

kum wird an verschiedenen Orten (nicht-lokal) gleichzeitig verschiedene virtuelle Welten betreten (eine Fortsetzung des Fernsehens). Konnektivität ohne Kabel, Nicht-Lokalität und simultane Parallelität wird die Zukunft des Neurokinos bestimmen: Jeder sieht andere Bildwelten zur gleichen Zeit am selben Ort. »Liquide Visionen« könnte der Titel für diese Bilder der Zukunft sein, in Anlehnung an die hydrodynamischen Experimente der Chronophotographie von E. J. Marey, denn diese Liquidität bestimmt, gemäß Marcos Novak, auch den Cyberspace.

Die maschinengestützte Wahrnehmung bedeutet das Ende einer Illusion, das Ende der Herrschaft des Monopols des Realen. Der Herrscher blickte auf die Welt, der Bürger in Zukunft auf den Bildschirm in seinem Gehirn.

Unter Umgehung der klassischen elektronischen Schnittstellen wird man mit »brain-chips« oder »neuro-chips« arbeiten, um die Gehirne möglichst verlustfrei und direkt an die digitalen Welten zu koppeln.

Erstdruck in: Brigitte Felderer (Hg.), Wunschmaschine Welterfindung. Eine Geschichte der Technikvisionen seit dem 18. Jahrhundert, Wien/New York 1996, S. 167-184.

Zur Geschichte und Ästhetik der digitalen Kunst (1984)

S. 195-231

I. Die digitale Bildrevolution

Die Veränderungen, welche die Ankunft des digitalen Bildes für die Bildauffassung des Menschen bedeuten, 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, welche 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 Ungereimtheiten 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 ja 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 (= digit, engl.) 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), den 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. [...]

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 (An-

weisungen, 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 bei der Erstellung eines einzigen unbeweglichen digitalen Bildes schon notwendig ist. Sollten sich diese Bilder auch noch auf natürliche gewohnte Weise bewegen müssen, sich also das gesamte Bild 30 mal 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 Stunden von sich – sondern unmittelbar 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 Echtzeit-Gerät (real-time-display). [...]

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 ziffernmäßig (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. [...] Digital Productions in Los Angeles hat einen der schnellsten Computer der Welt [...] 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 3-dimensionale Objekte und Ereignisse realistisch zu simulieren, einen ersten Höhepunkt erreicht: »a film-design studio creates reality by computer« – das ist das ultime 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 Fantasie, die beiden ausgeschlossenen Schwestern, versöhnen sich im digitalen Bild. In Zu-

kunft könnten wir auch von einem digitalen Film oder digitalem Video sprechen, weil das digitale Bild ja 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 1. Jahrhunderthälfte im Futurismus, Kubismus, Kubofuturismus, Suprematismus, Dadaismus, Surrealismus etc., in der 2. Phase mit Action Painting, Fluxus, Happening, Popart, Kinetismus, OpArt, Ambiente, Arte Povera, Aktionismus, Performance etc. Momente dieser Befreiung gehören auch zu den Characteristica 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 Dali 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 u.a. 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 4. Dimension aufsteigt. Die Raster-Technik

(Lichtenstein, Warhol, Dieter Rot, Sigmar Polke etc.) gehört ebenso stillschweigend zu den Voraussetzungen des digitalen Bildes wie die Partizipation des Publikums zur Videokunst (von Installationen bis zu Videogames).

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 Raster-Technik gibt es Punkt-Techniken, 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 60er 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 Musicvideos 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, befremdet und verstört der computergepeiste Bildschirm. Denn der eine pflanzt den passiven Konsum konventioneller Bildcodes fort, während der andre Interaktion mit neuen Bildcodes abverlangt. Die Transformation des TV-Schirms zum Computer-Schirm durch die an den TV-Apparat angeschlossenen Videogames-Displays, 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 3-dimensionaler 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 die digitale Kunst ihr immer vollenderer Ausdruck wird.

II. Interaktive Computergrafik

Man kann sagen, daß der eigentliche Anfang des digitalen Bildes mit einer 1963 veröffentlichten Arbeit von Ivan E. Sutherland¹, einem Schüler der Pioniere der Informations- und Bild-Verarbeitungsmaschinen am MIT, Claude E.

Shannon, Marvin Minsky und A. Coons, zusammenfällt. [...] In seiner bereits als klassisch angesehenen Arbeit zeigt er, wie der Computer eingesetzt werden kann für einen interaktiven Entwurf von Liniendarstellungen unter Anwendung eines einfachen aus einer Kathodenstrahlröhre CRT bestehenden Displays und ein paar zusätzlicher Inputsteuergeräte. 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 Computergrafik 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 Computergrafik 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 Computergrafiksystem 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 zugrundeliegen, gerecht wurden. In der Tat geht ein Großteil der Theorie der Datenstrukturen auf frühe Arbeiten im Bereich der Computergrafik 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.

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. [...] Es gibt eine Richtung in der Computerbildverarbeitung, die von realen Gegenständen ausgeht und einen Scanner (einen speziellen Analog-digital-Converter) 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 Computergrafik 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 Bilderzeugung.

Glücklicherweise hat wie bei vielen anderen technologischen Innovationen die Zeit für die Computergrafik 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 Computergrafik endlich als effektives und billiges Darstellungsmittel in Technik, Design, Industrie, Werbegrafik und den bildenden Künsten einzusetzen.

Die Computergrafik 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. [...] Die »aktive« veränderliche, jederzeit eingreif-, steuer- und kontrollierbare Vorgangsweise, die Interaktion, wird dort eingesetzt, wo die Zeit, die Geschwindigkeit der Bilderzeugung eine kritische, ausschlaggebende Rolle spielt. [...] Mit den Bildern, die auf einem CRT oder Plasmaschirm aufscheinen, ist unmittelbare direkte Interaktion möglich, ein zeitgleicher Dialog. [...]

Grafische Systeme

Es läßt sich sagen, daß Timothy Johnson die Forschungsergebnisse von Sutherland von der zweidimensionalen Anwen-

dung auf die dreidimensionale erweitert hat. Auf leichtverständliche Weise bringt er in seiner Arbeit² 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 Roberts³ übernommen, der sich mit der Darstellung von dreidimensionalen Gegenständen befaßt hat. Seine Arbeit behandelt viele der subtilen Probleme, auf welche 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 Grafik vorweg; genauso wie Sutherlands erster Artikel die Computergrafik im allgemeinen vorweggenommen hat.

