

Humboldt-Universität zu Berlin  
Epistemische Dinge. Angewandte Medientheorien 53513  
Prof. Dr. Ernst  
Marietta Kesting  
Matrikelnummer: 166906

MeWi: Modul 7  
WS 2005/2006

## **Der (COMPUTER)BILDSCHIRM als Epistemisches Ding**

# INHALTSVERZEICHNIS

	SEITE
<b>1 Einleitung</b>	1
<b>2 Grundvoraussetzungen</b>	2
2.1 Zentralperspektive und Rasterung: Alberti	3
2.2 Die Rationalisierung des Sehens	5
<b>3 Descartes analytische Geometrie</b>	
3.1 Die Kalkülisierung	5
3.2 Das Koordinatensystem	7
3.3 Der operative Wert graphischer Oberflächen	9
<b>4 Messinterfaces: Das Oszilloskop</b>	9
4.1 Das magische Auge	10
4.1 Tennis for Two	10
<b>5 Bildschirme in unterschiedlicher Performativität</b>	11
<b>6 Repräsentation (SAGE) und Simulation (Sketchpad)</b>	
6.1 SAGE	12
6.2 . Sutherlands Sketchpad	15
6.2.1 Vektorgraphik	17
6.2.2 Bitmapgraphik	19
<b>7 Diskussion</b>	20
<b>8 Abbildungen</b>	22
<b>9 Literatur</b>	26
<b>10 Abbildungsnachweise</b>	27

# 1 Einleitung

We may debate whether our society is a society of spectacle or simulation, but undoubtedly, it is a society of the screen.<sup>1</sup>

Bildschirme sind heutzutage allgegenwärtige Aus- und Eingabegeräte an Bankterminals, Computern, Taschenrechner, Handys und MP3-Playern.

Was für ein epistemisches Ding ist der Bildschirm? Hat der Monitor 'nur' eine abbildende Funktion oder ist er selber eine operative Oberfläche? Wie sind wir zu einer 'Society of the Screen'- also einer 'Bildschirmgesellschaft' geworden?

Heute könnte man denken, dass der Computerbildschirm logisch den Zusammenschluss der Fernsehbiröhre an die Schreibmaschinentastatur beinhaltet. Tatsächlich wurde der Computer als intelligente Schreibmaschine jedoch erst Ende der 1960er Jahre erstmalig eingesetzt, vorher wurde die alphanumerische Tastatur vorallendingen zur Eingabe von Befehlen und ähnlichem benutzt. Die Entwicklungsschritte des Computerbildschirm reichen von der Rationalisierung des Sehens und der analytischen Geometrie über die technischen Entwicklungen des Oszilloskop und der militärischen Luftabwehr bis überhaupt dran gedacht wurde, dass der Computer mit Bildschirm ein 'persönliches' Medium<sup>2</sup> nicht nur zur Arbeitserleichterung sondern auch zur Unterhaltung sein könnte.

Ironischerweise ist heutzutage der Bildschirm oft der einzige Teil des Computers, den der Nutzer kennt und richtig benennen kann, obwohl die ersten Computer gar keine Bildschirme besaßen. Tatsächlich muss man, um die Entwicklung des Bildschirms zu verstehen selbstverständlich das ganze Ensemble von Prozessor, Graphikprozessor, Befehle des Programmcodes für die graphische Darstellung, Bildschirmspeicher, Benutzeroberfläche

---

<sup>1</sup> Lev Manovich (2001), S. 94.

<sup>2</sup> Wofür PC = **P**ersonal **C**omputer immer noch steht.

betrachten, denn der Bildschirm zeigt schließlich nur das an, was ihm der angeschlossene Computer - früher die zentrale Recheneinheit, bei aktuellen Systemen der Graphikprozessor - errechnet. Nur im Zusammenspiel von Hardware und Software, von materiellen, technischen Artefakten und immateriellen Wissen erscheint etwas auf dem Bildschirm.

Es wird in dieser Hausarbeit folglich nicht nur um eine 'Archäologie' des Bildschirms gehen, sondern auch immer wieder um die Entwicklung des Computers und der Benutzeroberfläche.<sup>3</sup>

Insbesondere wird in dieser Arbeit der Wechsel vom früheren Gebrauch eines Bildschirms, im Zusammenhang mit der Konstruktion von Zeichnungen oder Gemälden, zu dem interaktiven Gebrauch des Computerbildschirms analysiert. Dabei findet die Kalkülisierung des Visuellen und die neue Operativität von graphischen Oberflächen besondere Beachtung.

Selbstverständlich kann diese Hausarbeit nicht die gesamte Entwicklung nachzeichnen, sondern sie muss sich mit dem Versuch begnügen, zentrale Momente ausfindig zu machen.

## 2 Grundvoraussetzungen

Das visuelle Konzept eines Bildschirms ist zuallerst, einen *anderen* virtuellen Raum darzustellen, der Dreidimensionalität simuliert und den Gesetzen der Linearperspektive gehorcht. Sowohl Bildschirme, als auch Fenster haben eine lange Tradition in der abendländischen Kultur, die in der Malerei der Renaissance beginnt.

Für diese frühen Anwendungen eines Bildschirms, der noch aus Stoff oder Pergament bestand, bietet sich die Definition 'Klassischer Bildschirm'<sup>4</sup> nach

---

<sup>3</sup> Im nachfolgenden Text verwende ich oft die Abkürzung *GUI*, dem englischen Pendant zur Benutzeroberfläche, nämlich dem **Graphical User Interface**.

<sup>4</sup> Manovich (2001), S. 95.

Manovich an. Der klassische Bildschirm zeigt ein gemaltes Bild, das statisch ist und sich nicht verändert.

## 2.1 Zentralperspektive und Rasterung: Alberti

Leon Battista Alberti, italienischer Humanist, Architekt und Maler war ein Vertreter der italienischen Künstler-Ingenieure der Renaissance,<sup>5</sup> die sich auf mathematisch-technischem Terrain bewegten und den epistemischen Vorrang des Sehens festigten. Alberti wandte euklidische Geometrie an, um perspektivisch richtig zu zeichnen. Als Hilfsmittel für den Maler beschrieb er das Fadengitter und den Guckkasten (ital. 'Camera Ottica'). Seine Kenntnisse mündeten in einer theoretischen Abhandlung über die Malerei.<sup>6</sup>

Für die Linearperspektive als freie geometrische Konstruktion entwickelte Alberti den Begriff eines idealen oder lediglich gedachten Fensters (siehe Abbildung I)<sup>7</sup>. Dieses 'fenestra aperta' (offene Fenster) wird von Friedrich Kittler<sup>8</sup> als Vorgänger der graphischen Benutzeroberflächen gesehen, die seit den 1980ern auf Computerbildschirmen operieren. Albertis Fenster war rechteckig und ließ sich aus diesem Grund leicht in lauter kleinere Fenster zerlegen. Diese Rasterung ist Albertis große Erfindung, aber er konnte sie noch nicht als solche benennen, ihm fehlte das technische Vokabular. Er benutzte stattdessen in seinen Ausführungen als Metapher einen gewebten

---

<sup>5</sup> Der Begriff des Künstler-Ingenieurs für jene autodidaktischen Architekten, Bildhauer und Maler, die technisch und theoretisch avantgarde waren, stammt von Lynn White. Die Namen Alberti, Brunelleschi und Dürer finden sich auch in Mathematikgeschichten. Diese Bezeichnung trifft nicht auf alle auf die gleiche Weise zu, ein gewisser theoretischer Anspruch scheint jedoch bei allen vorhanden zu sein. Vgl. Lynn White, Jr.(1972), *The Flavor of Early Renaissance Technology*, In: *Developments in the Early Renaissance*. Hrsg. von Bernhard S. Levy, Albany, NY: State of New York Press.

<sup>6</sup> Leon Battista Alberti, *Della Pittura – Über die Malkunst*. Hrsg., übersetzt und kommentiert von Oskar Bätschmann und Sandra Giangreda (2000). Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft.

<sup>7</sup> Alle Abbildungen befinden sich am Ende dieser Arbeit auf den Seiten 22 - 25.

<sup>8</sup> Vgl. Kittler (2002), S. 70.

Leinwandstoff, der durch seine senkrechten und waagerechten Fäden lauter kleine rechteckige Löcher bildet, durch die das Auge in die Welt entweder der realen Modelle oder der idealen Phantasiegebilde hinaussieht. Die mit Hilfe dieser Rasterung entstandene Zeichnung gehorchte dann den Gesetzen der Linearperspektive.

