bedeutet, ist in der technischen Simulation am Computer das Abschneiden des Körpers zweckrational. Die eigentliche Leistung steckt demnach nicht in der Reproduktion von Wirklichkeit, sondern in ihrer körperlichen Aneignung. John Dewey beschreibt die mimetische Disposition als Grundlage aller Erfahrung: „Die Interaktion von Umwelt und Organismus ist die direkte oder indirekte Quelle aller Erfahrung, und aus der Umwelt kommen jene Kontrollen, Widerstände, Förderungen und Ausbalancierungen, die bei einem entsprechenden Zusammentreffen mit den Kräften des Organismus formbildend sind.“⁷⁰⁵ Wenn dann also Dorothea Frank sagt „Virtual Reality is at its best now, because its still all virtual“⁷⁰⁶, dann bedeutet dies, daß das Wesen des Virtuellen die Unvollständigkeit der Erfahrung nicht nur in Kauf nimmt. Ohne „Weglassen“ gibt es keine Differenz zwischen Realität und Simulation, die als Leitlinie für das funktionalisierte Handeln in der reproduzierten Welt notwendig ist. Das Bild am Computer stärkt die Realität unseres menschlichen Bewußtseins, weil es ihm den Eindruck vermittelt, sie sei leicht zu verstehen.

12. Ausblick

Jedes neue Medium wirkt stark über seine ursprüngliche Intention hinaus. Am Beispiel des Computers wurde das besonders deutlich. Eigentlich zum Rechnen erfunden, okkupiert er nun, erst fünfzig Jahre nach seiner Erfindung, weite Felder des täglichen Lebens und der Wahrnehmung. Da jede technische Innovation die genannten utopischen Elemente enthält, ist es nicht verwunderlich, daß sie mit den Wünschen und Hoffnungen der Menschen aufgeladen, zu überhöhten, teleologischen Weltentwürfen stilisiert wird.

Mit der Entdeckung von Techniken geht noch immer die Vorstellung einher, daß sie als Ideen schon vorher in der Welt existierten. Sie seien von einem fernen Gott in der Schöpfung verborgen worden, damit der Mensch sie entdecke. Auch dem Computer und allen mit

⁷⁰⁴ Wenn es, wie im Falle des Unfalles einer Boing 737 vor der Küste Amerikas, zu einer Differenz der elektronischen Bordinstrumente und der äußeren Wahrnehmung kommt, dann fehlt unter Umständen genau die Erfahrung, die zur Vermeidung der Katastrophe benötigt worden wäre. Da die Geschwindigkeitsanzeige einen anderen Wert zeigte als das Flugzeug tatsächlich hatte, wurde in der Startphase mit zuwenig Schub abgehoben. Dies hatte zur Folge, daß der Luftstrom an den Tragflächen abriß und die Maschine wie ein Stein abstürzte. In diesem Falle hätten die Piloten sich nicht auf die Anzeigen verlassen dürfen, sondern andere Erfahrungen beim Fliegen für Entscheidungen heranziehen müssen. Aber auch in diesem Falle ist es menschliches Versagen, was den Unfall herbeigeführt hat. Ein Versagen der Technik liegt nur dann vor, wenn unausweichlich der Ausfall eines Bauteils direkt zum Absturz führt und durch menschliche Intervention nicht hätte verhindert werden können. In der Regel sind jedoch die Maschinensensoren diejenigen, die auch unter extremen Bedingungen eindeutiger den momentanen Zustand einer komplexen Maschine repräsentieren können. Simulationen haben daher den Zweck, den Nutzer der komplexen Maschine in der quasi automatischen Reaktion auf spezifische Ereignisse zu trainieren.

⁷⁰⁵ Dewey, John, *Kunst als Erfahrung*, New York 1958, Nachdruck Frankfurt 1988, S. 171.

⁷⁰⁶ Frank, Dorothea, *Vortrag Ars Electronica 1990*, zit. nach Bredekamp, Horst, s. Anm. 680, S. 285.

ihm verbundenen Einblicken in die Natur (durch die Reproduktion derselben) wird oft der Charakter göttlicher Emanation verliehen. In jeder natürlichen Struktur kann man das Wirken eines universellen Formgesetzes zu erkennen meinen. Roger Penrose stellt die Frage, ob mathematische Wahrheiten Platonische Ideen seien.⁷⁰⁷ Die Mathematik nutzt, wie wir gesehen haben, das Medium Computer als Reproduktionsmittel eben dieser Wahrheiten, die sie in der Natur verborgen glaubt. So unterstützt der Computer einen neuen, von Utopien geprägten Boom der Naturwissenschaft. Nicht selten herrscht hier immer noch der Glaube, Erkenntnis ließe sich nahtlos in Befreiung und Befriedung der Menschheit umsetzen. Es erscheint so, als habe gerade die vermeintliche Unschuld der Maschine sie zum Hoffnungsträger gemacht. Ausgemalt wird von physischen Grenzen befreite Existenz im Cyberspace. Wenn der einzelne sein Abbild in den virtuellen Raum schickt, um anderen Abbildern zu begegnen, bedeutet das nicht unbedingt den Zerfall der Gesellschaft in Einzelindividuen, sondern repräsentiert möglicherweise das anhaltende Bedürfnis nach Integration auf der Ebene eines neuen technologischen Standards. Noch bleibt die Frage ungeklärt, ob dadurch tatsächlich neue Qualitäten der Begegnung entstehen können, denn bisher sind die technischen Bedingungen dafür noch nicht gegeben.

Unsere tägliche Realität sieht, wenn auch immer stärker von Computern bestimmt, anders aus. Die digitale Telefonanlage, das Fernsehen oder der Personal Computer werden immer mehr zu Symbolen reduziert, die wir manipulieren, oder mit denen wir manipuliert werden. Sie werden zu Werkzeugen, die sich mit zunehmender Verlagerung ins Unterbewußte selbst ihrer Fähigkeit zur Vermittlung berauben. Begegnungen, die technisch vermittelt werden verlieren ihre Bedeutung mit dem Verfall der Bedeutung des technischen Mediums selbst.

Doch der Computer ist auch ein Erkenntnismedium. Seine Funktionsweise hat einige der einflußreichsten Denkrichtungen der letzten Jahrzehnte inspiriert, neben Kybernetik und Systemtheorie auch den radikalen Konstruktivismus.⁷⁰⁸ Der Computer macht es wie kaum ein anderes Medium möglich, alternative Weltentwürfe zu konstruieren und ihre innere Funktionsweise als Hypothese zu präsentieren. Die Annahme einer dem Bewußtsein a priori gegenüberstehenden Welt scheint nicht mehr notwendig. Verschiedene Modelle einer Weltkonstruktion können mit dem Computer durchgespielt werden, und – das ist eine wesentliche Veränderung gegenüber den theoretischen Modellen der Vergangenheit – selbst bildhaft erfahrbar werden. Daß diese bildhaft konstruierten Welten sich als Aufenthaltsraum für das Bewußtsein eignen, kann als Argument für eine konstruktivistische Weltsicht dienen.

Die menschliche Wahrnehmung operiert in Bildern. Peter Mulser folgert, daß die „Welt unser Bild von ihr sei“.⁷⁰⁹ Dies dient einer naturwissenschaftlichen Weltsicht, die auf dem Grundsatz beruht, daß alle Erkenntnisse lediglich Modelle einer nicht objektivierbaren Wirklichkeit seien. Jedes Modell wird im Diskurs ständig auf seine Tauglichkeit bei der Erklärung von Beobachtung geprüft und verworfen, wenn neue Beobachtungen möglich sind. Hier tut sich

⁷⁰⁷ Penrose, s. Anm. 50, S. 92f.

⁷⁰⁸ Als aktuellste der zusammenfassenden Darstellungen sei genannt: Glasersfeld, Ernst von, Radikaler Konstruktivismus, Frankfurt/M. 1996.

⁷⁰⁹ Mulser, Peter, Die Welt ist unser Bild von ihr, in: Braitenberg, Valentin; Hosp, Inga (Hrsg.), Die Natur ist unser Modell von ihr, Forschung und Philosophie, Hamburg 1995, S. 8.

der Widerspruch auf, der für unsere Betrachtung so fruchtbar geworden ist. Warum sollen wir etwas beobachten, wenn ein grundsätzlicher Zweifel an der Relevanz unserer Beobachtungsinstrumente gegenüber einer Realität besteht? Wenn keine Realität existiert und alles sich nur im Rahmen unserer Werkzeugkonstruktion realisiert, stellt sich die Frage nicht mehr. Damit ist aber nicht automatisch die Frage beantwortet, in welcher Welt das Gehirn die Welt konstruiert.⁷¹⁰ Der Neurophysiologe Gerhard Roth hat hierfür die Unterscheidung zwischen Realität und Wirklichkeit vorgeschlagen. In der Realität existiert unser Gehirn, das seine Wirklichkeit produziert, diese allerdings ist gänzlich unabhängig von der transphänomenalen Realität. Zwischen Wirklichkeit und Realität besteht nach Roth keine Verbindung. Wenn wir Dinge zu erkennen meinen, dann immer nur Gegenstände der Wirklichkeit, wenn wir mit Objekten interagieren, dann nur mit den wirklichen Objekten und nicht mit den Realen.⁷¹¹

Beobachtung ist demnach kein passiver, sondern ein aktiver Prozeß, weil die Gegenstände in der inneren Repräsentation erst hergestellt werden. Humberto Maturana führt den Prozeß der Realitätsbildung hauptsächlich auf Körpererfahrung und die Einigung zwischen Individuen zurück.⁷¹²

Wozu dient die Beobachtung, wenn das Beobachtete sich erst durch die Methode der Beobachtung realisiert? Als lebendige Wesen sind wir dazu „gezwungen“, in Interaktion mit der Welt zu treten, und wir können nicht ständig an den Gegenständen zweifeln, mit denen wir umgehen. Innerhalb solcher Handlungsspielräume sind wir sehr wohl in der Lage, zwischen Sinnestäuschung und realitätsbezogener Wahrnehmung zu unterscheiden.⁷¹³

Der eigentliche Motor der Simulation scheint das Bestreben zu sein, anhand des Aufbaus einer künstlichen Bildwelt die Materialität, also das a priori einer außerhalb von uns liegenden Wirklichkeit zu beweisen. Die Maschine wird zuerst genutzt, um uns selbst als Mangelwesen zu identifizieren (d.h. mit mangelnden Fähigkeiten zur Wahrnehmung, da an einen biologischen Körper gebunden), um dann mit einem eigenen Sensorium, aber unbehindert von den Fesseln eines im Körper eingekerkerten Bewußtseins, die Welt so wahrzunehmen wie sie wirklich ist. Mit der Konstruktion von virtuellen Bildwelten, die gänzlich unter der eigenen Kontrolle stehen, soll ein Druck auf die Realität ausgeübt werden, ihre eigenen Bedingungen zu zeigen, zu materialisieren. Dafür müssen dem Computer allerdings zunächst die Regeln für die Konstruktion einer solchen Realität einprogrammiert werden.

⁷¹⁰ Wir haben nach Roth keine Möglichkeit, davon auszugehen, daß der Prozeß unserer Wirklichkeitskonstruktion tatsächlich stattfände. Außerdem würde sich, bei der Annahme, es gäbe keine außerhalb unserer Wahrnehmung liegende Welt, alles – inklusive einer Reflexion über eine mögliche Sinnestäuschung – als Sinnestäuschung erweisen. Roth, Gerhard, *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*, Frankfurt/M. 1997, S. 325.

⁷¹¹ Roth, s. Anm. 710, S. 324ff.

⁷¹² Maturana, Humberto, *Was ist Erkennen?*, München 1994, S. 42ff.

⁷¹³ Maturana, s. Anm. 712, S. 45. Hier stellt Maturana am Beispiel der gekreuzten Finger mit denen man seine eigene Nase berührt, dar, daß wir nicht zwischen Täuschung und Wahrnehmung unterscheiden können. Obwohl wir wissen, daß wir nur eine Nase im Gesicht haben, spüren wir bei der Berührung mit den gekreuzten Fingern zwei Nasen.

Daher und nur deswegen steht der Computer in seiner komplexen Struktur im Verdacht, ein magisches Instrument zu sein. Der Wirklichkeit soll ihr Geheimnis durch die Reproduktion von Wirklichkeit entrissen werden. Daß dabei das Bild nur ein Intermezzo ist, sollte an unserer Untersuchung deutlich werden. Die Überschwemmung der Welt mit Bildern steht damit in engem Zusammenhang mit dem totalen Sieg der Materie über den Geist. Die unterlegene Form einer Welterfahrung durch Bilder, die bildende Kunst, hält dagegen an dem Spannungsverhältnis von Erscheinung und Wirklichkeit fest. Kunst ist Kunst, weil sie nicht in das Leben und damit in die Materie diffundieren kann. Selbst unter den harten Bedingungen des Marktes behauptet sie sich in ihrer Möglichkeit der reinen und damit auch nicht aus spezifischen Verwertungsinteressen geborenen Fiktion. Diese Fiktion kann - aber muß nicht immer - die ganze Breite der Erscheinungsformen in sich tragen. Kunstwerke stehen einem interpretierenden Bewußtsein gegenüber und wirken oft umso überzeugender, je weniger sie einsinnig in bestimmten Lesarten aufgehen. Deshalb gehen Kunstwerke nicht ohne weiteres in der bewußten Wahrnehmung auf, ordnen sich kaum der Kontrolle des Bewußtseins unter. Ein Kunstwerk kann, auch wenn es nur wenig zeigt, das „Ganze“ meinen, man denke nur an Malewitschs „Schwarzes Quadrat“.

Das Computerbild kann und muß demgegenüber aufgrund seiner diskreten Funktionsweise in der Sphäre des Sichtbaren (auch wenn es sich um eine Konstruktion handelt) immer nur eine Reduktion bieten, die insofern nicht über sich hinausweist, als sie immer anschlussfähig an andere berechnete „Ausschnitte“ bleiben muß. Der Computer kann immer nur einen Ausschnitt berechnen, unabhängig davon, wie groß der Ausschnitt gewählt wird.⁷¹⁴ Daß simulierte Phänomene sich dennoch mit Beobachtungen decken, liegt an der Zielorientierung einer Simulation im Bereich der Naturwissenschaft oder in der Digitalisierung industrieller Fertigungsprozesse.

Neben dem alltäglichen praktischen Einsatz von Simulationen kommen immer wieder Szenarien ins Gespräch, die bei näherer Betrachtung keiner Kritik standhalten. Am Ende der achtziger Jahren wurde ernsthaft und heftig darüber diskutiert, wie Menschen teilweise im Cyberspace leben könnten.⁷¹⁵ Aber ist die Vorstellung, die Grenzen des Körpers und den Widerstand des Körpers verlassen zu können,⁷¹⁶ nicht nur eine neue Variante des Schlaraffenlandes, wo jeder Wunsch gleich Wirklichkeit wird?

Aufbauend auf Joseph Weizenbaums Analyse des „zwanghaften Programmierens“ hat der Psychologe F. Grant Johnson bereits 1980 den Kurzschluß von Wunsch und Wirklichkeit als Bestandteil einer Technologisierung des Inneren gedeutet. Entsprechend unserer Analyse des Computerbildes als reduktionistisches Abbild der Natur zeigt Johnson, daß die Welt der

⁷¹⁴ Vgl. Kaufmann, William J.; Smarr, Larry L., Simulierte Welten. Moleküle und Gewitter aus dem Computer, Heidelberg/ Berlin / Oxford 1993, S. 18ff. Da die Lösung einer Gleichung in endlicher Zeit liegen muß, kann der Computer 1. nur mit begrenzter Genauigkeit und 2. nur mit einem begrenzten Problemfeld rechnen.

⁷¹⁵ Jacobsen, Robert, Televirtualität – »Dabeisein« im 21. Jahrhundert, in: Rötzer, Florian; Weibel, Peter (Hrsg.), Cyberspace. Zum medialen Gesamtkunstwerk, München 1993, S. 165.

Programmierer reduktionistisch in bezug auf die eigene Triebstruktur ist. Der Programmierer „verdrängt“ seine Triebe nicht, sondern glaubt, in der Welt des Symbolischen „des Triebhaften Herr zu werden“.⁷¹⁷ Die Welt des Symbolischen ist eine durch den Entwickler selbst bestimmte Welt, in der nur die Gesetze gelten, die ihm vorschweben.

Während Weizenbaums Analysen sich auf die Allmachtgefühle des Programmierers konzentrieren, öffnet Johnson einen weiteren Blick. Der Programmierer konstruiert nicht nur eine eigene Welt, sondern empfindet das Programmieren selbst als ein Reich der Erfahrung. Die Universen lassen den Programmierer nicht nur zu einem Schöpfer werden, sondern bieten gleichzeitig auch ein hohes Maß an „interner Komplexität“.⁷¹⁸ Das Programm bildet gleichsam ein Reich der Erfahrung jenseits der Erfahrung, dessen Geschlossenheit nicht nur die Lebensgeschichte des Programmierers, sondern auch seine Triebhaftigkeit ausklammert.⁷¹⁹ Die Bedürfnisbefriedigung konzentriert sich vollkommen auf die Realisierung der Ziele, die in der symbolischen Welt möglich sind: „...dadurch also, daß das Wünschbare dem gleichgesetzt wird, was in diesem Universum erreichbar ist, wird sichergestellt, daß keine Diskrepanz zwischen dem gehabten und dem erfüllten Wunsch entstehen kann – soweit man eben die erworbenen technischen skills gewissenhaft anwendet (...) jede kompetente Leistung – dies garantieren die Theorie der finite state machines und die Gesetze der Physik – wird ihrer Belohnung zugeführt.“⁷²⁰

Johnsons Analyse des Programmierers läßt sich wahrscheinlich auf alle Menschen erweitern, die in die symbolischen Computerwelten eintauchen. Johnson konnte noch nicht in Betracht ziehen, daß sich heute praktisch jeder User selbst als Programmierer fühlen kann. Fast alle Anstrengungen zur Entwicklung einer Bildwelt am Computer richten sich darauf, wie wir sahen, den Umgang mit der Maschine zu vereinfachen. Symbolische Welten erhalten ihre vereinfachte Darstellung in jeder Art der Bildschirmgrafik.

Auch in der Gegenwart wird der Umgang mit den Systemen laufend durch sogenannte Autorensysteme vereinfacht, so daß Programmieren immer mehr zu einer Tätigkeit wird, zu der auch Laien Zugang haben. Mit den Macrorecordern, Toolboxen und Codegeneratoren wird die vorausgesetzte Grundkenntnis immer geringer. Gleichzeitig werden aber auch die Problemstellungen der Programmierer, für die solche Werkzeuge gemacht sind, immer trivialer. Bestes Beispiel sind sog. HTML-Editoren, die nach dem WYSIWIG Prinzip arbeiten. Keine Zeile Code muß mehr geschrieben werden. Lediglich Symbole werden auf der Bildfläche arrangiert und ergeben dann die fertige Anwendung. Der Quellcode bleibt bei diesem Verfahren verborgen.

Damit erweitert sich die Johnsonsche Beschreibung auf immer mehr Computernutzer. Jeder verfügt über ein hinreichend komplexes Universum, in dem spezifische Erfahrungen im

⁷¹⁶ Zur Geschichte der religiösen Metaphorik der Cyberexistenz vgl. Bartels, Klaus, Wenn Engel reisen. Zur Genealogie des Cybertrips, in: Lab, Jahrbuch 1996/97 für Künste und Apparate, Köln 1997, S. 218-32.

⁷¹⁷ Johnson, Grant F., Der Computer und die Technologisierung des Inneren, in: Psyche 34, 1980, S. 780-811, S. 794

⁷¹⁸ Johnson, s. Anm. 717, S. 797

⁷¹⁹ Johnson, s. Anm. 717, S. 806

⁷²⁰ Johnson, s. Anm. 717, S. 806f.