Bereits in der ersten Arbeit von Sutherland wird auf die Notwendigkeit einer entsprechenden Organisation der grafischen 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 Computergrafik anzunehmen. Denn Datentransformationen, die man für konzeptuell einfache gehalten hat, werden darin kostspielig, wenn die Datenorganisation nicht entsprechend berücksichtigt wird.

Indirekt werden beim Studium der grafischen 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 Computergrafik betrachtet und ist daher heute ein vordringliches Anliegen in diesem Bereich geworden.

Grafikgeräte

Interaktive Computergrafik – das Wort »interaktiv« wird fast stets von vornherein angenommen, wenn man von Computergrafik 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. [...]

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 Computergrafikterminals ist das Ergebnis von

1. Bemühungen bei vom Militär eingesetzten Computern, die in strategischen Situationen möglichst schnell erfassen und reagieren sollen.
2. Verbesserungen der Displayhardware, die in jüngster Zeit erzielt wurden, (z.B. Converters und Scanners, die digitale Signale zu analogen und vice versa umwandeln; und Geräte, die Vektoren und Zeichen erzeugen)
3. Die Entwicklung von »Real-time«-Computersystemen, die effizient innerhalb kürzester Zeit eine große Anzahl von korrigierenden Eingaben von der Peripherie bearbeiten können. [...]

Hagen und seine Mitarbeiter⁴ haben die Bedeutung der schnellen Transformationen auch bei 3-dimensionalen Bil-

dern 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 3-dimensionale Objekte in Bewegung modellieren konnte. In den letzten Jahren sind analoge Schaltkreise durch digitale Transformationsgeräte, die mit großer Geschwindigkeit arbeiten, abgelöst worden. [...]

Algorithmen für die Erzeugung von Linien und Kurven

Die Entwicklung von effizienten Algorithmen für die Erzeugung von Linien und Kurven ist sowohl für Forscher als auch für die Benutzer von Computergrafiksystemen ein bedeutendes Anliegen. Da ein Bild auf einem Bildschirm mindestens 30 mal pro Sekunde erneuert werden muß, hängt die Menge der Bilddaten, die am Display aufscheinen, entscheidend davon ab, wie schnell die Daten erzeugt werden. Große Anstrengungen sind in der Entwicklung von Algorithmen, die für die Konstruktion von Hardware geeignet sind, unternommen worden. Diese Algorithmen werden zur Erzeugung von Vektoren, Symbolen, Kreisen und sogenannten »freeform«-Kurven verwendet. Das Problem der schnellen Erzeugung von Daten tritt in gleicher Komplexität auch bei der Ausgabe von Bildern in Form eines Ausdrucks auf einem digital gesteuerten Stiftplotter oder an einem Rasterlinienplotter auf.

Bresenham⁵ war der erste, der die Erzeugung von digitalen Liniensegmenten methodisch untersuchte. Er setzte sich mit der Frage auseinander, wie man die optimalste digitale Annäherung zu einem von den Koordinaten seiner Endpunkte definierten Liniensegment finden kann. Im Prinzip wird in seinem Artikel ein »Software-Vektorengenerator« für einen Digitalplotter beschrieben. Ein Digitalplotter be-

steht aus einem Stift, mit dem eine Linie schrittweise durch Bewegung des Stifts einen bestimmten Einheitsabstand nach vorne oder zurück in vertikaler oder horizontaler Richtung gezeichnet werden kann. Einige Plotter lassen die Durchführung dieser Schritte in mehreren Einheiten in der einen oder der anderen Richtung zu. In der Praxis muß der Stift von dem Knoten eines bestimmten Quadratgitters zu einem der angrenzenden Knoten geführt werden.

Es ist unmöglich, wirklich gerade verlaufende Liniensegmente in einem bestimmten Winkel zu zeichnen. Stattdessen muß jedes »gerade« verlaufende Liniensegment – und sogar jede Kurve durch eine Kette von kleinen Liniensegmenten, deren Länge genau definiert ist, angenähert werden. Das Ergebnis ist das, was »digital straight line« genannt wird. Dasselbe ergibt sich, wenn eine Linie oder eine Kurve mittels eines elektrostatischen Plotters gezeichnet wird (oder einfach mittels eines Zeichendruckers). In diesem Fall jedoch erzielt man die Annäherung der Kurve über eine Kette von Punkten, die an den Gitterknoten liegen, und nicht über die kleinen Linien, welche die Gitterknoten verbinden.

Eine Reihe von Forschern haben sich damit auseinandergesetzt, wie man die »optimalste« einer solchen digitalen Annäherung zu einer bestimmten Kurve finden kann. Einige haben ihre Bemühungen darauf konzentriert, Algorithmen zu finden, für welche die Annäherung minimal von der echten Kurve abweicht; es gibt aber auch Forscher, die bereit sind, eine größere Abweichung zugunsten einer schnelleren (oder einfacheren) Berechnung zuzulassen. Effiziente Algorithmen für das Erzielen einer optimalen digitalen Annäherung bei einer größeren Menge von mathematisch definierten Kurven, für die Darstellung von digitalen Kreisen und sogenannten »free-form«-Kurven wurden in den siebziger Jahren entwickelt.

Grafische Computersprachen

Die Leistungsfähigkeit eines Computergrafiksystems hängt im entscheidenden Maße von der Computersprache ab, die verwendet wird, um abstrakte geometrische Strukturen darzustellen und diese am CRT oder am Plotter aufzuzeigen. Grafische Computersprachen lassen sich wie die herkömmlichen Computersprachen unterteilen in

1. maschinenorientierte Assembler-Sprachen,
2. hochentwickelte prozessorientierte Sprachen und
3. hochentwickelte problemorientierte Sprachen.

Bei grafischen Computersprachen läßt sich jedoch eine weitere Unterteilung machen, die davon abhängt, ob die Computersprache für eine Bilddarstellung oder für den Aufbau eines geometrischen Modells verwendet wird.