Neben Alberti haben auch andere Künstleringenieure ähnliche Entwicklungen vollzogen, erwähnt sei hier nur Albrecht Dürer, der mehrere perspektivische Maschinen entwarf und ein Lehrbuch veröffentlichte.<sup>9</sup> Darin beschreibt er - ähnlich Albertis Fensterkonstruktion - wie die Punkte des zu zeichnenden Gegenstandes zunächst auf einem Quadratnetz oder einer Glasplatte festgehalten und anschliessend auf Papier übertragen werden (siehe Abbildung II).

Dieses dem Rasterverfahren zugrundeliegende Konzept – die Übersetzung einer kontinuierlichen Spanne von Werten in ein unterteilend quantifiziertes System – ist zu einem der signifikantesten Denkmuster<sup>10</sup> des zwanzigsten Jahrhunderts geworden. Aber es fehlt noch die Berechnung und die Begründbarkeit des technischen Wissens. Es handelt sich nur um eine praktische Anwendung der Geometrie nicht jedoch um die allgemeine Beweisführung ihrer Anwendbarkeit auch in der theoretischen Berechenbarkeit von ideellen Figuren. Diese Entwicklung, die einen Bruch mit dem bis dahin herrschenden Kanon der Mathematik produziert, eskaliert erst durch die Erkenntnisse Descartes’.

---

<sup>9</sup> Albrecht Dürer (1525), *Vnderweysung der messung mit dem zirckel vnd richtscheyt*, Nürnberg.

<sup>10</sup> Fernsehen, Bildtelegrafie, Fernmesstechnik und vor allem Computer-Technologie beruhen allesamt auf diesem grundlegenden Konzept.

## 2.1 Die Rationalisierung des Sehens

Mit einem stark vereinfachten aber schlüssigen Modell Vilém Flussers<sup>11</sup> lässt sich die Entwicklung der Rationalisierung des Sehens als Abschaffung aller Dimensionen begreifen, deren Ziel die Nulldimensionalität von Zahlen und Bits sei, die unendlich manipulierbar sind. In der Renaissance werden dreidimensionale Zeichen durch zweidimensionale ersetzt - beispielsweise ein Grabmahl durch das Gemälde einer Pietà. Im Bereich der Mathematik unternimmt die analytische Geometrie Descartes paradigmatisch eine solche Reduktion:

Hier wird die visuell wahrnehmbare Figur durch die nur noch lesbare Formel ersetzt. Und zwar so, dass algebraische Transskribierbarkeit, also die Repräsentierbarkeit der Figur durch diskrete Symbole, zum Existenzkriterium wird für geometrische Gegenstände und zur Bedingung der Möglichkeit einer wissenschaftlichen Beschreibbarkeit von Phänomenen.<sup>12</sup>

Erst wenn geometrische Figuren durch Gleichungen beschrieben werden können, kann ein Programm sie errechnen und auf einem Computerbildschirm erscheinen lassen. Diese grundlegende Entwicklung wird im nächsten Kapitel konkret mit einigen Zitaten und Beispielen aus Descartes zentralem Werk *La Geometrie* nachgezeichnet.

## 3 Descartes analytische Geometrie

### 3.1 Die Kalkülisierung

Die Rationalisierung des Sehens setzte die Anwendbarkeit der Mathematik für die Beschreibung natürlicher Phänomene voraus. Die Möglichkeit dieser Anwendbarkeit war eine der fundamentalen Grundannahmen, die den enormen theoretischen und praktischen Erfolg der modernen Wissenschaften

---

<sup>11</sup> Vgl. die Darstellung in Kittler (2002), S. 317.

<sup>12</sup> Sybille Krämer (1998), S. 31.

ermöglichten. Descartes nimmt eine Vorreiterpositionen bei diesem entscheidenden Wechsel zwischen später Antike und früher Moderne ein:

Hier bitte ich euch, beiläufig bemerken zu wollen, dass das Bedenken der Alten [Der griechischen Mathematiker, Anm. M.K.] gegen den Gebrauch von Bezeichnungen der Arithmetik in der Geometrie (das nur daraus entspringen konnte, dass ihnen der Zusammenhang dieser beiden Disziplinen nicht hinreichend klar geworden war), eine gewisse Dunkelheit und Schwerfälligkeit des Ausdrucks verursachte;<sup>13</sup>

Die griechischen Mathematiker wie Euklid, Archimedes und Diophantos hatten Geometrie und Arithmetik streng voneinander getrennt. Descartes setzt sich über diese Trennung hinweg, er präsentiert in der französischen Einleitung zu den 'Prinzipien der Philosophie' ein Gleichnis des Baums des Wissens, an dem Mechanik ebenso wie andere Wissenschaften als Äste an einem Stamm erscheinen. Der Stamm stellt die Physik dar, die selber in der Metaphysik ihre Wurzeln hat.<sup>14</sup> Wenn Geometrie also auch als Wissenschaft dargestellt wird, müssen die Prinzipien für Mechanik und Geometrie dieselben sein. Descartes leistet eine außerordentliche Syntheseleistung der Zusammenführung von praktischem und theoretischem Wissen, der verschiedenen arithmetischen, geometrischen, physikalischen und mechanischen Kenntnisse seiner Zeit.

Alle Probleme der Geometrie können leicht auf einen solchen Ausdruck gebracht werden, dass es nachher nur der Kenntnis der Länge gewisser gerader Linien bedarf, um diese Probleme zu konstruieren. Und gleichwie sich die gesamte Arithmetik nur aus vier oder fünf Operationen zusammensetzt (...) so hat man auch in der Geometrie, um die gesuchten Linien so umzuformen, dass sie auf Bekanntes führen, nichts anderes zu tun, als andere Linien ihnen hinzuzufügen oder von ihnen abzuziehen (...).<sup>15</sup>

---

<sup>13</sup> Descartes (1968), S. 9.

<sup>14</sup> Mir ist Deleuze und Guattaris Kritik am Baummodell bekannt und ich teile sie. Sie setzen dagegen den Begriff des 'Rhizom'. In dieser Arbeit geht es jedoch zentral um die Entwicklung der analytischen Geometrie und des Bildschirms und nicht um eine Kritik der wissenschaftlichen Begriffe und der Art, wie Wissen organisiert wird. Vgl. Gilles Deleuze, Félix Guattari (1977): *Rhizom*. Berlin, Merve.

<sup>15</sup> Descartes (1968), S. 1.

Oftmals ist es aber gar nicht nötig, diese Linien so aufs Papier zu zeichnen, sondern es genügt, sie jede einzeln mit einem Buchstaben zu bezeichnen.<sup>16</sup>

Descartes gelingt es nicht nur die wechselseitige Abbildbarkeit geometrischer und algebraischer Verfahren zu beweisen,<sup>17</sup> sondern er macht die Algebra zu einem Instrument, um die allgemeine Lösbarkeit von Klassen geometrischer Probleme zu zeigen. Nachdem er die Zusammenhänge bewiesen hat, muss er die Linien gar nicht mehr aufzeichnen. So liefert er begründetes Wissen, dass auf Beweisen beruht.

Indem mit Hilfe der Algebra die Geometrie auf allgemeingültige Weise die Lösbarkeit bestimmter Problemklassen demonstriert wird, bleibt sie „nicht länger bloße *techné*, sondern erringt selber den Status einer *epistéme*.“<sup>18</sup>

### 3. 2 Das Koordinatensystem

Entscheidendes Hilfsmittel der analytischen Geometrie ist ein Koordinatensystem. Descartes beschreibt es folgendermaßen (siehe die dazugehörige Abbildung III):

Betrachten wir die Linien *AB*, *AD*, *AF* und ähnliche (Fig. X), die mit Hilfe des Instruments *XYZ* beschrieben sind. Dieses Instrument ist aus mehreren Linealen zusammengesetzt, die so miteinander verbunden sind, dass, wenn das Lineal *YZ* auf der Linie *AN* verbleibt, der Winkel Winkel *XYZ* geöffnet und geschlossen werden kann, (...) <sup>19</sup>

Mit Hilfe des Koordinatensystems lassen sich auch krumme Linien als aus geraden Linien zusammengesetzte immer genauer beschreiben.