Rahmen der Möglichkeiten der formalen Sprache gemacht werden. Die Bedürfnisbefriedigung ist einfach, weil die Verwirklichung des eigenen Systems im Bereich der Möglichkeiten eines jeden liegt. Man fordert von sich nur die Aufgabe, die auch lösbar erscheint.

Damit wird aber auch ein Prozeß eingeleitet, der die traditionelle Tendenz der Naturwissenschaften zum zunehmenden Verzicht auf Symbolisierung diametral umkehrt.

Das Bedürfnis, symbolische Codes zu überwinden, war stets besonders stark im Bereich naturwissenschaftlicher Darstellungen. In "Prints and Visual Communications" hat William M. Ivins herausgestellt, welche entscheidende Revolution die druckgrafische Reproduktion für die Kommunikation wissenschaftlichen Wissens und damit für die Entwicklung speziell der exakten Wissenschaften bedeutete. Allerdings bedarf die Grafik immer noch der Hand des Stechers, der das Ausgangsmotiv durch Strichlagen, Schraffuren etc. in eine Druckvorlage überführt und damit in einen Code übersetzt, was Ivins "Syntax" nennt. Die entscheidende Neuerung der Fotografie sieht Ivins darin, daß sie erstmals ein "pictorial statement without syntax" darstellte. Die damit verbundene Verbesserung exakter visueller Informationsübermittlung sieht Ivins als entscheidend für die wissenschaftlichen Durchbrüche des 19. Jahrhunderts. Whiteheads bekanntes Diktum, die größte Erfindung dieser Zeit sei die Erfindung einer Technik, um Erfindungen zu machen, würde nicht berücksichtigen, daß "this remarkable invention was based in very large measure on that century's sudden realization that techniques and technologies can only be exactly described by written or printed words when they are accompanied by adequate demonstrative pictures."⁷²¹

Einige heute relevante Überlegungen, etwa ob diese Bild-Text-Kombination eine Keimzelle heutiger "multimedialer" Darstellungsverfahren auf dem Computerschirm darstellt, konnte Ivins 1953 noch nicht anstellen. Seine These der Syntaxlosigkeit entspringt noch der herkömmlichen Vorstellung der Fotografie als Selbstabbildung der Natur. Heute werden aber immer weniger Fotos hergestellt und fast keine mehr gedruckt, ohne gescannt und damit in den symbolischen digitalen Code übertragen worden zu sein. Daß Computergrafik Grafik heißt, hat neben den im Kapitel V genannten Gründen vielleicht auch damit zu tun, daß man diesen Code mit einer graphischen „Syntax“ verglich.

Die "Resymbolisierung" dringt in Bereiche ein, die vorher als unmittelbar wirklich bzw. unmittelbare Abbildung von Wirklichem empfunden wurden. Wenn das digital bearbeitete oder gänzlich hergestellte "Foto" an die Stelle des herkömmlich belichteten Bildes tritt, übernimmt es dessen Funktion und tritt uns, gedruckt in einer Zeitschrift oder auf einem Plakat, in gleicher Form materiell gegenüber.

Für den Gebrauch eines Suppentellers ist es unerheblich, ob er vom Fließband kommt oder im "rapid rendering"-Verfahren am Computer entworfen und anschließend von einem 3D-Printer mit Hilfe eines flüssigen Bindemittels in seiner festen materiellen Form "ausgedruckt" wurde. Der "Spiegel" sieht sich hier eine Zukunft abzeichnen, "in der das Ausdrucken von

⁷²¹ Ivins, s. Anm. 32, S. 17.

Blumenvasen und Büroklammern so geläufig wird wie in der Gegenwart das Bedrucken von Papier. Und Fortschrittspessimisten haben Grund zur Sorge, daß der Papierflut aus dem Drucker bald eine Invasion materialisierten Datenmülls folgt.⁷²²

Dieser Müll würde allerdings die These dieser Arbeit bestätigen, daß Simulationen auf die Erweiterung des Materiellen abzielen. Deutlich wird auch, daß das "Bild" nur ein Durchgangsstadium ist, um eine vollständige materielle Welt digital herzustellen. Bilder werden irgendwann vielleicht nur noch gebraucht werden, um über neue digitale Kreationen in Zeitschriften wie dem "Spiegel" berichten zu können.

Aber auch der auf Knopfdruck in gewünschter Form vom Computer hergestellte Gegenstand entspricht dem einfachen Reiz-Reaktionsmuster, das schon in der interaktiven grafischen Benutzeroberfläche eine Tendenz zur Infantilisierung der Welt erkennen läßt. Nutzungsmuster entstehen nicht im Zusammenhang mit der Produktion von Erkenntnis oder Wissen, sondern zur Erleichterung des Umgangs mit Maschinen. In dieser Erleichterung wirken sie 1. indem sie in die Praxis universeller Arbeit (ob im Büro, am Personal Computer oder zuhause am Spielecomputer) einüben. 2. indem sie einen funktionalen Zusammenhang zwischen allen Objekten der Welt und zwischen den Menschen suggerieren. 3. indem sie alles Fiktionale aus dem Bereich des für sich selbst Gewünschten entfernen, und den Primat des Materiellen an die oberste Stelle und das oberste Ziel aller Handlungen stellen.⁷²³

Zusammenfassend läßt sich herausstellen:

1. Nicht der Bereich des Virtuellen dehnt sich aus, sondern der des Materiellen.
2. Alles was möglich erscheint, also computertechnisch formalisierbar ist, kann realisiert werden.⁷²⁴
3. Computerbilder sind das Ende der Fiktion, weil sie von ihrer inneren Bestimmung und Konstruktion her Modelle für Wirklichkeit sind.
4. In der Kunst ist das Fiktionale eingeschlossen in die unüberwindbare Hürde zwischen Schein und Sein. Doch mit Hilfe der Computersimulation kann Pygmalion seine Statue vielleicht wirklich zum Leben erwecken.
5. Das Bild in der Kunst und das pragmatische Computerbild stehen sich diametral gegenüber. Der Bild-Raum der Kunst ist fiktional. Er ist ein Denkraum, der die Interaktion über sinnliche Wahrnehmung und gedankliche Auseinandersetzung ermöglicht. Kunstwerke fordern zur Interpretation heraus, während Computerbilder den Spielraum der Interpretation möglichst einschränken, um als eindeutige Handlungsanweisungen zu dienen. „Virtuell“ heißt in diesem Sinne nicht: von der Realität im Status bzw. räumlich un-

⁷²² Buddha aus dem Fax, Der Spiegel 37, 1998, S. 259-63, hier S. 263.

⁷²³ Es ergibt sich eine Reihe von Konsequenzen, die hier nicht angesprochen werden konnten. Für eine Diskussion um den Menschen und seine Position in der Welt der Informationsverarbeitung vgl. Capurro, Rafael, Leben im Informationszeitalter, Berlin 1995, S. 17ff.

terschieden (fiktional), sondern „noch nicht“ real im Sinne einer Möglichkeit, deren zeitlicher Abstand zur Realisierung tendenziell zum Verschwinden gebracht werden soll.

Insofern ist der Handlungsbegriff, der dem Computerbild unterliegt, strikt von dem in der Kunst zu trennen. Wir können in der Kunst nicht handeln, weil sie dann kein Denkraum mehr, sondern ein Handlungsraum wäre.

Interaktive Kunstwerke schaffen einen „Denkraum“, indem sie eine Distanz zur üblichen pragmatischen Nutzung von Programmen schaffen. Dies wird sehr deutlich in der Internet-Kunst. Wir gehen kurz auf ein Beispiel ein, das zu den für die documenta X 1997 ausgewählten Netzprojekten gehörte.

Das belgische Künstlerduo jodi (Joan Heemskerk, Dirk Paesmans) hat eine bereits aus über 350 Seiten bestehende Website kreiert, die ständig scheinbar dramatische Ereignisse stattfinden läßt, die so aussehen, als ob das System von einem Virus befallen wäre. Die Funktionalität der Benutzeroberfläche wird ad absurdum geführt und aus der „Störung“ ein spielerischer ästhetischer Mehrwert gezogen:

„... die Fenster des Bildschirms verschieben sich, Texte erscheinen plötzlich überall, ungleichmäßige Buchstaben zeigen sich, der Bildschirm wechselt ständig seine Farbe. Alles scheint plötzlich durcheinander und verseucht zu sein. Dennoch ist nichts passiert. Die Arbeit von Heemskerk und Paesmans ist ein Programm, das wie ein formelles Spiel in der Welt der Informatik ausgearbeitet wurde.“⁷²⁵

Chaos und Unordnung werden also auf regelhafte Weise erzeugt, nur daß die Regeln nicht erkennbar sind. Auch hier passiert nie „zufällig“ etwas, sondern nur das, was das Programm zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem bestimmten Zustand errechnet hat. Und so bleibt das „Kunstwerk“ untrennbar mit der „normalen“ Nutzung des Computers verbunden.

„jodi.org“ funktioniert nur, weil es sich um eine präzise Umkehrung des üblichen Funktionierens handelt. Die „Aussage“ besteht letztlich darin, die Nutzung des Computers zu verweigern und zu einer ästhetischen Betrachtung zu zwingen.

Die Frage, ob das nun gute oder schlechte Kunst ist, sei dahingestellt. Aber vielleicht geht es gar nicht darum, mit dem Computer Kunst zu machen, sondern Kunst zu „simulieren“. Was heißt das? Das mit dem Computer kreierte „Kunstwerk“ liefert ein Modell von Kunst, das zum Nachdenken über Funktionsmechanismen von Kunst überhaupt anregen kann. Vielleicht sind die Gesetzmäßigkeiten, nach denen „analoge“ Kunstwerke gestaltet werden, ebenso streng wie die funktionalen Bedingungen des Computers. Doch wenn wir dies mit Hilfe des Computers zu analysieren versuchen, landen wir wahrscheinlich in einem ähnlichen Zirkel, der sich schon bei der Verwendung der Gehirnmetapher zeigte. Wenn das Gehirn als Modell des Computers dient, wird das Gehirn zum Computer erklärt. Und wenn künstlerische Krea-

⁷²⁴ Moralische Fragen werden von Enquetekommissionen geklärt, die wahrscheinlich kaum mehr Informationen über mögliche Folgen und Risiken angewandeter Technologie haben als andere Individuen.

tivität als Modell von Handlungen im digitalen Raum dient, wird das materielle Kunstwerk so betrachtet, als ob es einer der vielen Gegenstände wäre, die uns schon heute umgeben und denen wir nicht ansehen, was sie wirklich sind: Computer.

13. Literaturliste

Zeitschriften

(In chronologischer Reihenfolge)

- Ästhetik und Kommunikation, Heft 67/68, Kulturgesellschaft, Jahrg. 18, 1987
 Ästhetik und Kommunikation, Heft 69, Gentechnologie, Jahrg. 18, 1987
 Ästhetik und Kommunikation, Heft 70/71, Lebensstile, Jahrg. 18, 1987
 Ästhetik und Kommunikation, Heft 72, Paßwort Modernisierung, Jahrg. 19, 1988
 Ästhetik und Kommunikation, Technikultur, Heft 75, Jahrg. 19, 1988
 Ästhetik des Immateriellen? Zum Verhältnis von Kunst und Neuen Technologien. 2 Teile.
 (Sonderhefte) Kunstforum International 97/98 (1988/89)
 GEO-Wissen, Sonderband Chaos und Kreativität, Hamburg 1990
 Imitation und Mimesis, Kunstforum International, Bd.114, Köln August 1991
 Spektrum der Wissenschaft, Sonderheft 11, Ultrarechner, Heidelberg 1991
 Spektrum der Wissenschaft, Heft 11/1991, Datennetze, Heidelberg 1991

Ausstellungskataloge

(In chronologischer Reihenfolge)

- Ausst.-Kat.: The Machine as seen at the end of the mechanical age, New York 1968
 Ausst.-Kat.: Naivität der Maschine, Frankfurt/M 1974
 Ausst.-Kat.: Der verzeichnete Prometheus. Kunst Design Technik. Zeichen verändern die
 Wirklichkeit, Essen, Basel 1988/89
 Ausst.-Kat.: Maschinenmenschen, Berlin 1989
 Ausst.-Kat.: Imitationen. Nachahmung und Modell: Von der Lust am Falschen, Ausstellung
 des Museums für Gestaltung 1989-1990
 Ausst.-Kat.: Der Prix Ars Electronica 1990. Internationales Kompendium der
 Computerkünste, Linz 1990
 Ausst.-Kat.: Der Prix Ars Electronica 1991. Internationales Kompendium der
 Computerkünste, Linz 1991
 Ausst.-Kat.: Ars Electronica 1993, Genetische Kunst – Künstliches Leben, Wien 1993
 Ausst.-Kat.: Maschinenphantasien. Zur Kulturgeschichte des Mensch-Maschine-
 Verhältnisses, Technische Sammlungen der Stadt Dresden vom 11.07. bis 24.09.1994
 Ausst.-Kat.: Ars Electronica 1995, Mythos Information. Welcome to the Wired World, Wien /
 New York 1995
 Ausst.-Kat.: Wunschmaschine Welterfindung. Eine Geschichte der Technikvisionen seit dem
 18. Jahrhundert, Kunsthalle Wien 05.06. – 04.08.1996

Nachschlagewerke

- dtv-Atlas zur Informatik, München 1995
 dtv-Atlas zur Mathematik, 2 Bände, 9. Auflage, München 1994
 Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation, München 1994
 Lexikon Informatik und Datenverarbeitung, Schneider Hans-Jochen (Hrsg.), München, Wien
 Oldenbourg 1997
 Lexikon der Sciencefiction-Literatur. Erweiterte und aktualisierte Neuauflage in einem
 Band. München 1988
 Mayers Handbuch der Mathematik, Mannheim 1972
 Reallexikon für Byzantinische Kunst, Stuttgart 1966
 Propyläen Geschichte der Technik, Berlin 1990

Zeitschriftenartikel und Schriften aus Sammelbänden

(In alphabetischer Reihenfolge)

- Abramson, Albert: 110 Jahre Fernsehen, Visionen vom Fern-Sehen, in: Vom Verschwinden
 der Ferne. Telekommunikation und Kunst, Ausstellung des Deutschen Postmuseums
 Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 146 - 208

- Adrian X, Robert: Elektronischer Raum, die Welt in 24 Stunden, in: Im Netz der Systeme, Kunstforum, Heft 103, 1989, S. 142 - 147
- Anderson, Dennis U., Bassingthwaighe, James B., Knopp, Thomas J.: SIMCON-Simulation Control to Optimize Man-Machine Interaction, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, February 1970, S. 81 – 86
- Armer, Paul: SHARE – A Eulogy to Cooperative Effort, in: Annals of the History of Computing, Volume 2, Number 2, April 1980, S. 122 – 129
- Astrahan, Morton M., Jacobs, John F.: History of the Design of the SAGE Computer – The AN/FSQ-7, in: Annals of the History of Computing, Volume 5, Number 4, October 1983, S. 340 – 349
- Atanasoff, John Vincent: Advent of Electronic Digital Computing, in: Annals of the History of Computing, Volume 6, Number 3, July 1984, S. 229 – 282
- Backus, John: The History of FORTRAN I,II and III, in: Annals of the History of Computing, Volume 1, Number 1, July 1979, S. 21 – 37
- Barkley, Fritz, W.: ENIAC – A Problem Solver, in: Annals of the History of Computing, Volume 16, Number 1, 1994, S. 25 – 45
- Baudrillard, Jean: Das fraktale Subjekt, in: Ästhetik und Kommunikation, Heft 67/68, Jahrgang 18, 1987, S. 35
- Baudrillard, Jean: Videowelt und Fraktales Subjekt, in: Aisthesis. Wahrnehmung Heute, Leipzig 1990, S. 252 - 264
- Bell, C. G., McCredie, J. W.: The Impact of Minicomputers on Simulation – An Overview, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, March 1971, S. 98 – 101
- Bell, Charles W., Linebarger, Robert N.: Applications of Computer Modeling and Simulation to Science Education, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, April 1970, S. 185 – 190
- Bell, Gwen, Hutten, Leah: A Historical Timeline of Artificial Intelligence and Robotics, in: The Computer Museum Report, Summer/Fall 1987, S. 12 – 16
- Benington, Herbert D., Everett, Robert R., Zraket, Charles A.: SAGE – A Data-Processing System for Air Defense, in: Annals of the History of Computing, Volume 5, Number 4, October 1983, S. 330 – 339
- Benjamin, Walter: Gesammelte Schriften herausgegeben von Hermann Schweppenhäuser und Rolf Tiedemann, Werkausgabe Frankfurt/M 1980
- Bernard, James E.: Some Time-Saving Methods for the Digital Simulation of Highway Vehicles, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, December 1973, S. 161 - 165
- Blanchard, Chuck: Was ist neu an Reality Built for Two ? In: Kat. Ars Electronica, Linz 1990, S. 189 - 196
- Böhme, Gernot: Die Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit, in: Kunstforum, Imitation und Mimesis, Bd. 114, 1991, S. 166-177
- Bölker, Michael: Die Lesbarkeit des Menschen, in: Ästhetik und Kommunikation, Heft 73/74, 1988, S. 23 - 29.
- Bonnet, Anne-Marie: Bild-Körper / Körper-Bild. Die Kunstgeschichte, eine Junggesellenmaschine, in: Die Frage nach dem Kunstwerk unter den heutigen Bildern, S. 17-30
- Boom, Holger van den: Künstliche Intelligenz und Fiktion, in: Strategien des Scheins, Rötzer/Weibel (Hrsg.), München 1991
- Boyell, Roger L.: Why Computer Graphics?, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, January 1971, S. 3 – 4
- Bredenkamp, Horst: Antikensehnsucht und Maschinenglauben, Die Geschichte der Kunstammer und die Zukunft der Kunstgeschichte, Berlin 1993
- Bredenkamp, Horst: Der simulierte Benjamin. Mittelalterliche Bemerkungen zu seiner Aktualität, in: Berndt, Andreas u.a. (Hrsg.), Frankfurter Schule und Kunstgeschichte, Berlin 1992
- Bredenkamp, Horst: Mimesis Grundlos, in: Imitation und Mimesis, Kunstforum International Bd. 114, S. 278 – 288
- Bredenkamp, Horst: Politische Theorien des Cyberspace, in: Belting, Hans; Gohr, Siegfried (Hrsg.), Die Frage nach dem Kunstwerk unter den heutigen Bildern, Ostfildern 1996, S. 31-49