In den frühen und mittleren 1960er Jahren haben Forscher eine Reihe von grafischen Systemen entwickelt, um die Anwendungsmöglichkeiten der Computergrafik auf eine breite Palette von Problembereichen zu erweitern. Die frühen Entwürfe von grafischen Computersprachen zielten vor allem auf den Output von Darstellungen von Linien ab und waren im Grunde genommen einfache Assembler-Sprachen, die auf der Grundlage von einfachen Formen entwickelt wurden.

Zu Beginn der 1970er Jahre wechselte das Interesse von Sprachen, die nur mit der Erzeugung von grafischem Computer Output befaßt waren, zu Sprachen, die komplexe, abstrakte, geometrische Modelle, sowohl 2- wie 3-dimensional, bauen konnten, für die der Output Display unwichtig war. Die neueren grafischen Computersprachen waren eher problemorientiert und konnten gewissermaßen eher als Sprachen für computerunterstütztes Design betrachtet werden.

Die Erzeugung von Halbtonbildern

In fast allen frühen Arbeiten in der Computergrafik hat man sich vor allem mit Vektor-Grafiken beschäftigt, d.h. mit Grafiken, wo die Ausgabe auf einem CRT-Display aufscheint, dessen Strahlen die eigentlichen Linien der so erzeugten Zeichnung zum Vorschein bringen. Dies war für alle Formen von Zeichnungen im Bereich der Technik und der Architektur vollkommen ausreichend. Dennoch war dies für die Erzeugung von Halbtonbildern nicht gut geeignet, die für die Darstellung eines Gegenstandes mit Hilfe von schattierten und schraffierten Flächen verwendet werden. In den späten sechziger Jahren begann man sich endlich für Halbtonbilder näher zu interessieren.

Einer der ersten, der sich mit diesem Thema beschäftigt hat, war Bouknight ⁶ von der University of Illinois, Urbana. Die Algorithmen, die er beschreibt, lassen sich als eine Weiterentwicklung der auf Warnock ⁷ zurückgehenden Algorithmen verstehen. Bouknight erreichte eine beträchtliche Verbesserung der Geschwindigkeit durch das Scanning eines Bildes mittels Raster. Dadurch entstand nicht nur ein Halbtonbild, sondern es war zugleich auch möglich, verdeckte Flächen zu erkennen. Der Einsatzbereich dieses Verfahrens war jedoch beschränkt auf eindimensionale Objekte.

Ein großer Fortschritt bei der Wiedergabe von Halbtonbildern wurde von Gouraud ⁸ erzielt. Gouraud hat eine Annäherung von kurvigen Flächen mittels kleiner Polygone erreicht, wodurch Diskontinuitäten in der Schattierung an den Rändern eliminiert wurden. Es gelang ihm ferner, Bilder mit kurvigen Flächen zu erzeugen, die eine überraschend glatte Textur aufwiesen. Durch die Anwendung von Watkins-Algorithmen ließen sich überdeckte Flächen leicht entfernen. Catmull ⁹, NY Institute of Technology, fand eine Methode für die Erzeugung von schattierten Bildern mit

kurvigen Flächen durch die Verwendung von kurvigen (bikubischen) Formen anstelle von Polygonen. Diese Formen sind so groß wie ein Rasterelement.

Bilder, die ungewöhnlich realistisch wirken, konnten dadurch erzeugt werden, darunter auch Bilder von »transparenten« Objekten. Blinn ¹⁰, damals an der University of Utah, hat die Berechnung der Intensität von jedem einzelnen Rasterelement (pixel) eines am Display aufscheinenden Rasterbildes eingehend untersucht.

Computeranimation

Seit den Anfängen der Computergrafik hat man sich auch für die Einsatzmöglichkeiten von Computern im Film interessiert. Bereits 1964 hat Knowlton ¹¹ 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 die 1969 veröffentlichte Arbeit von Baecker ¹², die aus seiner Doktorarbeit am Department of Electrical Engineering am MIT entstanden ist. 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 (d.h. 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 grafische 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 grafischen 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)^{11A}, 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.^{13, 14, 15} 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.^{16, 17, 18, 19}

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 Computergrafik ist eine direkte grafische 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 an-

hand 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 solange 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 dynamischen 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 grafischen Informationen.

Bei der interaktiven Computeranimation werden Zeichentrickbilder am Bildschirm unter Anwendung eines aus mindestens acht der folgenden Komponenten bestehenden Systems hergestellt:

HARDWARE:

1. Ein Allzweck-Digitalcomputer.
2. Eine Hierarchie von zusätzlichen Speichern unterschiedlicher Technologie (Speicherchips, Magnetplatte, Magnetbänder). [...]
3. Ein Eingabegerät, wie z.B. ein Lichtstift, Tablett und

Stift, usw., mit dem man direkt am Computer in mindestens zwei Dimensionen zeichnen kann. In der Praxis müssen auf Wunsch des Benutzers zumindest kurze Pausen möglich sein, innerhalb dieser kann die Zeichnung in Real-time (Echtzeit) gefertigt werden. Der Benutzer muß dann ein Bild ohne Unterbrechungen zeichnen können.

Ferner muß der Computer die »grundlegendsten Zeitinformationen« des Zeichenprozesses aufzeichnen. Wenn die Position des Stifts auf dem Tablett 24 mal pro Sekunde geprüft wird, reicht dies für unsere Zwecke oft aus.

4. Ein Ausgabegerät, wie z.B. ein Standardbildschirm oder ein entsprechend modifizierter TV-Monitor, wo die Zeichentrickbilder am Bildschirm in einer Geschwindigkeit von 24 Kadern pro Sekunde sofort betrachtet werden können.

Diese Betrachtungsmöglichkeit spielt eine wichtige Rolle beim interaktiven Schnitt der Zeichentrickfilmsequenzen. Die endgültige Übertragung eines »Films« auf Foto, Film oder Videoband kann, muß aber nicht über dieselben Mechanismen erfolgen.

SOFTWARE:

1. Eine »Sprache« für den Aufbau und die Manipulation der statischen Bilder.
2. Eine »Sprache« für die Darstellung und Anweisungen über den Bildwechsel und dessen Dynamik.
3. Eine Reihe von Programmen, welche die Anweisungen beider »Sprachen« in eine Sequenz von Bildern umwandeln.
4. Eine Reihe von Programmen, die diese Bildsequenz speichern und aus den externen Speichern abrufen und sowohl das Real-time-Zurückspielen der Bildsequenz zwecks einer direkten Betrachtung, als auch eine Übertragung auf permanenten Aufzeichnungsgeräten zulassen.

