

Margit Rosen, Peter Weibel
Die Zukunft eines künstlerischen Mediums
The Future of an Artistic Medium

(2007)

S. 182-

209

Zur Technik- und Kunstgeschichte der computergenerierten Grafik

„Schreiben, lesen und rechnen können“, darin bestand ungefähr das Programm, das Mönch Gerbert ehemals einrichtete, als Karl der Große verlangte, dass alle jungen Ritter [...] auch zur geistigen Tätigkeit angeleitet würden.“¹ So beginnt Louis Couffignal das erste Kapitel seines 1952 auf Französisch und 1955 auf Deutsch erschienenen Buches *Denkmaschinen* und entwickelt eine Geschichte des Verhältnisses von Denken, Rechnen, Schreiben, Lesen und Sortieren, in deren Verlauf die Maschinen immer mehr dieser „geistigen Tätigkeiten“ übernehmen. Als Endpunkt dieser Entwicklung ließe sich eine Welt skizzieren, in der allein noch die Maschinen denken, und der Mensch nur noch benötigt wird, „um die [Loch-]Kartensätze von einer Maschine zur anderen zu bringen, und sich seine Anstrengung darauf reduziert, zu verhindern, dass die Karten innerhalb eines Paketes durcheinander kommen.“² Die Geschichte der Computergrafik über diesen Topos der Substitution zu erzählen ist möglich: Wen ersetzt der maschinelle Zeichner, welche Funktionen kann er übernehmen, welche bleiben dem Menschen vorbehalten? Eine Geschichte der Verteidigung des Humanen gegen die Maschine verengt jedoch den Blick auf die multiplen Techniken und Funktionen des computergenerierten Bildes innerhalb einer – durch den Zweiten Weltkrieg in ihrer Entwicklung beschleunigten³ – technisch-wissenschaftlichen Zivilisation.

Der Computer als grafisches System, das heißt der elektronische Rechner mit seinen visuellen Ausgabegeräten, hat durch die Verwendung des Bildes als Teil einer Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine das Nachdenken über die Bedingungen menschlicher Wahrnehmung, Kommunikation und Handlungsfähigkeit in

The artistic and technical history of computer-generated graphics

“Writing, reading and arithmetic”, this was roughly speaking, the programme that Friar Gerbert introduced long ago, when Charles the Great ordered that all young knights [...] should be instructed in intellectual pursuits, was ‘writing, reading and arithmetic’.¹ Louis Couffignal begins the first chapter of his book *Denkmaschinen* (*Thinking Machines*) – which appeared in 1952 in French and 1955 in German – with these words and develops a history of the interrelations between thought processes, arithmetic, writing, reading and sorting, during which machines increasingly take on such “intellectual activities”. As the culmination of this development, it was possible to sketch a world in which machines thought and man only required “to take the packages of [punch-]cards from one machine to another, and his efforts are reduced to making sure that the cards of a package do not become mixed up.”² It is possible to tell the story of computer graphics through the same theme of substitution: who does the drawing machine replace, what functions can it take over, and which are still reserved for man? But telling the story as man’s defence against the machine narrows our perspective on the multiple techniques and functions of computer-generated images in a technical-scientific civilisation, the development of which was accelerated by the Second World War.³

In the 1960s, the computer as a graphic system, i.e. the electronic computer together with its apparatus for visual output, offered – with the image as part of an interface between man and machine – a fundamental stimulus to consideration of the conditions of human perception, communication and capacity for action. The technology

den 1960er Jahren wesentlich angeregt. Die Technologie initiierte Naturwissenschaftler und Ingenieure, Bilder und Filme in neuer Form in ihre Forschungs- und Entwicklungsprozesse zu integrieren. Im Kunstkontext bereicherte die computergenerierte Grafik die Diskussion über den schöpferischen Prozess. Die experimentelle Ästhetik, ob sie sich nun eher auf Kybernetik oder Informationstheorie berief, sah in dem Computer ein Hilfsmittel, ihre Modelle zu überprüfen und weiterzuentwickeln. Die ‚zeichnende‘ Rechenmaschine wurde sowohl zum Medium der Produktion als auch der Analyse.

Als Technik hat sich die Computergrafik in allen gesellschaftlichen Bereichen durchgesetzt: Sie legte in den 1960er Jahre die Grundlage unserer aktuellen visuellen Kultur, die dominiert wird von digital generierten und prozessierten Bildern, die wir in der Regel nicht kontemplieren, sondern die uns informieren, unterhalten und über die wir direkt kommunizieren, das heißt, über die wir Nachrichten an Maschinen und Menschen senden oder von ihnen empfangen. Als medienspezifische Kunstform, die wie die Malerei und die Skulptur des 20. Jahrhunderts über sich, ihre Materialität und ihr Verfahren sprechen wollte, wurde sie bis heute, vom Werk einzelner Protagonisten abgesehen, mehr oder minder vom Kunstsystem abgewiesen. Die Kunstkritik und der mit ihr verbundene Kunstmarkt nahmen die Herausforderung der neuen Technologie nicht an und wirkten somit an einer künstlerischen Definition des Mediums nicht mit.

Denkmaschinen am Ende des mechanischen Zeitalters

„No one can escape from the machine. Only the machine can enable you to escape from destiny“, paraphrasierte 1968 der schwedische Kurator Pontus Hultén

initiated scientists and engineers to integrate new forms of images and films into their research and development processes. In the art context, computer-generated graphics supplemented the discussion on the creative process. Experimental aesthetics, whether they were based more on cybernetics or information theory, saw the computer as an aid with which to test and elaborate on their models. The ‘drawing’ computer became a medium of both production and analysis.

As a technology, computer graphics were implemented in all areas of society: in the 1960s, they laid the foundations for our present visual culture, which is dominated by digitally-generated and processed images. As a rule, we do not contemplate these; they inform and entertain us, and we use them to communicate directly, i.e. sending messages to machines and people or receiving messages back. As a media-specific art form, which – like 20th century painting and sculpture – is directed at self-reference as a material and process, they have been rejected more or less by the art system up until now, with the exception of works by isolated protagonists. Art critics and the associated art market did not take on the challenge of the new technology and have thus not participated in an artistic definition of the medium.

Thought machines at the end of the mechanical age

“No one can escape from the machine. Only the machine can enable you to escape from destiny“, as the Swedish curator Pontus Hultén said, paraphrasing the artist Tristan Tzara, in 1968.⁴ Specifically, in his foreword

den Künstler Tristan Tzara.⁴ Im Detail spricht Hultén in seinem Vorwort zur Ausstellung *The Machine as Seen From the End of The Mechanical Age*, die er für das Museum of Modern Art kuratierte, von der wachsenden Menge an Daten, die für die Organisation der Gesellschaft immer schneller prozessiert werden müssten. Nur die Maschinen, so der schwedische Kurator, könnten dem Menschen helfen, rechtzeitig die richtigen Entscheidungen zu treffen. In dem von Hultén skizzierten Modell folgt der Bedarf nach informationsprozessierenden Maschinen aus der Dynamik des Verbundes von Transport-, Produktions- und Kommunikationstechnologie am Ende des mechanischen Zeitalters.

Unter anderem in der von Hultén angesprochenen Funktion, als Hilfsmittel einer raschen Reaktion auf technologisch beschleunigte Ereignisse, wurde der Computer als visuelles Medium schon Anfang der 1950er Jahre konzipiert. Beispielhaft dafür sind die amerikanischen Militärprojekte *Whirlwind* und *SAGE (Semi Automatic Ground Environment System)*. Die ursprünglich für Flugsimulationen entwickelte Rechenanlage mit dem Namen *Whirlwind* wurde der erste Computer, der mit einer Kathodenstrahlröhre zur visuellen Ausgabe ausgestattet war.⁵ Auf der Basis von *Whirlwind* baute das Massachusetts Institute of Technology mit IBM dann Ende der 1950er Jahre für *SAGE* – ein Frühwarnsystem zur Abwehr von Luftangriffen – den Rechner *AN/FSQ-7* und eine spezielle Bildschirmkonsole.⁶ Der Rechner empfing über Telefonleitungen einlaufende Radardaten, verrechnete sie in Echtzeit und stellte sie auf dem Vektorbildschirm dar. Dieser Bildschirm, eine Kathodenstrahlröhre, deren Strahl vom Rechner angesteuert werden konnte, war um ein so genanntes *Charactron* erweitert worden: Der Elektronenstrahl traf nicht direkt auf die Phosphor-

schicht des Bildschirms, sondern wurde vorher durch eine kleine Scheibe mit ausgestanzten Buchstaben und Symbolen gelenkt. Durch eine erste Beugung wurde das Zeichen gewählt, durch eine zweite Ablenkung das Symbol auf dem Bildschirm platziert. Die über den Bildschirm wandernden leuchtenden Zeichen, die Flugzeuge repräsentierten, wurden vom dem Nutzer des Systems mit einer light gun markiert. Die Geschwindigkeit der gekennzeichneten Objekte wurde durch das System überprüft und die Bewegung mit den bekannten Flugplänen abgeglichen, um beispielsweise zivile Flugzeuge von potenziellen feindlichen Bombern zu unterscheiden.

In der Funktion indicated by Hultén – as an aid to rapid reaction in face of technologically accelerated events – the computer had already been conceived as a visual medium in the early 1950s. The American military projects *Whirlwind* and *SAGE (Semi Automatic Ground Environment System)* are key examples of this. The computing system known as *Whirlwind*, originally developed for flight simulations, became the first computer equipped with a cathode-ray tube for visual output.⁵ On the basis of *Whirlwind*, the Massachusetts Institute of Technology, in collaboration with IBM, built the computer *AN/FSQ-7* and a special display panel for *SAGE* – an early warning system to defend against air attacks – at the end of the 1950s.⁶ The computer received incoming radar data via telephone lines, calculated them in real time and displayed them on the vector screen. This screen – a cathode-ray tube, whose beam could be controlled by the computer – was supplemented by a so-called *Charactron*: the ray of electrons did not hit the screen's layer of phosphor directly, but was first sent through a small disc with punched-out letters and symbols. The

schicht des Bildschirms, sondern wurde vorher durch eine kleine Scheibe mit ausgestanzten Buchstaben und Symbolen gelenkt. Durch eine erste Beugung wurde das Zeichen gewählt, durch eine zweite Ablenkung das Symbol auf dem Bildschirm platziert. Die über den Bildschirm wandernden leuchtenden Zeichen, die Flugzeuge repräsentierten, wurden vom dem Nutzer des Systems mit einer light gun markiert. Die Geschwindigkeit der gekennzeichneten Objekte wurde durch das System überprüft und die Bewegung mit den bekannten Flugplänen abgeglichen, um beispielsweise zivile Flugzeuge von potenziellen feindlichen Bombern zu unterscheiden.

