

Zur Geschichte und Ästhetik des digitalen Bildes (1984)  
(gekürzte Fassung)

Peter Weibel

S. 206-221

I. Die digitale Bildrevolution

Die Veränderungen, die die Ankunft des digitalen Bildes für die Bildauffassung des Menschen bedeutet, so ungeheuerlich und einschneidend sie auch sein mögen und werden – wahrscheinlich das wichtigste Ereignis seit der Erfindung des Bildes selbst –, sind dennoch in der Geschichte des Bildes vorbereitet.

Wenn wir uns darauf einlassen wollen, den Hauptunterschied zwischen dem traditionellen und dem digitalen Bild darin zu erblicken, daß die klassische Abbildungstätigkeit analoger Natur war, das heißt, nach Prinzipien der Ähnlichkeit, Übereinstimmung und Kontinuität arbeitete, und die elektronische Abbildungstätigkeit eben digitaler Natur ist, also mit kleinsten, diskontinuierlichen, nichthomologen Elementen arbeitet, dann ist klar, daß wir als Ausgangspunkt unserer Betrachtungen insbesondere jene Kunstbewegungen wählen werden, die die Ruptur mit der klassischen Bildauffassung vorangetrieben haben, vom Aufstand der Abstrakten zu Beginn des Jahrhunderts bis zur Aktionskunst.

Digitale Kunst

Wir wollen aber bei dieser Unterscheidung, welche allein schon durch den Begriff »digitale Kunst« dialektisch den Begriff »analoge Kunst« hervorruft, worunter dann per definitionem nichts anderes als die bisherige klassische Kunst verstanden werden kann, einige philosophische Ungeheimheiten übersehen wie diese, daß natürlich in der digitalen Kunst analoge Elemente und in der analogen Kunst digitale Elemente vorhanden sind, denn letzten Endes ist jeder kontinuierliche, analoge Vorgang in kleinste diskontinuierliche Teile zerlegbar, so wie eine kontinuierliche Linie durch diskontinuierliche Punkte konstruiert werden kann,

wobei der Abstand zwischen den benachbarten Punkten so gering ist, daß er für das Auge zwar nicht mehr sichtbar ist, so daß die Illusion einer stetigen Linie entsteht, aber wohl numerisch noch vorhanden und darstellbar ist.

Und genau das macht die digitale Kunst, analoge Vorgänge der Natur digital darzustellen bzw. aus Ziffern analoge Bilder zu erzeugen. Ein Computer kann eben aus Punkten, die einer Zahl entsprechen, auf dem angeschlossenen Bildschirm eine Linie erzeugen. Der Bildschirm ist dabei eine Art Zahlenfeld, wo jede Zahl, die aus einer Ziffer (engl. digit) oder einem Ziffern paar oder einer Sequenz von Ziffern (wie etwa 00101) bestehen kann, einem Punkt entspricht. Die Darstellung der Zahlen erfolgt dabei im allgemeinen durch zwei Ziffern (0, 1), die sogenannten binären Ziffern, weil nur so Zahlen elektrisch dargestellt werden können, nämlich Stromimpuls für 1 und Nicht-Strom für 0. Digitale und binäre Darstellung sind also aneinander gekoppelt. Der Computer berechnet nun jene Zahlenfolge, das ist die Punktfolge, welche auf dem angeschlossenen Bildschirm den Eindruck einer Linie erweckt. Dies ist natürlich nur dann möglich, wenn das Auflösungsvermögen des Bildschirms so groß ist, daß ich die Abstände zwischen den Punkten und die Punkte selbst so klein wählen kann, daß sie für das Auge verschwinden, aber dennoch zahlenmäßig vorhanden sind.

Ich wiederhole mich bzw. detailliere, um die Sache zu verdeutlichen. Wenn ein Bildschirm eine geringe »resolution« (Auflösungsvermögen) hat, so bedeutet das, daß er ein Zahlenfeld mit nur wenigen Zahlen ist. Damit die wenigen Punkte (= Zahlen) aber das Feld füllen können, müssen sie entsprechend groß sein – denn klarerweise kann ich das gleiche Feld nur dann mit kleineren Zahlpunkten bedecken, wenn sie mehr sind. Acht große Punkte aber, die nebeneinander und linear über die Fläche eines Bildschirms verteilt sind, schauen beileibe nicht aus wie eine Linie, sondern ich brauche für die Darstellung einer Linie viele kleine Punkte, so viele und so klein, daß sie eben kontinuierlich wie eine Linie wirken. Ein Schirm von dem Ausmaß unseres TV-Schirmes mit ca. 600 Zeilen zu je 800 Punkten ist also ein Zahlenfeld von 480 000 Punkten. Nun kann man sich gut vorstellen, wie klein diese 480 000 Punkte bei der Kleinheit unseres TV-Schirms sein müssen, um darauf Platz zu haben, und wie leicht es damit fällt, die Illusion einer Linie zu erwecken. Da diese Punkte auch verschiedene Farben haben können, ist es eben möglich, nicht nur Formen, sondern auch Farbfächen herzustellen, so daß diese farbigen Formen, entsprechend

schnell verändert bzw. bewegt, nämlich dreißigmal pro Sekunde, die Illusion von Bewegung und Realität (Wiedergabetreue) herstellen können. Je größer die Punkt- bzw. Zahlenmenge, die für die Abbildung zur Verfügung steht, um so größer wird die Wiedergabetreue, um so besser kann ich die Illusion von Realität erwecken, um so realistischer wirkt die Abbildung. Das Drängen nach einer größeren Auflösung (zum Beispiel 1000 Zeilen) entspricht also dem Wunsch nach einem größeren visuellen Realismus.