Mit der Entwicklung der Rastergrafik in den frühen 1970er Jahren begann man bald bewegliche Rasterbilder zu erzeugen. Die Arbeiten von Wylie et al. (1967), Gouraud (1971), Warnock (1969) und Watkins (1970) haben eine optimale Grundlage für die Animation des menschlichen Gesichts geboten, die dann von Parke²⁰ von der University of Utah, Computer Science Division (1972) entwickelt wurde. Sein Aufsatz beschreibt Techniken der Darstellung, Animation und der Datensammlung; diese können verwendet werden, um mit Hilfe eines Computers »realistische« Halbton-Zeichentrickaufnahmen von verschiedenen Ausdrucksweisen des menschlichen Gesichts herzustellen. Man hat festgestellt, daß es für die Darstellung des menschlichen Gesichts ausreichend ist, sich der Gesichtsfläche mit Hilfe einer rund 250 Polygone umfassenden Fläche anzunähern. Eine Animation wurde mit Hilfe einer Kosinus-Interpolation erzielt, womit sich die zwischen den einzelnen Gesichtsausdrücken liegenden Kader füllen ließen. Mit dieser Methode lassen sich auch Gesichtsbewegungen realistisch darstellen. Die dreidimensionalen Daten, die zur Darstellung von Gesichtsausdrücken verwendet werden, wurden photogrammetrisch unter Verwendung von Paaren von Fotografien ermittelt.

Das menschliche Gesicht stellt aus wenigstens zwei Gründen eine Herausforderung für die Computeranimation dar. Erstens ist das Gesicht keine starre Struktur, sondern eine komplexe bewegliche Fläche. Wie soll die Bewegung einer solchen Fläche beschrieben werden? Zweitens sind uns Gesichter sehr vertraut, wir haben ein sehr gut ausgebildetes Gefühl, welche Ausdrücke und Bewegungen für ein Gesicht natürlich sind.

Die Aktivitäten im Bereich der Computeranimation sind heute bereits so umfassend und verbreitet, daß es unmöglich

ist, selbst einen Überblick zu geben. Es gibt eine umfangreiche Sammlung von Filmen, die mit Hilfe von Computern gemacht wurden, darunter einige von ganz hervorragender Qualität. Richtungsweisende Beispiele werden oft bei den verschiedenen jährlich stattfindenden Computerkonferenzen vorgeführt. Für die erste Periode sind die Arbeiten von Knowlton, Whitney (1968), N. Max (1975), Csuri (1975) und anderen, die in weiterer Folge genannt werden, von Bedeutung. Die Verfeinerungen in Computeranimationssystemen, die auch mit dem Computer nicht vertrauten Personen ermöglichen, Zeichentrickfilme zu machen, wird in einem Aufsatz von Hackathorn²¹ beschrieben [...].

Die Entwicklung im Bereich der Computeranimation, wo »feste« Gegenstände dargestellt werden, veränderte die Art und Weise, wie der Benutzer die Darstellung einer Idee organisiert. Bei der konventionellen Animation werden eindimensionale Bilder auf jeden Kader der ganzen Sequenz gezeichnet. Bilderzeugung und Bildanimation bilden sehr oft ein und denselben Prozeß. Doch wenn der Computer dreidimensionale Objekte darstellen soll, konstruiert der Benutzer zuerst ein farbiges Objekt, erst dann wird daraus ein Zeichentrickbild gemacht. Beide Prozesse sind unabhängig voneinander. Die Vorgangsweise bei der dreidimensionalen Farbanimation hat Ähnlichkeiten mit der in anderen Disziplinen der Kunst wie z.B. Film, Theater und Choreographie. [...]

III. *Digitales Bild und die Computerkommune*

[...] Digitales Bild, Computeranimation und -grafik sind der bedeutendste technische Fortschritt in der Geschichte der bewegten Bilder seit der Erfindung des Films selbst. Fortschritte in der Computeranimation, mit Hilfe von Computern hergestellte Zeichen(trick)filme oder Videos, werden in den USA in den folgenden 3 Bereichen erzielt: Universitä-

ten, Industrie, Kunst. Besonders interessant dabei sind die personellen Verflechtungen zwischen diesen 3 Bereichen, die gleichermaßen die Arbeit einzelner wie auch den objektiven Gesamtzustand widerspiegeln.

Forscher gehen von der Universität in die Industrie, Künstler an die Universität oder in den Kommerz, Techniker gehen in die Kunst. Dabei begegnen sie einander oft, arbeiten temporär zusammen. [...]

Unter die Computerindustrie haben wir nicht nur militärische Institutionen wie die NASA, denen natürlich aufgrund der riesigen zur Verfügung gestellten Summen große Fortschritte in der Computertechnologie zu verdanken sind, zu rechnen, sondern auch die Film- und Werbeindustrie [...].

Drittens gibt es die Gruppe der Künstler, die zum Teil auf die Unterstützung dieser Institutionen und Industrie angewiesen sind. [...]

Das [...] Ziel von Digital Scene Simulation ist, mit dem Computer Szenen zu erzeugen, die ununterscheidbar von der Natur sind und auch realistische Szenen, die es in der Natur nicht gibt. [...] Damit wird die Zukunft des elektronischen Films eingeleitet: Ein Spielfilm, der 100% simuliert ist und dessen Szenen dennoch von einem derart fotografischen Realismus sind, daß das Publikum nicht imstande wäre, reale Live-Aktionen von simulierten zu unterscheiden. Digitale Szenen-Simulation lautet die Zukunft des digitalen Bildes, der digitalen Kunst. Am Beispiel von Digital Productions und dem Verhältnis von Vater zu Sohn sieht man auch, wie eine ehemals an den Rand gedrängte Kunstform wie der abstrakte grafische Film zum Mittelpunkt einer neuen Industrie werden kann, wie die jahrelangen Erfahrungen und Bestrebungen des Avantgardefilms, insbesondere des abstrakten seit V. Eggeling und O. Fischinger in den 1920er Jahren über die Whitney Brüder James und John in den vier-

ziger Jahren, in die Zukunft gewiesen und die Basis für eine technologische Revolution der Industrie gelegt haben. Vom abstrakten Film zum simulierenden Computerfilm entfaltet sich eine neue Form des Films, der Visionen und der unbegrenzten Manipulation visueller Daten. Da die vom Computer erzeugte Imagery sowohl auf Video als auch auf Film (durch Mafen oder Fazen) gespeichert werden und dabei mit Realszenen gemischt werden kann, liegt die Zukunft in der Computeranimation, heißt die Zukunft digitales Bild.