In einer militärisch hochtechnisierten Umwelt überfordert die Geschwindigkeit der Waffensysteme und die zu erfassenden Distanzen Wahrnehmung und Reaktionsgeschwindigkeit des Menschen. Hätte man dem menschlichen Nutzer die über Radar und den Computer ermittelten Daten auf „einem sechs Meter langen Blatt voller Nummern“⁷ zur Verfügung gestellt, wäre der Angriff vorüber gewesen, bevor der Leser die Information überhaupt erfasst hätte. Entscheidend im *Whirlwind*- und *SAGE*-System war jedoch, dass es sich bei dem Bild nicht allein um eine Anzeige handelte, sondern dass mit der light gun Entscheidungen sofort an das System rückgemeldet wurden. Die Grafik auf den *SAGE*-Bildschirmen, die schnell verblassende Zeichnung des Elektronenstrahls auf dem Phosphorbildschirm, war eine mögliche Option in einem ingenieurtechnischen und militärischen Problemlösungsprozess, eine flüchtige mediale Form zur Optimierung des Nachrichtenaustausches in einem System aus Menschen und Maschinen.

Die light gun selbst war bereits Ende 1948/Anfang 1949 von Robert Everett für die Wartung des *Whirlwind*-Rechners entwickelt worden. Speicherröhren wurden

sign was selected by means of a first deflection, and a second deflection positioned the symbol on the screen. The system's user employed a light gun to mark the luminous signs moving across the screen, which represented aeroplanes. The speed of the marked objects was checked by the system and their movement compared to known flight plans. In this way, it was possible to differentiate between civil aircraft and potential enemy bombers, for example.

In an environment of military high technology, the speed of weapons systems and the distances involved overtax human perception and reaction speeds. If the data acquired via radar and the computer had been made available to the human user as "a sheet of paper 20 feet long, full of numbers"⁷, any attack would have been over before the reader had even had an opportunity to register the information. The decisive aspect of the *Whirlwind* and *SAGE* systems, however, was that this image was not only a display – using the light gun, decisions could immediately be returned to the system as messages. The graphic on the *SAGE* screen, the rapidly fading delineation of the electron ray on the phosphor display, was one possible option in a technical and military problem-solving process, a fleeting media form used to optimise the exchange of information in a system consisting of man and machines.

Robert Everett had already developed the light gun for the maintenance of the *Whirlwind* computer at the end of 1948/beginning of 1949. Storage tubes were represented as dots on the cathode-ray screen. When a test programme was run, it stopped at the faulty tube and the corresponding point on the screen. The

als Punkte auf dem Kathodenstrahlbildschirm repräsentiert. Ließ man ein Testprogramm laufen, stoppte es an der defekten Röhre und damit an einem spezifischen Punkt auf dem Bildschirm. Mit der light gun konnten die Ingenieure den Punkt markieren und damit die Röhre identifizieren.⁸ Die Kombination von Bildschirm und light gun zeigte somit bereits vor ihrer Verwendung für das Flugabwehrsystem die Möglichkeiten einer vereinfachten Kommunikation zwischen Mensch und Computer auf: durch die Übersetzung von Maschinensignalen in visuelle Signale und der Übersetzung menschlichen Zeigens in Maschinensignale. Die computergenerierte Grafik tritt hier, anders als die Fotografie Mitte des 19. Jahrhunderts, als neues Medium nicht in Konkurrenz zu Zeichnern oder Malern. Die visuelle Technologie erfüllte einen Bedarf, der aus der hoch entwickelten Automatisierungstechnik folgte. Vorgänge der Maschinen oder maschinenvermittelte Ereignisse der Umwelt sollten wahrnehmbar und zielgerichtetes Handeln ermöglicht werden.

Mit *Whirlwind* ist einer der Anfänge der Computergrafik beschrieben. Sie erscheint hier als dynamische, bewegte Grafik, als Element einer Schnittstelle für den Nachrichtenaustausch zwischen Mensch und Maschine. Dass der „interaktive Charakter“ der Computergrafik das entscheidende Charakteristikum für die Künste werden sollte, davon war Joseph Carl Robnett Licklider – der selbst am SAGE-Projekt mitgearbeitet und 1960 den wegweisenden Aufsatz *Man-Computer Symbiosis* verfasst hatte – schon 1968 überzeugt. In seinem Vortrag *Computer Graphics as a Medium of Artistic Expression* betonte er: „This interactive character will dominate the kinetic effect, it will dominate color, it will dominate 3D. It will dominate everything else. It's the most important thing in human behavior, and

engineers could mark this point using the light gun and thus identify the faulty tube.⁸ The combination of screen and light gun had therefore already highlighted the possibilities of simplified communication between man and the computer before its use in the air defence system: by translating mechanical signals into visual signals, and translating human pointing into mechanical signals. Here, the computer-generated graphics – by contrast to photography in the mid-19th century – do not appear as a new medium in competition with draftsmen or painters. The visual technology fulfilled a need, which was the consequence of a highly-developed technology of automation. The aim was to make machine processes or mechanically communicated, environmental events perceptible, thus enabling a purposeful reaction.

One of the origins of computer graphics is described in *Whirlwind*. Here they appear as dynamic, moving graphics, as one element of an interface promoting the exchange of information between men and machines. That the “interactive character” of computer graphics would become the decisive characteristic for the arts, thereof Joseph Carl Robnett Licklider – who had himself worked on the SAGE project and had written the pioneering essay *Man-Computer Symbiosis* in 1960 – was convinced already in 1968. In his lecture *Computer Graphics as a Medium of Artistic Expression*, he emphasised: “This interactive character will dominate the kinetic effect, it will dominate color, it will dominate 3D. It will dominate everything else. It's the most important thing in human behavior, and now there can be more of it in art.”⁹ But many years were to pass before artists gained more access to this technology.

now there can be more of it in art.”⁹ Es dauerte jedoch noch Jahre, bis Künstler vermehrt Zugang zu dieser Technologie erhielten.

Analoge Rechensysteme

Die Chronologie zur Geschichte der Computerkunst wird meist mit Ben F. Laposkys *Oscillons* und Herbert W. Frankes *Elektronischen Grafiken* begonnen [Kat. Nr. 68/69]. Der Amerikaner Laposky und der Österreicher Franke begannen ihre Experimente in den 1950er Jahren. Sie manipulierten Oszilloskope und hielten die Bewegung des Kathodenstrahls fotografisch fest. Laposky hatte ein leicht modifiziertes Oszilloskop an einen Sinuswellengenerator angeschlossen, Franke verwandte ein „analoges Verrechnungssystem“¹⁰. Im technisch-wissenschaftlichen Kontext diente das Oszilloskop als Kontrollanzeige z. B. in der Elektrotechnik oder der Akustik. Die bewegte Grafik erlaubte es Ingenieuren, Aussagen zu machen über Spannung, Stromstärke, Frequenz und Phasen der untersuchten Quelle. Bereits in diesem technisch-wissenschaftlichen Zusammenhang wurden Oszillogramme zu Dokumentationszwecken abfotografiert. Laposky, Franke, Norman McLaren, Mary Ellen Bute oder später Otto Beckmann [s. S. 310–315] erkannten jedoch das künstlerische Potential dieses Ausgabegerätes und der damit verbundenen Spannungsquellen. Sie sahen die Möglichkeit „mit den Maschinen parnassische Spiele [zu] treiben“, wie es der Bauhausmeister Georg Muche in seinem Vortrag *Die Kunst stirbt nicht an der Technik* 1954 ausdrückte.¹¹ Muche betonte, die Technik helfe „Varianten der Bildgestaltung zu schaffen, und die bildenden Künste aus der Gefahr des Manierismus zu befreien.“¹²

Lissajous-Formen lassen sich durch unterschiedlichste Techniken fixieren, wie

Analoge computing systems

Chronologically, the history of Computer Art is generally initiated by Ben F. Laposky's *Oscillons* and Herbert W. Franke's *Electronic Graphics* [Kat. Nr. 68/69]. The American Laposky and the Austrian Franke began their experiments during the 1950s. They manipulated oscilloscopes and recorded the movements of the cathode-ray beam photographically. Laposky connected a slightly modified oscilloscope to a sinus wave generator, Franke used an “analogue computing system”¹⁰. In the technical-scientific context, the oscilloscope was employed as a control display, e.g. in electro-technology or acoustics. The moving graphics enabled engineers to come to conclusions about the voltage, current, frequency and phases of the source being examined. In this technical-scientific context, oscillogrammes were already being photographed for the purpose of documentation. However, Laposky, Franke, Norman McLaren, Mary Ellen Bute or later Otto Beckmann [see pp. 310–315] recognised the artistic potential of this output apparatus and the connected voltage sources. They saw the possibility of “playing Parnassian games with machines”, as the master of Bauhaus Georg Muche phrased it in his lecture *Die Kunst stirbt nicht an der Technik* in 1954.¹¹ Muche emphasised that technology helped “to create variations of image production and liberate the fine arts from the dangers of Mannerism.”¹²

Lissajous figures can be fixed using a range of techniques, as Franke and Gottfried Jäger have explained in detail.¹³ But the oscilloscope stands out among the many mechanical pendular processes, as it is part of electricity's fascinating story.¹⁴

dies Franke und Gottfried Jäger ausführlich beschrieben haben.¹³ Aber das Oszilloskop hebt sich von den zahlreichen mechanischen Pendelverfahren ab, steht es doch in einer Faszinationsgeschichte der Elektrizität:¹⁴ Unwahrnehmbar bleibt der Elektronenstrahl, bis er auf dem „mit phosphoreszirende[r] Farbe überzogene[n] Glimmerschirm“¹⁵ auftrifft. Denn „[w]ir haben“, konstatierte Leo Graetz in *Die Elektrizität und ihre Anwendungen*, „keinen elektrischen Sinn.“¹⁶

Franke beschrieb 1957 in seinem Buch *Kunst und Konstruktion*, wie er in einem verdunkelten Raum, die Hände an der Schalttafel, auf den Bildschirm blickte: „Es ist ein Gefühl, ähnlich dem, das ein improvisierender Musiker empfindet. Man sieht die abenteuerlichsten Formen entstehen und zerfließen, wandern und kreisen, sich zusammenziehen und sich lösen. Ich habe stundenlang vor der magischen Scheibe gesessen und die hellgrün leuchtenden Linien verfolgt – und darüber vergessen, dass neben mir die Kamera stand, mit der ich diese Eindrücke festhalten wollte.“¹⁷

Bei Franke und Laposky sind Lissajous-Figuren nicht mehr Indikatoren von Phasenverschiebungen, sondern Bilder des ästhetischen Genießens, deren Kreation stark intuitive Elemente enthielt. Dennoch könnte die Bewegung des Elektrodenstrahls in ihrem zeitlichen Verlauf formal beschrieben und, im Rahmen der Genauigkeit von Analogsystemen, reproduziert werden. Reproduktion, und das würde auch für die spätere Computergrafik gelten, ist hier keine Kopie, sondern die Möglichkeit der endlosen Neuerschaffung: eine identische Eingabe an eine Maschine wird im Prinzip in der identischen Form ausgeführt.