Allerdings taucht nirgendwo in Descartes' Werk das heute nach ihm

---

<sup>16</sup> Descartes (1968), S. 2.

<sup>17</sup> Zu ähnlichen Gedanken gelangte auch Pierre de Fermat. -\*1607; † 1665 - war ein französischer Mathematiker und Jurist. Vgl. ausführlicher zu Fermats Leistungen u. a. Kittler (2004), S. 21 -32.

<sup>18</sup> Krämer (1988), S. 67.

<sup>19</sup> Descartes (1968), S. 22.

benannte, rechtwinklige kartesische Koordinatensystem in seiner Reinform (vergleiche Abbildung III und IV) auf, als dessen Erfinder ebenso Apollonios von Perge, Oresme, Fermat und de Witt betrachtet werden müssen.<sup>20</sup>

Descartes visualisiert das Koordinatensystem noch als aneinandergelegte Lineale (vgl. voranstehendes Zitat und Abbildung III), die im rechten Winkel zueinander stehen.

Ein Koordinatensystem, welches ein normiertes, berechenbares Raster darstellt, ist ebenso ein Instrument wie es ein Diagramm oder eine Bildstruktur sein kann. Hier entsteht eine spezifische Operationalisierung der graphischen Fläche selbst.

(...) [D]iese graphischen Flächen sind konstitutiv für die Instrumente, sie sind Teil der Instrumente selbst.<sup>21</sup>

Die graphischen Flächen werden selber mit Hilfe der mathematischen Rechenregeln konstruiert und normiert, die sie später benutzen, um aus Punkten, Linien und Winkeln operative, diagrammatische Räume zu erzeugen. Durch das Koordinatensystem lässt sich jeder Punkt durch die X- und Y-Koordinate genau bestimmen.

Dieser Sachverhalt ist das zugrundeliegende Prinzip jedes späteren Bildschirms. Bei dem Rastergraphik-Computerbildschirm, der das Raster sogar im Namen trägt, besteht das Bild aus einem Raster schmaler Farbstreifen, den Pixeln, mit denen der Bildschirm überzogen ist, und das dafür sorgt, dass jeder Pixel prinzipiell direkt ansteuerbar und veränderbar ist. Jeder Pixel hat senkrechte und waagerechte Positionscodes und einen Farbcode. Der Mikroprozessor erzeugt das Bild als Serie von Codes, indem jeder Pixel in einer bestimmten Farbe aufleuchtet. Ebenso werden die Bewegungen der Maus verfolgt. Wenn die Maus ihre Position verändert, variieren die waagerechten und senkrechten Koordinaten der Positionsmarke,

---

<sup>20</sup> siehe z. B. C. Boyer (1968), *A History of Mathematics*, New York.

<sup>21</sup> Schöffner (2003), S. 98.

der Computer wird durch elektrische Impulse darüber informiert und errechnet daraus die simulierte Position auf dem Bildschirm

### **3.3 Der operative Wert graphischer Oberflächen**

Das Verhältnis von Instrument und Sichtbarkeit als Diagramm oder Bild ist daher nicht nur so zu sehen, dass das Instrument einzelne Daten erzeugt, die dann auf einer graphischen Fläche, wie etwa einer Karte oder später dem Leuchtschirm des Oszilloskops oder dem Radar- oder Computerbildschirm angeordnet werden. Vielmehr besteht der operative Wert von Instrumenten gerade in den graphischen Oberflächen, auf denen Meßwerte gebildet und abgelesen werden können. Diese graphischen Oberflächen werden anhand mehrerer Beispiele in den folgenden Kapiteln paradigmatisch vorgeführt.

## **4 Messinterfaces: Das Oszilloskop**

Der erste dynamische Bildschirm, der einen realen, zeitlichen Ablauf abbildet, ist das Oszilloskop (früher Oszillosgraf = "Schwingungsschreiber"). Dort wird mit Hilfe einer Braun'schen Röhre<sup>22</sup> im luftleeren Raum ein Elektrodenstrahl erzeugt. Die Elektronen werden von der Glühkathode zur Anode durch die Anodenspannung beschleunigt. Der negativ geladene Zylinder bündelt den Strahl, der geradlinig zum Leuchtschirm fliegt und dort eine Spur hinterlässt (siehe Abbildung V). Das erste Oszilloskop im strengen Sinne wurde 1932 von Manfred von Ardenne<sup>23</sup> entwickelt. Auf dem Leuchtschirm wird der

---

<sup>22</sup> Die Braun'sche Röhre entwickelt von dem deutschen Physiker Karl Ferdinand Braun (1850 – 1918) ist zentraler und integraler Bestandteil aller frühen und weiteren Bildschirmentwicklungen bis zum Aufkommen der LCD und Plasmabildschirme in den 1980er Jahren.

<sup>23</sup> Manfred Baron von Ardenne, deutscher Physiker, 1907-1997.

zeitliche Verlauf von einer Spannung im jeweiligen Augenblick sichtbar gemacht.<sup>24</sup> Hier fallen Repräsentation und Ereignis zusammen.

#### **4.1 Das Magische Auge**

Eine andere frühe Anwendung einer speziellen Elektronenstrahlröhre, bei der es nur um das Erkennen des Signals selbst ging, war das alltagssprachlich sogenannte 'Magische Auge' (siehe Abbildung VI). Mit diesem liess sich die Stärke eines Signals visuell repräsentieren, es wurde in den ersten Radiogeräten, aber auch in Tonbandgeräten, Verstärkern und zum Teil Fernsehgeräten eingebaut. In diesen Empfangsgeräten zeigt das Magische Auge an, wie genau das Gerät auf einen Sender eingestellt ist beziehungsweise wie stark der Sender einfällt.

#### **4.2 Tennis for Two**

Das Oszilloskop ist ein Paradebeispiel für die These, dass Medien erst funktional in diesem Fall als Messmedium der Elektriker und Physiker eingesetzt wurden, um dann diskursiv zu werden. Das Oszilloskop ist nämlich Grundbaustein des ältesten Computerspiels: Tennis for Two (siehe Abbildung VII). Es wurde 1958 erstmalig beim Tag der offenen Tür im Brookhaven National Laboratory in Long Island, USA von William Higinbotham vorgestellt und bestand aus einem Oszilloskop, das an einen Computer angeschlossen war, der die Trajektorien des virtuellen 'Tennisballs', in diesem Fall ein bloßer leuchtender Punkt, kalkulierte. Der zivile, harmlose Kontext zur Unterhaltung

---

<sup>24</sup> Andere Anwendungen des Oszilloskops neben der Messung der Spannung sind Messung des Stroms, der Zeit und Frequenz, Phasenwinkel, Hysteresisschleifen und Kennlinien.

der Öffentlichkeit täuscht, da dieses Spiel ebenso wie viele andere Unterhaltungsmedien auf militärisches Wissen und Praktiken aufbaut.<sup>25</sup>

## 5 Bildschirme in unterschiedlicher Performativität

Das Oszilloskop, das magische Auge, der Fernsehbildschirm sowie der Computermonitor benutzen alle eine Kathodenstrahlröhre (Braun'sche Röhre) als integralen Bestandteil, nur ist das Verhältnis von Signal zur Abbildung ein jeweils anderes. Der Vollständigkeit halber, sollen hier auch kurz die 1946 gebauten "Williams Tubes" erwähnt werden.<sup>26</sup> Diese Bildröhren waren jedoch nicht dazu da, Bilder jeglicher Art zu zeigen, die ein Mensch hätte lesen können, sondern schlichtweg Datenspeicher und nur für den Computer selber entzifferbar. Jeder leuchtende Punkt in einem Raster konnte ein Bit speichern, blieb das Feld allerdings dunkel, war der Wert 0.

Das Oszilloskop und das magische Auge dagegen haben ein direktes Abbildungsverhältnis, sie zeigen das Ergebnis einer Messung an. Der Fernsehbildschirm ist ein einfaches Durchgangsmedium, das nur ein empfangenes Signal zeilenweise wiedergibt. Er ist keine operationale Fläche, da es weder möglich ist auf das eingespeiste Signal Einfluß zu nehmen, noch das Bild zu verändern. Es ist ein statischer Bildschirm, der keinerlei Kommunikations- oder Interaktionsmöglichkeiten erlaubt.<sup>27</sup> Darum soll der Fernsehbildschirm hier auch nicht weiter behandelt werden. Manovich behandelt ihn zwar eingehend als Beispiel für den 'dynamischen Bildschirm', einer Form zu der er auch das Kino zählt. Ich bin jedoch der Ansicht, dass Manovichs Definition für eine klar definierte Medienwissenschaft nicht sehr

---

<sup>25</sup> Für eine genauere Erörterung der Entstehungsgeschichte von 'Tennis for Two' siehe. Pias (2002), S. 13 – 15 und 81.