- Brincken, Bernd von: Eine andere Art von Welt-Raum, in: Cyberspace, Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Manfred Waffnender (Hrsg.), Hamburg 1991
- Brinckmann, Hans: Flüchtige Ware Information - Probleme der Rechtsordnung, in: Spektrum der Wissenschaft, Heft 11/1991, S. 150 - 159
- Bröckers, Mathias: Digital Magic, in: Cyberspace, Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Manfred Waffnender (Hrsg.), Hamburg 1991, S. 90 - 97
- Brown, Gordon S., Wiener, Norbert: Automation, 1955 A Retrospective, in: Annals of the History of Computing, Volume 6, Number 4, October 1984, S. 372 – 383
- Bülow, Ralf: Three Inventors – Scenes from Early German Computing History, in: Annals of the History of Computing, Volume 12, Number 2, 1990, S. 109 – 126
- Campbell-Kelly, Martin: Programming the EDSAC: Early Programming Activity at the University of Cambridge, in: Annals of the History of Computing, Volume 2, Number 1, January 1980, S. 7 – 36
- Campbell-Kelly, Martin: Programming the Mark I: Early Programming Activity at the University of Manchester, in: Annals of the History of Computing, Volume 2, Number 2, April 1980, S. 130 – 168
- Campbell-Kelly, Martin: The Airy Tape: An Early Chapter in the History of Debugging, in: Annals of the History of Computing, Volume 14, Number 4, 1992, S. 16 – 26
- Ceruzzi, Paul E.: When Computers Were Human, in: Annals of the History of Computing, Volume 13, Number 3, 1991, S. 237 – 244
- Clausberg, Karl: Feigenbaum und Mandelbrot, in: Kunstforum International, Bd. 85, Kunst und Wissenschaft, Köln
- Clymer, A. Ben: The Interplay Between Control-Display and Simulation, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, December 1964, S. 65 – 72
- Connelly, Mark E.: A Demonstration Hybrid Computer for Real-Time Flight Simulation, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, September 1965, S. 191 - 200
- Coons, Steven Anson: An Outline of the Requirements for a Computer-Aided Design System, in: Simulation: Technical Journal of the Society for Computer Simulation, February 1964, S. R-2 – R-7
- Coyne, Richard: Heidegger and Virtual Reality: The Implications of Heidegger's Thinking for Computer Representations, in: LEONARDO, Vol. 27, No. 1, 1994, S. 65 – 73
- Daniel Hillis: Ultraschnelle Prozessor-Netzwerke, in: Spektrum der Wissenschaft, Sonderheft 11, 1991, S. 46 - 55
- D'Avis, Winfried: KI, ein Angriff des Computers auf den menschlichen Geist?, in: Ästhetik und Kommunikation, Heft 69, Gentechnologie
- Derlien, Thomas: Die Megamaschine als Prothesengott, in: Computerkultur, Bremen 1989
- Döblacher, Dipl. Ing Gerhard: Statische Strukturanalyse in der Karosserieentwicklung, in: Automobil Industrie, Heft 6/91, S. 525 - 531.
- Elzen, Boelie, Mackenzie, Donald: The Social Limits of Speed: The Development and Use of Supercomputers, in: Annals of the History of Computing, Volume 16, Number 1, 1994, S. 46 – 61
- Fisher, Scott S.: Virtual Environments, Personalsimulation und Telepräsenz, in: Ars Electronica, Festival für Kunst, Technologie und Gesellschaft, Katalog Bd. II, Virtuelle Welten, Linz 1990, S. 147 - 157
- Fisher, Scott S.: Wenn das Interface im Virtuellen verschwindet, in: Cyberspace, Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Manfred Waffnender (Hrsg.), Hamburg 1991, S. 35 - 51
- Flowers, Thomas H.: The Design of Colossus, in: Annals of the History of Computing, Volume 5, Number 3, July 1983, S. 239 – 252
- Flusser, Vilém: Alle Revolutionen sind technische Revolutionen, im Gespräch mit Florian Rötzer. In: Kunstforum, Ästhetik des Immateriellen, Heft 97, 1989
- Forrester, Jay: Whirlwind's Success, in: The Computer Museum Report, Spring 1988, S. 10 – 13
- Fox Keller, Evelyn: The Body of a New Machine: Situating the Organism between Telegraphs and Computers, in: Perspectives on Science, Volume 2, Number 3, Fall 1994, S. 302 – 323
- Frenkel, Karen A.: An Interview with Ivan Sutherland, in: Communications of the ACM, Volume 32, Number 6, June 1989, S. 712 - 718
- Fuder, Dieter: Don-Juanismus der Erkenntnis, in: Bohn; Fuder (Hrsg.), Baudrillard, Simulation und Verführung, München 1994

- Gabbert, Klaus: Prometheische Schamlosigkeit, in: *Ästhetik und Kommunikation*, heft 69
Gentechnologie
- Glaser, Peter: Das Innere der Wir Maschine, in: *Cyberspace. Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten*. Manfred Waffnender (Hrsg.), Hamburg 1991, S. 212
- Glaser, Peter: Das Kolumbus-Gefühl, in: *Computerkultur, The Beauty of Bits and Bytes*, Michael Weisser (Hrsg.), Bremen 1989
- Greibach, S. A.: Formal Languages. Origins and Directions, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 3, Number 1, January 1981, S. 14 - 41
- Grier, David Alan: The ENIAC, the Verb "to program" and the Emergence of Digital Computers, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 18, Number 1, 1996, S. 51 - 55
- Großklaus, Götz: *Ästhetische Wahrnehmung und Frühindustrialisierung im 19. Jahrhundert*, in: *Mechanik in den Künsten*, Marburg 1990
- Hachmeister, Lutz: Die Angst vor der paradoxen Maschine. Über Fernsehen und verspätetes Medienbewußtsein, in: *Freibeuter*, Heft 44 1990
- Harrington, John V.: Radar Data Transmission, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 5, Number 4, October 1983, S. 370 - 374
- Heckmann, H.: *Die andere Schöpfung. Geschichte der frühen Automaten in Wirklichkeit und Dichtung*, Frankfurt/M 1982
- Heller, Martin: Kunst kommt von brauchen, in: *Kunstforum International*, Bd.114
- Helms, H.G.: *Electronic Battlefields oder die Einübung des imitativen Gehorsams*, in: *Von der Lust am Falschen*, Basel/Frankfurt 1989
- Herbert, Nick: Nur Werner allein hat die nackte Realität gesehen: Vorschlag für eine wirklich Neue Physik, in: *Ars Electronica*, Band II, Linz 1990, S. 39 - 49
- Hoffman-Axthelm, Dieter: Über die Schnittstelle halb Ding, halb Metapher, in: *Ästhetik und Kommunikation*, Heft 73/74, Jahrgang 19, 1988, S. 30-39
- Holmes, Oliver Wendell: The Stereoscope and the Stereograph, in: *The Atlantic Monthly* 3, Boston June 1859, S. 738-748
- Holst, Per A.: George A. Philbrick and Polyphemus - The First Electronic Training Simulator, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 4, Number 4, April 1982, S. 143 - 156
- Hopper, Grace Murray: The Education of a Computer, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 9, Number 3 / 4, 1988, S. 271 - 281
- Jacobs, John F.: SAGE Overview, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 5, Number 4, October 1983, S. 323 - 329
- Kamper, Dietmar: Mimesis und Simulation, in: *Kunstforum International*, Bd.114
- Kittler, Friedrich: Fiktion und Simulation, in: *Aisthesis. Wahrnehmung heute oder Perspektiven einer anderen Ästhetik*, Leipzig 1991, S. 196 - 213
- Kittler, Friedrich: Synergie von Mensch und Maschine, Friedrich Kittler im Gespräch mit Florian Rötzer, in: *Kunstforum*, Bd. 98, 1989, *Ästhetik des Immateriellen II*, S. 108 - 117
- Kramer, Friedrich: *Wissenschaftliche Paradigmen, Wahrheit und Wirklichkeit in der Matrix der Zeit*, in: *Strategien des Scheins*, Florian Rötzer, Peter Weibel (Hrsg.), München 1991, S. 215 - 227
- Krass, Stephan: Der Krieg im Zeitalter seiner technischen Simulierbarkeit, in: *Kunstforum International*, Imitation und Mimesis, Bd. 114, Juli/August 1991
- Krull, Fred N.: The Origin of Computer Graphics within General Motors, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 16, Number 3, 1994, S. 40 - 56
- Layer, Harold A.: Microcomputer History and Prehistory - An Archaeological Beginning, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 11, Number 2, 1989, S. 127 - 130
- Leary, Timothy: Das interpersonale, interaktive, interdimensionale Interface, in: *Cyberspace. Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten*, Manfred Waffnender (Hrsg.), Hamburg 1991, S. 274 - 281
- Lee, J. A. N.: Claims to the Term "Time-Sharing", in: *Annals of the History of Computing*, Volume 14, Number 1, 1992, S. 16 - 51
- Lem, Stanislaw: Stanislaw Lem im Gespräch mit Florian Rötzer, in: *Kunstforum*, Heft 98, S. 100 - 105
- Lem, Stanislaw: *Roboter in der Science-fiction*. In: Barmeyer, Eike (Hrsg.): *Science Fiction. Theorie und Geschichte*. München 1972
- Ludwig, Albert: *Homunculi und Androiden*. In: *Archiv für das Studium der neuen Sprachen und Literatur*. Bd. 137-139. Braunschweig, Berlin 1918/19

- Lühl, Marie: Mensch – Computer – Symbiose. Zur technischen Umsetzung einer Vision, in: Forschungsberichte des Fachbereichs Informatik der Technischen Universität Berlin, Bericht 96 – 24
- Mahoney, Michael S.: The History of Computing in the History of Technology, in: Annals of the History of Computing, Volume 10, Number 2, 1988, S. 113 – 125
- Mahowald, Misha A.: Carver Mead, Die Silicium Netzhaut, in: Spektrum der Wissenschaft, Sonderheft 11, 1991, S. 82 - 89
- Marcuse, Herbert: Über den affirmativen Charakter der Kultur, in: ders., Kultur und Gesellschaft I, Hamburg, 1965, S.71
- Metropolis, N., Worlton, J.: A Trilogy on Errors in the History of Computing, in: Annals of the History of Computing, Volume 2, Number 1, January 1980, S. 49 – 59
- Mitchell, W. J. T., Der Pictorial Turn, in: Peter Kravagna (Hrsg.), Privileg Blick. Kritik der visuellen Kultur, Berlin 1997, S. 15-40
- Mitchell, W. J. T.: Was ist ein Bild?, in: Bohn, Volker (Hrsg.), Bildlichkeit. Internationale Beiträge zur Poetik, Frankfurt/M. 1990, S. 17-68
- Nake, Prof. Dr. Frieder: Künstliche Kunst, in Computerkultur, Bremen 1989
- O'Neill, Judy E.: The Role of ARPA in the Development of the ARPANET, 1961 – 1972, in: Annals of the History of Computing, Volume 17, Number 4, 1995, S. 76 – 81
- Panofsky, Erwin: Abt Suger von St. Denis, in: ders., Sinn und Deutung in der bildenden Kunst, Köln 1978
- Pascoe, Robert S. V., Whiting, Paul G.: A History of Data-Flow Languages, in: Annals of the History of Computing, Volume 16, Number 4, 1994, S. 38 – 59
- Peitgen, Hans-Otto: Ordnung im Chaos - Chaos in der Ordnung: Ein neues Weltbild oder nur eine flüchtige Mode? in: Strategien des Scheins, Rötzer/Weibel (Hrsg.), München 1991, S. 268 - 276.
- Pickering, Andy: Cyborg History and the World War II Regime, in: Perspectives on Science, Volume 3, Number 1, Spring 1995, S. 1 – 48
- Randell, Brian: From Analytical Engine to Electronic Digital Computer: The Contributions of Ludgate, Torres and Bush, in: Annals of the History of Computing, Volume 4, Number 4, October 1982, S. 327 – 341
- Randell, Brian: The Origins of Computer Programming, in: Annals of the History of Computing, Volume 16, Number 4, 1994, S. 6 – 14
- Reman, Micky: Cyber, Cyber über alles, in: Cyberspace, Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Manfred Waffnender (Hrsg.), Hamburg 1991, S. 15 - 19
- Rombach, Leopold: Kleiner Versuch über das Rauschen in Technik, in: Kunst und Wissenschaft
- Sammet, Jean E.: Some Approaches to, and Illustrations of, Programming Language History, in: Annals of the History of Computing, Volume 13, Number 1, 1991, S. 33 – 50
- Schauer, Lucie: Vom Mythos zur Megamaschine-Zur Geschichte des künstlichen Menschen, in: Maschinenmenschen, (Kat.) Berlin 1989
- Schröder, Peter: Wir bauen eine Maschine, die stolz auf uns sein wird! in: Cyberspace, Hamburg 1991, S. 127- 133
- Schwärtzel, Prof. Dr. Heinz: Intelligenz ohne Bewußtsein, in: Computerkultur, Bremen 1989
- Sejnowski, Terrence: The Computer and the Brain Revisited, in: Annals of the History of Computing, Volume 11, Number 3, 1989, S. 197 – 201
- Smith, Richard E.: A Historical Overview of Computer Architecture, in: Annals of the History of Computing, Volume 10, Number 4, 1989, S. 277 – 303
- Stafford, Barbara Maria: The New Imagist, in: Good Looking. Essays on The Virtue of Images, Cambridge(Massachusetts) / London 1996, S. 68-78
- Sterling, Bruce: Die Zukunft des Cyberspace - Wildes Grenzland gegen hyperrealen Grundbesitz, in: Ars Electronica, Linz 1990, S. 228 - 231
- Stern, Nancy: John von Neumann's Influence on Electronic Digital Computing, 1944 – 1946, in: Annals of the History of Computing, Volume 2, Number 4, October 1980, S. 349 – 362
- Sturmann, David J.: Spürbar Real. Virtuelle Wirklichkeit und Menschliche Wahrnehmung, in: Cyberspace. Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten. Manfred Waffnender (Hrsg.), Hamburg 1991, S. 99 - 123
- Tomash, Erwin, Wieselmann, Irving L.: Marks on Paper: Part 1. A Historical Survey of Computer Output Printing, in: Annals of the History of Computing, Volume 13, Number 1, 1991, S. 63 – 79

- Tomash, Erwin, Wieselmann, Irving L.: Marks on Paper: Part 2. A Historical Survey of Computer Output Printing, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 13, Number 2, 1991, S. 203 – 222
- Turing, Alan M.: On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem, in: *Proceedings. London Mathematical Society. Ser. 2-42*, 1936, S. 230 - 265
- Tweeddale, Geoffrey: A Manchester Computer Pioneer: Ferranti in Retrospect, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 15, Number 3, 1993, S. 37 – 43
- Tympas, Aristotle: From Digital to Analog and Back: The Ideology of Intelligent Machines in the History of the Electrical Analyzer, 1870s – 1960s, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 18, Number 4, 1996, S. 42 – 48
- Valley, George E. Jr.: How the SAGE Development Began, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 7, Number 3, July 1985, S. 196 – 226
- Vogel, Matthias: Vom Verschwinden und Erscheinen des Körpers auf dem Bildschirm, in: *Kunstforum International*, Bd. 114
- Walker, John: Hinter den Spiegeln, in: *Cyberspace, Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten*. Manfred Waffener (Hrsg.), Hamburg 1991, S. 20 - 31.
- Walser, Randal: Die heranwachsende Technologie des Cyberspace, in: *Ars Electronica*, Band II, Linz 1990, S. 197 - 214
- Weibel, Peter: Des Kaisers neue Körper, in: *Ars Electronica*, Bd. II, Linz 1990, S. 9 - 38
- Weibel, Peter: Vom Verschwinden der Ferne, Telekommunikation und Kunst, in: *Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst*, Ausstellung des Deutschen Postmuseums Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 19 - 77
- Wieser, C. Robert: The Cape Cod System, in: *Annals of the History of Computing*, Volume 5, Number 4, October 1983, S. 362 – 396
- Youngblood, Gene: The aura of the simulacrum. Der Computer und die Zukunft der Kunst, Vortrag in der Kunsthochschule für Medien, Köln, 14. Mai 1991.
Vortragszusammenfassung von Jürgen Kisters, in: *Kunstforum*, 114, 1991, S. 398 - 399
- Zec, Peter: Das Medienwerk. Ästhetische Produktion im Zeitalter der elektronischen Kommunikation, in: *Digitaler Schein. Ästhetik der elektronischen Medien*. Florian Rötzer (Hrsg.), Frankfurt/M 1991, S. 100 - 113
- Zielinski, Siegfried: Von Nachrichtenkörpern und Körpernachrichten. Ein eiliger Beutezug durch zwei Jahrtausende Mediengeschichte, in: *Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst*, Ausstellung des Deutschen Postmuseums Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 229 - 252

Selbständige Schriften

(In alphabetischer Reihenfolge)

- Ahrweiler, Petra: „Künstliche Intelligenz“–Forschung in Deutschland. Die Etablierung eines Hochtechnologie-Fachs, Münster u. a. 1995
- Anders, Günther: Die Antiquiertheit des Menschen, Bd.1 und 2, München 1988
- Andersen, Peter B. u. a.: The computer as medium, Cambridge Univ. Press 1993
- Antébi, Elizabeth: Die Elektronik Epoche, Basel 1983
- Aspray, William; Campbell-Kelly, Martin: Computer. A History of the Information Machine, New York 1996
- Aukstakalnis, Steve; Blatner, David: Silicon Mirage. The Art and Science of Virtual Reality, Berkeley 1992
- Babbage, Charles: Passages from the Life of a Philosopher, London 1864, Nachdruck 1968
- Baecker, Dirk u. a.: Im Netz der Systeme, Berlin 1990
- Baeseler, Frank; Bovill, Bruce: Das Scanner-Handbuch, Hamburg u. a. 1990
- Bahr, Hans-Dieter: Über den Umgang mit Maschinen. Tübingen 1983
- Baker, Robin: Designing the future. Die dreidimensionale Computerrevolution, Düsseldorf 1993
- Baltes, Martin; Böhler, Fritz; Höltschl, Rainer; Reuß, Jürgen (Hrsg.): Medien verstehen. Der McLuhan-Reader, Mannheim 1997
- Bammé, Arno u.a.: Maschinen-Menschen, Mensch-Maschinen, Reinbek bei Hamburg 1983
- Barck, Karlheinz; Gente, Peter; Paris, Heidi; Richter, Stefan (Hrsg.): Aisthesis. Wahrnehmung heute oder Perspektiven einer anderen Ästhetik, Leipzig 1990
- Barthes, Roland: Die helle Kammer, Frankfurt am Main 1985
- Baruzzi, Arno: Mensch und Maschine. Das Denken sub specie machinae, München 1973

- Baudrillard, Jean: Agonie des Realen, Berlin 1978
- Baudrillard, Jean: Der symbolische Tausch und der Tod, München 1982
- Baudrillard, Jean: Kool Killer oder der Aufstand der Zeichen, Berlin 1978
- Baudrillard, Jean: Laßt euch nicht verführen, Berlin 1983
- Baudrillard, Jean; Bohringer, Hannes; Flusser, Vilém u. a.: Philosophien der neuen Technologie, Berlin 1989
- Bauer, Hans u. a. (Hrsg.): Design. Kunst. Computer. Computer in den künstlerischen Bereichen, Kassel 1991
- Bauknecht, Kurt; Zehnder, Carl August: Grundzüge der Datenverarbeitung: Methoden und Konzepte für die Anwendungen, Stuttgart 1983
- Baumann, Hans D.: DuMont's Handbuch. Digitale Mal- und Grafiktechniken. Elektronische Bilderzeugung mit dem PC, Köln 1993
- Belting, Hans; Haustein, Lydia (Hrsg.): Das Erbe der Bilder. Kunst und Medien in den Kulturen der Welt, München 1998
- Bense, Max: Einführung in die informationstheoretische Ästhetik, Reinbek bei Hamburg 1969
- Bestenreiner, Friedrich: Vom Punkt zum Bild. Entwicklung, Stand und Zukunftaspekte der Bildtechnik, Karlsruhe 1988
- BILDO-Akademie (Hrsg.): Bildmaschinen und Erfahrung, Berlin 1990
- Birke, Gerlinde u. a.: Computergraphik, Berlin 1995
- Bismarck, Klaus von; Gaus, Günter; Kluge, Alexander; Sieger, Ferdinand: Industrialisierung des Bewußtseins, München 1985
- Blöss, Christian: Maschinenkinder, Berlin 1987
- Blumenberg, Hans: Wirklichkeiten in denen wir leben, Stuttgart 1981
- Böckelmann, Frank: Theorie der Massenkommunikation, Frankfurt/Main 1975
- Bohn, Ralf; Fuder, Dieter (Hrsg.): Baudrillard. Simulation und Verführung, München 1994
- Bolt, Richard A.: The Human Interface, Belmont, California 1984
- Bolter, J. David: Der digitale Faust. Philosophie des Computer-Zeitalters, Stuttgart / München 1990
- Bolz, Norbert: Am Ende der Gutenberg-Galaxis, München 1993
- Bolz, Norbert: Die Welt als Chaos und als Simulation, München 1992
- Bolz, Norbert: Eine kurze Geschichte des Scheins, München 1991
- Bolz, Norbert: Theorie der neuen Medien, München 1990
- Bolz, Norbert; Kittler, Friedrich; Tholen, Christoph (Hrsg.): Computer als Medium, München 1994
- Boogaerts, Pierre: Roboter, Düsseldorf 1978
- Bourdieu, Pierre: Zur Soziologie der symbolischen Formen, Frankfurt 1970
- Braitenberg, Valentin; Hosp, Inga (Hrsg.): Die Natur ist unser Modell von ihr, Forschung und Philosophie, Hamburg 1995
- Brand, Stewart: Media Lab. Computer, Kommunikation und Neue Medien. Die Erfindung der Zukunft am MIT, Reinbek bei Hamburg 1990
- Braun, Ernest: Revolution in Miniature: The History and Impact of Semiconductor Electronics, Cambridge 1978
- Brauner, Christian (Hrsg.): Samuel F. B. Morse. Eine Biographie, Basel 1991
- Bredenkamp, Horst: Antikensehnsucht und Maschinenglauben. Die Geschichte der Kunstkammer und die Zukunft der Kunstgeschichte, Berlin 1993
- Brockman, John: Die dritte Kultur. Das Weltbild der modernen Naturwissenschaft, München 1996
- Brugger, Ralf: 3D-Computergrafik und -animation, Bonn / München 1993
- Buddemeier, Heinz: Leben in künstlichen Welten, Stuttgart 1993
- Buddemeier, Heinz: Panorama Diorama, Entstehung und Wirkung neuer Medien im 19. Jh., München 1970
- Buderi, Robert: The Invention That Changed The World, New York 1997
- Bulow, Ralf (Hrsg.): Denk, Maschine! Geschichten über Roboter, Computer und künstliche Intelligenz. München 1988
- Bürger, Peter: Theorie der Avantgarde, Frankfurt/M 1974.
- Burke, Colin: Information and Secrecy, London 1994
- Busch, Bernd: Belichtete Welt, München 1989
- Büttner, Manfred: Computeranimation. Technik und Möglichkeiten eines neuen Mediums. Theorie und Praxis bildgenerierender Rechnersysteme, Gensingen 1985
- Capurro, Rafael: Leben im Informationszeitalter, Berlin 1995
- Cassirer, Ernst: Geist und Leben, Leipzig 1993