Ein weiteres Charakteristikum der späteren Computerkunst ist ebenfalls in den Experimenten mit dem Oszilloskop bereits enthalten: die Option der unterschiedlichen Versinnlichung von Information. Die Visua-

The ray of electrons remains imperceptible until it hits the "micaceous screen covered by phosphorescing colour"¹⁵. For, as Leo Graetz establishes in *Die Elektrizität und ihre Anwendungen*, "we have no electrical sense."¹⁶

In 1957, in his book *Kunst und Konstruktion*, Franke described how, hands on the control panel, he gazed at the screen in a darkened room: "It is a feeling similar to that experienced by a musician when he improvises. One sees the most amazing forms emerge and fade away, wandering and circling, contracting and separating. I sat for hours in front of the magic screen, following the light green, luminous lines – and in the process, I forgot that beside me I had a camera with which I had wanted to record those impressions."¹⁷

In Franke's and Laposky's work, the Lissajous figures are no longer indicators of phase shifts, but images of aesthetic pleasure; their creation involves highly intuitive elements. Nonetheless, the movement of the electrode beam and its temporal course could be formally described, and it could be reproduced – within the frame of accuracy of analogue systems. Here reproduction – and this would also be true of later computer graphics – is not a copy, but the possibility of endless recreation: in principle, identical input into a machine will be executed in an identical form.

Another characteristic of later Computer Art was already included in those experiments using the oscilloscope: the option of alternative methods of conveying information to the senses. Visualisation of the electronic signals, of the temporal course of voltage, is only one possible output. Data can also be made audible, with the aid of a

lisierung der elektronischen Signale, des zeitlichen Spannungsverlaufes, ist nur eine Möglichkeit der Ausgabe. Sie können auch hörbar gemacht werden, beispielsweise mit Hilfe eines Voltage Controlled Oscillators und eines Schallwandlers. Die Information, der zeitliche Verlauf der Amplitude, kann visualisiert und sonifiziert werden, sie ist indifferent gegen die Form ihrer apparativen Sensifizierung. Der Wiener Künstler Otto Beckmann und sein Sohn Oskar machten sich dieses Phänomen 1970 für die Erstellung *Bild-Ton-identischer Computerfilme (BTC)* auf dem von ihnen entwickelten Kunstcomputer *a.i./70* nutzbar. Die Amplitude des elektrischen Signals, die Y-Koordinate der visuellen Darstellung sowie die Tonfrequenz entsprachen einander und liefen zeitgleich ab.

Die Bilder Laposkys waren mit Hilfe eines Sinuswellengenerators und nicht eines Computers, im Sinne eines frei programmierbaren digitalen Rechenautomaten, erzeugt worden. Dennoch haben diese Arbeiten in der Geschichte der Computergrafik als Vorläufer ihren Platz, sowohl durch die Verwendung der Kathodenstrahlröhre als auch durch die entfernte Verwandtschaft der technischen Anordnung zu Analogrechenanlagen. Der Analogcomputer wiederum besitzt für die künstlerische Computergrafik eine besondere Position, da er früh eine anschauliche Ergebnisdarstellung in Kurven erlaubte, sei es über ein Oszilloskop oder einen Koordinatenschreiber, der die Eingangsspannung in die Bewegung des Stiftes auf dem Papier umwandelte.

Der Künstler Kurd Alsleben erzeugte bereits im Dezember 1960 zusammen mit seinem langjährigen Freund, dem Physiker Cord Passow, erste Zeichnungen mit einem Analogcomputer [z.B. Kat. Nr. 2]. Passow war zu dieser Zeit am *Deutschen Elektronen Synchrotron (DESY)* in Hamburg tätig. Dort hatte man kurz zuvor den Analogrech-

voltage controlled oscillator and a sound transformer, for instance. The information, the temporal course of amplitude, can be conveyed by either vision or sound; it is indifferent to the sensory form into which it is transformed by the machine. In 1970, the Vienna artist Otto Beckmann and his son Oskar made use of this phenomenon to produce their *Bild-Ton-identischer Computerfilme (BTC)* on the Art Computer *a.i./70* that they had developed. The amplitude of the electrical signal, the Y-coordinates of the visual display, and the sound frequency corresponded to one another and proceeded simultaneously.

Laposky's pictures were produced with the aid of a sinus wave generator and not by a computer, in the sense of a freely programmable digital computing apparatus. Nevertheless, these works have a pioneering position in the history of computer graphics, due to the use of the cathode-ray tube but also to the distant correspondence between the technical set-up and analogue computing systems. The analogue computer, on the other hand, played an important early role in artistic computer graphics, because it permitted the clear display of results in curves, whether using an oscilloscope or an x-y plotter, which transformed the input voltage into the movement of a pen on paper.

Together with his friend of many years, physicist Cord Passow, the artist Kurd Alsleben had already created the first drawings using an analogue computer in December 1960 [e.g. cat. no. 2]. At that time, Passow was working at the *German Electron Synchrotron (DESY)* in Hamburg, where the analogue computer *EAI 231R* had been acquired shortly before to help with the dif-

ner *EAI 231R* für den schwierigen Entwurf strahloptischer Strukturen der Teilchenbeschleuniger und Experimentier-Spektrometer angeschafft.

Die spezifische Art der Programmierung und Ausgabe des Analogrechners begünstigte Alslebens künstlerische Wahrnehmung des Prozesses als Kommunikation: Der Analogrechner wurde über Steckfelder programmiert. Die Grundrechenarten und auch die Integration wurden dabei als elektronische Bausteine zur Verfügung gestellt. Der zeitliche Verlauf aller Variablen konnte als Kurvenschar auf einem Bildschirm verfolgt werden. Das Analogrechensystem erlaubte es Wissenschaftlern, unter anderem durch Drehen der so genannten Potentiometer, den Einfluss von Parametern unmittelbar zu sehen. Rechengänge und Simulationen ließen sich so unter Ausnutzung der menschlichen Intuition optimieren. Der Analogrechner steuerte den Plotter direkt an.

Digitale Großrechner dieser Zeit konfrontierten ihre Benutzer mit einem anderen Ablauf des langwierigen Programmierens, Lochkarten- oder Streifenstanzens und Plattens. Ivan E. Sutherland schrieb über diese Abläufe: „[We] were writing letters to rather than conferring with our computers.“¹⁸ Alsleben und Passow hingegen konnten am Analogrechner unmittelbar nach der Eingabe den Stift beobachten, wie er über das Plotterpapier zog. Wie Alsleben retrospektiv erläuterte, erfuhr er die Herstellung der Grafiken als kommunikativen Prozess zwischen ihm und der „Denkmaschine“, der die tradierte Rolle des Künstlers und des Werks in Frage stellte: „Der Künstler begehrte Nachricht und ein Werk trat nicht auf.“¹⁹

Von gänzlich anderen Fragestellungen ausgehend zielte das bereits erwähnte hybride Digital-Analogsystem, das Otto und Oskar Beckmann entwickelten, darauf, dass der Künstler die Effekte seiner Eingabe

facult conception of ray optical structures for the electron accelerator and experimental spectrometer.

The analogue computer's specific form of programming and output favoured Alsleben's artistic perception of the process as communication: the analogue computer was programmed via plug-in areas. Basic arithmetic operations and integration were offered as electronic components. The temporal course of all the variables could be followed as a set of curves on a display. Among other things, the analogue computing system permitted scientists to see the influence of parameters directly by turning a so-called potentiometer. Thus computing processes and simulations could be optimised by exploiting human intuition. The analogue computer directly activated the plotter.

The users of digital mainframe computers at that time were confronted by a different process of meticulous programming, stamping of punch-cards or tapes and plotting. Ivan E. Sutherland wrote of these processes: "[We] were writing letters to rather than conferring with our computers."¹⁸ By contrast, Alsleben and Passow, working at the analogue computer, could observe the pen as it moved over the plotter paper directly after input. As Alsleben explained in retrospect, he experienced the production of graphics as a communicative process between the "thought machine" and himself, throwing the traditional roles of the artist and the artwork into question: "The artist awaited output and an artwork did not emerge."¹⁹

Starting out from completely different questions, the above-mentioned hybrid digital-analogue system developed by Otto and Oskar Beckmann intended the artist to see

ben sofort sehen und darauf reagieren konnte [s. S. 310].²⁰ „Die schöpferischen Impulse“, so Otto Beckmann, „kommen [...] sowohl vom Programm als auch auf dem Wege der Rückkoppelung in die Maschine.“²¹

Alsleben publizierte vier der fünf am *DESY* entstandenen Bilder erstmals 1962 in seinem Buch *Aesthetische Redundanz* – möglicherweise die erste Publikation künstlerischer Computergrafik in einem im Kunstkontext rezipierten Buch. Er notierte dazu im Bilduntertitel: „Bildrealisationen durch elektronische Rechenanlagen werden sich nicht darauf beschränken, den grafischen Reiz eines automatischen Schreibers [...] zu nutzen.“²² Vielmehr würde auch der Bildgegenstand, zum Beispiel die Lösung einer Differenzialgleichung, an Bedeutung gewinnen. „Der Betrachter wird Kurven und ihre Parameterveränderungen zu beobachten lernen.“

Der Rechner schien die Möglichkeit bereitzuhalten, die Künste nicht allein mit einem neuen Produktionsverfahren zu bereichern, sondern auch durch neue Bildwelten, durch eine mathematisch-maschinelle Ikonografie.