Digitales Video

Eine Vorstufe davon bildet die Integration von Video und Computertechnologie, das digitale Video. Diese Vermischung liegt in der Natur von Video selbst. Denn beim Film blieb ja der Bildkader insgesamt unberührt, nur aus der Kollision zweier Kader, aus dem Intervall zweier Kader, konnte also die Bedeutung, die Bewegung, das Geschehen konstruiert werden. Bei Video hingegen ist es in Verbindung mit der Computertechnologie möglich, jeden einzelnen Rasterpunkt (Pixel) durch den Computer in Farbe und Form zu manipulieren. Dieser Zugang zu jedem der 1000 Pixel der 1000 Videozeilen durch den Computer, und die Möglichkeit, jedes dieser Pixel nach meinem Wunsch zu verändern, gewähren mir die individuelle subjektive Handhabung wie bei der Malerei und die realistische Wiedergabetreue der Fotografie. Nach dem Feuer und der Elektrizität bedeutet das digitale Bild somit das dritte prometheische Instrument der künstlichen Repräsentation, der Simulation. Die avancierte Technologie des digitalen Bildes, ihr Potential der Simulation durch die Computertechnologie, gibt dem Individuum unbegrenzten Zugang, unbegrenzte Möglichkeiten zur Hand, mit der eine neue visuelle Kultur, eine neue demokratische Renaissance errichtet werden wird.

IV. Einige Künstler und der Computer

Larry Cuba

Wenn Luke Skywalker in »Star Wars« von George Lucas sein Kampfflugzeug den Graben von Death Star entlang flog, um den thermischen Auslöschungspunkt zu attackieren, war es nicht nur »Die Kraft«, die ihn leitete, sondern auch Larry Cuba, der junge Computer Animator zeigte ihm den Weg. Die digitale Computer Animation, geschaffen von Cuba, zeigte nämlich Diagramme von Death Star auf dem Bildschirm: mathematische Modelle der Formen des Grabens, Computer-Modelle des physikalischen Modells des Grabens. Dann zeichnete der Computer eine Serie von perspektivischen Projektionen des Grabens vom Gesichtspunkt eines durchfliegenden Piloten.

Die Synthese von Kunst und Technologie führt aber in Cubas eigenen Filmen zu visuell überraschenderen und überzeugenderen Formen. Cubas Formen und Rhythmen, seine Erforschung der Wahrnehmung von Bewegung, der Metamorphose von Formen, sind von mathematischen Formeln abhängig. Er benützt die Computerprogramme, das sind geordnete Folgen von Anweisungen an eine Maschine, zur Verarbeitung von Daten, als »electric Paintbrush« (elektrische Farbpinsel). Das Programm selbst ist das Werkzeug, um Bilder zu erzeugen. Es ist eher ein sprachliches Werkzeug als ein physikalisches. Er denkt mehr darüber nach, wie Programme schaffen als über alte Techniken wie optische Printer. Nicht der individuelle Kader, das einzelne Bild interessiert ihn dabei, sondern die Bewegung, der Rhythmus, das Timing als Basis des Film, Form in motion.

Als Architekturstudent an der Washington University in St. Louis begann Cuba sich für Computergrafik zu interessieren. Studierte daher ab 1972 am California Institute of the Arts (Cal Arts). Dort machte er seinen ersten computeran-

imierten Film »First Fig« (1974). Zusammenarbeit mit John Whitney Sr., dem Pionier der Computeranimation. Er programmierte für Whitney den Film »Arabesque« (1975). »First Fig« war in Fortran programmiert, eine Computersprache, die nicht gerade sehr geeignet für Computergrafik ist, aber die einzige war, zu der Cuba übers Wochenende bei einer industriellen Firma Zugang hatte. Dabei lernte er die für seine Kunst notwendigen Computer- und Mathematik-Kenntnisse. Bei dieser Art von Programmierung sah er aber nie das grafische Ergebnis sofort, sondern immer erst Tage später – vergleichbar einem Komponisten, der eine Taste auf einem Piano anschlägt und eine Woche warten muß, bis er den Ton hört. So ging Cuba nach Chicago ans Kunst Department der University of Illinois, wo der Chicago Circle der Computerkunst (Jane Veeder, Tom DeFanti etc.) wirkt. Dort experimentierte er mit Tom DeFantis Computersprache GRASS (Graphic Symbiosis System).

Hier zeichnete der Computer in Echtzeit (Realzeit) die Ergebnisse der Programmieranweisungen. Danach arbeitete Cuba wiederum in Los Angeles für die berühmte High-Technology-Werbefilmfirma Abel and Associates. Dort programmierte er die blitzenden Zooms, die nun Gemeinplätze für TV-Commercials sind. Ende 1975 gewann er einen Vertrag, für den Film »Star Wars« von George Lucas eine kurze Computeranimations-Sequenz zu machen. So ging Cuba 1976 zurück nach Chicago und arbeitete wieder mit dem GRASS System. Er benötigte 3 Monate für die 2-minütige Sequenz, erst die zweite Computeranimation in einem Spielfilm. Cuba hätte eine viel avanciertere Computergrafik machen können, mehr fotografisch als diagrammatisch, aber Lucas wollte die Simulation eines computerhaften Aussehens, einen computerish look, daher sehen wir auf Artoo Detoo's Memory Bank im Informationsraum der Rebellen

die Simulation eines Computerdiagramms von Death Star.

Zurück in Los Angeles 1977 benutzte Cuba die Programmiersprache RAP bei der Firma Information International Inc., aus der später die Firma Digital Productions von John Whitney jr. hervorging. Mit RAP erarbeitete er sich das Bildmaterial für »Two Space«. Als RAP wiederum nicht zugänglich war, wurde Cuba 1977 Research Associate am Kunst Department der University of Illinois. Dort produzierte er mit Hilfe von GRASS den Film »3/78«, nachdem die Sprache verbessert und modifiziert worden war, um den Star-Wars-Ansprüchen zu genügen. GRASS ist für nicht-programmierende Künstler hergestellt, weil Computersprachen-Designer wenig Vertrauen in die mathematischen Kenntnisse der Benutzer haben. Cuba hält das für ein Vorurteil. Cuba möchte das Bild auch durch Programme kontrollieren können und bevorzugt Computersprachen mit implementierten mathematischen Modellen.