- Cassirer, Ernst: Philosophie der symbolischen Formen, Darmstadt 1994
- Ceruzzi, Paul E.; Kidwell, Peggy A.: Landmarks in Digital Computing, Washington / London 1994
- Channell, David F.: The Vital Machine, New York / Oxford 1991
- Christaller, Thomas; Maar, Christa; Pöppel, Ernst (Hrsg.): Die Technik auf dem Weg zur Seele, Reinbek bei Hamburg 1996
- Claus, Jürgen: Elektronisches Gestalten in Kunst und Design. Richtungen, Institutionen, Begriffe, Reinbek bei Hamburg 1991
- Cobabus, Norbert: Grenzen der Intelligenz. Eine Einführung in die Kritik der Computertechnologie, Frankfurt/Main 1988
- Cohen, John: Golem und Roboter. Über künstliche Menschen. Frankfurt M. 1968
- Collins, H. M.: Artificial Experts: Social Knowledge and Intelligent Machines, MIT Press, Cambridge 1990
- Cooley, M. J. E.: Computer Aided Design – Its Nature and Implications, o.O. 1972
- Coy, Wolfgang u. a. (Hrsg.): Sichtweisen der Informatik, Braunschweig u. a. 1992
- Coy, Wolfgang: Industrieroboter. Zur Archäologie der zweiten Schöpfung. Berlin 1985
- Coy, Wolfgang; Tholen, Georg Christoph; Warnke, Martin (Hrsg.): HyperKult, Basel / Frankfurt am Main 1997
- Crary, Jonathan: Techniken des Betrachters. Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert, Dresden / Basel 1996
- Crevier, Daniel: AI. The tumultuous history of the search for artificial intelligence, New York 1993
- Cube, Felix von: Was ist Kybernetik?, München 1971
- Damasio, Antonio R.: Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn, München 1994
- Daniels, Karlheinz (Hrsg.): Mensch und Maschine. Literarische Dokumente. Frankfurt a. M., Berlin, München 1981
- Davis, Douglas: Vom Experiment zur Idee. Die Kunst des 20. Jahrhunderts im Zeichen von Wissenschaft und Technologie. Köln 1975
- Davis, Paul: Prinzip Chaos, München 1988
- Debatin, Bernhard: Zur Modellierung der Mensch-Computer-Interaktion, o.O. 1994
- Decker, Edith; Weibel, Peter (Hrsg.): Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst, Köln 1990
- Deken, Joseph: Computerbilder. Kreativität und Technik, Basel 1984
- Dencker, Klaus Peter (Hrsg.): Interface 1. Elektronische Medien und künstlerische Kreativität, Hamburg 1992
- Dencker, Klaus Peter (Hrsg.): Interface 3. Netze denken, Kunst verkehren, Verbindlichkeiten, Hamburg 1997
- Dijksterhuis, E. J.: The Mechanization of the World Picture, Princeton (New Jersey) 1989
- Dinkla, Söke: Vom Zuschauer zum Benutzer. Interaktive Installationen und Environments im späten 20. Jahrhundert, Dissertation, Hamburg 1995
- Doelker, Christian: Ein Bild ist mehr als ein Bild, Stuttgart 1997
- Dotzler, Bernhard J.: Papiermaschinen, Berlin 1996
- Dotzler, Bernhard; Kittler, Friedrich (Hrsg.): Alan Turing, Intelligence Service, Berlin 1987
- Dreyfus, Hubert L.; Dreyfus, Stuart E.: Künstliche Intelligenz. Von den Grenzen der Denkmaschine und dem Wert der Intuition, Reinbek bei Hamburg 1987
- Druckrey, Timothy (Hrsg.): Electronic Culture. Technology and Visual Representation, New York 1996
- Drux, Rudolf (Hrsg.): Zur Geschichte der Androiden. Texte von Homer bis Asimov, Stuttgart 1988
- Dubost, Jean-Pierre (Hrsg.): Bildstörung. Gedanken zu einer Ethik der Wahrnehmung, Leipzig 1994
- Dürr, Hans-Peter, Zimmerli, Walther Ch.: Geist und Natur, Bern 1991
- Dürr, Hans-Peter: Das Netz des Physikers, München 1988
- Dürr, Hans-Peter: Physik und Transzendenz, Bern 1986
- Duve, Freimut (Hrsg.): Technologie und Politik 19, Reinbek bei Hamburg 1982
- Eco, Umberto: Das offene Kunstwerk, Frankfurt/ Main 1977
- Eco, Umberto: Über Spiegel und andere Phänomene, München 1990
- Eisenbeis, Manfred; Hagebölling, Heide (Hrsg.): Synthesis. Die visuellen Künste in der elektronischen Kultur, Offenbach am Main 1989

- Emerson, Allen; Forbes, Cheryl: Computer Invasion. Der programmierte Angriff auf unser Denken, Asslar 1990
- Encarnaç o, J.; Kuhlmann, H. (Hrsg.): Graphik in Industrie und Technik, Berlin / Heidelberg 1989
- Ermann, M. David; Gutierrez, Claudio; Williams, Mary B. (Hrsg.): Computers, Ethics & Society, New York / Oxford 1990
- Eurich, Claus: Die Megamaschine. Vom Sturm der Technik auf das Leben und Möglichkeiten des Widerstands, Frankfurt am Main 1991
- Fabian, Rainer: Reise zu den Infonauten, Hamburg 1987
- Fehr, Michael; Krümmel, Clemens; M ller Markus (Hrsg.): Platons Höhle. Das Museum und die elektronischen Medien, Köln 1995
- Feldhaus, Franz Maria: Kulturgeschichte der Technik. Berlin 1928
- Fellner, Wolf Dietrich: Computer-Grafik (= Reihe Informatik, 58), Mannheim u. a. 1992
- Feyerabend, Paul: Erkenntnis für freie Menschen, Frankfurt 1981,
- Feyerabend, Paul: Wider den Methodenzwang, Frankfurt 1975, 3. Auflage 1983.
- Fischer, Peter (Hrsg.): Technikphilosophie, Leipzig 1996
- Flusser, Vilém: Gesten. Versuch einer Phänomenologie, Frankfurt am Main 1994
- Flusser, Vilém: Ins Universum der technischen Bilder, Göttingen 1985
- Flusser, Vilém: Medienkultur, Frankfurt am Main 1997
- Flusser, Vilém: Die Revolution der Bilder, Mannheim 1995
- Foley, James D. (Hrsg.): Grundlagen der Computergrafik. Einführung, Konzepte, Methoden, Bonn u. a. 1994
- Forester, Tom (Hrsg.): Computers in the Human Context, Cambridge (Massachusetts) 1989
- Forschungsinstrument Fahrsimulator, Schriftenreihe der Daimler-Benz AG, Düsseldorf 1990
- Franke, Herbert W.: Computergrafik – Computerkunst, Berlin u. a. (2) 1985
- Franke, Herbert W.: Computergrafik-Galerie. Bilder nach Programm. Kunst im elektronischen Zeitalter, Köln 1984
- Franke, Herbert W.: Leonardo 2000. Kunst im Zeitalter des Computers, Frankfurt/Main (2) 1987
- Franke, Herbert W.: Phänomen Kunst, Stuttgart 1967
- Franke, Herbert W.; Helbig, Horst: Die Welt der Mathematik. Computergrafik zwischen Wissenschaft und Kunst, Düsseldorf 1988
- Freund, Gis le: Photographie und Gesellschaft, Hamburg 1979
- Fuchshuber, Roland: Wir machen ein Programm, Reinbek bei Hamburg 1969
- Fugl wicz, Marion (Hrsg.): Das Internet Lesebuch. Hintergründe, Trends, Perspektiven, Wien 1996
- Gantz, John; Rochester, Jack B.: Der nackte Computer, Köln 1984
- Gebhardt, Friedrich (Hrsg.): Skizzen aus den Anfängen der Datenverarbeitung, München / Wien 1983
- Geduld, Harry M., Gottesmann, Ronald (Hrsg.): Robots, robots, robots. Bosten 1978
- Gehlen, Arnold: Die Seele im technischen Zeitalter, 1957
- Gehlen, Arnold: Studienausgabe der Hauptwerke. Der Mensch. Urmensch und Sp tkultur. Moral und Hypermoral, Wiesbaden 1986
- Gergely, Stefan M.: Mikroelektronik. Computer, Roboter und neue Medien erobern die Welt, München 1985
- Giedion, Siegfried: Herrschaft der Mechanisierung. Frankfurt a. M. 1982
- Giesen, Rolf: Special Effects. Die Tricks im Film. Ebersberg/Obb. 1985
- Glaser, Horst Albert; Kaempfer, W. (Hrsg.): Maschinenmenschen. Referate des Triestiner Kongresses 1986. Frankfurt a. M., Bern, New York 1988
- Glasersfeld, Ernst von: Radikaler Konstruktivismus, Frankfurt am Main 1996
- Gloede, Wolfgang: Vom Lesestein zum Elektronenmikroskop, Berlin (Ost) 1986
- Goldstine, Herman H.: The Computer. From Pascal to von Neumann, Princeton (New Jersey) 1993
- Goodman, Nelson: Sprachen der Kunst: Entwurf einer Symboltheorie, Frankfurt am Main 1997
- Goodman, Nelson: Weisen der Welterzeugung, Frankfurt am Main 1984
- Grassmuck, Volker: Vom Animismus zur Animation. Anmerkungen zur künstlichen Intelligenz. Hamburg 1988
- Greif, Irene (Hrsg.): Computer-Supported Cooperative Work: A Book of Readings, San Mateo, California 1988

- Groß, Markus: Visual Computing. The Integration of Computer Graphics, Visual Perception and Imaging, Berlin u. a. 1994
- Guerin, Jacques: Le Mekanisme du Flûteur automate. Paris 1738
- Günther, Gotthard: Das Bewußtsein der Maschinen. Eine Metaphysik der Kybernetik. Krefeld, BadenBaden 1963
- Hafner, Katie; Lyon, Matthew: ARPA KADABRA. Die Geschichte des Internet, Heidelberg 1997
- Hagner, Michael; Rheinberger, Hans-Jörg; Wahrig-Schmidt, Bettina (Hrsg.): Räume des Wissens. Repräsentation, Codierung, Spur, Berlin 1997
- Hammel, Eckhard (Hrsg.): Synthetische Welten, Essen 1996
- Hang, Hseuh-Ming u. a. (Hrsg.): Handbook of Visual Communications, San Diego u. a. 1995
- Hartmann, Frank: Cyber.Philosophy. Medientheoretische Auslotungen, Wien 1996
- Hastedt, Heiner: Aufklärung und Technik, Frankfurt am Main 1994
- Haug, Wolfgang Fritz: Kritik der Warenästhetik, Frankfurt am Main 1971
- Haugeland, John (Hrsg.), Mind Design. Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence, Cambridge, Mass. u. a. (6) 1988
- Havelock, Eric A.: Schriftlichkeit. Das griechische Alphabet als kulturelle Revolution, Weinheim 1990
- Haverbeck, Werner Georg: Das Ziel der Technik. Die Menschwerdung der Erde. Olten, Freiburg i. Br. 1965
- Hechmann, Herbert: Die andere Schöpfung. Geschichte der frühen Automaten in Wirklichkeit und Dichtung. Frankfurt a. M. 1982
- Heintz, Bettina: Die Herrschaft der Regel, Frankfurt am Main 1993
- Hellmann, Christian: Der Science Fiction Film, München 1983
- Hiebel, Hans H.: Kleine Medienchronik, München 1997
- Hodges, Andrew: Alan Turing, Enigma, Wien 1994
- Hoffmann, Gerd, (Hrsg.): Der verkabelte Mensch, Braunschweig 1983
- Hoffmann, Hilmar (Hrsg.): Gestern begann die Zukunft, Darmstadt 1994
- Hoffmann, Walter (Hrsg.): Digitale Informationswandler, Braunschweig 1962
- Höflich, R., Joachim: Technisch vermittelte interpersonale Kommunikation, Opladen 1996
- Hofmann, Georg Rainer: Naturalismus in der Computergrafik, Berlin u. a. 1992
- Hofstadter, Douglas R.: Gödel, Escher, Bach, München 1991
- Holz, Hans Hein: Vom Kunstwerk zur Ware, Berlin 1972
- Holzmann, Gerard J.: The Early History of Data Networks, Washington 1995
- Hörisch, Jochen; Wetzel, Michael (Hrsg.): Armaturen der Sinne, München 1990
- Horkheimer, Adorno: Dialektik der Aufklärung, Frankfurt 1969, Nachdruck 1991.
- Howlett, J., Metropolis, N., Rota, Gian-Carlo (Hrsg.): A History of Computing in the Twentieth Century, New York 1980
- Huizinga, Johan: Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel, Reinbek bei Hamburg 1987
- Hünnekens, Annette: Der bewegte Betrachter. Theorien der interaktiven Medienkunst, Köln 1997
- Huth, Andreas: Computervisionen. Mit Elektronikbildern in die Zukunft, Leipzig 1988
- Iglhaut, Stefan; Rötzer, Florian; Schweeger, Elisabeth (Hrsg.): Illusion und Simulation – Begegnung mit der Realität, Ostfildern 1995
- Immerzeel, Martinus Bernardus: Mikrocomputer ohne Ballast, München 1984
- Iwainsky, Alfred; Wilhelmi, Wolfgang: Lexikon der Computergrafik und Bildverarbeitung, Braunschweig u. a. 1994
- Jacobson, Linda (Hrsg.): Cyberarts, San Francisco 1992
- Johannsen, Gerhard (Hrsg.): Computer-Systeme, Heidelberg 1989
- Johnson, Grant F.: Der Computer und die Technologisierung des Inneren, in: Psyche 34 (1980), 780-811
- Johnson-Laird, Philip: Der Computer im Kopf, München 1996
- Jones, Daniel T.; Roos, Daniel; Womack, James P.: The Machine That Changed the World, New York 1990
- Jung, Werner: Von der Mimesis zur Simulation. Eine Einführung in die Geschichte der Ästhetik, Hamburg 1995
- Jungk, Robert/Mundt, Hans Josef (Hrsg.): Maschinen wie Menschen. München 1969
- Kahn, Paul, Nyce, James M.: From Memex to Hypertext: Vannevar Bush and the Mind's Machine, San Diego CA 1991
- Kämmerer, Wilhelm: Digitale Automaten, Berlin 1969

- Kaufmann, William J.; Smarr, Larry L.: Simulierte Welten. Moleküle und Gewitter aus dem Computer, Heidelberg, Berlin, Oxford 1993
- Kenner, Hugh: Von Pope zu Pop . Kunst im Zeitalter von Xerox. München 1969
- Kerckhove, Derrick de: Schriftgeburten. Vom Alphabet zum Computer, München 1995
- Kiaulehn, Walther: Der eiserne Engel. Geburt, Geschichte und Macht der Maschinen. Heidelberg 1953
- Kilchenmann, Ruth J. (Hrsg.): Schlaue Kisten machen Geschichten. Von Androiden, Robotern und Computern, München 1977
- Kittler, Friedrich A.: Aufschreibesysteme 1800 – 1900, München 1985
- Kittler, Friedrich A.; Tholen, Georg Christoph (Hrsg.): Arsenale der Seele, München 1989
- Kittler, Friedrich: Draculas Vermächtnis, Leipzig 1993
- Kittler, Friedrich: Grammophon, Film, Typewriter, Berlin 1986
- Klement, Edwin: Integrierte Präsentation von realen und künstlichen Bewegtbildern auf graphischen Arbeitsplätzen, Aachen 1995
- Klems, Wolfgang: Die unbewältigte Moderne. Geschichte und Kontinuität der Technikkritik, Frankfurt/Main 1988
- Klepper, Martin; Mayer, Ruth; Schneck, Ernst-Peter (Hrsg.): Hyperkultur. Zur Fiktion des Computerzeitalters, Berlin / New York 1996
- Konersmann, Ralf (Hrsg.): Kritik des Sehens, Leipzig 1997
- Körner, Hans; Peres, Constanze; Steiner Reinhard; Tavernier, Ludwig (Hrsg.): Die Trauben des Zeuxis. Formen künstlerischer Wirklichkeitsaneignung, Hildesheim 1990
- Krämer, Sybille (Hrsg.): Geist – Gehirn – künstliche Intelligenz, Berlin 1994
- Krämer, Sybille: Symbolische Maschinen, Die Idee der Formalisierung im geschichtlichen Abriß, Darmstadt 1988
- Kravagna, Christian (Hrsg.): Privileg Blick. Kritik der visuellen Kultur, Berlin 1997
- Krocker, Arthur; Weinstein, Michael A.: Data Trash. The Theory of the Virtual Class, New York 1994
- Krueger, Myron W.: Artificial Reality II, Reading, Massachusetts 1991
- Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): Sehnsucht. Über die Veränderung der visuellen Wahrnehmung, Göttingen 1995
- Kunsthochschule für Medien Köln (Hrsg.): Lab. Jahrbuch 1995/1996. Für Künste und Apparate, Köln 1996
- Künzel, Werner; Bexte, Peter: Allwissen und Absturz. Der Ursprung des Computers, Frankfurt/Main u. a. 1993
- Kurzweil, Raymond: Das Zeitalter der künstliche Intelligenz, München / Wien 1993
- La Mettrie, Julien Offray de: Der Mensch als Maschine. Mit einem Essay von Bern A. Laska. Nürnberg 1988
- Laidler, Keith J.: To Light Such a Candle, New York 1998
- Landes, D.S.: Der entfesselte Prometheus, 1973
- Latham, Roy: The Dictionary of Computer Graphics Technology and Applications, New York u. a. 1991
- Latour, Bruno: Wir sind nie modern gewesen, Berlin 1995
- Laurel, Brenda: Computers as Theatre, Reading (Massachusetts) u. a. 1993
- Lavington, Simon: Early British Computers, Manchester 1980
- Lazere, Cathy; Shasha, Dennis: Out of their Minds. The Lives and Discoveries of 15 Great Computer Scientists, New York 1995
- Leary, Timothy: Die Intelligenz-Agenten, Basel 1982
- Leary, Timothy: Neuropolitik, Basel 1981
- Leavers, Violet F.: Shape Detection in Computer Vision Using the Hough Transform, London a. o. 1992
- Leebaert, Derek (Hrsg.): The Future of Software, Cambridge (Massachusetts) 1995
- Leister, W u. a.: Fotorealistische Computeranimation, Berlin u. a. 1991
- Leithäuser, Thomas u. a.: Der alltägliche Zauber einer digitalen Technik. Wirklichkeitserfahrung im Umgang mit dem Computer, Berlin 1995
- Levidow, Les; Robins, Kevin (Hrsg.): Cyborg Worlds. The Military Information Society, London 1989
- Levy, Steven: KL – Künstliches Leben aus dem Computer, München 1993
- Liebl, Franz: Simulation. Problemorientierte Einführung, München u. a. 1992
- Lindner, Rudolf; Wohak, Bertram; Zeltwanger, Holger: Planen, Entscheiden, Herrschen, Reinbek bei Hamburg 1984
- Lischka, Gerhard Johann: Schnittstellen. Das postmoderne Weltbild, Bern 1997