Für die künstlerische Arbeit der nachfolgenden Jahrzehnte zog Alsleben aus seiner Auseinandersetzung mit Computer, Kybernetik und Informationstheorie jedoch deutlich andere Schlüsse. Statt eine werkzentrierte Idee des Computers als bildgenerierende Maschine zu verfolgen, entwickelte er zusammen mit Antje Eske kommunikative künstlerische Konzepte – Konversation als Kunst.²³

Abstraktion und Visualisierung

Die grafische oder bildliche Darstellung von Funktionen, Modellen oder Daten ist Teil der Geschichte der Wissenschaften. Den Reichtum der Visualisierungen in Mathematik und Physik und die zu diesen

the effects of his input immediately, thus being able to react to them [see p. 310].²⁰ "The creative impulses", according to Otto Beckmann, "come [...] from the programme, but also through the feedback into the machine."²¹

Alsleben published four of the five images made at the *DESY* for the first time in his book *Aesthetische Redundanz* (1962) – possibly the first book publication of artistic computer graphics to be received in the art context. In his captions to these, he noted: "Realisations of images using electronic computing apparatus will not restrict themselves to exploiting the graphic impulses of an automatic recorder."²² Far more, he maintained that the object of the image – the solution to a differential equation, for example – would also gain in significance. "The viewer will learn to observe curves and alterations to their parameters."

The computer seemed to offer a possibility to enhance the arts, not only with a new production process, but also with new pictorial worlds; a mathematical-mechanical iconography.

However, Alsleben obviously drew different conclusions for his subsequent artistic work from these investigations into the computer, cybernetics and information theory. Rather than following up a work-focused concept of the computer as an image-generating machine, he went on, together with Antje Eske, to develop communicative artistic concepts – conversation as art.²³

Abstraction and visualisation

Graphic or pictorial representation of functions, models or data is part of the history of the sciences. For example, Walther Franz

Zwecken entwickelten Zeichenmaschinen zeigte beispielsweise Walther Franz Anton Ritter von Dyck 1892 mit einer an der Königlichen Technischen Hochschule München organisierten Ausstellung. Hier präsentierte er über 500 Exponate: Rechenmaschinen, geometrische Modelle, Zeichnungen, Mess- und Zeicheninstrumente.²⁴

Bereits Ende der 1950er Jahre eröffnete die Grafik des Computers den Wissenschaftlern neue Formen der Anschaulichkeit, durch die Darstellung von Prozessen in der Zeit. Die Computergrafik ist in ihren Anfängen dynamisch, die Bewegung folgt dem Verlauf der Rechenprozesse. Bereits 1949 schrieb Charles Adams für den *Whirlwind*-Computer das „Bouncing Ball Program“, die Lösung dreier Differenzialgleichungen. Die Simulation wurde noch im gleichen Jahr zu einem Spiel erweitert. Der Spieler musste die richtige Frequenz einstellen, damit der hüpfende Ball das Loch im Boden traf.²⁵ Die animierte Computergrafik als Film, wie sie ab Anfang der 1960er Jahre in den USA möglich wurde, schien besonders für jene Phänomene geeignet, die aufgrund ihrer Zeit oder Raumskala oder ihrer unsichtbaren Natur nicht direkt beobachtbar waren. Planeten bewegen sich zu langsam, Saiten vibrieren zu schnell, elektromagnetische Wellen sind unsichtbar.²⁶ Interessant waren leicht varierende Phänomene mit iterativem Charakter sowie gewisse Zufallsprozesse. Was Physiker oder Mathematiker bis dahin imaginierten, konnte nun visualisiert werden, zumindest an den großen amerikanischen Forschungslabors, wie Los Alamos Scientific Laboratories oder Lawrence Livermore National Laboratory. An den Bell Research Laboratories realisierten unter anderem Edward Zajac, Frank Sinden, A. Michael Noll [s. S. 444–447] und Kenneth C. Knowlton [s. S. 394 f.] Computeranimationen, wobei Knowlton 1963 eine spezifische Sprache für das Produzieren von Computer-

Anton Ritter von Dyck showed the wealth of visualisations in mathematics and physics, and the drawing machines developed for the purpose in an exhibition organised at the Royal Technical College in Munich in 1892. He presented over 500 exhibits: calculating machines, geometric models, drawings and instruments for measuring and drawing.²⁴

At the end of the 1950s, computer graphics had already opened up new forms of clear presentation for the scientists by depicting processes in time. At the beginning, computer graphics were dynamic, their movement following the course of the computing processes. As early as 1949, Charles Adams wrote the “Bouncing Ball Program”, the solution of three differential equations, for the *Whirlwind* computer. The simulation was extended into a game later in the same year; players had to tune into the correct frequency so that the bouncing ball hit the hole in the floor.²⁵ Animated computer graphics as a film, which became a possibility in the USA at the beginning of the 1960s, appeared particularly suitable for phenomena that could not be observed directly as a result of their scale in time or space, or their invisibility; planets move too slowly, strings vibrate too quickly, electromagnetic waves are invisible.²⁶ Interesting phenomena were those that varied slightly and were iterative in character, as well as certain random processes. Now what physicists or mathematicians had been compelled to imagine before could be visualised, at least in the large American research laboratories such as Los Alamos Scientific Laboratories or Lawrence Livermore National Laboratory. At Bell Research Laboratories, among other things, Edward Zajac, Frank Sinden, A. Michael Noll [see pp. 444–447]

animationen entwickelte, BEFLIX, ein Kürzel für „Bell Flicks“, umgangssprachlich für „Bell Filme“.

Produziert werden konnten derartige Filme durch große Rechenkapazitäten und Ausgabegeräte wie den Stromberg-Carlson 4020 Microfilm Printer. Der Drucker bestand aus einer über einer Kathodenstrahlröhre fixierten Filmkamera, deren Filmtransport durch ein Unterprogramm kadergenau gesteuert wurde. In weniger als zehn Minuten konnte eine Minute Film mit 16 Bildern pro Sekunde produziert werden. Verbunden mit der Faszination der Filmherstellung, galt das Lob den niedrigen Kosten, der Reduktion von menschlicher Arbeitszeit pro Filmminute: „New Microfilm Printer does work of 25 men at 1/2 the cost“, warb Stromberg-Carlson Anfang der 1960er Jahre. Für Wissenschaftler wie Edward Zajac, der in „simulation of a two-gyro, gravity-gradient attitude control system“²⁷ einen um die Erde kreisenden Satelliten animierte, war der Computer ein Produktionsmittel, das ihm eine neue Unabhängigkeit erlaubte – ein Effekt, von dem Künstler erst viele Jahre später profitieren sollten. Der Wissenschaftler oder Ingenieur selbst könnte zum Filmemacher werden. „without having to attach himself to a large film making project of animators, directors, producers, etc.“

Künstler hatten in den 1960er Jahren kaum Zugang zur Rechnerkapazität, die aufwendige visuelle Simulationen erlaubte. Zu den wenigen Künstlern, die zumindest ihre Visionen einer künstlerischen Computersimulation dokumentierten, zählt Charles A. Csuri [s. S. 330 f.]. Er formulierte in einem Forschungsantrag an die National Science Foundation 1968 die Idee, eine Landschaft im Computer zu implementieren, in der einzelne Charakteristika wie beispielsweise Windgeschwindigkeit, Temperatur und Tageslicht manipuliert werden

and Kenneth C. Knowlton [see p. 394 f.] realised computer animations; Knowlton had developed a specific language for their production in 1963 – this was called BEFLIX, an abbreviation of “Bell Flicks”, the colloquial version of “Bell Films”.

Large calculating capacity and output equipment such as the Stromberg-Carlson 4020 Microfilm Printer made it possible to produce films of this kind. The printer consisted of a film camera fixed above a cathode-ray tube, a sub-programme controlling the transport of the film frame by frame. A minute of film with 16 images per second could be produced in less than ten minutes. Not only was the speed and precision of this film production fascinating, the low costs and reduction of human labour per film minute were also applauded: “New Microfilm Printer does work of 25 men at 1/2 the cost”, to cite Stromberg-Carlson’s advertising at the beginning of the 1960s. For scientists like Edward Zajac, who – in “simulation of a two-gyro, gravity-gradient attitude control system”²⁷ – animated a satellite orbiting the earth, the computer was a means of production offering new independence – an effect that artists only profited from many years later. The scientist or engineer himself could become a filmmaker, “without having to attach himself to a large filmmaking project of animators, directors, producers, etc.”

In the 1960s, artists rarely had access to computing capacity that would allow complex visual simulations. Charles A. Csuri [see p. 330 f.] was one of the few artists to at least document his vision of an artistic computer simulation. In a research application to the National Science Foundation in 1968, he formulated the idea of implementing a landscape on the computer in which

könnten. Das Bild als Teil eines dynamischen Systems, mit mehreren Informationsebenen, sollte die Möglichkeiten künstlerischen Ausdrucks erweitern,²⁸ der Künstler das „Funktionelle“, die „Vorgeschichte des Sichtbaren“ erfassen, wie Paul Klee es formuliert hatte²⁹.

Computergestützte Gestaltung

Ivan E. Sutherland betonte bereits 1963: „It is only worthwhile to make drawings on the computer if you get something more out of the drawing than just a drawing.“³⁰ In dem Artikel Sketchpad, aus dem das Zitat stammt, beschreibt er ein „Man-Machine Graphical Communication System“, ein System mit einer light pen und einer speziellen Software. Sketchpad solle es nicht nur erlauben, zeichnend mit dem Computer zu interagieren, sondern der Ingenieur sollte die gezeichneten Verbindungssysteme oder Schaltkreise sofort in ihrer Funktion simulieren können. Sutherlands Vorschlag für eine künstlerische Anwendung, ein animiertes Frauenporträt³¹, erfuhr selbst als Referenz in der Computerkunst jedoch keine Aufnahme.

Die Computergrafik sollte im Bereich der Ingenieurtechnik und des industriellen Designs die Arbeit an technischen Zeichnungen präzisieren und beschleunigen sowie das Verständnis von Abläufen durch Visualisierungen vertiefen. Unter der Leitung des Grafikdesigners William A. Fetter entwickelte die Boeing Company Anfang der 1960er Jahre ebenfalls ein System, das heute mit dem Begriff CAD (Computer Aided Design) benannt würde. Fetter und seine Mitarbeiter produzierten Zeichnungen und Filme mit dreidimensionalen Kantenmodellen von Flugzeugen, Cockpits, Landschaften und Piloten [z. B. Kat. Nr. 66], insbesondere auch Simulationen von Landeanflügen. „[T]he engineer finds that

individual characteristics such as wind speed, temperature and daylight could be manipulated. As part of a dynamic system with several levels of information, the image ought to extend the possibilities of artistic expression,²⁸ realising the “functional”, the “pre-history of the visible” for artists, as Paul Klee put it²⁹.