Wenn Sie sich nun vorstellen, daß diese Zahlen- bzw. Punktmenge nicht einfach durch die Abtastung mit einem Strahl aktiviert wird, der einem eingegebenen Bild folgt, wie es beim Fernsehen der Fall ist, sondern einem Computer zur Berechnung gegeben wird, kann man sich ausmalen, welche große Zahl von Rechenoperationen und Algorithmen (Anweisungen, welche Schritt für Schritt festlegen, was zu tun ist) es bedarf, um aus einigen ausgewählten zehntausenden Punkten die Linie eines menschlichen Profils auf den Bildschirm zu zaubern. In so einem Fall gibt es also keine Bilder oder eine Realität als Vorlage, sondern es liegen nur Zahlen und Rechenoperationen vor, die dann durch elektronische Transformationen auf dem Bildschirm als Formen erscheinen. Dies nennt man künstliche Bilderzeugung, synthetische Bilder, vom Computer. Digitale Bilder sind künstlich erzeugte Bilder, deren Basis die Zahl ist. Wenn man bedenkt, daß nicht nur den Punkten, sondern auch deren Farben und Intensitäten Zahlen entsprechen, wie es also bei einem einfachen Farbbild auf dem Computermonitor mit Millionen von Zahlen zu tun haben, welche der Computer verarbeiten und für die der Programmierer sich einen Algorithmus (Sequenz von schrittweisen Rechenbefehlen) ausdenken muß, kann man ermessen, wieviel Rechenarbeit schon bei der Erstellung eines einzigen unbeweglichen digitalen Bildes notwendig ist. Sollten sich diese Bilder auch noch auf natürliche gewohnte Weise bewegen müssen, sich also das gesamte Bild dreißigmal pro Sekunde ändern, erreicht natürlich das Ausmaß der notwendigen Rechenoperationen außerordentliche Höhen, die große Ansprüche an die Geschwindigkeit und die Komplexität des Rechenvermögens des Computers stellen. Wenn wir unser Vorstellungsvermögen noch steigern wollen, dann erwarten wir, daß der von einem Lichtstift auf einem Tablett gezogene Strich nicht erst nach endloser Rechenzeit irgendwann einmal auf dem Computerbildschirm erscheint – vergleichbar einem Pianisten, der mit seinen Fingern auf die Tasten schlägt, aber die entsprechenden Töne gibt das Klavier erst nach Stun-

den von sich –, sondern daß gleichzeitig mit der Bewegung auf dem Tablett auch auf dem Bildschirm der Strich erscheint, also gleichsam in »real time« (Echtzeit) – das Klavier ist also ein Echtzeitgerät (real-time display).

Die enorme Rechenfähigkeit, die dabei der Computer in der Sekunde bewältigen muß, schaffen natürlich nur mehr Supercomputer. Deswegen sind ja auch die Bewegung und die Form der Figuren auf dem Bildschirm der Videospiele so eckig, ist das Niveau der Bewegungsillusion und Repräsentanztreue so niedrig, weil die in den Mikrochips implementierten Rechenvorgänge nicht mehr zu leisten vermögen. Das Gleiche gilt natürlich auch für die Personalcomputer.

Bei den digitalen bewegten Bildern, der digitalen Computeranimation, wird also nicht nur nach Monitoren mit immer größerer Auflösung gedrängt, sondern auch nach immer größeren und schnelleren Supercomputern, denn nur diese können die riesigen Rechenoperationen durchführen, die notwendig sind, damit die vom Computer ziffermäßig (digital) hergestellten Formen, Farben und Bewegungen auf dem Bildschirm oder (durch Laser übertragen) auf dem Filmstreifen so ausschauen, daß sie den Eindruck von Realität erwecken. Wenn man sich den schnellsten Computer der Welt anschafft, kommt man dem Ziel immer näher, mit Hilfe enormer Rechenoperationen über das Zahlenfeld eines Bildschirms, metaphorisch gesprochen, farbige bewegte Formen zu erzeugen, welche natürlichen Gegenständen in der realen Welt entsprechen, was soviel heißt, wie in Bruchteilen von Sekunden riesige Datenmengen betreffend Position, Intensität, Farbe etc. von hunderttausenden Punkten nicht nur zu verarbeiten, sondern auch die für ihre Steuerung (= Gestaltung) notwendigen Rechenoperationen, die ebenfalls wiederum nur numerisch erfolgen (eingegeben und dargestellt werden) kann, zu berechnen. Solcherart digital erzeugte bewegte Bilder können bei entsprechender optimaler Auflösung und mit Hilfe der Rechenkapazität von Supercomputern immer besser dreidimensionale Objekte und Ereignisse realistisch simulieren.