- Lubar, Steven: Infoculture, The Smithsonian Book of Information Age Inventions, Boston New York 1993
- Luhmann, Niklas: Die Realität der Massenmedien, Opladen 1996
- Lukoff, Herman: From Dits to Bits: A Personal History of the Electronic Computer, Portland (Oregon) 1979
- Lundstrom, David E.: A Few Good Men from Univac, Cambridge (Massachusetts) 1987
- Maas, Susanne: Mensch Rechner Kommunikation, Herkunft und Chancen eines neuen Paradigmas. Diss. Universität Hamburg. FB1-HH-B-104, Hamburg 1984.
- Magenat-Thalmann, Nadia a. o. (Hrsg.): Creating and Animating the Virtual World, Tokyo a. o. 1992
- Mainzer, Klaus: Computer – Neue Flügel des Geistes?, Berlin 1994
- Malone, Michael Shawn: The Microprocessor. A Biography, New York a. o. 1995
- Mandelbrot, Benoit: Die fraktale Geometrie der Natur, Berlin 1991, Englische Originalausgabe, New York 1977
- Marx, Leo; Smith, Merritt Roe (Hrsg.): Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism, Cambridge (Massachusetts) 1994
- Maturana, Humberto: Was ist erkennen?, München 1994
- Mazlish, Bruce: Faustkeil und Elektronenrechner. Die Annäherung von Mensch und Maschine, Frankfurt am Main / Leipzig 1996
- McLuhan, Marshall: Die Gutenberg-Galaxis, Bonn u. a. 1995
- McLuhan, Marshall: Die magischen Kanäle, Düsseldorf, 1970
- McLuhan, Marshall: Die mechanische Braut. Volkskultur des industriellen Menschen, Amsterdam 1996
- McWilliams, Peter: Persönliche Computer für Einsteiger, Reinbeck bei Hamburg 1984
- Mersch, Dieter; Nyíri, J. C. (Hrsg.): Computer, Kultur, Geschichte. Beiträge zur Philosophie des Informationszeitalters, Wien 1991
- Messer, Burkhard: Fachsprachliche Entwicklung einer Theorie der Programme, Dissertation, Berlin 1992
- Meyrowitz, Joshua: Die Fernseh-Gesellschaft, Weinheim 1987
- Miller, Jonathan: Marshall McLuhan, München 1972
- Minsoo, Suk, Three dimensional object recognition from range images, Tokyo a. o. 1992
- Moles, Abraham A.: Kunst & Computer, Köln 1973
- Möller, Reinhard (Hrsg.): 2. Workshop Sichtsysteme. Visualisierung in der Simulationstechnik Bremen, 28./19. November 1991 (Informatik-Fachberichte, 294), Berlin u. a. 1991
- Moravec, Hans: Mind Children. Der Wettlauf zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz, Hamburg 1990
- Moser, Mary Anne (Hrsg.): Immersed in Technology. Art and Virtual Environments, Cambridge (Massachusetts) 1996
- Müller, Heinrich: Realistische Computergraphik. Algorithmen, Datenstrukturen und Maschinen (= Informatik Fachberichte, 163), Berlin u. a. 1988
- Müller-Funk, Wolfgang; Reck, Ulrich (Hrsg.): Inszenierte Imagination. Beiträge zu einer historischen Anthropologie der Medien, Wien 1996
- Mumford, Lewis, Technics and Civilisation, New York 1963
- Mumford, Lewis: Mythos der Maschine. Kultur, Technik und Macht. Frankfurt a. M. 1977
- Münker, Stefan; Roesler, Alexander (Hrsg.): Mythos Internet, Frankfurt am Main 1997
- Nake, Frieder (Hrsg.): Die erträgliche Leichtigkeit der Zeichen, Baden Baden 1993
- Nake, Frieder, Ästhetik als Informationsverarbeitung, Wien 1974
- Nees, Georg: Formel, Farbe, Form. Computerästhetik für Medien und Design, Berlin u. a. 1995
- Noble, David F.: Maschinen gegen Menschen. Die Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen, o. O., 1979
- Oberliesen, Rolf: Information, Daten und Signale, Reinbek bei Hamburg 1982
- Oettermann, Stephan: Das Panorama. Die Geschichte eines Massenmediums, Frankfurt/Main 1980
- Packard, Vance: Die geheimen Verführer, Düsseldorf 1969
- Paetau, Michael: Mensch-Maschine-Kommunikation: Software, Gestaltungspotentiale, Sozialverträglichkeit, Frankfurt am Main 1990
- Penrose, Roger: Computerdenken. Des Kaisers neue Kleider oder Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewußtsein und die Gesetze der Physik, Heidelberg 1991

- Penrose, Roger: Schatten des Geistes. Wege zu einer neuen Physik des Bewußtseins, Heidelberg / Berlin / Oxford 1995
- Penzias, Arno: Phantasie und Information. Verständnis für unsere High-Tech-Welt, Stuttgart 1991
- Plastock, Roy A. und Kalley, Gordon: Computergrafik, Hamburg u. a. 1987
- Platon: Sämtliche Werke, Frankfurt/Main Leipzig 1991
- Poincaré, H.: Wissenschaft und Methode, Leipzig/Berlin 1914
- Popper, Frank: Art of the Electronic Age, London 1993
- Pörksen, Uwe: Weltmarkt der Bilder. Eine Philosophie der Visiotype, Stuttgart 1997
- Prueitt, Melvin L.: Computerkunst, Hamburg u. a. 1985
- Pugh, Emerson W.: Memories That Shaped an Industry, MIT Press, Cambridge 1984
- Randell, Brian (Hrsg.): The Origins of Digital Computers, Berlin / Heidelberg / New York 1973
- Reichardt, Jasia: Cybernetic Serentipity, New York 1965
- Reichardt, Jasia: Robots Fact, Fiction, and Prediction. New York 1978
- Rembold, Ulrich (Hrsg.): Einführung in die Informatik, München, Wien 1987
- Rempeters, Georg: Die Technikdroge des 21. Jahrhunderts. Virtuelle Welten im Computer, Frankfurt am Main 1994
- Rheingold, Howard: Virtuelle Gemeinschaft, Bonn 1994
- Robin, Harry: Die wissenschaftliche Illustration. Von der Höhlenmalerei zur Computergraphik, Basel u. a. 1992
- Robins, Kevin: Into the Image. Culture and Politics in the Field of Vision, London / New York 1996
- Rogers, David F. u. a. (Hrsg.): State of the Art in Computer Graphics. Visualization and Modeling, New York u. a. 1991
- Roncarelli, Robi: The Computer Animation Dictionary. Including related Terms used in Computer Graphics, Film and Video, Production and Desktop publishing, New York a. o. 1989
- Roszak, Theodore: Der Verlust des Denkens. Über die Mythen des Computerzeitalters, München 1988
- Roszak, Theodore: The Cult of Information, Berkeley u. a. 1986
- Roth, Gerhard: Das Gehirn und seine Wirklichkeit, Frankfurt am Main 1997
- Rötzer, Florian (Hrsg.): Digitaler Schein. Ästhetik der elektronischen Medien, Frankfurt/Main 1991
- Rötzer, Florian (Hrsg.): Schöne neue Welten? Auf dem Weg zu einer neuen Spielkultur, München 1995
- Rötzer, Florian (Hrsg.): Vom Chaos zur Endophysik. Wissenschaftler im Gespräch, München 1994
- Rötzer, Florian: Die Telepolis. Urbanität im digitalen Zeitalter, Mannheim 1995
- Rötzer, Florian: Digitale Weltentwürfe, München / Wien 1998
- Rötzer, Florian; Weibel, Peter (Hrsg.): Cyberspace. Zum medialen Gesamtkunstwerk, München 1993
- Rötzer, Florian; Weibel, Peter (Hrsg.): Strategien des Scheins. Kunst, Computer, Medien, München 1991
- Russel, William Bailey u. a. (Hrsg.): Colloidal Dispersions, Cambridge (Massachusetts) 1989
- Sandbothe, Mike; Zimmerli, Walter Ch. (Hrsg.): Zeit – Medien – Wahrnehmung, Darmstadt 1994
- Sanders, Barry: Der Verlust der Sprachkultur, Frankfurt am Main 1998
- Schachtner, Christel: Geistmaschine. Faszination und Provokation am Computer, Frankfurt am Main 1993
- Scheer, Brigitte: Einführung in die philosophische Ästhetik, Darmstadt 1997
- Schlicht, Hans-Jürgen: Digitale Bildverarbeitung mit dem PC. Scanner. Drucker. Video. Multimedia, Bonn u. a. 1993
- Schnabel, Ulrich; Sentker, Andreas: Wie kommt die Welt in den Kopf? Reise durch die Werkstätten der Bewußtseinsforscher, Reinbek bei Hamburg 1997
- Schneider, Irmela; Thomsen, Christian W. (Hrsg.): Hybridkultur, Köln 1997
- Schnell, Christoph: Grenzen des Computers, München u. a. 1991
- Scholz, Karl-Heinz; Schuenke, Wolfgang; Strehlau, Wolfram; Tieding, Wilfried: Die Computer kommen ..., Berlin (Ost) 1986
- Schönberger, Angela (Hrsg.): Simulation und Wirklichkeit, Köln 1988
- Schuck-Wersig, Petra: Expeditionen zum Bild, Frankfurt am Main 1993
- Schwarze, Gunter: Digitale Simulation. Konzepte, Werkzeuge, Applikationen, Berlin 1990

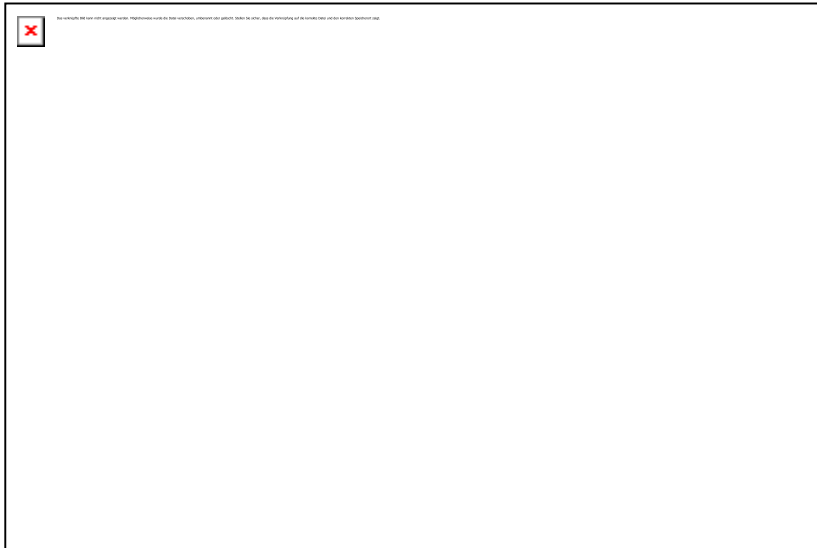
- Scott, Joan E.: Interaktive Computergrafik, Köln-Braunsfeld 1983
- Sennet, Richard: Verfall und Ende des öffentlichen Lebens, Frankfurt/Main 1983
- Shurkin, Joel: Engines of the Mind. The Evolution of the Computer from Mainframes to Microprocessors, New York 1996
- Siedentopf, H. (Hrsg.): Vorträge und Diskussionen beim Kolloquium über Bildwandler und Bildspeicherröhren in Heidelberg am 28. und 29. 4. 1958, Heidelberg 1959
- Siekmann, Jörg H.: Künstliche Intelligenz, Kaiserslautern 1986
- Simon, Herbert A.: Die Wissenschaften vom Künstlichen, Wien 1994
- Slater, Robert: Portraits in Silicon, Cambridge (Massachusetts) 1987
- Stafford, Barbara Maria: Kunstvolle Wissenschaft. Aufklärung, Unterhaltung und der Niedergang der visuellen Bildung, Berlin 1998
- Stankowski, Anton und Duschek, Karl: Visuelle Kommunikation. Ein Design-Handbuch, Berlin 1989
- Steinmüller, Karlheinz (Hrsg.): Wirklichkeitsmaschinen. Cyberspace und die Folgen, Weinheim / Basel 1993
- Steller, Erwin: Computer und Kunst. Programmierte Gestaltung. Wurzeln und Tendenzen neuer Ästhetiken, Mannheim u. a. 1992
- Stöcklin, Ansgar: Leitbilder der Technik. Biblische Tradition und technischer Fortschritt, München 1969
- Stonier, Tom: Beyond Information. The Natural History of Intelligence, London 1992
- Stoppa-Sehlabach, Ingrid: Computer in ästhetischen Prozessen. Die Veränderung ästhetischer Interaktion durch Computer und ihre Konsequenzen für ästhetische Erfahrung (= Europäische Hochschulschriften, 28. Kunstgeschichte, 88), Frankfurt/Main u. a. 1988
- Suk, Minsoo and Bhandarkar, Suchendra M.: Three-Dimensional Object Recognition from Range Images, Tokyo a. o. 1992
- Sutter, Alex: Göttliche Maschinen. Die Automaten für Lebendiges. Frankfurt a. M. 1988
- Sydow, Achim (Hrsg.): Simulationstechnik. 8. Symposium in Berlin, September 1993, Tagungsband, Braunschweig u. s. 1993
- Tanenbaum, Andrew S.: Structured computer organization, Englewood Cliffs, NJ, (3) 1990
- Thalmann, Daniel (Hrsg.): Scientific Visualization and Graphics Simulation, West Sussex 1990
- Tichi, Cecelia: Shifting Gears, Chapel Hill / London 1987
- Time Life, Computergrafik, Amsterdam 1986
- Todd, Stephen und Latham, William: Evolutionary Art and Computers, London u. a. 1992
- Torras, Carme (Hrsg.): Computer Vision. Theory and Industrial Applications, Berlin u. a. 1992
- Turing, Alan M.: Intelligence Service. Schriften. Berlin 1987
- Turkle, Sherry: Die Wunschmaschine. Vom Entstehen der Computerkultur. Reinbek bei Hamburg 1984
- Turkle, Sherry: Leben im Netz. Identität in Zeiten des Internet, Reinbek bei Hamburg 1998
- Vattimo, Gianni; Welsch, Wolfgang (Hrsg.): Medien-Welten. Wirklichkeiten, München 1997
- Veit, Stan: History of the Personal Computer, Asheville, North Carolina 1993
- Virilio, Paul: Der negative Horizont, München / Wien 1989
- Virilio, Paul: Die Eroberung des Körpers. Vom Übermenschen zum überreizten Menschen, München 1994
- Virilio, Paul: Die Sehmaschine, Berlin 1989
- Virilio, Paul: Fahren, fahren, fahren ..., Berlin 1978
- Virilio, Paul: Fluchtgeschwindigkeit, München / Wien 1996
- Virilio, Paul: Rasender Stillstand, Frankfurt am Main 1997
- Virilio, Paul: Revolutionen der Geschwindigkeit, Berlin 1993
- Volkmer, Ingrid: Medien und ästhetische Kultur. Zur gesellschaftlichen Dynamik ästhetischer Kommunikation, Opladen 1991
- Voltz, Hannspeter: Menschen und Computer. Streifzüge durch die Geschichte der Datenverarbeitung, Haar bei München 1993
- Vorndran, Edgar P.: Entwicklungsgeschichte des Computers, Berlin / Offenbach 1986
- Waffender, Manfred (Hrsg.): Cyberspace. Ausflüge in virtuelle Wirklichkeiten, Reinbek bei Hamburg 1991
- Watzlawick, Paul (Hrsg.): Die erfundene Wirklichkeit, München 1985
- Wegner, Tim: Grafik-Atelier. Design, Kunst und 3-D-Fraktale auf dem PC. Eine Verführung in die fantastische Welt photorealistischer Bilder, München 1993
- Weibel, Peter (Hrsg.): Von der Bürokratie zur Telekratie. Rumänien im Fernsehen, Berlin 1990

- Weibel, Peter, (Hrsg.), Kontext Kunst, Köln 1994
- Weinberg, Nathan: Computers in the Information Society, San Francisco 1990
- Weingarten, Rüdiger (Hrsg.): Information ohne Kommunikation? Die Loslösung der Sprache vom Sprecher, Frankfurt am Main 1990
- Weisser, Michael (Hrsg.): Computerkultur oder „The Beauty of Bit & Byte“, Bremen 1989
- Weizenbaum, Joseph und Haefner, Klaus: Sind Computer die besseren Menschen? Ein Streitgespräch, München u. a. 1992
- Weizenbaum, Joseph: Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft, Frankfurt/Main (9) 1994
- Weizenbaum, Joseph: Kurs auf den Eisberg. Die Verantwortung des Einzelnen und die Diktatur der Technik, München 1987
- Weizenbaum, Joseph: Wer erfindet die Computermythen? Der Fortschritt in den großen Irrtum, Freiburg i. B. 1993
- Werler, Karl-Heinz: Programmierte Phantasie. Computer, bildliche Darstellung, bildkünstlerische Darstellung, Berlin 1991
- Wessel, K. F. (Hrsg.): Technik und Menschenbild im Spiegel der Zukunft, Bielefeld 1992
- Wick, Rainer/ Wick-Kmoch, Astrid: Kunst-Soziologie, Köln 1979
- Wiener, Lauren Ruth: Digitales Verhängnis. Gefahren durch Computer und Software, Bonn 1994
- Wiener, Norbert: Gott & Golem Inc. Düsseldorf, Wien 1965
- Wiener, Norbert: Invention. The Care and Feeding of Ideas, Cambridge (Massachusetts) 1993
- Wiener, Norbert: Mensch und Menschmaschine. Kybernetik und Gesellschaft. Frankfurt a. M. 1952
- Wiener, Oswald: Probleme der künstlichen Intelligenz, Berlin 1990
- Wiener, Oswald: Schriften zur Erkenntnistheorie, Wien 1996
- Wilkes, Maurice: Memoirs of a Computer Pioneer, Cambridge (Massachusetts) 1985
- Williams, Michael R.: A History of Computing Technology, o.O. 1985
- Willim, Bernd (Hrsg.): Designer im Bereich Animation und Cyberspace. Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten in Deutschland, Berlin 1992
- Willim, Bernd: Digitale Kreativität, Berlin 1986
- Willim, Bernd: Leitfaden der Computer Grafik, Berlin 1989
- Winkler, Hartmut: Docuverse, Regensburg 1997
- Wolf, Stefan; Zimmerli, Walther Ch. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz. Philosophische Probleme, Stuttgart 1994
- Wolff, Robert S.; Yaeger, Larry: Visualization of natural phenomena, New York 1993
- Woolley, Benjamin: Die Wirklichkeit der virtuellen Welten, Basel 1994
- Yates, Frances A.: Gedächtnis und Erinnern. Mnemonik von Aristoteles bis Shakespeare, Berlin 1994
- Zacharias, Wolfgang (Hrsg.): Interaktiv. Im Labyrinth der Wirklichkeiten, Bonn 1996
- Zajonc, Arthur: Die gemeinsame Geschichte von Licht und Bewußtsein, Reinbek bei Hamburg 1994
- Zee, Anthony: Magische Symmetrie, Basel 1990
- Zemanek, Heinz: Ausgewählte Beiträge zu Geschichte und Philosophie der Informationsverarbeitung (= Schriftenreihe der österreichischen Computergesellschaft, 43), Wien u. a. 1988
- Zemanek, Heinz: Das geistige Umfeld der Informationstechnik, Berlin u. a. 1992
- Zemanek, Heinz: Weltmacht Computer. Weltreich der Information, Esslingen u. a. 1991
- Zimmer, Dieter E.: Die Elektrifizierung der Sprache, München 1997
- Zuse, Konrad: Der Computer. Mein Lebenswerk, Berlin / Heidelberg 1984