Auf der Achse LA-Chicago kehrte Cuba 1978 wieder zurück nach Californien und begann erneut die Arbeit an »Two Space«, eine Abkürzung von »two-dimensional space«, was ja die Fläche ist (Die Fläche ist durch Länge und Breite, also zwei Dimensionen, gekennzeichnet). »Two Space« ist auf den symmetrischen Eigenschaften der Fläche aufgebaut, die mathematisch in der Gruppen-Theorie definiert sind. Aus einer einzigen Figur kann man 17 Arten von Mustern machen, wie schon islamische Künstler festgestellt haben. Die mathematische Transformation von Mustern in der islamischen Ornamentalistik ist für Cuba der Hinweis, daß »in der arabischen Zivilisation der Künstler und der Mathematiker eins waren« (J. Bronowski, *The Ascent of Man*).

Nach Fertigstellung von »Two Space« 1979 arbeitete Cuba als Computergrafik-Berater bei Rand Corporation und an der Entwicklung einer eigenen freieren Programmier-

sprache, die Kader für Kader arbeitet. Jeder von Cubas Filmen ist auf einer anderen Programmiersprache aufgebaut, die halfen, einige Ideen auszudrücken und gleichzeitig den Ausdruck anderer Ideen beschränkten. Die taktile Interaktion mit dem Computer durch Tasten, Joy Sticks (Zeichenstäbe) und Light Pens (Lichtstifte) ist für ihn unbefriedigend, denn seine Arbeit involviert die Exploration mathematischer und theoretischer Ideen. Er sieht seine Filme als eine Form der Entdeckung. Er benützt den Computer nicht, um ein schon fix und fertiges Storyboard auszuführen, sondern will mit Hilfe des Computers Bilder finden, die sein visuelles Vermögen übersteigen. »I enjoy not knowing what the final images will look like. The whole purpose is to discover something that you normally don't get a chance to see!« Der einzige Zweck ist ja, Dinge zu entdecken, die du normalerweise keine Chance hättest zu sehen.

Cubas digitale Computeranimation, bei der die Bilder auf mathematischen Strukturen aufgebaut sind und die mit Computersprachen programmiert werden, sind ein legitimes Erbe der großen Tradition des Abstrakten Films (von Vilking Eggeling zu Len Lye). Seine Computer Animation errichtet eine Parallele zwischen visueller Wahrnehmung und der Struktur einer linguistischen oder mathematischen Ordnung – so wird ein neues Feld für das ästhetische Material organisiert. [...]

John Whitney (Sen.)

1917 geboren in Altadena/Kalifornien. Ausbildung am Pomona College in Kalifornien. 1939 studierte er in Europa Musikkomposition und Fotografie und beginnt in Paris seine ersten Experimente in 8-mm-Film. In dieser Zeit war er nach eigenen Aussagen entscheidend durch Schoenberg beeinflusst.

1941-45 arbeitet er zusammen mit seinem Bruder James an abstrakten Filmen, entwickelt eine Maschine, um synthetischen Lichtton für diese Filme herzustellen. Seit 1966 arbeitet er mit Unterstützung von IBM an der Entwicklung von Computer-Grafik. Dr. Citron von IBM entwickelte für ihn das Programm GRAF (Graphic Addition to Fortran), das für seine Filme den Ausgangspunkt bildete. Neben seinen übrigen künstlerischen Arbeiten produzierte er zahlreiche Kurzfilme für CBS Television, außerdem Titelsequenzen für kommerzielle Filme. [...]

Ed Emshwiller

Er begann seine künstlerische Laufbahn als Maler und Zeichner (machte Illustrationen für Science-fiction-Romane). Nachdem er sich ein Jahrzehnt lang mit dem Experimentalfilm beschäftigt hat, begann er Anfang der siebziger Jahre mit Video zu arbeiten. In seinen ersten Videobändern untersuchte er synthetisierte Bilder, phantasievoll und auch unter Einbeziehung von Tanz. Der Höhepunkt seiner Arbeit als Maler und Filmemacher sind die Zeichentrickaufnahmen via Computer, wo er gleichsam »mit einer digitalen Palette malt«; dies ist ein optimales Medium für seine Darstellung von phantastischen und surrealen Bildern. Das letzte und technisch gesehen das anspruchsvollste seiner Zeichentrickvideobänder ist Sunstone, das über einen Zeitraum von acht Monaten am New Yorker Institute of Technology (NYIT) gemacht wurde, wo sich eines der fortgeschrittensten Systeme für die Produktion von Zeichentrickfilmen via Computer befindet. Sunstone zählt zu den bedeutendsten Videobändern, die nur mit Computer erzeugt wurden. Sie sind figurativ im Gegensatz zu den abstrakten Computerfilmen von Whitney und Cuba. Auf einem technologisch hohen Niveau werden hier die Möglichkeiten der dreidimen-

sionalen Darstellung auf dem Video-Bildschirm untersucht.

Am Beginn des Bandes sieht man eine graue, steinähnliche Fläche, auf der ein rundes Sonnengesicht erscheint. Es öffnet durchaus realistisch wirkende Augen und lächelt. Die Fassade der Sonne zerbröckelt dann und vom Kopf her erstrahlen grelle Farben von außergewöhnlicher Intensität. In einer surrealistischen, sehr beeindruckenden Vorführung von High Technology erscheint dann dieses Gesicht auf einer Seite eines sich drehenden Würfels, auf dessen anderen Seiten sich bewegende oder stillstehende Videobilder zu sehen sind. Wenn Emshwiller die Kamera auf eines der Bilder richtet, zeigt sich eine elektronische Landschaft, in der aus einer sich bewegenden Gestalt eine regenbogenfarbige Serie von Umrissen entsteht.