Digital Productions in Los Angeles hat einen der schnellsten Computer der Welt, Cray-1, von dem es nur ca. 25 Exemplare gibt, genau zu diesem Zweck 24 Stunden pro Tag laufen. Das digitale Bild hat mit der »digitalen Szenesimulation«, wie die Firma ihr Verfahren (digital scene simulation) nennt, mit computererzeugten beweglichen Bildern dreidimensionale Objekte und Ereignisse realistisch zu simulieren, einen ersten Höhepunkt erreicht: »a film-design studio creates reality by

computer« – das ist das ultimative Ziel des digitalen Bildes. Ist es das? Ich würde sagen, im Gegenteil, im Wesen des digitalen Bildes liegt es, mehr als die Realität durch den Computer zu schaffen, aber dieses Mehr im Look der Realität. Der Grund (im Sinne der idealistischen deutschen Ontologie) des digitalen Bildes ist es gerade, Irrealität mit Hilfe des Computers realistisch zu machen. Wir brauchen keine bewegten Fotografien, sondern das digitale Bild führt uns darüber hinaus, transformiert die Abbildung (der Realität) zur Erzeugung des Bildes (einer neuen Realität). Das digitale Bild vereint also die Möglichkeiten der Malerei (Subjektivität, Freiheit, Irrealität) und der Fotografie (Objektivität, Mechanik, Realität). Reproduktion und Phantasie, die beiden ausgeschlossenen Schwestern, versöhnen sich im digitalen Bild. In Zukunft könnten wir auch von einem digitalen Film oder digitalem Video sprechen, weil das digitale Bild in jedem Medium realisiert werden kann. Das digitale Bild, das mir ermöglicht, in jede Stelle der Bildfläche so individuell einzugreifen wie der Maler in die Leinwand, jede Stelle so zu gestalten, wie es meinen Vorstellungen entspricht, befreit nicht nur die apparative Kunst von ihrer quälenden und beengenden Mechanik, sondern befreit das Bilddenken schlechthin von vielen Zwängen, ist also der erste reale Vorschein des »befreiten Bildes« (so wie der digitale Klang des »befreiten Klanges«), dessen Programm um die Jahrhundertwende angeschlagen wurde.

### Das befreite Bild

In zwei Phasen hat die Kunst des 20. Jahrhunderts die Befreiung des Bildes unternommen. In der ersten Jahrhunderthälfte im Futurismus, Kubismus, Kubofuturismus, Suprematismus, Dadaismus, Surrealismus etc., in der zweiten Phase mit Action-painting, Fluxus, Happening, Pop-Art, Kinetismus, Op-Art, Ambiente, Arte povera, Aktionismus, Performance etc. Momente dieser Befreiung gehören auch zu den Charakteristika des digitalen Bildes. Ich erwähne nur die Farbformen der Abstrakten bis zum Informel, die maschinelle Ikonographie des Dadaismus (von Hausmann zu Picabia), die synthetischen Bildfindungen und Objekttransformationen des Surrealismus (von Dalí zu Magritte), die Interaktion und Partizipation beim Happening etc. In den Visual-Music-Filmen oder -Videos tauchen die abstrakten Farbimpressionen wieder auf, ebenso die surrealistischen Collagen, denn das digitale Bild

ist unter anderem eine um die Zeit und mehrere räumliche Schichten erweiterte Collage, die als ein Gestalten in der Zeit – ähnlich der Musik – von der Zweidimensionalität der Fläche zur vierten Dimension aufsteigt. Die Rastertechnik (Lichtenstein, Warhol, Dieter Rot, Sigmar Polke u. a.) gehört ebenso stillschweigend zu den Voraussetzungen des digitalen Bildes wie die Partizipation des Publikums zur Videokunst (von Installationen bis zu Videospiele).

Viele der ästhetischen Momente vorausgegangener Kunstformen bilden also die Richtlinien für die digitale Kunst, welche aber diese transzendiert. Fast zu zahlreich wären dafür die Beispiele. Die Entwicklung vom gepunkteten Stich bis zur »plotted line« (Warhol) landet beim Plotter, einem Zeichengerät des Computers. Vom Pointillismus über Divisionismus bis zur Rastertechnik gibt es Punkttechniken, welche die Malerei als analoge Kunst in Frage stellen. Die synästhetischen Gesamtkunstwerkvorstellungen zu Jahrhundertbeginn formulierten bereits das Programm der Musikvideos: »to make visible what is audible«.

Die eigentliche Entwicklung elektrischer und elektronischer Kunstformen begann in der Mitte der sechziger Jahre. Einerseits im Bereich populärer Musik: Lightshows, Projektionen mit Filmen, Dias, flüssigen Elementen. Andererseits in der Avantgarde: Videokunst, die auf die große Tradition des abstrakten Films zurückgreifen konnte, Neonwerke, Installationen etc. In der Medienkunst der Gegenwart kommt es vor allem zu Mischformen, sowohl im Kunst- wie im Populärbereich: Lucas' Superproduktionen wie Laurie Andersons Musikvideos verwenden Film, Videotechnik und digitale Technologie gleichermaßen. Wir stehen knapp vor dem Quantensprung, wo digitale Bildwerke unabhängig von anderen Kunstformen werden, wo digitale Kunst autonom wird. Das digitale Bild ist ein befreites Bild.

### Digitale Ästhetik

Die augenblickliche visuelle Veränderung durch das digitale Bild, was die Phänomenologie seiner Ästhetik in bezug auf das klassische analoge Bild betrifft, trotz aller Genealogie, läßt sich am besten durch den Übergang vom Bildschirm des TV-Apparates zum Schirm des Computers beschreiben. Ist die Bildfläche des TV-Apparates zu einer vertrauten Bildquelle geworden, so befremdet und verstört der computergespeiste Bildschirm. Denn der eine pflanzt den passiven Konsum konventionel-

ler Bildcodes fort, während der andere Interaktion mit neuen Bildcodes abverlangt. Die Transformierung des TV-Schirms zum Computerschirm durch die an den TV-Apparat angeschlossenen Videospieldisplays, die aus einem traditionellen statischen Bildobjekt ein Computergerät machen, bedeutet auch eine andere Verwandlung: Der Bildschirm erhält plötzlich eine neue Ästhetik der Information und Kommunikation, eine Ästhetik des Künstlichen.