14. Schaubild, zeitliche Entwicklung und Zusammenhänge

15. Abbildungen

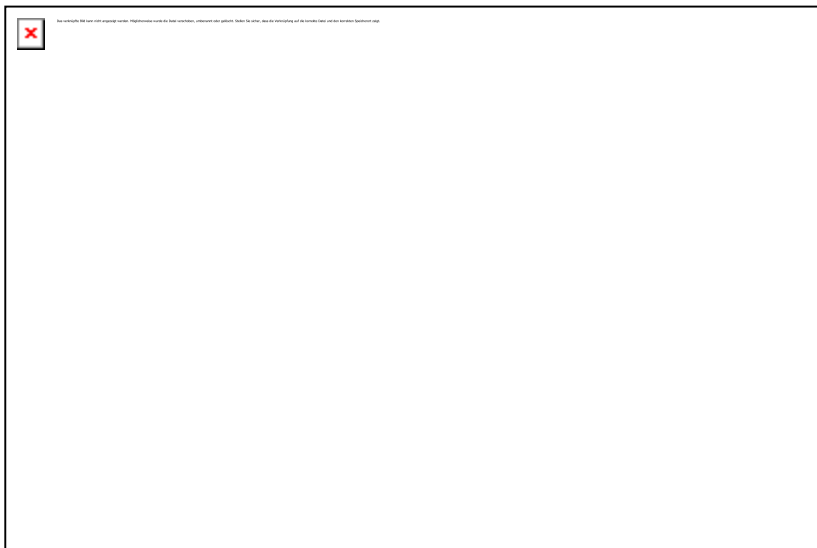
Abb. 1 (Img0029)



Douglas Engelbart im Gespräch mit seinem Mitarbeiter. Quelle

<http://www.bootstrap.org/images/photos/index.htm#5>

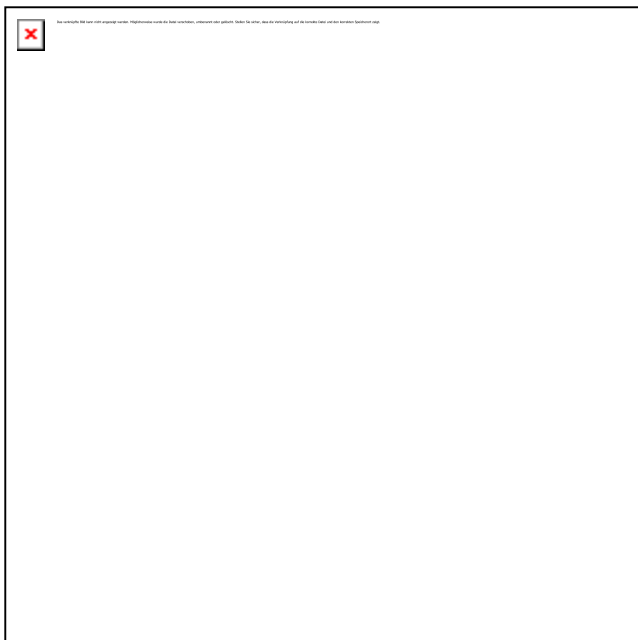
Abb. 2 (img0013.jpg)



Der entfernte Mitarbeiter von Engelbart. Über den Bildschirm konnten auch Textdaten ausgetauscht und Grafiken gezeigt werden. Quelle:

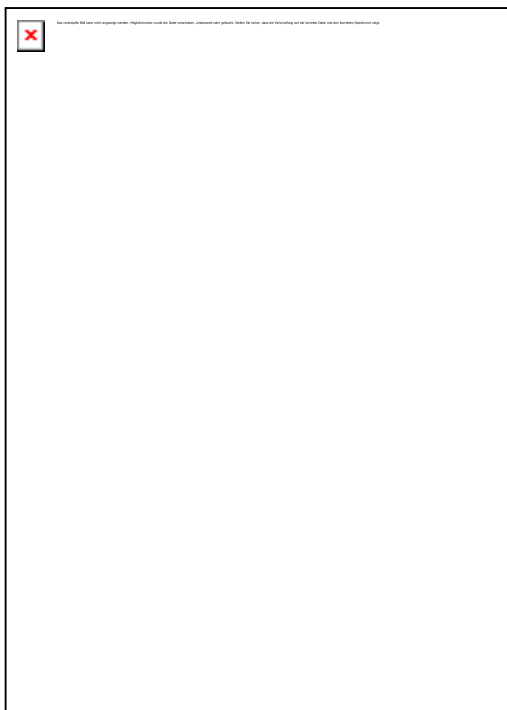
<http://www.bootstrap.org/images/photos/index.htm#5>

Abb. 3 (001ar1.jpg)



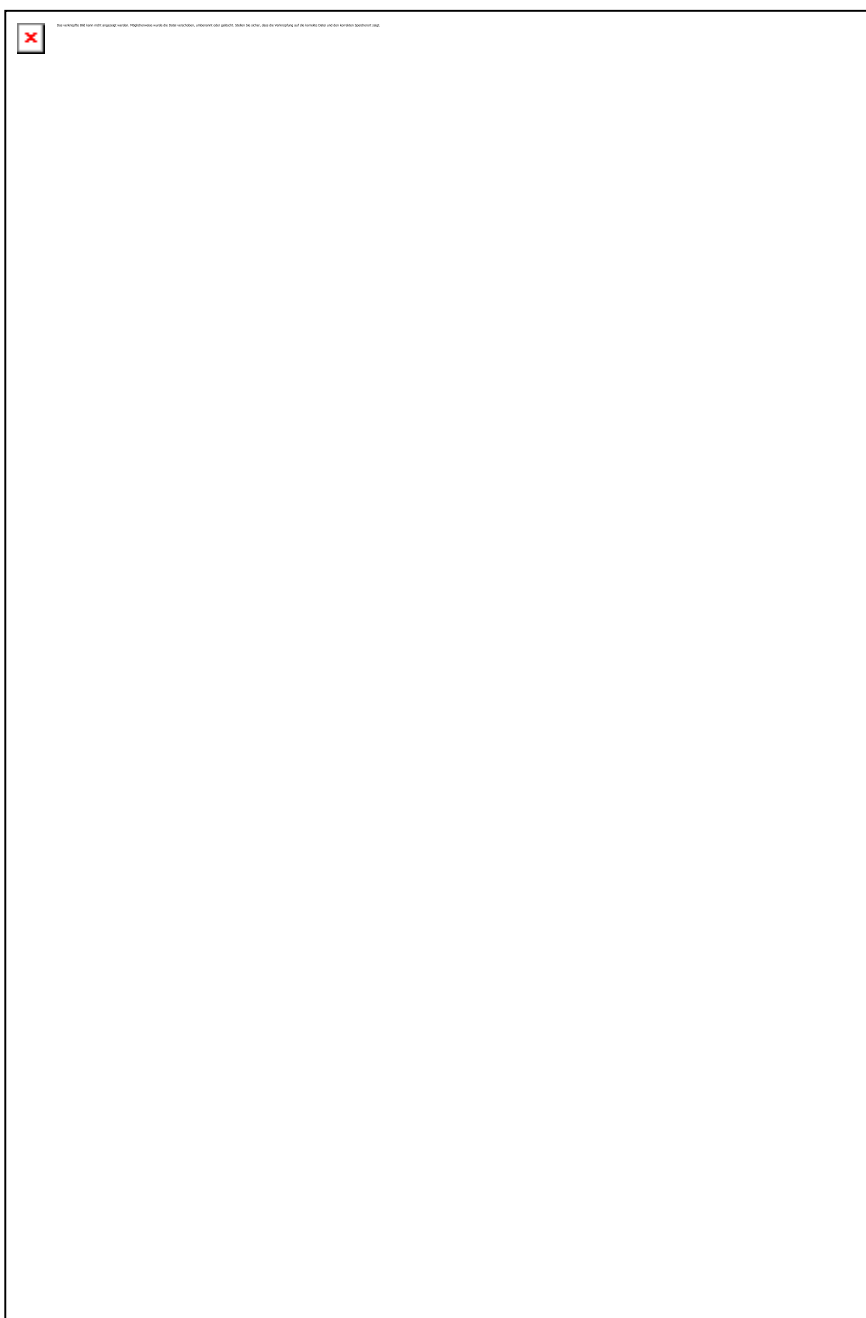
Morsetaste mit deren Hilfe die elektrischen Stromimpulse über die Leitung geschickt wurden.
Quelle: Boston Computer Museum 1995.

Abb. 4 (dumont1-46)

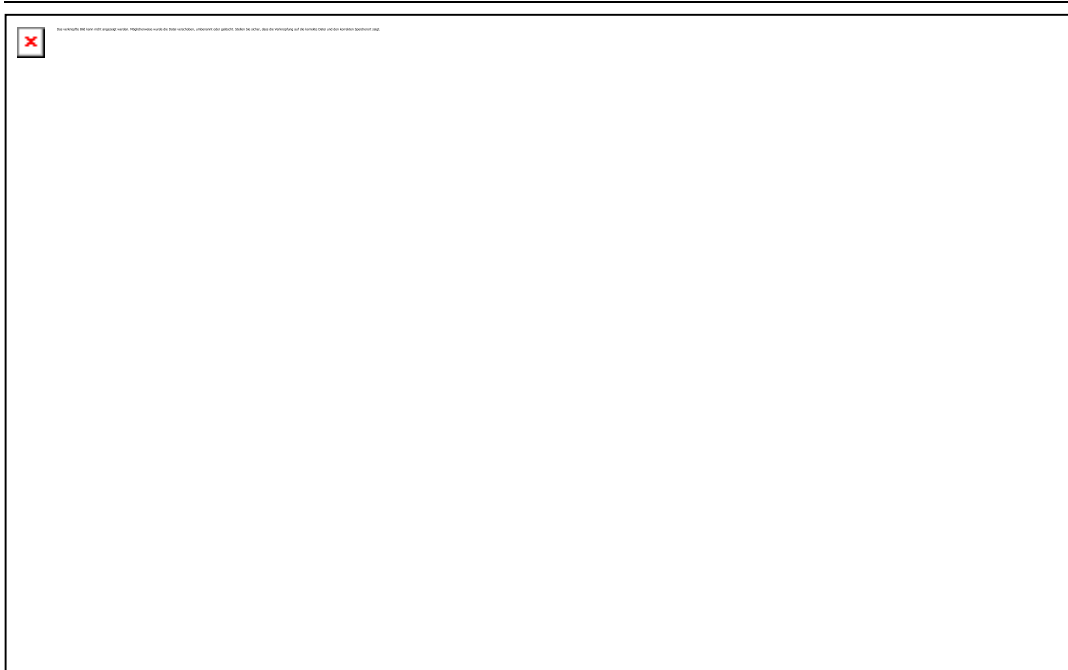


Beispiel einer Datenübertragung mit Fotozelle und Seitengalvanometer um 1900. Quelle:
Weibel, Peter: Vom Verschwinden der Ferne, Telekommunikation und Kunst, in: Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst, Ausstellung des Deutschen Postmuseums Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 19 – 77, S. 46

Abb. 5 (016ar3.jpg)



Morses erster Telegraph, aufgebaut aus einer Malerstaffelei. Quelle: Boston Computer Museum 1995.



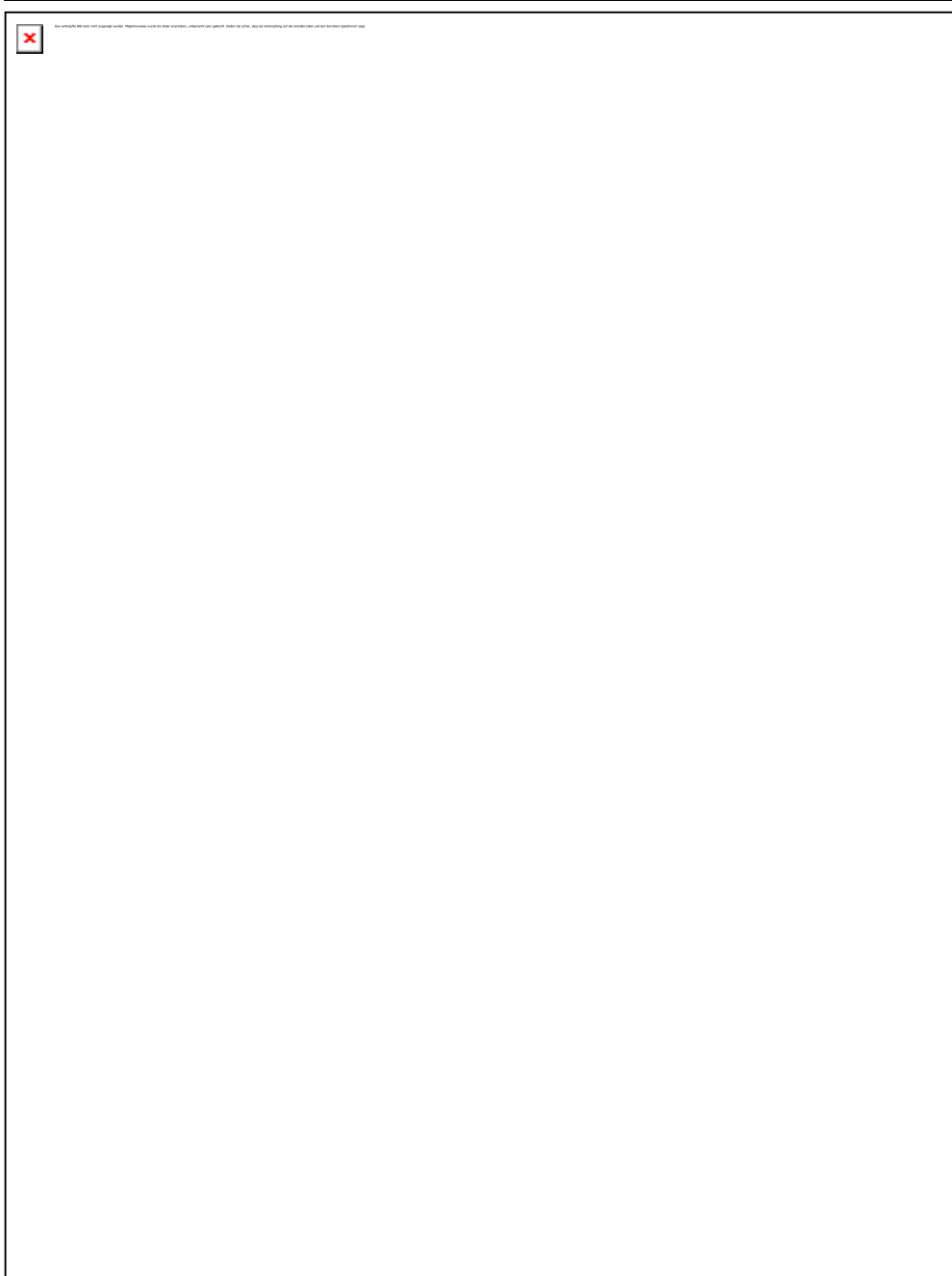
Darstellung der Nutzung eines Lebensrads vor dem Spiegel. Quelle: Crary, Jonathan: Techniken des Betrachters. Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert, Dresden / Basel 1996, S. 113.

Abb. 7 (dumont2-174)

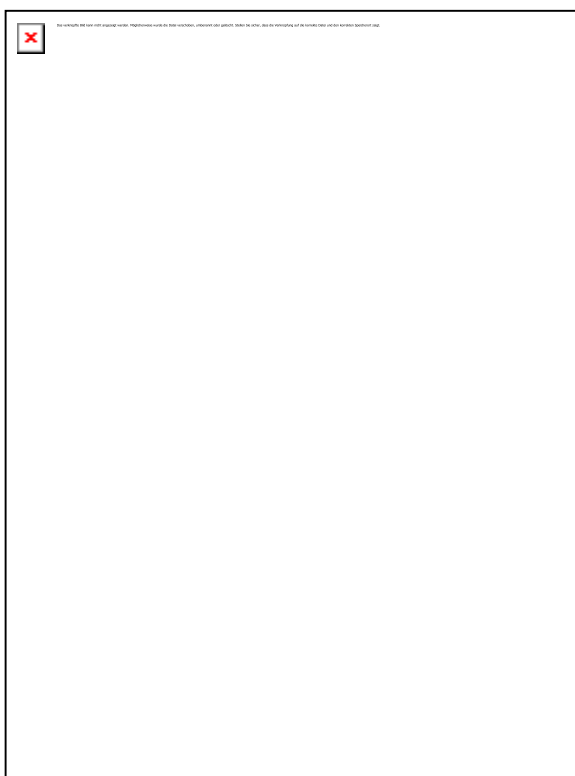


J. L. Baird mit einem seiner frühen Apparate zur Bildabtastung nach dem Prinzip von Nipkow. Quelle: Abramson, Albert: 110 Jahre Fernsehen, Visionen vom Fern-Sehen, in: Vom Verschwinden der Ferne. Telekommunikation und Kunst, Ausstellung des Deutschen Postmuseums Frankfurt, Oktober 1990 bis Januar 1991, Köln 1990, S. 146 – 208, S. 174

Abb. 8 (cards.jpg)



Herstellung von Jacquard Karten zur Nutzung in den automatischen Webstühlen. Quelle:
Boston Computer Museum 1995.