<sup>26</sup> "Williams tube." McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms. McGraw-Hill Companies, Inc., 2003. *Answers.com*, Download 11. 11. 2006. <http://www.answers.com/topic/williams-tube>.

<sup>27</sup> Nur Künstler wie z. B. Nam June Paik haben es verstanden, das Fernsehbild als kreatives Medium zu benutzen, z. B. durch die magnetische Ablenkung des Signals.

hilfreich ist, da er den Bildschirm zu sehr vom Bild und von seinen gesellschaftlichen und kulturellen Funktionen her beschreibt.<sup>28</sup>

Der Computerbildschirm bildet nicht mehr direkt das eingespeiste Signal ab, sondern wird dafür benutzt, alle Arten von virtuellen Bildern zu erzeugen. Er ist eine operationale Fläche. Seine Entwicklung hängt eng mit dem Radar und der Luftabwehr zusammen, wie in den nächsten Kapitel ausgeführt wird.

## 6 Repräsentation (SAGE) und Simulation (Sketchpad)

### 6.1 SAGE

Zur Luftüberwachung wird seit dem zweiten Weltkrieg Radartechnologie eingesetzt. Radarschirme gehören ebenso wie die Leuchtschirme der Oszilloskope zu den ersten Bildschirmen, die Informationen in Echtzeit darstellen. Dabei ist Echtzeit natürlich relativ und tatsächlich als ein zeitkritischer Vorgang im Mikrobereich des sequentiellen Bildaufbaus zu sehen, der das Bild Zeile um Zeile nacheinander vervollständigt. Aus diesem Grund entsprechen verschiedene Bildzeilen jeweils einem anderen Zeitpunkt. In dieser Hinsicht könnte man Radarbilder mit einer Schallplatte vergleichen, da in der Zeit aufeinanderfolgende Momente kreisförmige Spuren auf der Oberfläche werden.

Das amerikanischen SAGE<sup>29</sup>-Projekt verband Radarüberwachung mit Computertechnik. Ab 1950 war am MIT unterstützt von der Air Force an der Entwicklung von computergestützten Luftabwehrsystemen geforscht worden. Sie benutzten Whirlwind Computer, die von IBM entwickelt wurden und an Radardisplays angeschlossen waren. In jenen Jahren des Kalten Krieges

---

<sup>28</sup> Vgl. *Cultural Interfaces* in Manovich (2001), S. 62 ff. Dennoch bietet Manovich an einigen Punkten wertvolle Gedanken und schon allein aufgrund der Fülle von Materialien, die er unter anderem auch auf seiner Internetseite ([www.manovich.net](http://www.manovich.net)) zur Verfügung stellt, einen guten ersten Einstieg in das Thema.

<sup>29</sup> SAGE steht für **S**emi-**A**utomatic **G**round **E**nvironment.

fürchteten die Amerikaner einen Angriff von mehreren Seiten durch die Sowjetunion.<sup>30</sup>

An SAGE beweist sich mal wieder Kittlers These von Medien als 'Missbrauch von Heeresgerät'<sup>31</sup>. Es scheint tatsächlich ein medienhistorisches Gesetz zu bestehen, welches so zu formulieren wäre: Zuerst wird ein Medium funktional eingesetzt, d.h. für rein militärische Zwecke oder Forschungsvorhaben, um dann im zweiten Schritt diskursiv zu werden, etwa als Unterhaltungsmedium oder Spiel.

Die Hauptaufgabe von SAGE war die Repräsentation und die Zusammenfassung der verschiedenen Messwerte der Radarstationen entlang der Ostküste der Vereinigten Staaten. Die angeschlossenen Radaranlagen lieferten die Position eines Objektes mit Hilfe von Winkelkoordinaten, die in kartesische Koordinaten in Abhängigkeit vom Standort des Radars umgerechnet und auf dem Bildschirm der SAGE Console ausgegeben wurden. Hier werden, anders als bei der Williams Tube oder dem Oszilloskop, Daten und Darstellung auf dem Display getrennt und für den menschlichen *User* aufbereitet. Das SAGE-Projekt hatte daher die allerersten, graphischen Benutzeroberflächen, die dem Militärpersonal half, die Maschinen zu bedienen. Auf dem Bildschirm war die Ostküste der USA abgebildet, sowie alle erfassten Flugobjekte mit Informationen über Geschwindigkeit, Höhe und Freund/Feindkennung. Auch erste Konzepte eines auf Fenstern aufgebauten Systems waren im SAGE-Interface vorhanden.

Der Computer ist somit die erste Maschine, die die Ebene der Modellbildung, also symbolisch-repräsentative Prozesse, und die Steuerung von Realvorgängen mechanisch-technisch zusammenführt. Da dasselbe Modell, das die Umwelt simuliert, dazu verwendet werden kann, auch den Eingriff in

---

<sup>30</sup> Eigentlich war SAGE zum Zeitpunkt seiner Einführung schon überholt, da bei interkontinentalen ballistischen Raketen nur eine sehr kurze Vorwarnzeit gegeben war. Dennoch wurde erst 1983 der letzte Computer in einem SAGE-Befehlszentrum außer Betrieb genommen, Vgl. Friedewald (1999) S. 95.

<sup>31</sup> Kittler (1986), S. 149.

diese Umwelt zu steuern, beispielsweise bei SAGE den Abschuss von Abwehrraketen in Gang zu setzen.

Bei SAGE treten außerdem zum ersten Mal die Kommunikation<sup>32</sup> von Computern untereinander sowie die zwischen Mensch und Computer in den Vordergrund, da die Hauptaufgabe die Überwachung und Interaktion mit der Umwelt ist. Auf der Abbildung VIII läßt sich die alphanumerische Tastatur sowie ein Lichtzeigergerät zur Eingabe von Daten erkennen.

Der Computer empfing kontinuierlich Daten von Hunderten von Datenquellen, daher konnten keine Lochkarten verwendet werden. Bei Programmen, die auf Lochkarten vorgeschrieben waren, musste jeder Auftrag vor der Bearbeitung mit allen benötigten Daten vorliegen. Bei SAGE konnten sich jedoch die Eingaben ständig verändern. Daher wurden bei den Whirlwindrechnern Magnetkernspeicher verwendet und außerdem musste das 'Interrupt Signal' sowie die Zwischenablage der Daten eingeführt werden.

Für den interaktiven<sup>33</sup> Computerbetrieb (das *Human-Computer-Interface*) gab es zu Beginn der fünfziger Jahre noch keine feste Bezeichnung, außer der zentralen Überlegung der Kybernetik, nach der menschliches Verhalten nicht grundsätzlich unterschiedlich dem Verhalten der Maschine ist; folglich kann nach wissenschaftlichen Methoden Kommunikation zwischen Mensch und Maschine gestaltet werden. Zu dieser Zeit glaubte man noch, dass mit genügend Aufwand alle kognitiven, aber auch sozialen und gesellschaftlichen

---

<sup>32</sup> In dieser Hausarbeit wird, wenn *Kommunikation* beschrieben wird, Shannons mathematisches Modell der Kommunikation zu Grunde gelegt (*A Mathematical Theory of Communication*, Claude E. Shannon 1949), das einen linearen Sender-Empfänger-Prozess beschreibt, in dessen Mittelpunkt das Signal steht. Was "Sender" und "Empfänger" heißen soll, ist nur mathematisch festgelegt.

<sup>33</sup> Der Begriff der *Interaktivität* wird definiert als die technische Fähigkeit eines Programmes während seiner Laufzeit neue Eingaben zu verarbeiten. Der ursprünglich aus der Soziologie stammende Begriff der *Interaktion* wird häufig für Mensch-Maschine-Kommunikation allgemein gebraucht. Er beschreibt eine Handlung, die eine Menge von symbolischen Nachrichten umfasst, die zwischen Objekten (sowohl Menschen als auch Maschinen) in einem bestimmten Kontext zielgerichtet ausgetauscht werden.