Wenn es die Besonderheit und der Vorteil der digitalen Kunst ist, daß sie ideal geeignet sei, die analogen Vorgänge der Natur digital darzustellen, wenn also eine Bildtechnik ihrem Gegenstand anscheinend so adäquat ist, wie es die Digital-scene-Simulation (die realistische Simulation dreidimensionaler Objekte und Ereignisse in der Zeit) nahelegt, so ist die Vermutung bzw. Hypothese nicht ohne Gründe, daß letztlich alles Analoge digitalisierbar ist, also die Welt selbst digital organisiert ist, und daß die digitale Kunst ihr immer vollendetere Ausdruck wird.

## II. Interaktive Computergraphik

Man kann sagen, daß der eigentliche Anfang des digitalen Bildes mit einer 1963 veröffentlichten Arbeit von Ivan E. Sutherland<sup>1</sup>, einem Schüler der Pioniere der Informations- und Bildverarbeitungsmaschinen am MIT, Claude E. Shannon, Marvin Minsky und A. Coons, zusammenfällt. Heute ist Sutherland an der University of Utah, Salt Lake City, einem der Zentren der Computeranimation und der digitalen Bilder in den USA, tätig. In seiner bereits als klassisch angesehenen Arbeit zeigt er, wie der Computer für einen interaktiven Entwurf von Liniendarstellungen unter Anwendung eines einfachen, aus einer Kathodenstrahlröhre (CRT) bestehenden Displays und ein paar zusätzlicher Inputsteuergeräte eingesetzt werden kann. Bereits in den frühen fünfziger Jahren hatte man CRT-Geräte an Computer angeschlossen, um einfache Outputdarstellungen zu erzielen. Doch erst als Sutherland ein System für Bilddarstellung, das eine Interaktion zwischen Mensch und Maschine ermöglichte, entwickelte, wurde man in der Öffentlichkeit auf das große Potential der Computergraphik aufmerksam.

Die Verwirklichung dieses Potentials ging aber nur langsam vor sich. Zwei große Hindernisse standen im Wege: Erstens waren die Kosten der Berechnungen sehr hoch. Man hat bald erkannt, daß die Computergraphik allerhöchste Forderungen an den Computer stellte, sowohl

bezüglich Verarbeitung als auch in Hinblick auf den Umfang der erforderlichen Daten. In den sechziger Jahren konnten nur einige wenige Universitäten und Forschungslabors einiger großen Firmen den hohen Kostenaufwand mit Forschungszielen rechtfertigen. Das zweite große Hindernis war das mangelnde Verständnis für die Feinheiten der Software für Bilderzeugung, die für ein effektives Computergraphiksystem Voraussetzung sind. Man hat bald die Notwendigkeit erkannt, Daten so zu erstellen, daß diese den oft kaum erkennbaren, doch offensichtlich vorhandenen Beziehungen, die dem zweidimensionalen Bilde zugrunde liegen, gerecht wurden. In der Tat geht ein Großteil der Theorie der Datenstrukturen auf frühe Arbeiten im Bereich der Computergraphik zurück. Es mußten Algorithmen für die Erkennung von verdeckten Linien, für Schattierung und Scan conversion ausgearbeitet werden, was sich im allgemeinen als viel schwieriger herausstellte, als man ursprünglich angenommen hat. Sogar eine auf den ersten Blick einfach erscheinende Aufgabe, wie zum Beispiel die Darstellung eines geradlinigen Segments oder eines Kreisbogens auf einem punktorientierten Bildschirm, erforderte Algorithmen, die überaus kompliziert waren.

Der Scanner ist ein Gerät, mit dem Bilder digitalisiert werden, im Prinzip einer Videokamera entsprechend. Digitalisierung heißt beim Scanner Auflösung in Punkte, in denen eine Helligkeits- oder Farbinformation gemessen wird. Dieser Meßwert als Zahl wird weiterverarbeitet. Diesen Vorgang der Umwandlung nennt man Scan conversion, Erfassen der realen Welt in Daten, die für einen Computer verarbeitbar sind. Dabei können Störungen wie Schleier, nichtgehaltvolle Information, leichte Schattierungen, die für das Produkt ohne Belang sind, wie Reflexionen, entfernt werden. Unter Umständen wird also dabei stark abstrahiert.

In der Natur gibt es normalerweise nur analoge Vorgänge. Quantifizieren von solchen Vorgängen ist immer eine Art Digitalisierung. Das Abnehmen des Tageslichts ist kontinuierlich, stetig. Ein Thermometer mit Quecksilbersäule ist analog (die Höhe ist analog), während die Aussage »Es ist 27 Grad Celsius« eine digitale ist. Auch das Malen ist gewissermaßen ein analoger Vorgang. Digitalisierung bedeutet die Umwandlung analoger Vorgänge in kleinste, diskontinuierliche Einheiten, die quantifizierbar sind, die also durch Zahlen darstellbar sind.