Computer Aided Design

Ivan E. Sutherland had already emphasised in 1963: “It is only worthwhile to make drawings on the computer if you get something more out of the drawing than just a drawing.”³⁰ In the article Sketchpad from which this quotation originates, he describes a “Man-Machine Graphical Communication System”, a system consisting of a light pen and special software. The aim of Sketchpad was to enable the user not only to interact with the computer while drawing; the engineer should also be capable of immediately simulating the connecting systems or switching circuits drawn, together with their function. However, Sutherland’s suggestion for artistic application, an animated portrait of a woman³¹, did not even enter Computer Art as a reference.

Computer graphics were intended to make work on technical drawings in the fields of engineering technology and industrial design more precise and fast, and to provide more insight into and understanding of processes by means of visualisations. Under the direction of the graphic designer William A. Fetter, the Boeing Company also developed a system, at the beginning of the 1960s, which would be known today as CAD (Computer Aided Design). Fetter and his colleagues produced drawings and films

communication itself is one of the most important tasks³² – die Bilder sollten die Kommunikation zwischen einer steigenden Anzahl von Spezialisten entscheidend erleichtern und die Formfindung durch Variation ermutigen – sie zielten auf die Optimierung von Informationsvermittlung und Kreation.³³ Fetters für das Design von Cockpits konstruiertes Kantenmodell eines Mannes, *Man*, zählt zu den am häufigsten publizierten Bildern im Kontext der Computerkunst und zu den wenigen Beispielen einer dreidimensionalen Nachbildung der äußeren Welt.³⁴

Bildverarbeitung

Doch nicht nur am Computer erzeugte Zeichnungen, sondern auch fotografisch aufgenommene und dann gescannte Bilder wurden am Computer prozessiert. Das Picture Processing fand Anwendung in den unterschiedlichsten Bereichen, unter anderem der Astronomie, Biologie, Physik und Medizin. Große Anstrengung wurde unter anderem in die Erforschung der Kompression von Fernsehbildern investiert. Die Wissenschaftler und Ingenieure suchten zwischen den technisch-ökonomischen Anforderungen – Reduktion der Information, die gespeichert oder übertragen werden muss – und denen der menschlichen visuellen Wahrnehmung zu vermitteln: „It is said that a picture is worth a thousand words. [...] One Picture ~ 4 · 10⁶ bits [...]“, formulierte dies 1967 Sullivan Campbell, Mitarbeiter der Xerox Corporation.³⁵ „Another way of putting it would be, ‘One picture is worth five minutes on a telephone line’, or ‘One picture is worth 10 seconds Telpac C’, which gives some idea of what it costs to move pictures around in a hurry.“ Im Fokus ist hier nicht mehr die semantische Information des Bildes, seine Bedeutung, sondern die Information im Hinblick

with three-dimensional wire frame models of planes, cockpits, landscapes and pilots [e.g. cat. no. 66], in particular simulations of landing approaches. “[T]he engineer finds that communication itself is one of the most important tasks³² – the purpose of the images was to simplify communication between a growing number of specialists in a decisive way and to encourage form-finding by means of variation – they were aimed at optimising information transfer and production.³³ Fetter’s wire frame model of *Man*, constructed for the design of cockpits, is one of the most frequently published images in the context of Computer Art, and also a rare example of a three-dimensional reproduction of the external world.³⁴

Picture Processing

Not only drawings produced on the computer, but also images taken by photographic means and subsequently scanned were processed using the computer. Picture Processing was applied in a huge range of fields, including astronomy, biology, physics and medicine. Among other things, great effort was invested in research into the compression of TV images. Scientists and engineers attempted to mediate between technical-economic demands – reduction of the information that had to be stored or transmitted – and those of human visual perception: “It is said that a picture is worth a thousand words. [...] One Picture ~ 4 · 10⁶ bits [...]“, as Sullivan Campbell, an employee of the Xerox Corporation expressed the task in 1967.³⁵ “Another way of putting it would be, ‘One picture is worth five minutes on a telephone line,’ or ‘One picture is worth 10 seconds Telpac C,’ which gives

auf ihre technische Speicherung und Transmission. Die Bedingungen der Maschinen veränderten die Wahrnehmung des Bildlichen.

Nachdem bereits 1965 die *Digital Mona Lisa* von H. Philip Peterson das Cover von *Computers and Automation* zierte, tauchten um 1968 die ersten „prozessierten“ Bilder im Kunstkontext auf. Die Bildausgabe über Plotter war langwierig und Grauwerte konnten nur über Ziffern annähernd wiedergegeben werden. Peterson, zu dieser Zeit an den Control Data Corporation Digigraphics Laboratories tätig, brauchte 16 Stunden, um den aus tausenden von Ziffern zusammengesetzten *Digital Norbert Wiener* auf einem Calcomp 564 Plotter auszudrucken [vgl. Kat. Nr. 1]. Die Mitarbeiter der Bell Research Laboratories hingegen konnten mittels eines Microfilm Printers – der wie die Displays des SAGE-Systems mit einem *Charactron* ausgestattet war – Bilder in höchster Geschwindigkeit aus einzelnen Symbolen zusammensetzen. Raffiniert spielte beispielsweise Manfred R. Schroeder mit *Eye* auf das Verhältnis von Sehen und Lesen, Bild und alphanumerischen Zeichen und ihren informationellen Bedingungen an, sich aus anderer Perspektive auf das gleiche Sprichwort wie Campbell beziehend: Durch - computergesteuerte Mehrfachbelichtung des Textes „One Picture is Worth a Thousand Words“ reproduzierte Schroeder ein zuvor digitalisiertes Foto eines Auges.³⁶ Knowlton und Leon Harmon setzten *Mural*, ein prozessiertes Aktfoto der Tänzerin Debora Hay, aus technischen Zeichen zusammen. Die Anordnung von Multiplikations- und Divisionszeichen, Symbolen für Transistoren, Zenerdioden und Widerständen war das erste „fotografische“ Bild eines weiblichen Aktes, das auf die Seiten der *New York Times* gelangte.

some idea of what it costs to move pictures around in a hurry.” Here, the focus is no longer on the image’s semantic information, its meaning, but on information with a view to its technical storage and transmission. The conditions of the machines lead to altered perceptions of the pictorial.

After the *Digital Mona Lisa* by H. Philip Peterson had adorned the cover of *Computers and Automation* in 1965, the first “processed” images appeared in the art context around 1968. Image output through plotters was long and complicated, and grey tones could only be reproduced anything like accurately by using numbers. Peterson, who was working at the Control Data Corporation Digigraphics Laboratories at that time, needed 16 hours using a Calcomp 564 plotter to print out a *Digital Norbert Wiener* composed of thousands of numbers [see cat. no. 1]. The employees of Bell Research Laboratories, by contrast, could use a microfilm printer – which, like the display of the SAGE system, was equipped with a *Charactron* – to compose images from individual typeset characters at top speed. Ingeniously, Manfred R. Schroeder – in *Eye*, for example – played with the interrelations of seeing and reading, image and alphanumerical signs, and their informational specifics, referring to the same adage as Campbell, though from a different perspective: by means of computer-controlled multiple exposure of the text “One Picture is Worth a Thousand Words”, Schroeder reproduced a previously digitalised photo of an eye.³⁶ Meanwhile Knowlton and Leon Harmon composed a processed nude photo of the dancer Debora Hay, *Mural*, from technical symbols. This arrangement of multiplication and division

Zufallsentscheidungen

Wesentlich für die Erzeugung dieser Bilder waren Zufallsprozesse. Jedem Grauwert wurden ein oder mehrere Zeichen zugewiesen, die dann, von einem Pseudo-Zufalls-Generator gesteuert, ausgewählt und eventuell zusätzlich gedreht wurden. Der Computer nahm dem Programmierer tausende von Einzelentscheidungen ab.

Diese spezifische Möglichkeit des Computers, Pseudo-Zufalls-Zahlen zu erzeugen und in den Rechenprozess einzubeziehen, war für die Computergrafik in unterschiedlichsten Bereichen von zentraler Bedeutung, sowohl in den Naturwissenschaften als auch in der Nachrichtentechnik, beispielsweise für die kontrollierte Erzeugung von Rauschen. Mit einem Generator „gute“ Pseudo-Zufalls-Zahlen zu erzeugen, das heißt Zahlensequenzen, die keine wahrnehmbaren Muster aufweisen, stellte Mathematiker und Programmierer vor eine anspruchsvolle Aufgabe, oder wie John von Neumann sagte: „Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is, of course, in a state of sin. For [...] there is no such thing as a random number – there are only methods to produce random numbers [...]“³⁷.

Ein Beispiel für die Verwendung von Zufallszahlen für visuelle Experimente in der wissenschaftlichen Forschung, die 1965 auch im Kunstkontext auftauchten,³⁸ waren die Random Dot Bilder von Carol Bosche und Bela Julesz am Behavior Research Department der Bell Research Laboratories. Bosche und Julesz erzeugten Strukturen durch Zufallsverteilungen von Punkten, kombiniert mit Symmetrie und Periodizität.³⁹ Während Julesz und Bosche den Zufall nicht ästhetisch konzeptionell einsetzten, nutzten fast alle künstlerischen Experimente mit der Erzeugung von Computergrafik auf Digitalrechnern in den 1960er Jahren den Pseudo-Zufall auch auf

signs, symbols for transistors, zener diodes and resistances was the first ‘photographic’ image of a female nude to make it onto the pages of the *New York Times*.

Random decisions

Random processes were essential to the creation of these images. One or more symbols were allocated to every shade of grey; they were then controlled, selected and sometimes also rotated by a pseudo-random generator. The computer took over thousands of individual decisions from the programmer.

The computer’s specific capacity to generate pseudo-random numbers and include them in the computing process was of key importance to computer graphics in various fields, both in the natural sciences and communications engineering, for the controlled induction of noise, for instance. To create “good” pseudo-random numbers – i.e. sequences of numbers that display no perceptible pattern – with the generator was a challenging assignment for mathematicians and programmers, or as John von Neumann put it: “Anyone who considers arithmetical methods of producing random digits is, of course, in a state of sin. For [...] there is no such thing as a random number – there are only methods to produce random numbers [...]“³⁷.