Prozesse des Menschen mit dem Computer nachgebildet werden könnten.

## 6.2 Sutherlands Sketchpad

Aus diesen kybernetischen Überlegungen heraus und als geistiger Erbe Norbert Wieners und Claude Shannons, entstand der nächste bedeutende Einsatz eines Computerbildschirms und die Entwicklung eines Interfaces: das Programm Sketchpad,<sup>34</sup> das von Ivan Sutherland als Doktorand 1962 entwickelt wurde.<sup>35</sup> Sketchpad ist das erste zivile Software-Programm, mit dem man Objekte direkt über die graphische Eingabe mit einem 'Lichtgriffel' am Bildschirm verändern kann (siehe Abbildung VIII).

Die Kommandos wurden vorab definiert und ikonisch-symbolisch gegeben, Schrift war stark reduziert. Zeichnungen und Skizzen werden somit in Sketchpad zum bedeutenden Kommunikationsmodus.<sup>36</sup> Es handelte sich hierbei aber im allgemeinen nicht um sogenannte 'künstlerische' Zeichnungen, sondern vorab definiert um geometrische, technische Zeichnungen, die logische Verhältnisse darstellen und schematische Entwürfe und Diagramme zeigen, mit anderen Worten: Ingenieurszeichnungen.

Sketchpad ist auf der Codeebene das erste objekt-orientierte Softwaresystem. Dies bedeutet, dass man einzelne Objekte definiert, die während der Benutzung des Programms über die graphische Eingabe aktiviert werden und bestimmte Eigenschaften 'besitzen'. Die Möglichkeit in den Rechenprozess über den Lichtgriffel am Bildschirm einzugreifen, erfordert eine neue Art der

---

<sup>34</sup> Dt.: Skizzenblock.

<sup>35</sup> Ivan Sutherland (1963), Sketchpad. *A Man-Machine Graphical Communication System*, Mass. Diss. Sein Doktorvater war niemand anderes als Claude Shannon.

<sup>36</sup> Es war seit den 1960ern die Vision einiger Computerpioniere, ein Programm zu erschaffen, mit dem auch Analphabeten und Kinder umgehen könnten. Vgl. Kay (1990) S. 191-208.

Softwarearchitektur. Im Unterschied zu früheren Softwarearchitekturen, 'weiß' das Objekt selber, was es tun kann.

Sketchpad lief nur auf einem einzigen Computer, einem TX2 am MIT, der extra für diesen Zweck umgebaut worden war<sup>37</sup> und der so groß war, dass er einen Raum füllte. Nicht allzu viele Wissenschaftler und Studenten konnten also persönlich im Gebrauch von Sketchpad Erfahrungen sammeln, das Programm hat dennoch viel Einfluss auf die nachfolgenden Computertechniker und – theoretiker gehabt durch die Ideen, die Sutherland schriftlich in seiner Dissertation niederlegt hatte. Sutherland war einer der ersten, der Computer auch für 'Laien' zugänglich machen wollte und sie nicht nur als Rechenmaschine sondern als Medium konzipierte für viele verschiedene Einsatzbereiche, wie für technische Zeichner, Statiker, Architekten. Dieses Umdenken führt erst dazu, dass sowohl auf der Hard- wie auf der Softwareebene die Möglichkeiten der graphischen Darstellung weiterentwickelt wurden. Auf der Hardwareebene ist fehlender Speicher die erste Hürde, was sich aber, wie Moores Gesetz<sup>38</sup> veranschaulicht, schnell verbessert.

Auf der Softwareebene stossen auch spätere Entwickler auf dasselbe Problem, das auch Sutherland schon beschrieb, nämlich wie man ein Programm intuitiv verständlich und dennoch abstrakt genug gestalten konnte, damit es auch zu komplizierten Aufgaben fähig war. Dieses Problem ist bis heute nicht hinreichend gelöst worden.

Die größte Leistung von Sutherland ist jedoch, dass:

(S)pätestens seit Sketchpad Computer den Entwurf anderer Computer zum Inhalt (haben), was sich bis heute nicht verändert hat

---

<sup>37</sup> Vorallendungen wurde mehr Speicher hinzugefügt, was für die zu jener Zeit hochkomplexe graphische Anzeige benötigt wurde.

<sup>38</sup> Mitte der sechziger Jahre formulierte Gordon Moore, einer der Gründer von Intel, das nach ihm benannte ökonomische Gesetz der Mikroelektronik: Alle zwei Jahre ist eine Verdoppelung der auf einem Chip integrierten Transistorfunktionen zu erwarten. Daher können die Computer in ihrer materiellen Erscheinung immer kleiner und dennoch von ihrer Rechenleistung her immer leistungsfähiger werden.

und schon aus Komplexitäts-gründen nicht mehr auf Papier rückführbar ist.<sup>39</sup>

Anders als alle auf Papier gezeichneten Schaltpläne sind die so entworfenen Maschinen schon als virtuelle lauffähig. Entwurf und Simulation sind nicht mehr zu unterscheiden.

Sketchpad [...] kann der Eingabe bei zahlreichen Programmen zur Netzwerks- und Schaltungssimulation dienen. Der zusätzliche Aufwand, den es erfordert, einen Schaltplan von Anfang an mit Sketchpad zu entwerfen, wird u. U. wettgemacht, wenn die Eigenschaften der Schaltung als Simulation der gezeichneten Schaltung verfügbar wird. [...] Die Möglichkeit, ein einzelnes Element einer sich wiederholenden Struktur zu verändern und diese Änderung mit einem Schlag in allen Unter-Elementen ausgeführt zu bekommen, macht es möglich, sämtliche Elemente eines Arrays ohne Neuzeichnung zu ändern.<sup>40</sup>

Es wurden jedoch nicht nur Computerarchitekturen entworfen sondern ebenso statische Berechnungen und Konstruktionszeichnungen für reale Brücken und Gebäude durchgeführt - die ersten Schritte in Richtung Computer Aided Design (CAD), mit dem heute jeder Architekt arbeitet. Ausserdem hat Sutherland neben den technischen auch 'künstlerische' Zeichnungen erstellt und die Möglichkeit, Zeichnungen im Computer zu animieren und virtuelle Environments zu schaffen, vertieft.<sup>41</sup>

### **6.2.1. Vektorgraphik**

Die graphischen Objekte in Sketchpad basieren auf Vektorgraphiken. Die ersten Ensembles aus Bildschirm und Computer konnten aufgrund von geringer Speicherkapazität nur auf Vektoren basierende Graphiken darstellen. Bis in die siebziger Jahre wurden Computergraphiken als Linien und

---

<sup>39</sup> Pias (2002), S. 89.

<sup>40</sup> Ivan Sutherland (1963), S. 23 (Übersetzung M. K.).

<sup>41</sup> Vgl. Ivan Sutherland (1965), S. 506-508.

Koordinaten verwendet, und entspringen der mathematischen 'Graphentheorie', den Operationen der Kartographie. Wie Claus Pias bemerkt: "bildet die Vektorgraphik gegenüber heute üblichen Bildschirmen ein ganz eigenes Dispositiv."<sup>42</sup> Die heutigen Bildschirme verwenden nämlich alle nur noch Rastergraphiken, und basieren damit auf Pixeln und Flächeln.

Eine Vektorgraphik beschreibt das Bild dagegen durch mathematische Funktionen als Folge geometrischer Objekte und legt nur die Funktionsparameter ab. Diese geometrischen Objekte (z.B. Linie, Kreis, Spline, Overlay) haben bestimmte Eigenschaften wie Position, Farbe und Anordnung.<sup>43</sup> Die frühen Vektorbildschirme können einfach nur einen Lichtpunkt zeigen, dessen Bewegungen durch die Trägheit des Phosphors auf der Bildröhre eine Spur bildete.

Auf Abbildung X ist ein Beispiel für einen einfachen Javaprogrammcode zu sehen, der eine Vektorgraphik als digitales Bild zeichnet. Der Code ist folgendermaßen zu verstehen:

Es wird zuerst das Objekt Kreis an der Position des Koordinatensystems 50,50 mit einem Durchmesser von 50 Pixel gezeichnet, und dann das Objekt Rechteck an der Position 20,20 mit den Seitenlängen 45 x 45 Pixel schwarz ausgefüllt.<sup>44</sup>

Das daraus resultierende Bild ist auf Abbildung XI zu sehen.