Es gibt eine Richtung in der Computerbildverarbeitung, die von realen Gegenständen ausgeht und einen Scanner (einen speziellen Analog-Digital-Konverter) verwendet. Dabei wird entweder das Bild nach

seiner Digitalisierung (durch den Scanner) wiederum in ein analoges Bild auf dem Bildschirm verwandelt, oder das Bild wird nach seiner Digitalisierung zum Ausgangspunkt einer Handlung wie bei der Robotersteuerung, wo ein Roboter mit bestimmten Werkzeugen und Gegenständen hantiert. Eine andere Richtung in der Computergraphik ist die Erzeugung von Bildern auf digitaler Basis (im Computer gespeicherte Zahlen) von Gegenständen, die keinen realen Ursprung haben, also nicht durch einen Scanner entstanden sind. Das ist die digitale Bild-erzeugung.

Glücklicherweise hat wie bei vielen anderen technologischen Innovationen die Zeit für die Computergraphik gearbeitet. Über die Jahre sind die Kosten für Computeranlagen gesunken, während Laborkosten angestiegen sind. Die Steuersysteme wurden immer mehr verfeinert, und man lernte mit immer komplexerer Software zu arbeiten. Beachtliche Fortschritte wurden in der Entwicklung von Algorithmen für die Bilddarstellung via Computer erzielt, insbesondere bei solchen, die für die Darstellung von dreidimensionalen Objekten bestimmt waren. Dieser über viele Jahre langsam erzielte Fortschritt reicht aus, um heute, zu Beginn der achtziger Jahre, die Computergraphik endlich als effektives und billiges Darstellungsmittel in Technik, Design, Industrie, Werbe-graphik und den bildenden Künsten einzusetzen.

Die Computergraphik ist sowohl aus der Hardware- wie aus der Softwaretechnologie entstanden. Wie bei konventionellen numerischen Berechnungen gibt es die Möglichkeit der Interaktion sowie die einer Stapelverarbeitung. Stapelverarbeitung ist jene fixierte, von vornherein genau festgelegte, nicht mehr steuer- und kontrollierbare, »passive« Vorgangsweise, bei der die Geschwindigkeit und der Zeitpunkt der Erzeugung von Bildern von nebensächlicher Bedeutung sind. Vergleichbar der Vorgangsweise eines Lochkartensystems oder eines Versandhauses. Die Bilder können auf einem digital gesteuerten Stiftplotter, einem elektrostatischen Punktplotter oder auf einem CRT (Kathodenröhreschirm) aufscheinen. Die »aktive« veränderliche, jederzeit steuer- und kontrollierbare Vorgangsweise, die Interaktion, wird dort eingesetzt, wo die Zeit, die Geschwindigkeit der Bilderzeugung eine ausschlaggebende Rolle spielt. Sie ist einem direkten Kaufhausbesuch vergleichbar. Mit den Bildern, die auf einem CRT oder Plasmaschirm aufscheinen, ist unmittelbare direkte Interaktion möglich, ein zeitgleicher Dialog.

In den Anfängen der Entwicklung der Computergraphik befaßte man sich in erster Linie mit Hardware. Dies ist heute nicht mehr so not-

wendig, da erstklassige Hochleistungshardware von zahlreichen Firmen angeboten wird. Derzeit bemüht man sich vielmehr, Algorithmen auszuarbeiten, die die Erzeugung von verschiedenartigsten Bildern ermöglichen (Darstellungen von Linien, maßstabsgetreue grauschattierte Bilder, Farbbilder, perspektivische Projektionen von dreidimensionalen Objekten etc.), und Software für leichteres Programmieren, das heißt Zeichnungen von Bildern zu entwickeln.

## Graphische Systeme

Es läßt sich sagen, daß Timothy Johnson die Forschungsergebnisse von Sutherland von der zweidimensionalen Anwendung auf die dreidimensionale erweitert hat. Auf leichtverständliche Weise bringt er in seiner Arbeit<sup>2</sup> eine Einführung in die Techniken, womit sich dreidimensionale Objekte auf einer Ebene darstellen lassen, wobei die jedem Ingenieur und Designer vertrauten orthographischen und perspektivischen Projektionen Verwendung finden. Homogene Koordinaten werden hier eingeführt, die dreidimensionale Verschiebungen, Rotationen und maßgetreue Wiedergabe ermöglichen. Johnson hat diese Technik von Roberts<sup>3</sup> übernommen, der sich mit der Darstellung von dreidimensionalen Gegenständen befaßt hat. Seine Arbeit behandelt viele der subtilen Probleme, auf die man stößt, wenn man versucht, ein dreidimensionales Objekt darzustellen, und dabei gezwungen ist, mit Projektionen auf einer zweidimensionalen Ebene zu arbeiten. Bezogen auf die Praxis nimmt diese Arbeit Probleme der dreidimensionalen Graphik vorweg, genauso wie Sutherlands erster Artikel die Computergraphik im allgemeinen vorweggenommen hat.

Bereits in der ersten Arbeit von Sutherland wird auf die Notwendigkeit einer entsprechenden Organisation der graphischen Daten hingewiesen, wodurch die verschiedenen Manipulationen möglich werden, die eine Interaktion mit dem Computer erfordert. In den nachfolgenden Jahren wurde man sich dessen noch mehr bewußt, als Forscher begannen, die Herausforderung der Computergraphik anzunehmen. Denn Datentransformationen, die man für konzeptuell einfach gehalten hat, werden darin kostspielig, wenn die Datenorganisation nicht entsprechend berücksichtigt wird.