One example of the use of random numbers for visual experiments in scientific research, which also appeared in the art context in 1965,³⁸ was the Random Dot Pictures made by Carol Bosche and Bela Julesz at the Behavior Research Department of the Bell Research Laboratories. Bosche and Julesz created structures using random

dieser Ebene: zur Überwindung individueller Gestaltungspräferenzen und zur Einführung eines Überraschungsmomentes, um ein Programm systematisch auszuloten. Formen können endlos variiert, Elemente auf dem Blatt verteilt, rotiert und skaliert werden. Der künstlerische Akt umfasst nicht nur die Definition der Elemente und der darauf angewandten Regeln, des Algorithmus, sondern auch, als Teil des Programms, die Definition des Raums, der dem Zufall eingeräumt wird.

In seiner ästhetischen Funktion sorgt der Zufallsgenerator, so der Philosoph Max Bense, dafür, dass in der programmierten Kunst jene „Unvorhersehbarkeit“ mitspielt, die Bense als Kriterium des Kunstwerks ansieht. Ein Künstler habe zwar ein „makro-ästhetisches Konzept“ seines Gemäldes, aber erst, wenn er den letzten Pinselstrich getan hat, weiß er, wie die „mikroästhetischen“ Einzelheiten aussehen. „Kunst beruht auf dem frivolen Wesen der Überraschung“, so Bense.⁴⁰

Für gewünschte Störung von individuellen Gestaltungspräferenzen oder, positiv formuliert, die Erzeugung von Formen, die der Künstler so nicht imaginiert hätte und die ihn selbst überraschten, wurden Zufallsoperationen ebenso verwendet wie rein permutative Programme. Das Abgeben von Einzelentscheidungen an den Computer durch ein vorher etabliertes Programm und das damit veränderte Konzept von Autorschaft hatte Vorläufer in der Kunst des 20. Jahrhunderts, beispielsweise bei Hans Arp, unterschied sich jedoch als mathematischer Zufall durch seine Präzision und seinen Determinismus. Es faszinierte der Umschlag von Statistik in Ereignis, die Rolle des Möglichen, die Potenzialität im statistisch Gegebenen.

Die Einbeziehung des errechneten Zufalls, die Geschwindigkeit und die Fehlerfreiheit des Computers und die Möglichkeit des Testens und Modifizierens von Pro-

arrangements of dots, combined with symmetry and periodicity.³⁹ While Julesz and Bosche did not employ randomness in an aesthetically conceptual manner, almost all artistic experiments using digital computers to create computer graphics in the 1960s employed pseudo-randomness also on this level: to overcome individual design preferences and introduce the aspect of surprise, so plumbing a programme systematically. Forms may be varied endlessly, elements arranged, rotated and scaled on the sheet of paper. The artistic act not only comprises the definition of elements and the rules applied to them – of the algorithm –, but also a definition of the space granted to chance as part of the programme.

In this aesthetic function, according to the philosopher Max Bense, the random generator ensures that the “unpredictability” which Bense regards as a criterion of the artwork plays a part in the programmed work of art. An artist has a “macro-aesthetic concept” of his painting, certainly, but only when he has completed the last brushstroke does he know what the “micro-aesthetic” details will look like. According to Bense, “Art is founded on the frivolous nature of surprise”.⁴⁰

Random operations were used to the same extent as programmes of pure permutation in order to disrupt individual design preferences or, put in more positive terms, to create forms which the artist had not imagined as such and which also surprised him. Placing individual decisions in the hands of the computer by means of a prefixed programme and the alterations to the concept of authorship thereby implied was not new in the art of the 20th century – there are examples in the work of Hans Arp,

grammen ermöglichte zudem eine systematische künstlerische Recherche. Künstler und Wissenschaftler folgten hier einer ähnlichen Faszination im Hinblick auf die Mechanisierung „intellektueller Aufgaben“, wie es Edmund C. Berkeley, Herausgeber der Zeitschrift *Computers and Automation*, formulierte: „with computers a proposed theory [...] can be tried out by the hundreds and thousands of cases, to see how it works“.⁴¹ Und er beschließt seine Argumentation mit einem Zitat von John Ruskin: „The work of science is to substitute [...] demonstrations for impressions.“

Computergrafik als Computerkunst

Die bildende Kunst entdeckte den Computer als künstlerisches Medium spät.⁴² Musik und Literatur, deren Noten und Buchstaben als „diskrete“ Einheiten und in ihren Zusammenhängen leicht manipulierbar sind, suchten früher Zugang zu dem neuen Medium. Bereits 1957 vollendete Lejaren Hiller an der University of Illinois at Urbana-Champaign das Quartett Nr. 4 für Streicher, die unter Verwendung des Rechners *Illiacc* erzeugte Komposition, die als *Illiacc Suite* bekannt wurde.⁴³ Poeten und Literaturwissenschaftler hatten die zeichenprozessierende Maschine ebenfalls in den 1950er Jahren entdeckt.⁴⁴ Nachdem Christopher Strachey bereits 1952 auf dem Manchester University Computer Liebesbriefe hatte generieren lassen⁴⁵, erzeugte beispielsweise Brian Gysin 1959 mit Hilfe von Ian Sommerville computer-permutierte Gedichte und im gleichen Jahr ließ Theo Lutz einen Zuse Z22 Rechner eine Auswahl von Wörtern stochastisch rekombinieren. Die 16 Subjekte und 16 Prädikate hatte er Franz Kafkas *Das Schloss* entnommen: „[...] Nicht jeder Blick ist nah. Kein Dorf ist spät. / Ein Schloss ist frei und jeder Bauer ist fern [...]“.⁴⁶

for instance – but the difference lay in the level of precision and determinism involved in mathematical randomness. The fascinating aspect here was the development of statistics into event; the role of the conceivable, the potentiality of statistical givens.

The inclusion of calculated chance and the computer's speed and lack of errors, along with the possibility of testing and modifying programmes, also facilitated systematic artistic research. A similar fascination drove artists and scientists with respect to the mechanising of “intellectual tasks”, as Edmund C. Berkeley, editor of the magazine *Computers and Automation*, explains: “with computers, a proposed theory [...] can be tried out by the hundreds and thousands of cases, to see how it works“.⁴¹ And he concludes his argument with a quotation from John Ruskin: “The work of science is to substitute [...] demonstrations for impressions.“

Computer graphics as Computer Art

Fine art was late to discover the computer as an artistic medium.⁴² Music and literature, the notes and letters of which are easily manipulated, both as “discrete” units and within their relations, were quicker to seek access to the new medium. As early as 1957, Lejaren Hiller – at the University of Illinois at Urbana-Champaign – completed his Quartet No. 4 for Strings, a composition created with the aid of the computer *Illiacc* that became well-known later as the *Illiacc Suite*.⁴³ Poets and literary theorists had also discovered the sign-processing machines during the 1950s.⁴⁴ Christopher Strachey generated loveletters on Manchester University's Computer as early as 1952⁴⁵, and in

Nachdem 1965 die wahrscheinlich erste Ausstellung im künstlerischen Kontext in Stuttgart stattgefunden hatte, folgten allein bis 1970 über 30 Ausstellungen auf dem europäischen Kontinent, in Großbritannien, den USA, Lateinamerika und Japan. Die Zeitschrift *Computers and Automation* hatte zwar bereits 1963 erstmalig einen Wettbewerb für „Computer Art“ ausgeschrieben, gehörte jedoch nicht zum Kunstsystem und war dadurch kein Organ der Durchsetzung computergenerierter Artefakte als Kunst. Es waren vielmehr Theoretiker und Kuratoren wie Max Bense, Jack Burnham, Pontus Hultén, Jorge Glusberg, Boris Kelemen, Matko Meštrović, Abraham A. Moles, Radoslav Putar, Jasia Reichardt, Käthe Clarissa Schröder, Howard Wise und Jiří Valoch, die mit großer Neugierde durch Ausstellungen und Publikationen computergenerierte oder -kontrollierte Artefakte in den Kunstkontext holten, die mehrheitlich in einem technischen oder wissenschaftlichen Kontext entstanden waren.

Die theoretischen Ansätze waren vielfältig, meist jedoch verbunden mit einer historischen Genealogie der Geschichte der Rechenmaschinen, Automaten und der Mathematik, ohne sich dabei jedes Mal notwendig auf die von Charles Percy Snow ausgelöste Debatte über die *Two Cultures* zu beziehen.⁴⁷ Die im Zusammenhang mit der Computerkunst entwickelten Medien- und Kulturgeschichten umfassten mit Rechenmaschine und Webstuhl die Vorläufer des Computers, erläuterten das binäre System von Leibniz, die Boolesche Logik, die Verwendung von Mathematik in den Künsten der Renaissance und die spektakulären musizierenden und schreibenden Automaten des 18. Jahrhunderts. Ein medien- und kunsthistorischer Diskurs, beispielsweise bei Jasia Reichardt und Pontus Hultén, verband sich bei Käthe Clarissa Schröder mit der Geschichte der

1959, Brian Gysin, assisted by Ian Somerville, composed computer-permuted poems. In the same year, Theo Lutz had a Zuse Z22 computer recombine a selection of words stochastically. He had taken the 16 nouns and 16 predicates from Franz Kafka's *The Castle*: "[...] Not every view is close. No village is late. / A castle is free and every peasant is distant [...]"⁴⁶

After what was probably the first exhibition in the artistic context had taken place in Stuttgart in 1965, there followed more than 30 exhibitions on the European continent, in Great Britain, the USA, Latin America and Japan in the short time until 1970. The magazine *Computers and Automation* had already launched a competition for "Computer Art" in 1963, certainly, but it was not part of the art system and thus not an organ capable of attesting art-status to computer-generated artefacts. Instead, theorists and curators such as Max Bense, Jack Burnham, Pontus Hultén, Jorge Glusberg, Boris Kelemen, Matko Meštrović, Abraham A. Moles, Radoslav Putar, Jasia Reichardt, Käthe Clarissa Schröder, Howard Wise and Jiří Valoch demonstrated the necessary curiosity to fetch computer-generated or controlled artefacts into the art context through exhibitions and publications, although the majority of those artefacts had been produced in a technical or scientific context.

The theoretical starting points were diverse, but they were usually associated with an historical genealogy of computing machines, automata and mathematics, without always necessarily referring to the debate on the *Two Cultures* triggered by Charles Percy Snow.⁴⁷ The media and culture histories developed in conjunction with

Mathematik; Franke entritt die Geschichte des apparativen Bildes in Kunst und Wissenschaft dem Vergessen; Max Bense legte eine Geistesgeschichte der Kunst- und Naturwissenschaften an. Diese Diskurse eröffneten einen medien- und geistesgeschichtlichen Horizont, der die elektronischen Künste langfristig von den traditionellen Künsten nicht nur unterscheiden, sondern auch trennen würde.