An dem Code hat sich nicht so viel verändert, nur die Art wie das Interface erscheint ist immer raffinierter geworden, die Zahl der darstellbaren Punkte, also die Auflösung und die Anzahl der Farben hat sich exponentiell vergrößert.

---

<sup>42</sup> Vgl. Pias (2001), S. 66.

<sup>43</sup> Vektorgraphiken lassen sich besser auf verschiedene Ausgabemedien anpassen als Rastergraphiken. Sie eignen sich aber nicht für Photographien.

<sup>44</sup> Trogemann; Viehoff (2005), S. 273.

## 6.2.2 Bitmap-Graphik

Eine Rastergraphik (engl.: Bitmap) speichert im Gegensatz zur Vektorgraphik die Information für jeden erfassten Punkt (Pixel) eines Bildes, daher benötigt sie im Vergleich zu der Vektorgraphik viel mehr Speicherplatz. Erst Ende der 60er Jahre wurden die Bildschirme als Technologien der Datenvisualisierung auf Rastergraphiken umgestellt, und übernahmen damit das Prinzip der Fernsehbildschirme der waagerechten Zeilen und festgelegten Anzahl darstellbarer Punkte.<sup>45</sup> Das war der Anfang der Vorherrschaft der Pixel, deren kontinuierliche Vermehrung zu immer höherer Auflösung der abgebildeten Bilder führt. Fotografien können selbstverständlich nur durch Bitmaps dargestellt werden. Wie auf der Abbildung XII ersichtlich ist, müssen nun selbst Linien in Pixel umgerechnet werden. Jede diagonale Linie, die wir auf dem Bildschirm zu sehen glauben, ist also tatsächlich eine Treppe, wie sich bei genügender Vergrößerung erkennen lässt. Alle Linien eines Bildes müssen in Flächenpunkte umgerechnet werden, und werden speichertechnisch zu einer festen Größe: Breite mal Höhe, mal Anzahl der Farben. Die Übersetzung eines kontinuierlichen Bildes in ein digitales mit diskreten Werten ist natürlich immer eine Art von Verlust dem Realen gegenüber.

Bei den frühen Videoterminals in den 1970er Jahren wurden vorwiegend schon Rastergraphiken zum Aufbau des Bildes verwendet. Bei den meisten Videoterminals liessen sich die einzelnen Bildpunkte jedoch nicht direkt ansprechen, vielmehr übernimmt ein Character Prozessor die Darstellung von einzelnen Zeichen; die Anzahl und das Aussehen darstellbarer Zeichen ist somit durch diesen vorgegeben. Die Komplexität der GUI kann jeweils gerade so hoch sein, dass der Prozessor noch alle visuellen Operationen in Echtzeit verwalten kann.

---

<sup>45</sup> 1969 reichte Ralph Baer ein erstes Patent zum Anschluss von Fernsehern an Computer ein. Vgl. Pias (2001), S. 68.

## 7 Diskussion

Der Computerbildschirm ist eine Operationsfläche und zeigt immer nur berechenbare, technische Bilder.

Die Computergraphiken bestehen auf mathematischer Grundlage und konnten erst durch die Entwicklung der praktischen und insbesondere der analytischen Geometrie zustande kommen. Bei der Analyse des Computerbildschirms und der Benutzeroberfläche gerät man unweigerlich in die Diskussion über die 'freundlichen Oberfläche',<sup>46</sup> der vorgeworfen wird, den 'richtigen' Computer, nämlich die algorithmischen Prozesse der Zentraleinheit zu verbergen.

Meine Arbeit möchte mit dazu beitragen, dass differenzierter über die Daten und ihre Abbildungen nachgedacht wird. Zum einen ist es richtig, dass der Computer den Bildschirm nicht benötigt, sobald ein menschlicher *User* jedoch Daten eingeben muss und Feedback über Rechenprozesse erfordert, ist ein Bildschirm notwendig und effektiver als die Ausgabe der Ergebnisse durch einen Drucker oder Plotter.

Eine graphische Oberfläche ist jedoch auch selber ein Instrument, vollständig mathematisch bedingt und bildet nie 'nur' etwas ab. Der Computerbildschirm hat seit der Weiterentwicklung der graphischen Benutzeroberfläche eine neue Operativität inne, und nur durch sie ist der Computer so universal einsetzbar geworden:

The evolution of computer technology from the 1970s to the 1990s is captured by a paradigm shift from algorithms to interaction. Algorithms yield outputs completely determined by their inputs that are memoryless and history independent, while interactive systems like personal computers, airline reservation systems, and robots provide history-dependent services over time that can learn from and adapt to experience.<sup>47</sup>

---

<sup>46</sup> Vgl. Bürdek, Bernhard E. (Hrsg.) (2001): *Der digitale Wahn*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt a. Main.

<sup>47</sup> Peter Wegner (1996), *The Paradigm Shift from Algorithms to Interaction*, Final Draft, Brown University, S. 1, <http://www.cs.brown.edu/people/pw/>; Download: 1. 2. 2006.

Mit der Maus und der Tastatur ist es möglich, Daten in den Computer einzugeben, und in einen Rechenprozess einzugreifen, der Monitor gibt die Veränderungen beziehungsweise Eingaben wieder und ist dabei selber Operationsfläche. Wie Alan Newell es knapp formulierte: Any machine is prisoner of its input and output domain.<sup>48</sup> In diesem Sinne verdient es der Bildschirm epistemisches Ding genannt zu werden, weil sich erst durch die hier in einigen Punkten nachgezeichnete Entwicklung unsere heutigen Möglichkeiten den Computer zu nutzen ergeben haben. Mit Sicherheit wird die Entwicklung in den nächsten Jahren dahingehen, dass der Computerbildschirm alle anderen Bildschirme integriert und sowohl die Funktion des Fernsehers, als auch die des Messens und Überwachens und der Eingabe - als Touch-Screen übernehmen wird.

Dabei sind jedoch noch keineswegs die Möglichkeiten ausgenutzt worden, wie man den Bildschirm und die Benutzeroberfläche einsetzen könnte. Beispielsweise war Sutherlands Sketchpad zu weit mehr in der Lage als unsere übliche Benutzeroberfläche, denn man konnte hochkomplexe, abstrakte Beziehungen darstellen und über Zeichnungen Programme schreiben. Sketchpad hat bis heute kaum Nachfolger, setzte es doch einen anderen, technisch vorgebildeten *User* voraus.

---

<sup>48</sup> Alan Newell (1980), *Physical Symbol Systems*, Cognitive Science 4 (2), S. 135 – 183.