Indirekt werden beim Studium der graphischen Arbeit eines Computers große Einsichten darin gewonnen, wie wir als Menschen zwei-

und dreidimensionale Strukturen wahrnehmen und im Unterbewußtsein die Welt erfassen. Die Entwicklung einer effektiven Datenorganisation wird als eine der größten Aufgaben der Computergraphik betrachtet und ist daher heute ein vordringliches Anliegen in diesem Bereich geworden.

### Graphikgeräte

Interaktive Computergraphik – das Wort »interaktiv« wird fast stets von vornherein angenommen, wenn man von Computergraphik spricht – erfordert die Verfügbarkeit eines Darstellungsgerätes, auf dem ein Bild innerhalb des Bruchteils einer Sekunde erscheint, nachdem alle für das Bild notwendigen Daten durch den Computer erzeugt worden sind.

Man geht im allgemeinen davon aus, daß ein Terminal in der Computergraphik sowohl für die graphische Eingabe als auch für die graphische Ausgabe ausgestattet ist. Die Ausgabe erfolgt zumeist über ein Kathodenröhrendisplay, die Eingabe zumeist mittels eines manuell betriebenen Gerätes, welches die Eingabe von Bildinformationen und eine Interaktion des Benutzers mit dem Dargestellten ermöglicht. Es gibt zahlreiche zusätzliche Geräte, die man üblicherweise mit einem solchen Terminal verbindet; sehr häufig findet man Terminals, die an eine normale Tastatur angeschlossen sind, welche oft noch durch eine Reihe von speziellen Funktionstasten am Bedienungspult des Benutzers ergänzt wird. Die anspruchsvolleren Terminals können auch mit Geräten versehen sein, die eine schnelle Produktion einer Kopie der am Bildschirm aufscheinenden Bilder, ein optisches Scanning der Ausdrucke von eingegebenen Bildern und den Anschluß von herkömmlichen Druckern ganz verschiedener Art zulassen.

Obwohl die im Computer verwendeten CRT-Displays bereits in einigen der frühesten Digitalcomputersysteme zu Korrekturzwecken eingesetzt wurden, besteht erst seit relativ kurzer Zeit ein verbreitetes Interesse für solche Systeme. Dies läßt sich dadurch erklären, daß derzeit große Anstrengungen unternommen werden, um die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine zu verbessern. Der gegenwärtige Stand der Entwicklung von Computergraphikterminals ist das Ergebnis von: 1) Bemühungen bei vom Militär eingesetzten Computern, die in strategischen Situationen möglichst schnell erfassen und reagieren sollen; 2) Verbesserungen in der Displayhardware, die in jüngster Zeit erzielt

wurden (zum Beispiel Konverter und Scanner, die digitale Signale zu analogen und vice versa umwandeln; und Geräte, die Vektoren und Zeichen erzeugen); 3) der Entwicklung von Real-time-Computersystemen, die effizient innerhalb kürzester Zeit eine große Anzahl von korrigierenden Eingaben von der Peripherie bearbeiten können.

Bei den Graphikterminals der dritten Generation ist man bei Vorgängen wie Scaling (Vergrößern und Verkleinern), Verschiebung oder Rotation nicht mehr auf Software angewiesen. Dafür wird heute eine besondere Art von Hardware eingesetzt, die mit großer Geschwindigkeit arbeitet und diese Transformationen sozusagen im Vorübergehen, also ohne Unterbrechungen durchführt. Die Transformationen des Bildes finden zur gleichen Zeit statt wie die Umwandlung der vorhandenen graphischen Daten in analoge elektrische Signale, die die erwünschte Ablenkung des CRT-Strahles bewirken. Aus diesem Grund kommt es zu keinem bedeutenden Zeitverlust. Bei den früheren Graphikcomputerterminals konnten sich die Bilder am Display »bewegen«, indem die Bilder vom Displayprozessor von einem Bildkader zum nächsten (durch Scaling, Verschiebung, Rotation) geringfügig verwandelt wurden. Dies funktionierte zufriedenstellend bei einfachen Bildern, die anhand einer geringen Zahl von Bilddaten erzeugt wurden. Bei größeren Bildern waren nicht einmal die anspruchsvollsten Computer in der Lage, jene Transformationen, die erforderlich wären, um den Bildkader dreißigmal pro Sekunde zu wechseln, entsprechend schnell zu berechnen. Ein störendes Flackern der Bilder blieb nicht aus.

Hagan und seine Mitarbeiter<sup>4</sup> haben die Bedeutung der schnellen Transformationen auch bei dreidimensionalen Bildern erkannt und folglich die Fähigkeit der Hardware, Transformationen auch in der dritten Dimension durchzuführen, erweitert. Eine bedeutende Errungenschaft auf diesem Gebiet war die Entwicklung eines Gerätes, mit dem man dreidimensionale Objekte in Bewegung modellieren konnte. In den letzten Jahren sind analoge Schaltkreise durch digitale Transformationsgeräte, die mit großer Geschwindigkeit arbeiten, abgelöst worden.

Eines der Hauptprobleme bei den CRT-Displaysystemen ist, daß das Bild dreißigmal in der Sekunde aufgefrischt werden muß. Auf der Suche nach einer Lösung haben Experten einen Plasmaschirm verwendet, auf dem das Bild zeitlich unbegrenzt erhalten bleibt, ohne nach einer bestimmten Zeit aufgefrischt werden zu müssen, ein Verhalten, das einem Speicherschirm entspricht. Im Gegensatz zur Speicher-

bildröhre läßt der Plasmaschirm jedoch eine selektive Löschung des Bildes zu.