Entmystifizierung der Kunst, Aufwertung der Kunst im Verhältnis zu den Natur- und Ingenieurwissenschaften, Emanzipation des Individuums durch die bewusste und konstruktive Teilhabe an der technisch-wissenschaftlichen Zivilisation und Demokratisierung der Kunst unter den Bedingungen der Konsumgesellschaft waren die utopischen Motive, die im Zusammenhang mit Computerkunst in unterschiedlichen Begriffen in Europa und den USA formuliert wurden.

Computerkunst stand paradigmatisch für eine Kunst, deren Form und Herstellung rational beschreibbar sein sollte. Dies widersprach dem Geniebegriff der Kunst und ihrer Funktion in der Nachfolge sakraler Praktiken. Eine generelle Ablehnung von Seiten der Künstler und Kunstkritiker ließ sich daraus jedoch nicht ableiten. Anfang der 1960er Jahre regte sich weltweit Widerspruch gegen den abstrakten Expressionismus, Informel und Tachismus – so entwickelte sich die amerikanische Pop Art, der Neokonstruktivismus, die Kinetik und Phänomene, die 1964 unter dem Begriff Op Art zusammengefasst werden sollten. Diese Bewegungen waren gekennzeichnet von „the change of attitude on the part of the artist, now searching for impersonal art, anti-individual, far from pain, passions, and torment. [...] Solutions [were] sought externally and not internally.“⁴⁸

Eine dieser Bewegungen, die *Neuen Tendenzen*, versuchte explizit, den Compu-

Computer Art encompassed precursors to the computer – e.g. the calculator and loom –, explained Leibniz' binary system, Boolean logic, the use of mathematics in the arts of the Renaissance, and the spectacular 18th century automata that had played music or been able to write. Discourse on the history of media and art, for example in the work of Jasia Reichardt and Pontus Hultén, was combined with the history of mathematics in Käthe Clarissa Schröder's case; Franke traced the past of the machine image in art and science; Max Bense constructed an intellectual history of art and natural scientific theory. These debates opened up the horizon of media and arts history in a way that was – in the long term – not only to differentiate, but also to separate the electronic from the traditional arts.

The demystification of art, the reevaluation of art in relation to the natural and engineering sciences, the emancipation of the individual by means of conscious, constructive participation in technical-scientific civilisation, and the democratisation of art under the conditions of a consumer society were the utopian motives formulated in various concepts associated with Computer Art in Europe and the USA.

Paradigmatically, Computer Art stood for an art that aimed to be rationally explicable in both form and production. This contradicted the concept of genius in art and its function as a successor to religious practices. However, this does not signify a general rejection on the part of artists and art critics. At the beginning of the 1960s, world-wide antagonism emerged towards Abstract Expressionism, Informel and Tachism – leading to the development of American Pop Art, Neo-Constructivism,

ter als künstlerisches Medium in dieses Programm zu integrieren. Die Ausstellungsreihe bzw. Bewegung hatte sich 1961 in Zagreb konstituiert.⁴⁹ Die *NT*, auch als *Nouvelle Tendance* bezeichnet, umfasste Gruppen und Künstler aus ganz Europa. Ihre unterschiedlichen Ausrichtungen können, bei aller Uneinheitlichkeit, mit den Begriffen konkrete, neokonstruktivistische und kinetische Kunst sowie Arte Programmata und Op Art etikettiert werden.

Nach einer deutlichen Krise im Jahr 1965 entschieden sich die Organisatoren auf Anregung von Abraham A. Moles, für die vierte Ausstellung *tendencije/tendencies 4* ihr Konzept der „künstlerischen Forschung“ um den Computer zu bereichern. Kolloquium, Symposium und Ausstellungen der Jahre 1968 und 1969 unter dem Titel *Computers and Visual Research* sowie die Zeitschrift *bit international* dokumentieren einen beispielhaften Versuch, das neue Medium in den Kunstkontext zu integrieren. „Many followers of the NT have tried to give their work the habit of the machine or else they have based their procedures on the use of mechanical or electrical devices; they have all dreamt of the machines – and now the machines have arrived.“⁵⁰ Der Computer wurde aufgenommen in das Arbeitsprogramm einer Entmystifizierung der Kunst und der künstlerischen Kreation, das auf einer positiven Einstellung zu den Wissenschaften und Vertrauen in die verwandelnde Kraft der Technologie und Industrialisierung basierte, wie der kroatische Kunstkritiker Matko Meštrović dies 1963 formulierte. Die „visuelle Forschung“ sollte „die objektiven geistigen/physikalischen Grundlagen plastischer Phänomene und visueller Wahrnehmung bestimmen, „thus excluding a priori any possibility of interference by subjectivism, individualism, and romanticism, which burden all traditional aesthetics theories.“⁵¹ In diesen Formulierungen zei-

Kinetics and phenomena that were subsumed under the term Op Art in 1964. These movements were characterised by “the change of attitude on the part of the artist, now searching for impersonal art, anti-individual, far from pain, passions, and torment. [...]Solutions [were] sought externally and not internally.“⁴⁸

One of these movements, the *New Tendencies*, attempted an explicit integration of the computer into this programme. The movement or series of exhibitions was constituted in Zagreb in 1961.⁴⁹ The *NT*, also known as *Nouvelle Tendance*, included groups and artists from all over Europe. Its differing tendencies – despite the overall lack of unity – may be categorised as concrete, neo-constructivist or kinetic art, as well as Arte Programmata and Op Art.

After an obvious crisis in the year 1965, the organisers – inspired by Abraham A. Moles – decided to enhance their concept of “artistic research” by adding the computer for the fourth exhibition *tendencije/tendencies 4*. Colloquium, symposium, the exhibitions of the years 1968 and 1969, entitled *Computers and Visual Research*, and the magazine *bit international* document an exemplary attempt to integrate the new medium into the art context. “Many followers of the NT have tried to give their work the habit of the machine or else they have based their procedures on the use of mechanical or electrical devices; they have all dreamt of the machines – and now the machines have arrived.“⁵⁰ As the Croatian art critic Matko Meštrović put it in 1963, the computer was assimilated into a work programme aiming at the demystification of art and artistic creation, based on a positive attitude to the sciences and faith in the

gen sich deutliche Überschneidungen zum Denken Max Benses, das die Computerkunst in den 1960er und 70er Jahren entscheidend prägen sollte. Seine Informationsästhetik, die er von 1954 bis 1965 in seinen *Aesthetica*-Bänden publizierte, ist im größeren Rahmen, dem „methodischen Aufbau einer Zivilisation als technische Realität“⁵² zu sehen. Dieser „setzt eine rationale Naturbeschreibung voraus“: „Der menschliche Intellekt ist an Rationalität interessiert, sofern er an der Zukunft interessiert ist“.

Grundsätzlich knüpften die *Neuen Tendenzen* jedoch ihr Programm „Computer und visuelle Forschung“ an das Ideal eines „rationalen“ künstlerischen Produktionsprozesses an – die eigene Tradition der Untersuchung der Rezeption des Kunstwerkes dabei vernachlässigend. Das Konzept einer „Tätigkeit des Künstlers“, die „nicht in der Sphäre der unkontrollierten Eingebung, sondern von präzisen Kriterien bestimmt“ ist, wie es Karl Gerstner 1965 formulierte⁵³, oder François Morellets Idee der Programmierung eines Werkes, dessen Ausführung unter Ausschluss von Subjektivität erfolgt, fanden Wiederhall in den Zwängen und Möglichkeiten der Programmierung von Rechenmaschinen. Umberto Eco hatte die Idee der mathematischen Programmierung des Zufalls in der Kunst, von „Ereignisfeldern“, bereits 1962 für die von *Olivetti* finanzierte Ausstellung *Arte Programmata* in der Mailänder Galleria Vittorio Emanuele formuliert.⁵⁴

Die *Neuen Tendenzen* betonten die Demokratisierung von Kunst in zwei Aspekten: zum einen der Nachvollziehbarkeit und zum anderen des Zugangs zur Kunst, im Sinne einer Produktion von Kunstwerken für breite Bevölkerungsschichten, den kapitalistischen Kunstmarkt umgehend. Die Idee der *NT* einer Kunst bzw. eines Designs für breite Bevölkerungsschichten wurde ebenfalls für die „visuelle For-

transforming power of technology and industrialisation. “Visual research” was to determine “the objective intellectual/physical foundations of plastic phenomena and visual perception, thus excluding a priori any possibility of interference by subjectivism, individualism, and romanticism, which burden all traditional aesthetics theories.“⁵¹ These definitions obviously overlap into Max Bense’s ideas, which were to have a decisive influence on Computer Art during the 1960s and 70s. His information aesthetics, published in the volumes of *Aesthetica* from 1954 to 1965, must be seen in the wider context; in the “methodical construction of a civilisation as technical reality“⁵². This “presupposes a rational description of nature”: “The human intellect is interested in rationality insofar as it is interested in the future”.

Fundamentally, however, the *New Tendencies* linked their programme “Computers and Visual Research” to the ideal of a “rational” artistic production process – thereby neglecting their own traditional investigations into the reception of the artwork. The concept of an “artistic activity” that is “not determined in the sphere of uncontrolled inspiration, but by precise criteria” as Karl Gerstner expressed it in 1965⁵³, or François Morellet’s idea of programming a work that is realised with the exclusion of subjectivity, found echoes in the constraints and possibilities presented by the programming of computing apparatus. Umberto Eco had already formulated the idea of mathematically programming randomness in art – of “fields of incident” – for the exhibition entitled *Arte Programmata* in the Milan Galleria Vittorio Emanuele, financed by *Olivetti* in 1962.⁵⁴

schung“ mit dem Computer aufgegriffen. Die Anwendung von Pseudozufallszahlengeneratoren ermögliche, so Marc Adrian, die „Herstellung von Patterns, welche ihrerseits eine Vielfalt von Realisaten erlauben, die untereinander verschieden sind.“⁵⁵ Er stützte damit die Vision Moles, für den der Computer ein ideales Medium zu sein schien für „une société basée sur l'égalité des droits au Bonheur“ (eine Gesellschaft basierend auf der Gleichheit des Rechts auf Glück)⁵⁶. Jeder Konsument sollte im Kaufhaus eine individuelle Version eines Massenproduktes erwerben können.⁵⁷ Franke erwies sich auch hier als Visionär: Er skizzierte eine Gesellschaft, in der alle Häuser an einen Zentralcomputer angebunden und mit Bildschirmen ausgestattet sind, auf denen Computergrafiken betrachtet werden können. Im Sinne der Kritik der *NT* an dem Kult des Unikats, der Museumskunst und dem Kunstmarkt sollten „apperzeptive Prozesse möglichst vielen zugänglich“ gemacht werden.⁵⁸

In Zagreb wurde 1973 neben der Computerkunst auch Konzeptkunst ausgestellt. Doch die strukturelle Nähe der Algorithmen der Computerkunst zu den Handlungsanweisungen der Konzeptkunst wird nicht explizit thematisiert. Die Differenzen zwischen dem jeweiligen Interesse an der Untersuchung der Bedingungen der Produktion und Rezeption von Kunstwerken schienen die Ähnlichkeiten zu überdecken. Die Konzeptkunst fragte nach den Bedingungen der Kunst, die Computerkunst nach der Bilderzeugung. Jack Burnhams *Software*-Ausstellung, die bereits 1970 bei Ansätzen in dem Begriff der Informationsverarbeitung verband,⁵⁹ hatte den Computer, anders als die Zagreber Organisatoren, als Informations- und Kommunikationsmedium definiert, nicht als Bildmaschine.