## 8 Abbildungen

Abbildung I: Albertis Fadengitter zur richtigen Perspektivkonstruktion

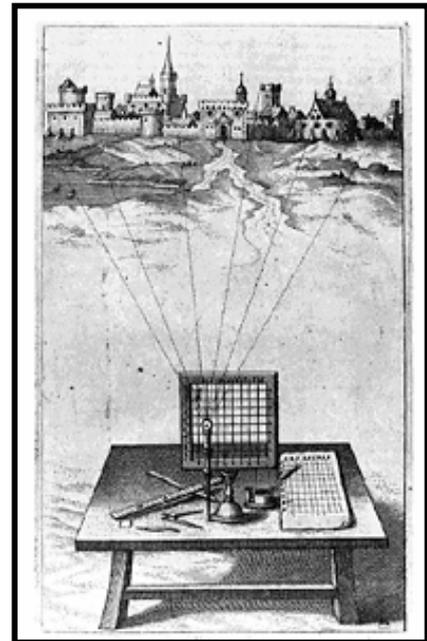


Abbildung II: aus Dürer *Underweysung der Messung*

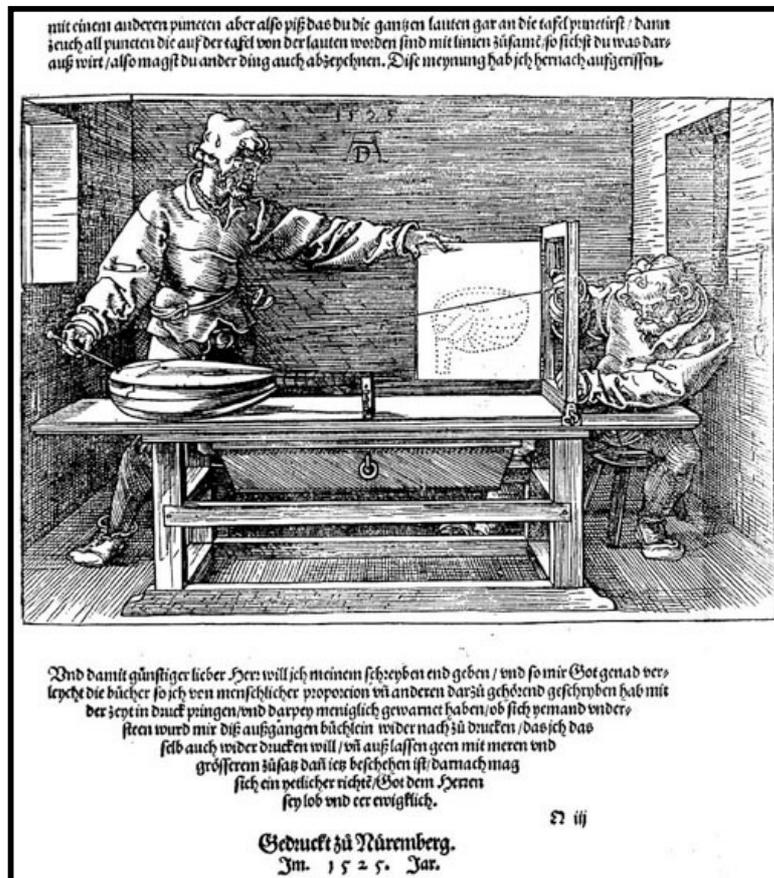


Abbildung III:

Descartes Instrument XYZ.  
"Dieses Instrument ist aus mehreren Linealen zusammengesetzt (...).  
(...) [Sie] beschreiben der Reihe nach jeder eine andere krumme Linie, die immer um einen Grad zusammengesetzter ist als die vorhergehende (...). (Descartes (1969), *Geometrie*, S. 22).

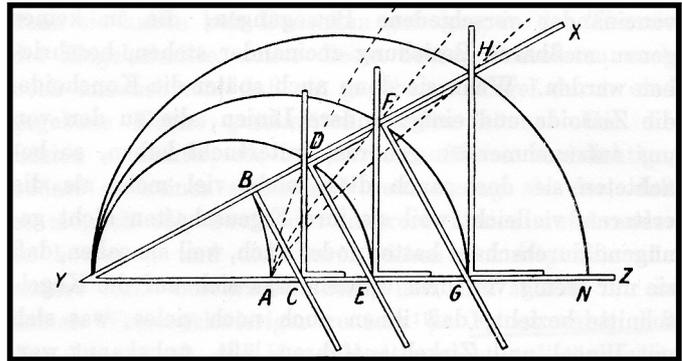


Abbildung IV:

Kartesisches Koordinatensystem

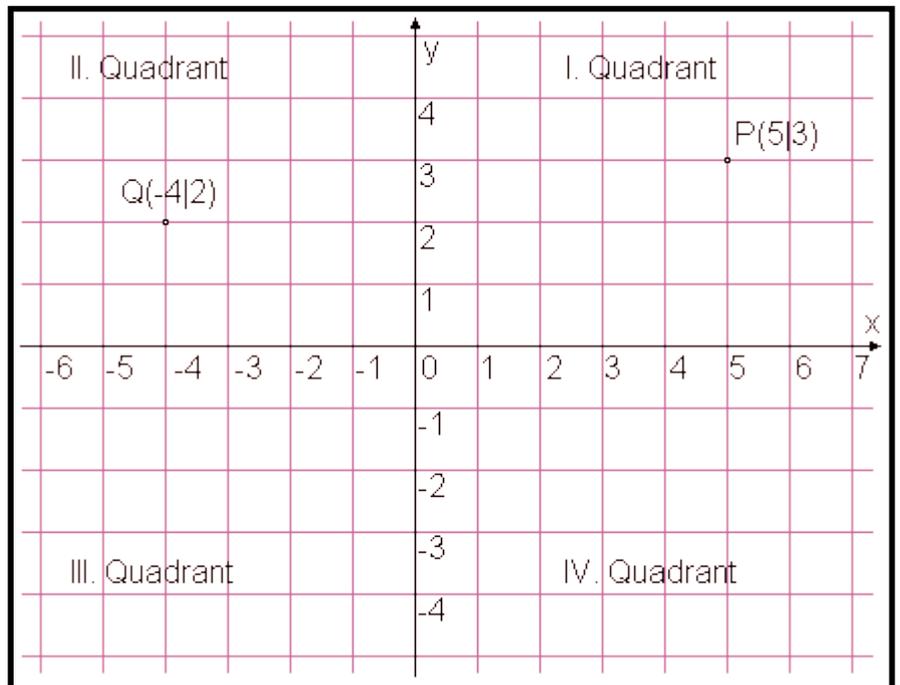


Abbildung V:  
Oszilloskop

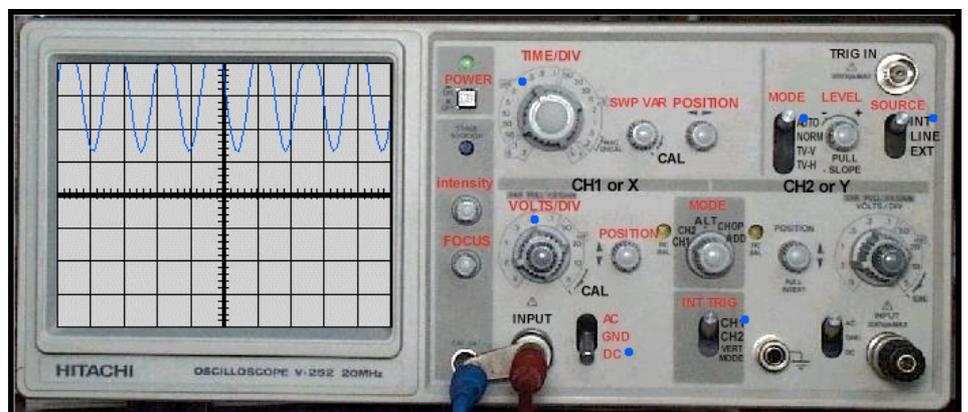


Abbildung VI: Magisches Auge  
In Rundfunkempfänger

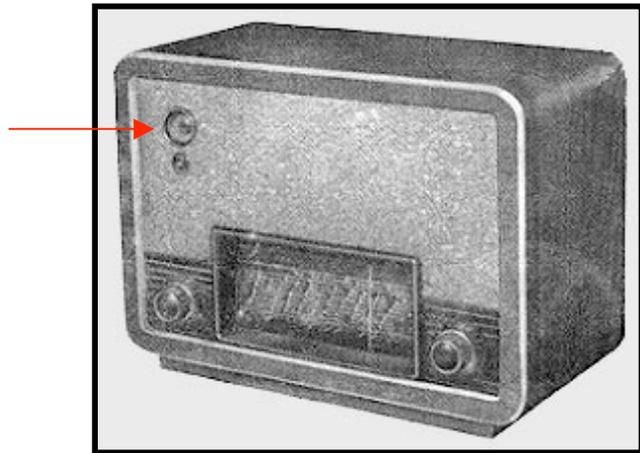


Abbildung VII: Tennis for Two,  
Das erste Computerspiel, mit  
einem Oszilloskop als Bildschirm

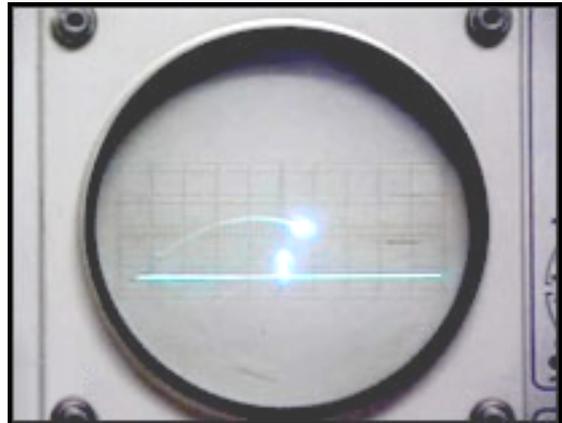


Abbildung VIII: Sage Console



Abbildung IX: Screenshot von  
einer mit Sutherlands Sketchpad  
erstellten Zeichnung