In den letzten Jahren ist ein größeres Interesse für Rasterbildschirme entstanden, die nach und nach die Vektorbildschirme ablösen. Folgende Vorteile bieten CRT-Displays:

a) kommerzielle Schwarzweiß- oder Farbfernsehmonitore, die kostengünstiger sind, können verwendet werden; b) die Bilder lassen sich einfacher wechseln und können selektiv gelöscht werden. Der Nachteil hingegen ist, daß ein kostspieliger Speicher für die Bildauffrischung erforderlich ist, was aber angesichts der in den letzten Jahren immer günstiger werdenden Computerhardware nicht mehr einen so ausschlaggebenden Faktor darstellt.

Ein weiterer Nachteil ist, daß die Daten für die Darstellung von Linien üblicherweise in Vektorform vorgegeben werden, das heißt, als Folge von Liniensegmenten, die in der Displaydatei als Koordinaten der Liniensegmente angeführt sind. Um eine Darstellung mit Linien auf einem Rasterdisplay aufzuzeigen, ist eine Operation, die sogenannte Scan conversion, erforderlich. Hierbei werden aus den Koordinaten eines Liniensegments alle jene Punkte bestimmt, die in der punktwisen Darstellung (dem Raster) der ursprünglichen Linie entsprechen. Die Scan conversion spielt nicht nur bei CRT-Rasterdisplays eine wichtige Rolle, sondern natürlich bei allen anderen Ausgabegeräten, wie zum Beispiel bei elektrostatischen Plottern und Zeichendruckern, die Zeile für Zeile drucken. Obwohl Zeichendruckere nie als graphische Ausgabegeräte gedacht waren, werden sie aufgrund ihrer leichten Verfügbarkeit sowohl für Linienzeichnungen als auch für Halbtongraphiken oft verwendet.

### Computeranimation

Seit den Anfängen der Computergraphik hat man sich auch für die Einsatzmöglichkeiten von Computern im Film interessiert. Bereits 1964 hat Knowlton<sup>5</sup> einen Aufsatz veröffentlicht, in dem er beschreibt, wie der Computer für die Herstellung von Zeichentrickfilmen verwendet werden kann. Ab diesem Zeitpunkt gab es eine fast sprunghafte Entfaltung von Aktivitäten auf diesem Gebiet.

In den ersten Versuchen setzte man sich vor allem mit der simulierten Bewegung von relativ einfachen Objekten auseinander. Die Bilder

waren Darstellungen von Linien, und die verwendeten Objekte beschränkten sich auf Polygone oder zweidimensionale Polyeder. Außer in ganz wenigen Fällen hatte man noch nicht die Mittel, um verdeckte Linien zu erkennen.

Ein Meilenstein in der Entwicklung der Computeranimation ist Ronald Michael Baeckers Arbeit »Interactive Computer-mediated Animation« (Cambridge, Mass. 1969). Baecker untersucht darin eingehend die Voraussetzungen eines interaktiven Computeranimationssystems und behandelt dann die verschiedenen einzelnen Schritte, welche erforderlich sind, um einen Film mit Hilfe eines Computers herzustellen. Diese Arbeit bietet eine hervorragende Einführung in alle Aspekte der Computeranimation und ist damit Pflichtlektüre für jeden, der sich für dieses Gebiet interessiert.

Norman McLaren beschreibt 1968 die Animation, das heißt den Zeichentrickfilm folgendermaßen: 1) Die Animation ist nicht die Kunst der *Zeichnungen*, die sich bewegen, sondern die Kunst der *Bewegungen*, die gezeichnet werden. 2) Das, was sich *zwischen* den einzelnen Kadern abspielt, ist wichtiger als das, was in jedem Kader gezeigt wird. 3) Die Animation ist folglich die Kunst, die unsichtbaren Zwischenräume zwischen den einzelnen Kadern zu manipulieren. Die Zwischenräume sind gleichsam das Skelett des Films; das, was in jedem Kader gezeigt wird, ist lediglich das Fleisch.

Die Animation ist eine graphische Kunst, die in einem zeitlichen Kontext stattfindet. Ein statisches Bild kann zwar komplexe Informationen über ein einziges Bild darstellen, doch erst durch die Animation können ebenso komplexe Informationen durch eine Reihe in der Zeit gezeigte Bilder übermittelt werden. Im Gegensatz zu statischen Bildern ist es charakteristisch für dieses Medium, daß die graphischen Informationen, die in einem bestimmten Moment übertragen werden, relativ nebensächlich sind. Die Informationsquelle für den Betrachter eines Zeichentrickfilms liegt im ständigen Wechsel der Bilder; Wechsel der relativen Positionen, Form und Dynamik. Ein Computer ist daher bestens geeignet, die Animation »möglich« zu machen, da die Bildtransformationen damit fließender wirken.