Sunstone ist aber mehr als ein technologisch gesehen interessantes Video. Emshwillers Bilderwelt evoziert zum Beispiel auch Marshall McLuhans Theorie von »cool media« (die kühle, graue Fläche des Steins) und »hot media« (der grelle, pulsierende Globus). Indem er das universelle Motiv der Sonne verwendet, zuerst eingeritzt im Stein, dann als würfelförmigen Satelliten, der im Raum kreist, rekapituliert er eine Vielfalt von künstlerischen Medien. Seine laufende Gestalt erinnert indirekt an Eadward Muybridges fotografischen Bewegungsstudien und im noch weiteren Sinne an Marcel Duchamps Bild (Akt, die Treppe herabsteigend). Die multidimensionale Palette in Sunstone nimmt Bezug auf frühere Momente der Kunstgeschichte und feiert zugleich die Zukunft der elektronischen Kunst.

Scapemates ist ein originelles Videowerk – eine Choreographie von Bildern, in denen elektronische Formen mit Live-Figuren tanzen. Mit Hilfe von Computergrafik und einem Videosynthesizer werden reichhaltige Bilder in einem elektronischen Rahmen erzeugt.

Steina und Woody Vasulka

Diese zwei Künstler sind Wegbereiter der Videokunst, wo Computer eingesetzt werden. Steina, eine gebürtige Isländerin, wurde als Violinistin ausgebildet. Woody, der in der Tschechoslowakei geboren wurde, studierte zunächst Technik, ging aber dann zum Film über. 1971 gründeten die Vasulkas in New York The Kitchen, ein kleines, ursprünglich für elektronische Medien bestimmtes Theater, das seither zu einem bedeutenden Avantgardezentrum für Video, Musik, Performance und Tanz geworden ist. Einige Jahre später entwickelten sie den sogenannten Digital Image Articulator, einen komplexen Digitalcomputer, der in ihrer Arbeit eine zentrale Rolle spielt.

Der wichtigste Aspekt von den Arbeiten der Vasulkas ist die technologische Innovation. Viele ihrer Videobänder dienen als Erklärung für die von ihnen entwickelten Techniken. Obwohl sie zahlreiche Arbeiten gemeinsam gemacht haben, haben sie auch eigene Projekte gemacht. (Steina gebraucht ihren ersten Namen als Künstlernamen). Cantaloup ist eine Dokumentation, die Steina über die Entwicklung und Anwendung des Digital Image Articulator, auch Imager genannt, gemacht hat. Das Band entstand, als die Vasulkas und Schier bereits 18 Monate am Entwurf des Geräts gearbeitet hatten. Wie das von Dan Sandin entwickelte Bildverarbeitungsgerät (siehe SPIRAL PTL 1981), wurde der Digital Image Articulator speziell dafür entwickelt, um Videobilder in »Realzeit« zu untersuchen. Während das Gerät von Steina erklärt wird, sieht man die digitalen Effekte, die dadurch hervorgerufen werden, indem sie eine sphärenförmige Zuckermelone als Lichtquelle verwendet. Sie beschreibt die unterschiedlichen Größen der Bildelemente (sogenannte Pixels), die Möglichkeiten, die Bilder zu vervielfältigen, und die Schichten (oder Scheiben) von Farbe und Ton, die aus ei-

nem Bild gewonnen werden können. Artifacts von Woody beschreibt weitere Anwendungsmöglichkeiten dieses Gerätes. Mit dem Wort Artifacts bezieht sich Woody speziell auf die Bilder, die er erzeugt hat oder auf die er durch Zufall gestoßen ist. Durch das Herumexperimentieren war eine Art Zusammenarbeit zwischen Menschen und der Maschine entstanden. Das Bild von einem sphärenförmigen Objekt enthält eine Palette von Farben, Bildelementen, die das Bild dann so verändern, daß es etwas Surreales, Magisches annimmt.

Außerhalb des Ateliers erhalten die Bilder eine überraschend neue Dimension. In Search Of The Castle ist die Dokumentation von einem Experiment, wo Steinas Abstraktion von wirklichen Bildern und Woodys digitale Effekte kombiniert werden. Die Bilder wurden in New Mexiko, wo sie heute leben, von einem Auto aus aufgenommen. Steina filmte die Reflexion der Landschaft auf etwas Sphärenförmiges, ein in ihren Arbeiten immer wiederkehrendes Motiv, wodurch verzerrte, kreisförmige Bilder entstehen. Während sie durch diese flache Landschaft fahren, sehen wir die Vasulkas zusammen mit ihrer Umgebung. Eingeschlossen in diesem Computerglobus zeigen uns Vasulkas Bilder von Amerika eine elektronische Reise. The Connection ist ihre letzte, berühmte Arbeit über den Handel zwischen Paganini und Berlioz. Paganini wird von E. Gusella und Berlioz von R. Ashley gespielt. Digitale videoelektronische Narration.

Tom Defanti und Dan Sandin

Diese zwei Videokünstler haben eine entscheidende Rolle in der Entwicklung der Bildverarbeitung und der Computergrafik in Chicago seit den frühen siebziger Jahren gespielt. Sandin, der 1972 von Nuklearphysik auf Video und Computer umstieg, entwickelte ein Bildverarbeitungsgerät. DeFanti

entwickelte eine Computergrafiksprache, das sogenannte Graphics Symbiosis System (GRASS), die er zusammen mit Sandins Bildverarbeitungsgerät verwendete. In weiterer Folge entwickelte er ZGRASS – eine Computersprache, die den Künstlern direkten Zugang zu komplexer Computergrafik ermöglicht. Sowohl Sandin als auch DeFanti unterrichten an der University of Illinois in Chicago, wo sie die von ihnen entwickelten Systeme als Lehrhilfen eingesetzt haben. Sandins Bildverarbeitungsgerät soll zum Beispiel Studenten helfen, die Farbenlehre zu erfassen. Mit Hilfe von ZGRASS soll Ingenieuren und Künstlern die Computergrafik beigebracht werden. Hier ist eine Allianz zwischen Kunst und Technologie erkennbar wie auch die Bedeutung eines direkten Zugangs zu komplexen Technologien und »Echtzeit«-Systemen auch für Künstler. Durch den sofortigen Feedback von Bildern und Informationen wird Spontaneität gefördert.

Spiral PTL ist das fünfte Band in einer Reihe von »Echtzeit«-Performances, wo Sandin und DeFanti zusammen mit anderen Künstlern eine Videosynthese geschaffen haben. (Das PTL im Titel bedeutet Probably the Last). Das Spiralsymbol steht seit mehreren Jahren im Mittelpunkt ihrer Arbeit.