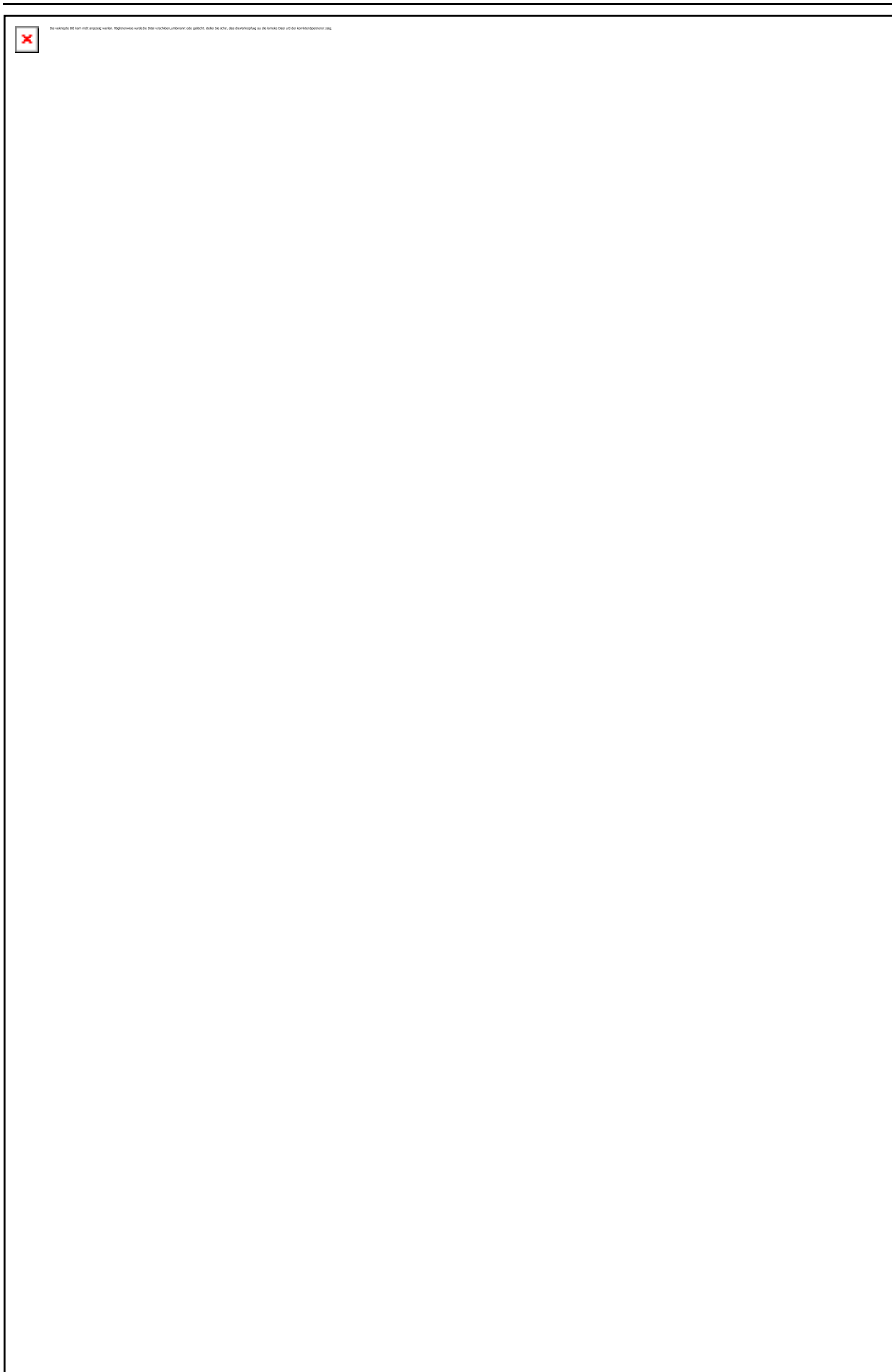
Original Jacquard-Webstuhl. Quelle: Boston Computer Museum 1995.

Abb. 10 (010ar3.jpg)



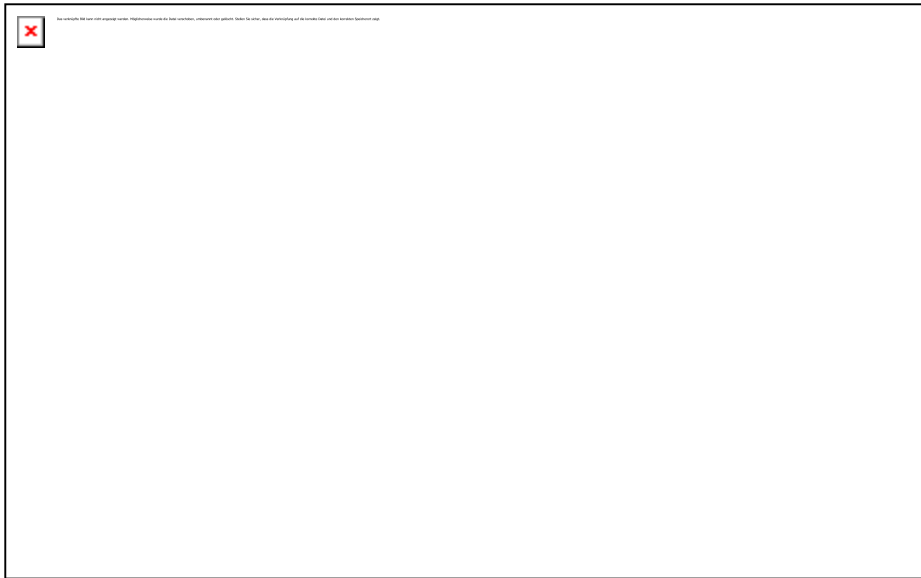
Kartenlocher der bei der Volkszählung 1890 benutzt wurde. Quelle: Boston Computer Museum 1995.

Abb. 11 (008ar3.jpg)



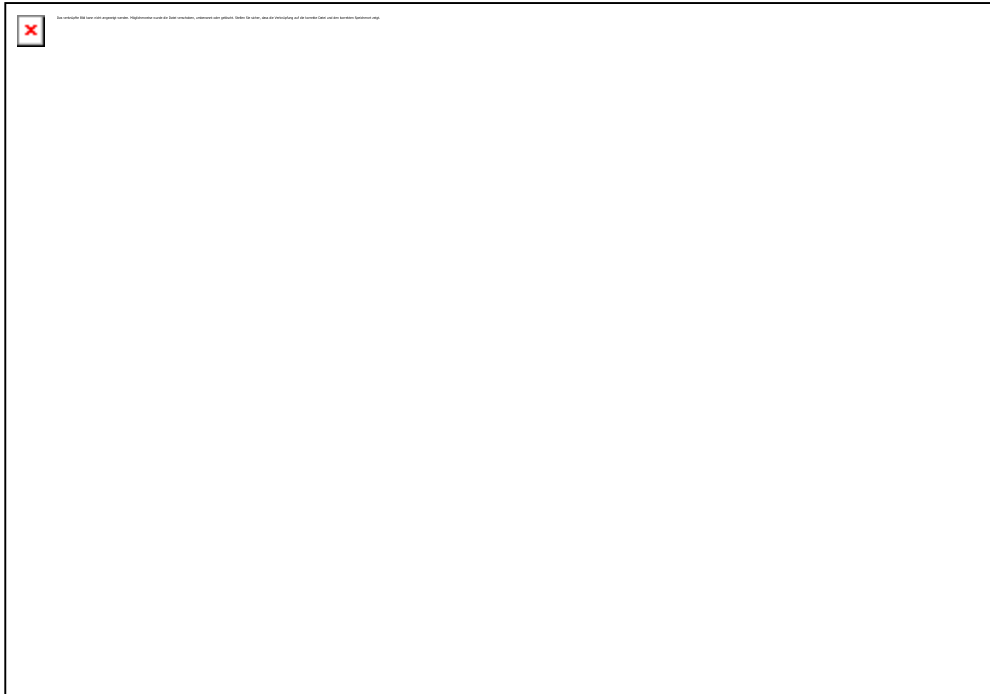
Elektromechnaischer Kartenleser mit Zähltafel im Hintergrund. Quelle: Boston Computer Museum 1995.

Abb. 12 (Zuse4-2.jpg)



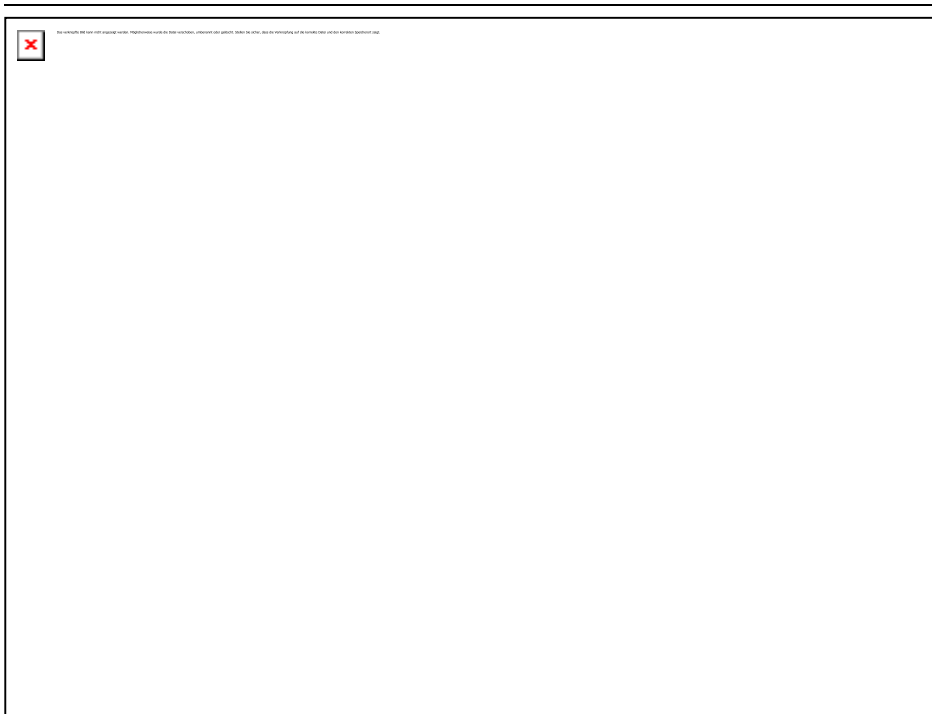
Hier der Zuse Z 4 mit einer deutlich zu erkennenden Lochbandleseeinheit in der Mitte. Zuse verwendete alte 32 mm Filme wegen ihrer Stabilität. Quelle: Vorndran, Edgar P.: Entwicklungsgeschichte des Computers, Berlin / Offenbach 1986, S. 82.

Abb. 13 (hodges1.jpg)



Mark1 Rechner mit den deutlich zu erkennenden Lochstreifenlesern. Wegen der hohen Geschwindigkeit mußte der Streifen über verschiedene Rollen straff geführt werden. Quelle: Hodges, Andrew: Alan Turing, Enigma, Wien 1994, Abbildungsteil.

Abb. 14 (Druckry8.jpg)



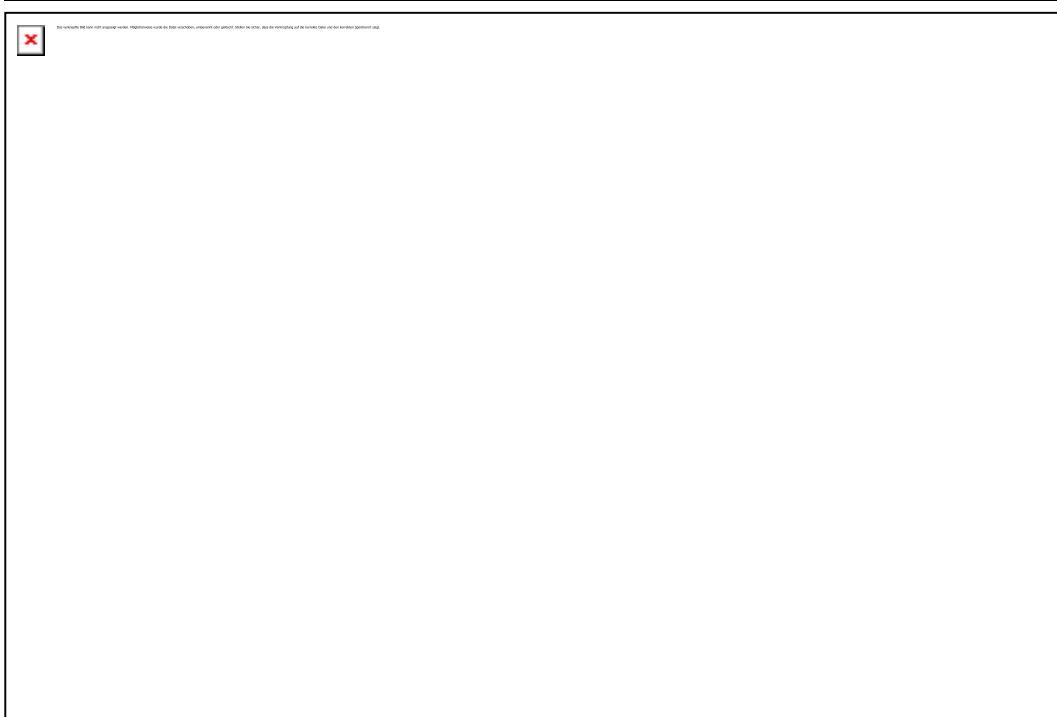
Aufbau des ENIAC. Quelle: Smithsonian Institution, Bild72-2644.

Abb. 15 (balast1.jpg)



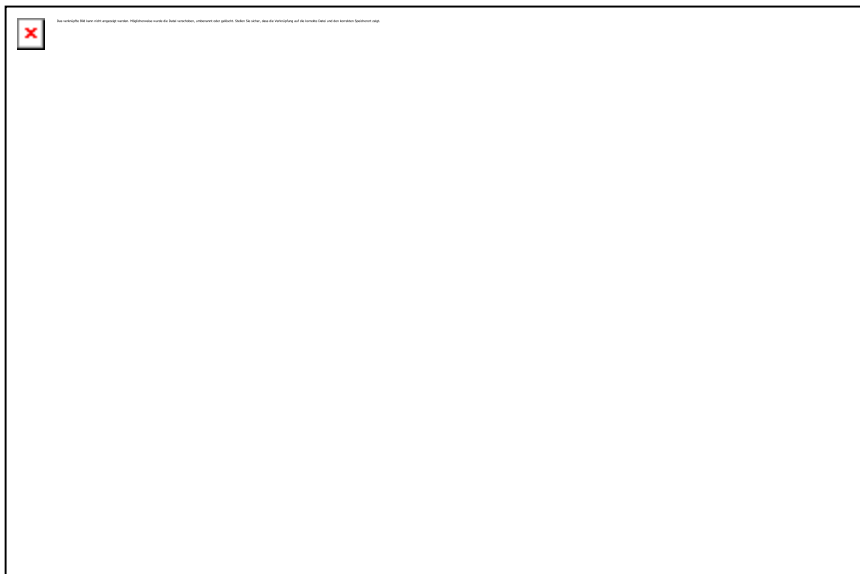
Berechnung des Abfangkurses eines Geschosses bei einem bewegten Ziel. Quelle: Immerzeel, Martinus Bernardus: Mikrocomputer ohne Ballast, München 1984, S. 9)

Abb. 16 (kurz192)



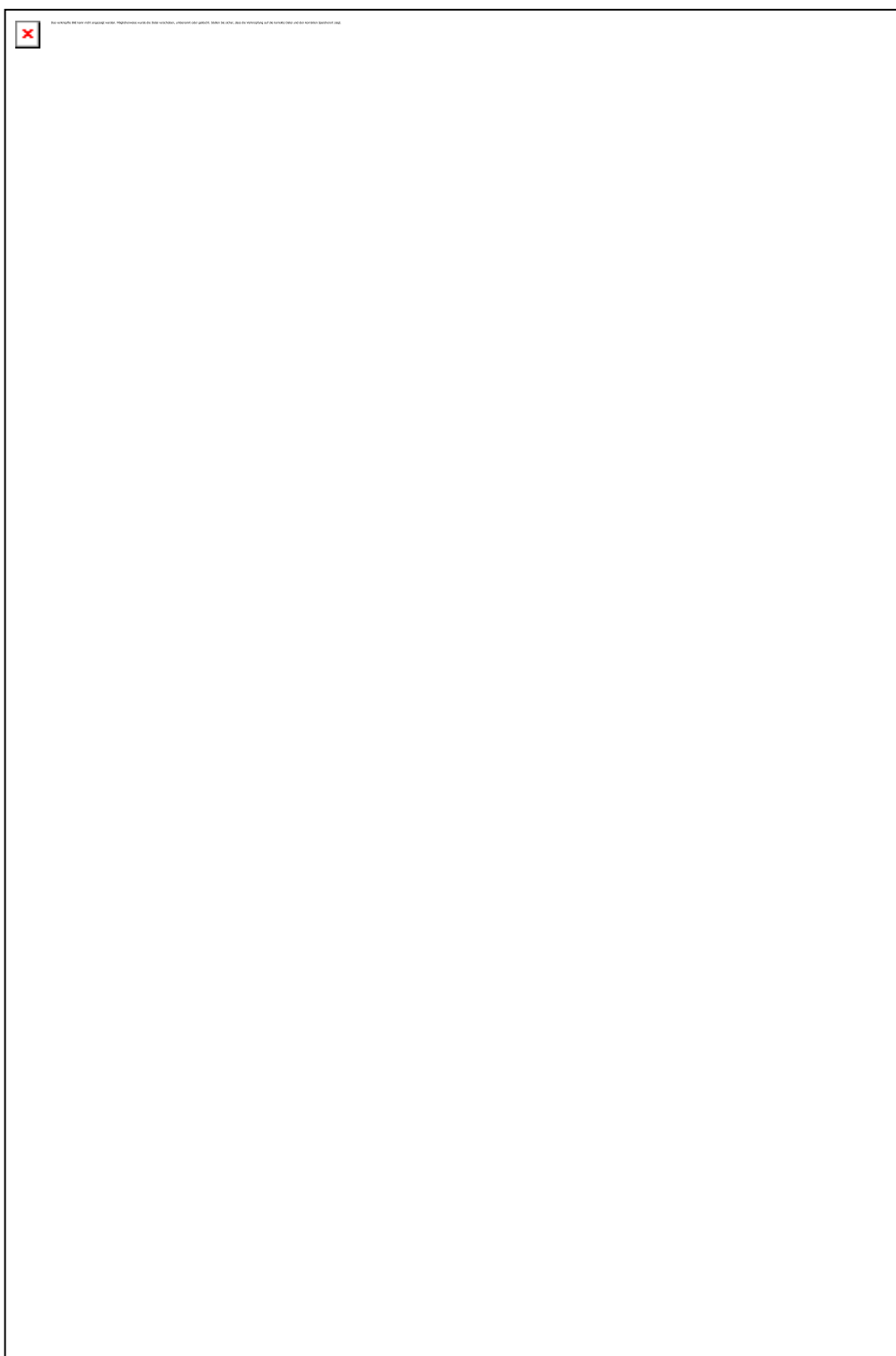
Vanaver Bush neben seinem Differential Analyzer, 1930. Quelle: MIT Museum

Abb. 17 (vb20e2.jpg)

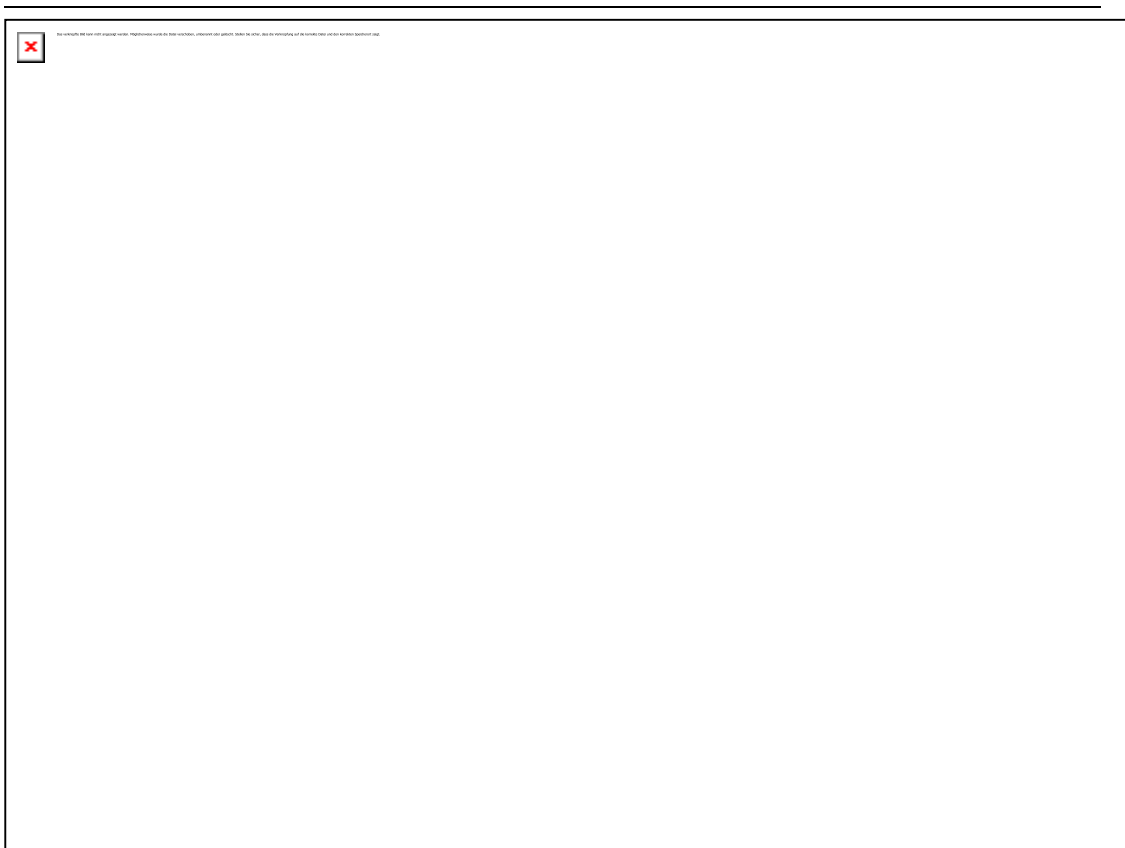


Gesamtaufnahme des Analyzers mit angeschlossenen Zeicheneinrichtungen. Quelle MIT Museum.