Obwohl die Einbeziehung des Computers in die Animation nicht lange zurückliegt (1964)<sup>6</sup>, haben sich das Interesse und die Aktivitäten auf diesem Gebiet geradezu phänomenal entfaltet. Aufgrund der bisher gesammelten Erfahrungen läßt sich folgendes behaupten: 1) Die Animation ist ein gut geeignetes Medium für die Aufzeichnung und Analyse

von Computerausgaben und Datenreduktionen sowie für die Erstellung von Modellen, für die Präsentation und anschauliche Darstellung von Vorgängen in der Physik, Biologie und Technik<sup>7</sup>. Eine mittels Animation gefertigte Darstellung ist besonders geeignet, um die in einem bestimmten System parallel zueinander ablaufenden Vorgänge darzustellen. Wenn die Animation als bildliche Simulation einer komplizierten, aus mathematischen Begriffen aufgebauten physikalischen Theorie dienen soll, kann der Film nur mit Hilfe eines Computers gemacht werden. 2) Der Computer ist ein künstlerisches Medium, das in der Animation als ein sehr effektives Mittel für die Erzeugung schöner und neuer visueller Phänomene verwendet werden kann, und dient also nicht bloß dazu, gewöhnliche eintönige Bilder zu entwerfen.<sup>8</sup> 3) Das Entwerfen von Bildern mit Hilfe von Algorithmen und Daten läßt eine ständige Modifizierung einer einzigen Animationssequenz und die Herstellung einer Reihe von zusammenhängenden Sequenzen zu.

In der Computergraphik ist eine direkte graphische Interaktion möglich. Die folgenden drei Aspekte dieser Interaktion spielen für die Computeranimation eine wichtige Rolle: 1) die Verfügbarkeit eines unmittelbaren visuellen Feedbacks der Ergebnisse, seien diese nun endgültig oder auf einer Zwischenstufe; 2) die Möglichkeit, die Bildkonstruktion in Stufen aufzuteilen und die Ergebnisse nach jeder Stufe zu betrachten; 3) die Möglichkeit, die Bilder direkt am Computer aufzuzeichnen.

Die Wirkung des sofortigen visuellen Feedbacks in der Animation ist beeindruckend. Der Computer berechnet anhand seiner Darstellung einer dynamischen Sequenz die einzelnen Kader des jeweiligen »Films«. Dieser wird dann zurückgespielt zwecks einer direkten Überprüfung wie beim Videorecorder. So ist es möglich, eine kleine Änderung vorzunehmen, die Sequenz neuerlich zu berechnen und das Ergebnis nochmals zu betrachten. Die verschiedenen Schritte (das Festlegen der Anweisungen und die Zeichnung durch den Künstler, Berechnung und Playback durch den Computer) werden so lange wiederholt, bis das gewünschte Resultat erzielt wird. Die Zeit, die nötig ist, die Feedbackschleife einmal durchzuspielen, wird reduziert auf einige wenige Sekunden oder Minuten.

In den meisten früheren Computeranimationssystemen brauchte man für diesen Schritt einige Stunden oder sogar Tage. Die Fortschritte sind insofern entscheidend, als jetzt der Benutzer des Systems das Ergebnis der Transformationen der Bewegung und des Rhythmus der dyna-

mischen Darstellung am Bildschirm tatsächlich sehen kann und nicht mehr nur auf seine Vorstellung angewiesen ist. Folglich kann er nun jenen Teil der Animation verbessern, der den wichtigsten Punkt darstellt: die Steuerung der sich ständig verändernden räumlichen und zeitlichen Verhältnisse/Beziehungen der graphischen Informationen.

(Gekürzte Fassung einer Veröffentlichung gleichen Titels, die als Supplement zum Katalog »Ars Electronica 84«, Linz 1984, erschienen ist.)

#### Anmerkungen

1 Ivan E. Sutherland: Sketchpad: a man-machine graphical communication system. Conference Proceedings, Spring Joint Computer Conference, AFIPS Press 1963.

2 Timothy E. Johnson: Sketchpad III: A Computer Program for Drawing in three dimensions. Conference Proceedings, Spring Joint Computer Conference, AFIPS Press 1963.

3 L. G. Roberts: Machine Perception of Three-Dimensional Solids. Technical Report 315, MIT Lincoln Lab., May 1963, und in: Symposium on Optical and Electro-optical Information Processing Technology. Hg. v. James Tippett u. a. Cambridge, Mass. 1965.

4 Thomas G. Hagan/Richard J. Nixon/Luis J. Schaefer: The Adage graphics terminal. Adage Inc. Boston. Conference Proceedings, Fall Joint Computer Conference, AFIPS Press 1968.

5 K. C. Knowlton: A Computer Technique for the Production of Animated Movies. AFIPS Conference Proceedings, Vol. 25, 1964, SJCC, Spartan Books, NY.; K. C. Knowlton: Computer Produced Movies, in: System Analysis by Digital Computer. Hg. v. Franklin F. Kuo und James F. Kaiser. New York 1966.

6 K. C. Knowlton: A Computer Technique for the Production of Animated Movies. AFIPS Conference Proceedings, Vol. 25, 1964, SJCC, Spartan Books, NY.

7 C. Levinthal: Computer construction and display of molecular models, Film; E. E. Zajec, Computer-made perspective movies as a scientific and communication tool. Communications of the ACM, Vol. 7, No. 3, March 1964; E. E. Zajec, Two-gyro, gravity gradient attitude control system. Bell Telephone Laboratories, Film.

8 S. Vanderbeek/J. H. Whitney: Einige mit Hilfe des Computers hergestellte Zeichentrickfilme; Design and the computer. Design Quarterly 66/67, Walker Art Center Minneapolis, Minn.; A. M. Noll, The digital computer as a creative medium. IEEE Spectrum October 1967; J. Reichardt: Cybernetic serendipity, the computer and the arts. Studio International, London and New York 1968.