Manche Performances wurden so gestaltet, daß die Musik erst auf die Bilder folgte und bei anderen Performances war es dann umgekehrt. In Spiral PTL spielt Mimi Shevitz' elektronische Musik eine wichtige Rolle; diese schwankt zwischen elektronischen Geräuschen, galaktischen Stimmen und ruhigeren Tönen, die etwa an fließendes Wasser denken lassen. Indem sie das Bildverarbeitungsgerät wie ein Musikinstrument verwenden, um verschiedene Variationen von einer aus Punkten bestehenden linearen Spirale zu erzeugen, verwandeln DeFanti und Sandin diese Grundform in einen sich ewig drehenden Kreis. Spiral PTL zeigt exem-

plarisch, wie Kunst und Technologie verbunden werden können und wie sich Audio und Video gegenseitig ergänzen.

[...]

Stephen Beck

Er begann während seiner Studienzeit an der University of Chicago mit Licht als künstlerisches Medium zu arbeiten. Einige Jahre lang arbeitete er als Lichttechniker im Studio für experimentelle Musik an seiner Universität. Als artist-in-residence am San Francisco National Center for Experiments in Television hat er 1971 den Direct Video Synthesizer entwickelt, ein elektronisches Gerät, das Bilder ohne Kameras erzeugen kann. Derzeit entwickelt er elektronische Systeme, wo er gerne die von ihm entworfenen Videospiele und Videobänder verwendet. Er leitet seine eigene Computefirma Beck-Tech.

Frank Dietrich

Hat an der Technischen Universität Berlin graduiert und erhielt später einen MFA von Electronic Visualization Program der University of Illinois in Chicago. Er hat große Video-Computer-Installationen gebaut und Computerkunst an der School of the Art Institute in Chicago, West Coast University in Los Angeles gelehrt.

In der VISUAL MUSIC ALLIANCE (VMA) sind jene Künstler vereinigt, welche die Zukunft der audiovisuellen Medien auf elektronischer Basis schaffen. Sie arbeiten für die Industrie (Großfilme), für die Werbung, für Schallplattenfirmen und für die reine Kunst. Diesen Verein mit einer eigenen Zeitung (The Relay) gibt es seit 3 Jahren. Er organisiert Ausstellungen, Meetings, Konferenzen. Seine Mitglieder sind eine bezeichnende Melange von Kunst und Kommerz: Jo Bergmann, frühere Mitarbeiterin von D. Bowie, nun Videodirektor bei Warner Bros! Rec., Robert Margouloff,

Produzent von Stevie Wonder und Devo, John Allison, Emmy-Gewinner für Spezialeffekte bei »Cosmos«, Gene Youngblood, Autor von »Expanded Cinema«, und viele andere. [...]

Bill Sebastian

»das Farb- und Licht Genie des 20. Jahrhunderts« (Heavy Metal), hat ein System für elektronische Fingermalerei entwickelt, den Outerspace Visual Communicator, einen visuellen Synthesizer, 1978. Die Hand des Künstlers gleitet dabei über 400 Druckschalter, welche Farbsymmetrien und -Bewegungen in Gang setzen. Rotation, Kompression, Zoom etc. können ebenfalls durchgeführt werden, das Videobild ist also jederzeit manipulierbar. [...]

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: Optical and Electro-Optical Information Processing, J. Tippet, et al (Hrg.), MIT Press 1965.
- 4 Thomas G. Hagan, Richard J. Nixon und Luis J. Schaefer, The Adage graphics terminal. Adage Inc. Boston. Conference Proceedings, Fall Joint Computer Conference, 1968 AFIPS Press.
- 5 J. E. Bresenham, Algorithm for computer control of a digital plotter. IBM Systems Journal, Vol. 4, No. 1, 1965.
- 6 W. Jack Bouknight, A Procedure for Generation of Three-dimensional Half-toned Computer Graphics Presentation. Communications of the ACM, Sept. 1970.
- 7 J. E. Warnock, A Hidden Surface Algorithm for Computer Generated Halftone Pictures. Technical Report June 1969, University of Utah.

- 8 Henri Gouraud, Continuous Shading of Curved Surfaces. IEEE Transactions on Computers, June 1971.
- 9 Edwin Catmull, Computer Display of Curved Surfaces. Proc. of the Conference on Computer Graphics, Pattern Recognition and Date Structure, May 1975. IEEE.
- 10 James F. Blinn, Models of Light Reflection for Computer Synthesized Pictures. Computer Graphics, Vol. 11, No. 2, Summer 1977.
- 11 K. C. Knowlton, A Computer Technique for the Production of Animated Movies. AFIPS Conference Proceedings, Vol. 25, 1964, SJCC, Spartan Books, NY.
- 11A Knowlton, Computer Produced Movies. System Analysis by Digital Computers, F. F. Kuo und J. F. Kaiser (Hrg.), 1966 Wiley & Son.
- 12 K. C. Knowlton, Collaborations with Artists – A Programmer's Reflections. Graphic Languages, F. Nack und A. Rosenfeld (Hrg.), North-Holland 1972.
- 13 C. Levinthal, Computer construction and display of molecular models. Film.
- 14 E. E. Zajec, Computer-made perspective movies as a scientific and communication tool. Communications of the ACM, Vol. 7, No. 3, March 1964.
- 15 E. E. Zajec, Two-gyro, gravity gradient attitude control system. Bell Telephone Laboratories, Film.
- 16 S. Vanderbeek, J. H. Whitney. Einige mit Hilfe des Computers hergestellte Zeichentrickfilme.
- 17 Design and the computer. Design Quarterly 66/67, Walker Art Center Minneapolis Minn.
- 18 A. M. Noll, The digital computer as a creative medium. IEEE Spectrum October 1967.
- 19 J. Reichardt, Cybernetic serendipity, the computer and the arts. Studio International London and New York 1968.
- 20 F. I. Parke, Computer Generated Animation of Faces. Proceedings of the AMC, August 1972.
- 21 Ronald J. Hackathorn, Anima II: A 3-D Color Animation System. Computer Graphics Vol. 11, No. 2. Summer 1977.

Erstdruck in: Ausst.Kat. Ars Electronica, Supplementband, Linz. OÖ 1984