Abb. 18 (002ar3.jpg)



Eines der ersten Telefonverbindungssysteme (Switchboard) von 1880. Solche Arbeiten wurden wegen der höheren Geschwindigkeit von Frauen ausgeführt. Quelle: Smithsonian Institution, 1995.



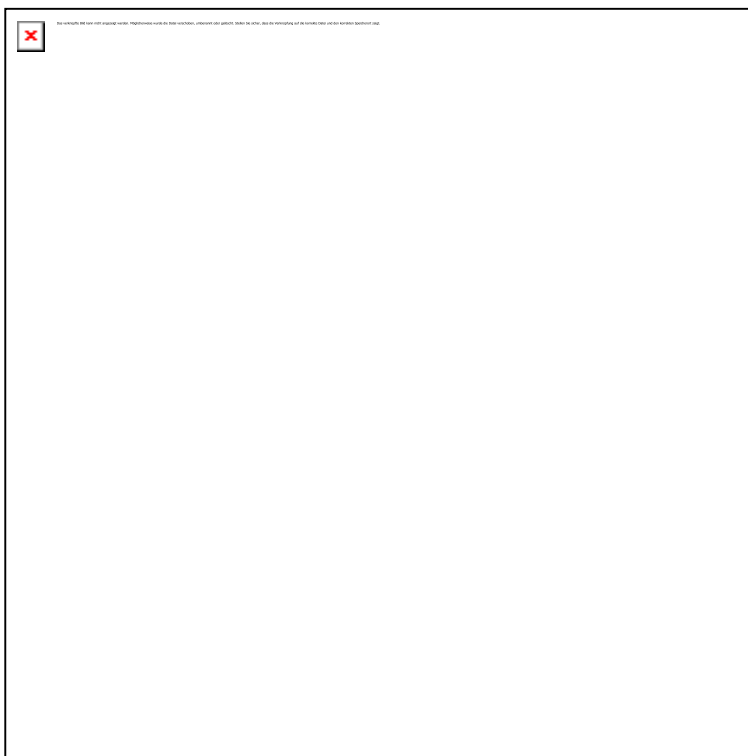
Die Neueinrichtung des sog. Baby Mark I dauerte viele Tage. Quelle: Manchester University.

Abb. 20 (ar4071.jpg)



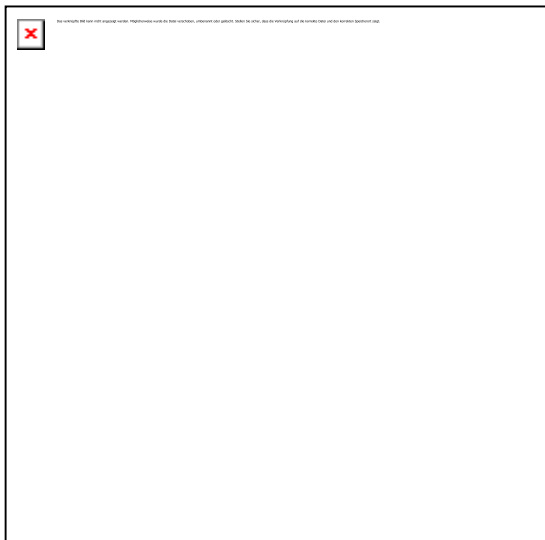
John von Neumann

Abb. 21 (029ar32.jpg)



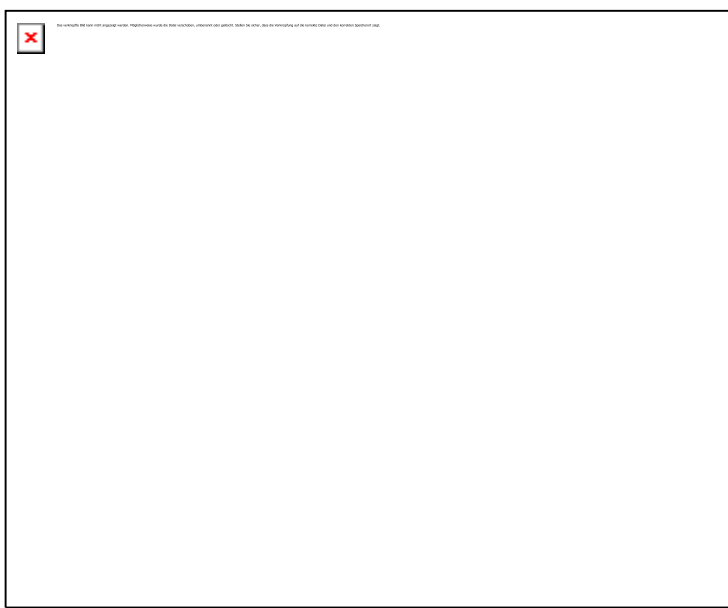
Die Williams Röhre. Quelle: Boston Computer Museum 1995.

Abb. 22 (crt.jpg)



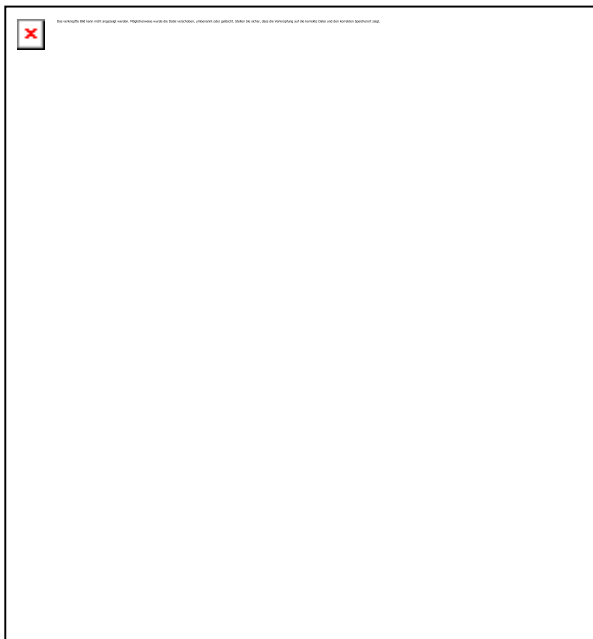
Die Matrix auf der die Speicherstellen abgelesen werden konnten im vergrößerten Ausschnitt. Der Bildschirm war eigentlich rund. Quelle:
<http://www.computer50.org/kgill/williams/display.html>.

Abb. 23 (controls.jpg)



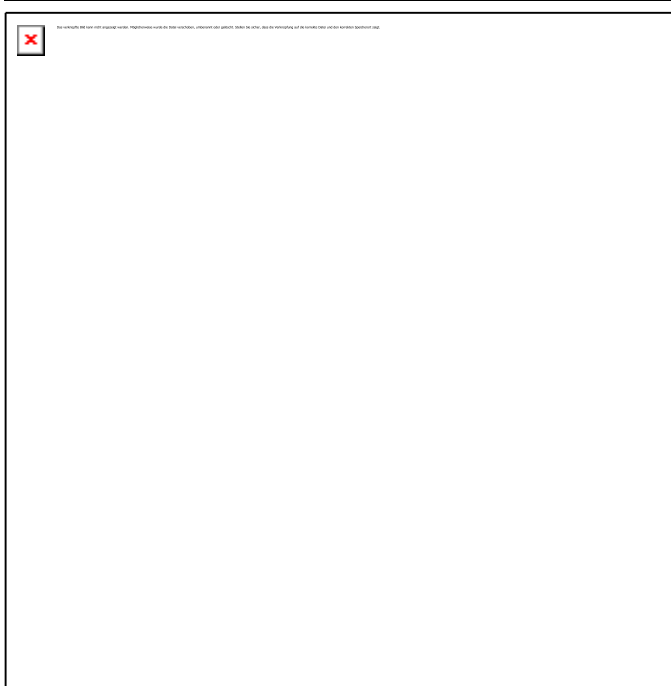
Ansicht auf die Arbeitskonsole des Ferranti Mark I, 1951, Quelle:
<http://www.computer50.org/#mark1>.

Abb. 24 (hodges2.jpg)



Turing (stehend) bei der Begutachtung eines Programms, 1951. Quelle: University of Manchester. <http://www.computer50.org/#mark1>.

Abb. 25 (004ar3.jpg)



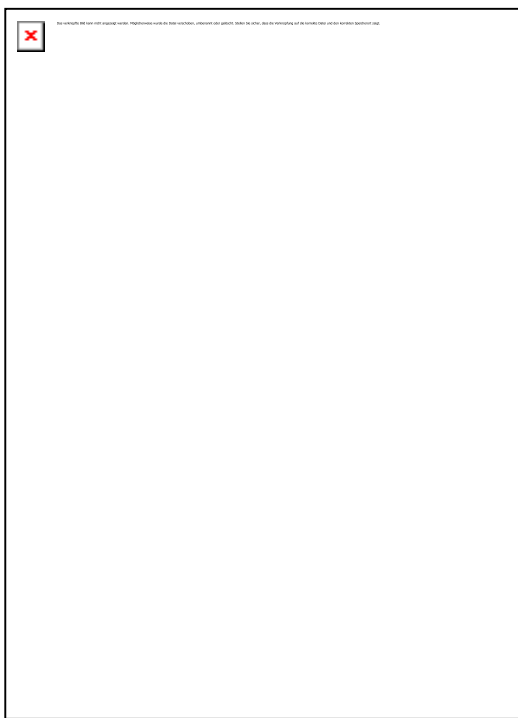
Dies ist das wohl bekannteste Bild das die Nutzung der Leuchtpistole am SAGE System zeigt. Quelle: Smithsonian Institution.

Abb. 26 (whirl1.jpg)



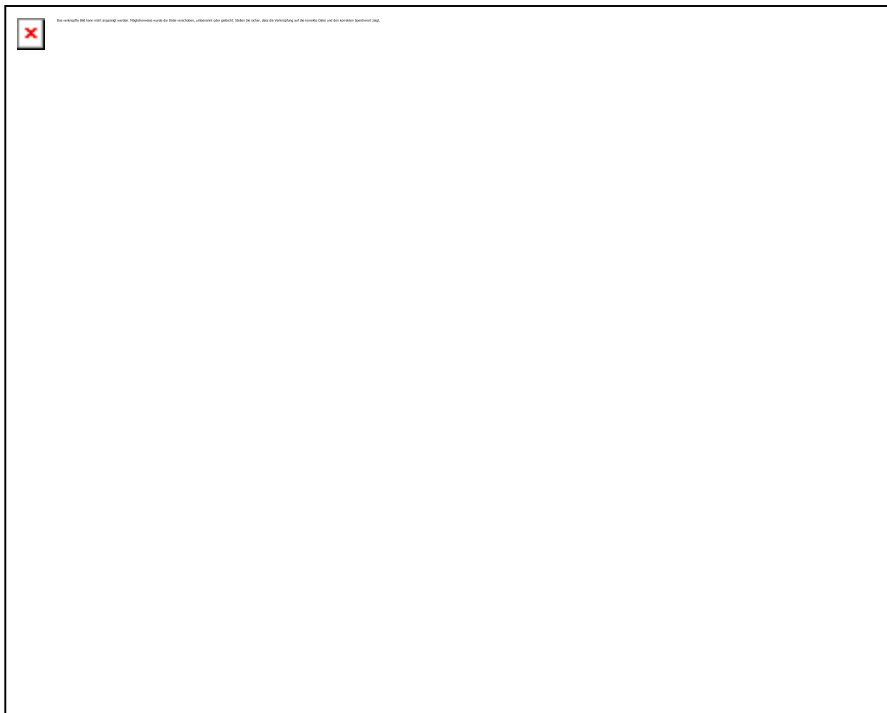
Whirlwind 1 mit der rechts im Bild stehenden Versuchskonsole des Cape Cod Systems erkenntlich am großen Bildschirm auf dem die Radardaten angezeigt wurden. Quelle: Mitre Corporation Archives

Abb 27 (buderi15.jpg)



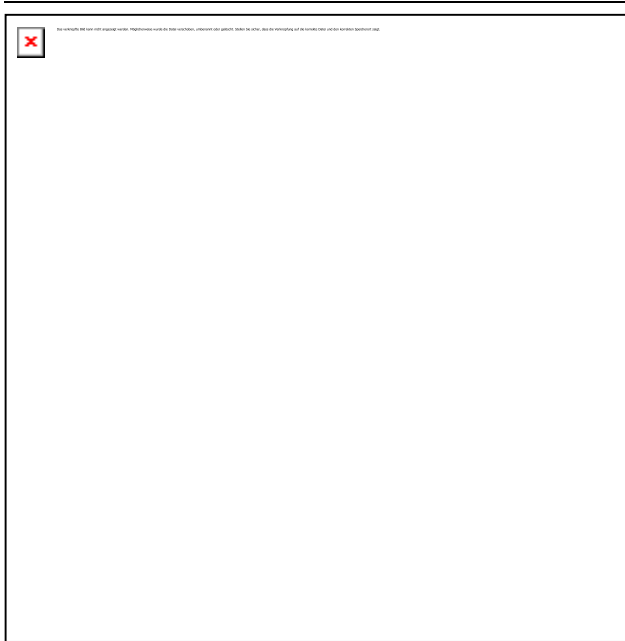
Radar Befehlsstand. Auf der Karte werden die georteten Verbände durch die Schiebepfeile nachgeführt. Quelle: Buderer, Robert: The Invention That Changed The World, New York 1997, S. 15.

Abb. 28 (flightsim-mit.jpg)



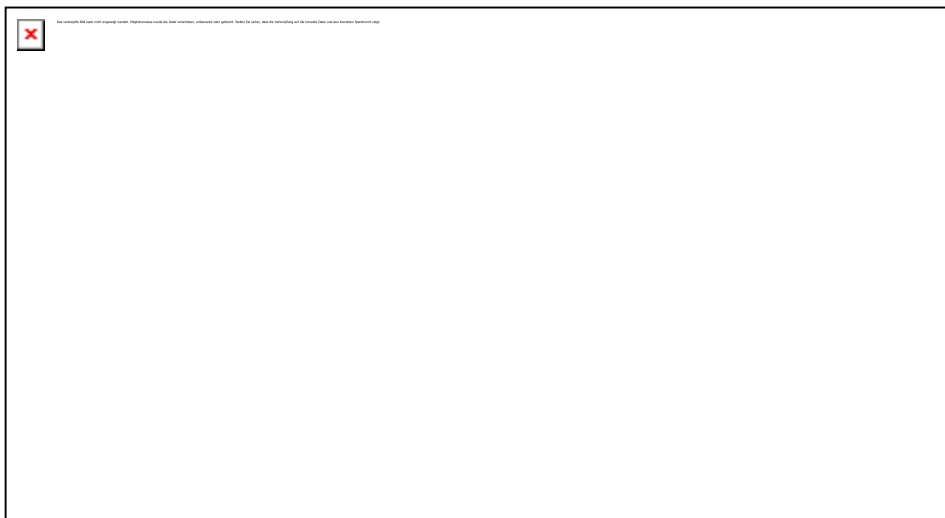
Der erste Flugsimulator am Whirlwindcomputer arbeitete mit Motoren und einfacher Hydraulik. Quelle: MIT Museum Archiv.

Abb. 29 (sage2.jpg)



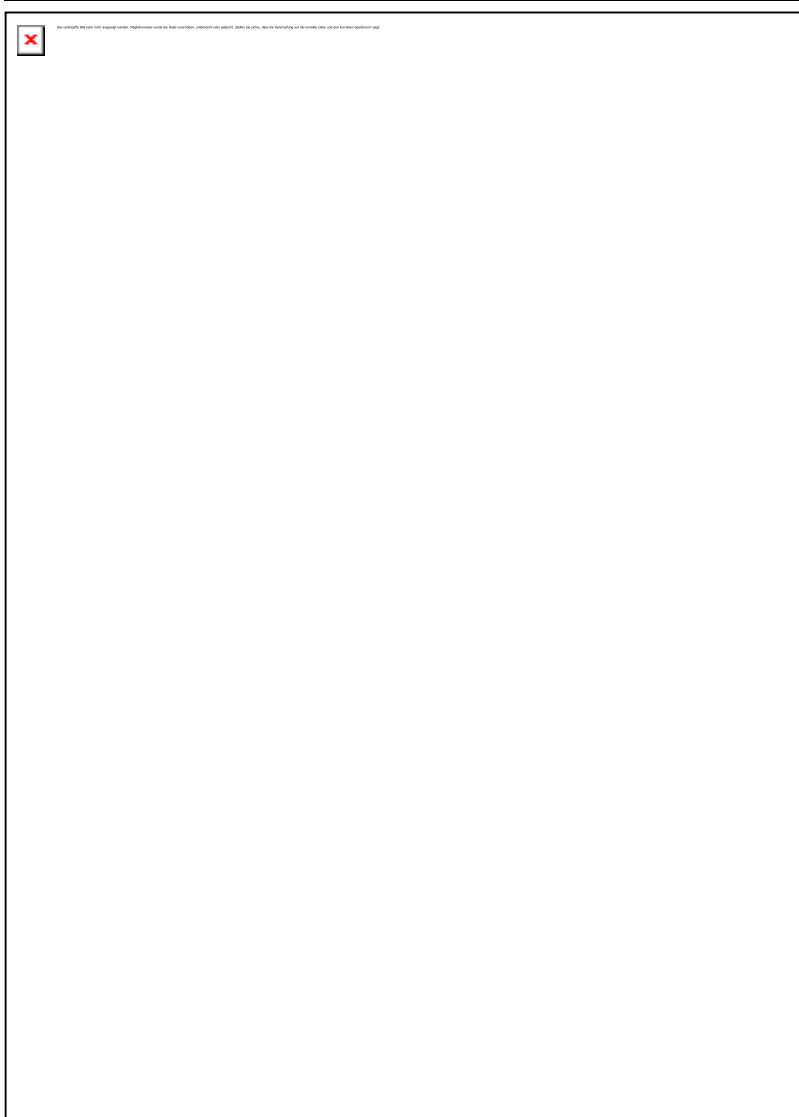
Das fertige SAGE System. Quelle: Boston Computer Museum, 1995.

Abb. 30 (bounce.jpg)



Die Kurve des „springenden Ball“ Programms am Bildschirm des Whirlwind Rechners.
Quelle: Mitre Corporation Archives.

Abb. 31 (054ar3.jpg)



Die erste automatische Fräsmaschine in Zusammenarbeit mit dem Whirlwind Computer 1951, Quelle: Lubar, Steven: Infoculture, The Smithsonian Book of Information Age Inventions, Boston New York 1993, S. 331.