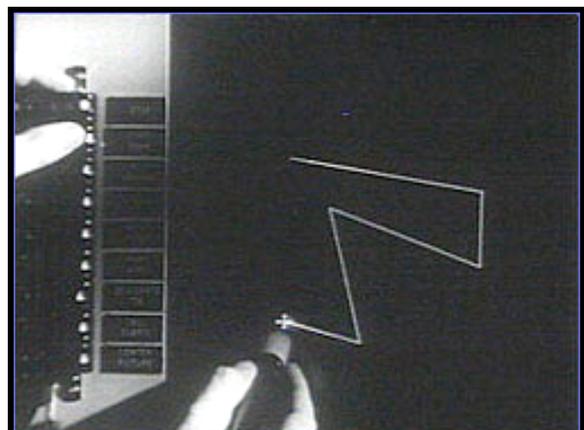


Abbildung X: Code, um eine Vektorgraphik zu zeichnen

```
// ***** applet paint method *****  
public void paint(Graphics g) {  
    g.drawOval(50,50,50,50);  
    g.fillRect(20,20,45,45);  
}  
}
```

Abbildung XI: die aus dem obenstehenden Code resultierende Zeichnung

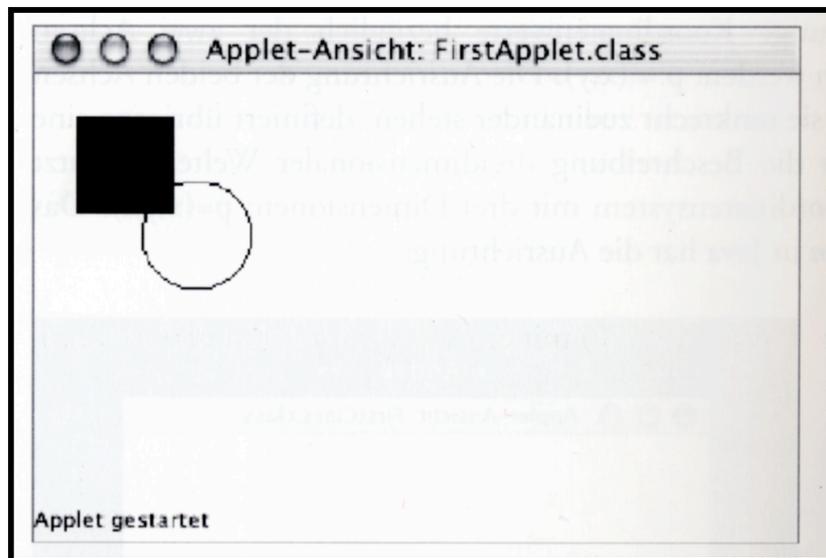
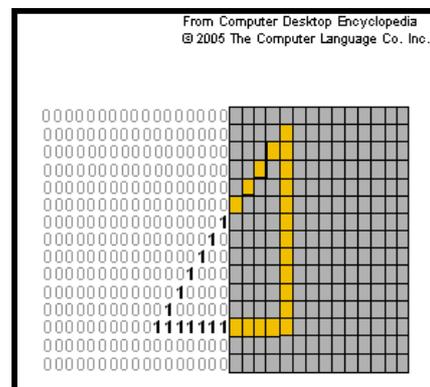


Abbildung XII: Das Prinzip der Bitmap-Graphik



## 9 Literatur

BÜRDEK, Bernhard E. (hrsg.) (2001): *Der digitale Wahn*, Suhrkamp Verlag, Frankfurt a. Main

DESCARTES, René (1968): *Geometrie*, deutsch herausgegeben von Ludwig Schlesinger, Wissenschaft. Buchgesellschaft Darmstadt

FRIEDEWALD, Michael (1999): *Der Computer als Werkzeug und Medium: Die geistigen und technischen Wurzeln des Personal Computers*, Berlin; Diepholz: Verl. für Geschichte der Naturwiss. und der Technik

KAY, Alan C. (1990): *User interface: A personal view*. In Brenda Laurel (Ed.), *The art of human-computer interface design*, S. 191-207. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing

KRÄMER, SYBILLE (1988): *Symbolische Maschinen: die Idee der Formalisierung in geschichtlichem Abriß* Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft

“ (1998): *Zentralperspektive, Kalkül und Virtuelle Realität*. Sieben Thesen über die Weltimplikationen symbolischer Formen. In *Medien – Welten – Wirklichkeiten*. Hrsg. von Gianni Vattimo und Wolfgang Welsch, München, Fink, S. 27 – 37

KITTLER, Friedrich (1986) *Grammophon, Film, Typewriter* Brinkmann und Bose

“ (2002): *Optische Medien* Berliner Vorlesung 1999, Merve Verlag, Berlin

“ (2004), *Unsterbliche*, Nachrufe, Erinnerungen, Geistergespräche. Wilhelm Fink, München

MANOVICH, Lev (2001): *The Language of New Media*, MIT

NIKULIN, Dmitri (2002): *Matter, Imagination and Geometry; Ontology, natural philosophy and mathematics in Plotinus, Proclus and Descartes* Ashgate Publishing Lt. Burlington, VT

PIAS, Claus (2001) *Punkt und Linie zum Raster*, in *Ornament und Abstraktion*, Kat. Basel, Fondation Beyeler, S. 66 - 68

“ (2002): *Computer Spiel Welten*, Sequenzia Verlag, München

“ (hrsg.) (2005): *Zukünfte des Computers*, diaphanes, Zürich, Berlin

SCHÄFFNER (2003) *Instrumente und Bilder. Anamorphotische Geometrie im 16. Und 17. Jahrhundert*; in: SCHRAMM, Helmert (Hrsg.) et al (2003) *Bühnen des Wissens Interferenzen zwischen Wissenschaft und Kunst* dahlem university press, Berlin

SCHANZE, Herbert (Hrsg.) (2002) *Lexikon, Medientheorie, Medienwissenschaft*, Metzler

SCHRAMM, Helmert (Hrsg.) et al (2003): *Bühnen des Wissens. Interferenzen zwischen Wissenschaft und Kunst* dahlem university press, Berlin

SHANNON, Claude E. (1949) *A Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois, USA

SUTHERLAND, Ivan (1963): *Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System*, Massachusetts, Diss.

“ (1965) *The Ultimate Displays*, in: *Proceedings of the International Federation for Information Processing Congress*, S. 506-508.

TROGEMANN, George; VIEHOFF Jochen (2005): *CodeArt*, Springer Verlag, Wien

## 10 Abbildungsnachweise

Abbildung I: Alberti, Perspektivkonstruktion, [www.manovich.net/.../Inm/Inm2/alberti\\_big2.gif](http://www.manovich.net/.../Inm/Inm2/alberti_big2.gif), Download 1. 6. 2006

Abbildung II:

ORLANDI, Enzo (hrsg.) *Dürer und seine Zeit*, 1970, Arnoldo Mondadori Editore. Italienische Ausgabe Mondadori, Verona. Alle Rechte der deutschen Ausgabe bei Emil Vollmer Verlag, Wiesbaden, S. 29 “Der Zeichner mit der Laute”.

Abbildung III: Descartes (1637), *Geometrie*, S.22.

Abbildung IV: Kartesisches Koordinatensystem, <http://www.formelsammlung.de/ld-Kartesisches-Koordinatensystem-996.html>, Download 1. 6. 2006

Abbildung V: Oszilloskop, <http://de.wikipedia.org/wiki/Oszilloskop>, Download 1. 6. 2006

Abbildung VI: Magisches Auge, [http://www.radio-zehetner.at/html/ue\\_saphir\\_w57.htm](http://www.radio-zehetner.at/html/ue_saphir_w57.htm), Download 1. 6. 2006

Abbildung VII: Tennis for Two, The First Video Game, <http://www.bnl.gov/bnlweb/history/higinbotham.asp>, Download 2. 10. 2006

Abbildung VIII: Sage Console, [http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/vintage/vintage\\_4506VV2216.html](http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/vintage/vintage_4506VV2216.html), Download 19. 8. 2006

Abbildung IX: Sutherland zeichnet mit Sketchpad, <http://www.pbs.org/wgbh/nova/specialfx2/humans.html> Download 19. 8. 2006

Abbildung X: CodeArt, S. 272

Abbildung XI: Code Art, S. 272

Abbildung XII: Das Prinzip der Bitmap-Graphik <http://www.techweb.com/encyclopedia> Download: 1. 6. 2006