Es ist dem Beispiel der *Neuen Tendenzen* anzumerken, dass hier die Kontinuität

The *New Tendencias* emphasised the democratisation of art in two respects: first, there was the matter of comprehensibility, and on the other hand the question of access to art, in the sense of producing artworks for broad strata of the population, evading the capitalistic art market. The *NT*'s idea of art or design for wide classes of the population was also adopted for "visual research" with the computer. The use of pseudo-random generators, according to Marc Adrian, facilitated the "production of patterns, which in turn permitted a diversity of realised works, each one different to the next."⁵⁵ Thus he upheld the vision of Moles, for whom the computer seemed an ideal medium for "une société basée sur l'égalité des droits au Bonheur" (a society based on equality of the right to happiness)⁵⁶. Every consumer should be able to acquire an individual version of a mass product in a department store.⁵⁷ Here too, Franke proved a visionary: he outlined a society in which every house would be connected to a central computer and equipped with screens to watch computer graphics. In the spirit of the *NT*'s criticism of the cult of the unique work, museum art and the art market, the intention was to make "apperceptive processes accessible to as many people as possible".⁵⁸

In Zagreb, Concept Art was exhibited alongside Computer Art in 1973. However, the structural affinity between the algorithms of Computer Art and Concept Art's instructions for action was not made into an explicit theme. It seems that the differences between each trend's interest in the investigation of art's production and reception conditions overshadowed any similarities. Concept Art enquired into the conditions of art, Computer Art into the creation of

zwischen der künstlerischen Tradition und der Integration des Computers hauptsächlich durch Theoretiker hergestellt wurde: Božo Bek, Boris Kelemen, Matko Meštrović, Abraham A. Moles und Radoslav Putar. Von den Künstlern der *NT* waren es nur Ivan Picelj, Marc Adrian und Zdeněk Sýkora, die selbst begannen, mit dem Computer zu experimentieren. Der Auftritt der neuen Protagonisten – Mathematiker, Physiker und Ingenieure – wurde von Künstlern wie Alberto Biasi kritisiert. Frieder Nake entgegnete lakonisch: „Mir scheint das das Problem der *Tendenzen* zu sein. Einerseits wissen die Künstler nicht mehr richtig weiter, andererseits gibt es Wissenschaftler, die sich bemühen, in die Kunst einzudringen.“⁶⁰

In Zagreb wurde auch der Konflikt um den Computer als Technologie der Kriegsführung und der Automation thematisiert. Die Diskussionen zeigten, dass Computerkunst nicht per se unpolitisch war – ein Eindruck, der sich durch den Vergleich mit den Praktiken eines anderen neuen Mediums aufdrängt – der Videotechnik, die sich in Künstlerkreisen Ende der 1960er Jahre verbreitete. Alberto Biasi kritisierte einen naiven Zugang zum Computer, der Technologie der Automation. Die Innovation in diesem Bereich habe zu einer größeren Ausbeutung des Menschen durch den Menschen geführt.⁶¹ Frieder Nake wehrte sich gegen die Dämonisierung des Computers und plädierte dafür, möglichst viele ‚Linke‘ mit der Technologie arbeiten zu lassen und rief dazu auf, sich „an folgendes Programm [zu] halten: Rationalität im Dienste am Menschen.“⁶² Die Kritik des Künstlers Gustav Metzger war noch umfassender. Doch wie Max Bense, Pontus Hultén, Abraham A. Moles und Frieder Nake sieht er das Rettende für eine bedrohte Menschheit in einem „more refined, penetrative, understanding of science and technology“⁶³, der bewussten, emanzipa-

images. Jack Burnham's *Software* exhibition, which had already linked both starting points under the concept of information processing in 1970,⁵⁹ defined the computer – by contrast to the organisers in Zagreb – as a medium of information and communication, not as an image machine.

The example of the *New Tendencias* indicates that the continuity between artistic tradition and the integration of the computer was mainly generated by theorists: Božo Bek, Boris Kelemen, Matko Meštrović, Abraham A. Moles and Radoslav Putar. Among the artists of the *NT*, only Ivan Picelj, Marc Adrian and Zdeněk Sýkora began to experiment with the computer themselves. The appearance of the new protagonists – mathematicians, physicists and engineers – was criticised by artists such as Alberto Biasi. Frieder Nake responded succinctly: "The problem seems to be that of the *Tendencias*. On the one hand, the artists are not really sure where to go from here; on the other hand, we have scientists who are attempting to permeate art."⁶⁰

In Zagreb, the conflict surrounding the computer as a technology of warfare and automation was also an issue. Such discussions indicate that Computer Art was not apolitical *per se* – an impression that imposes itself when comparison is made with another new medium, video technology, which became widespread in art circles at the end of the 1960s. Alberto Biasi criticised a naive approach to the computer, to the technology of automation. He maintained that innovation in this field had led to man's greater exploitation of his fellow man.⁶¹ Frieder Nake defended the computer against such demonising and called for as many 'leftists' as possible to work with the

torischen Annahme der technischen Existenz.

Technikgeschichtlich ist in diesem Text die Historizität des „computergenerierten Bildes“ in den Bedingungen der Produktion, Rezeption und Pragmatik angedeutet worden sowie die umfassende Verbreitung der Computergrafik in allen gesellschaftlichen Bereichen seit den 1950er Jahren.⁶⁴ Indem Künstler, Ingenieure, Wissenschaftler, Theoretiker und Kuratoren in den 1960er Jahren den Computer als künstlerisches Medium entdeckten, haben sie dazu beigetragen, diese „heimliche Revolution“ der „Denkmaschinen“, die, so Moles, die Welt mehr verändern sollte als jene Maschinen, die Karl Marx inspirierten⁶⁵, sichtbar und damit verhandelbar zu machen.

technology, keeping to “the following programme: rationality in the service of man.”⁶² The criticism of artist Gustav Metzger was more comprehensive, but like Max Bense, Pontus Hultén, Abraham A. Moles and Frieder Nake, he saw the redeeming feature for humanity, however threatened, in a “more refined, penetrative understanding of science and technology”⁶³, in a conscious, emancipatory acceptance of technical existence.

With respect to the history of technology, this text has indicated the historicity of the “computer-generated image” in the conditions of production, reception and pragmatics, as well as the comprehensive distribution of computer graphics in all social fields since the 1950s.⁶⁴ When artists, engineers, scientists, theorists and curators discovered the computer as an artistic medium in the 1960s, they helped to make this “secret revolution” of the “thought machines” – which, according to Moles, would alter the world more than the machines that inspired Karl Marx⁶⁵ – visible and thus negotiable.

- 1 Louis Couffignal: *Denkmaschinen*, Stuttgart 1955, S. 11 [französische Originalausgabe: *Les Machines à penser*, Paris 1952].
- 2 Couffignal 1955 (wie Anm. 1), S. 33.
- 3 Vgl. Stanislaw M. Ulam: Electronic Computers and Scientific Research, Part 2, in: *Computers and Automation*, September 1963, S. 35–40, S. 38 f.
- 4 *The Machine as Seen at the End of the Mechanical Age*, hg. v. Pontus Hultén, Kat. Ausst. Museum of Modern Art New York/University of St. Thomas, Houston/San Francisco Museum of Art 1968/69, S. 13.
- 5 Politische Ereignisse wie die Berliner Blockade 1948/49, die Zündung der ersten sowjetische Atombombe 1949 und die Invasion Südkoreas durch Nordkorea 1950 hatten große Geldsummen für die Entwicklung dieses Digitalcomputers frei werden lassen, da er versprach, eine wirksame Kontrolle des Flugverkehrs und der Luftabwehr zu ermöglichen; vgl. Kent C. Redmond und Thomas M. Smith: *Project Whirlwind: The History of a Pioneer Computer*, Bedford (Mass.) 1960, S. 73.
- 6 Das Projekt hatte drei Hauptphasen: das Cape Cod System 1953 (*Whirlwind I*), das Cape Cod System von 1954 und die Phase des experimentellen Teilssektors von *SAGE* in Lexington, der 1955 vollendet wurde. Er war mit einem Prototyp des *AN/FSQ-7* ausgestattet.
- 7 „a sheet of paper 20 feet long, full of numbers”, Joseph C. R. Licklider: Man-Computer Symbiosis, in: *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, Vol. HFE-1, März 1960, S. 4–11, S. 5. Licklider hatte selbst ab 1950 am *SAGE*-Projekt mitgearbeitet.
- 8 Vgl. Norman H. Taylor, transkribiert in *Retrospectives: The Early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard*, in: *SIGGRAPH '89 Panel Proceedings Special Session*, Boston (Mass.) 1989, S. 19–38, S. 20 f.
- 9 Joseph C. R. Licklider: Computer Graphics As A Medium Of Artistic Expression, Computers And Their Potential Applications Museums. A conference sponsored by the Metropolitan Museum of Art, New York 1968, S. 273–302, S. 302.
- 10 Herbert W. Franke: *Zur Ausstellung Dr. Herbert W. Franke. Elektronische und programmierte Grafik*, hektografiertes Manuskript, Archiv Otto Beckmann, 3 Seiten, S. 1.
- 11 Georg Muche: Die Kunst stirbt nicht an der Technik. Vortrag in der Galerie Wasmuth zu Berlin, Januar 1954, Privatdruck, hg. v. Ludwig Steinfeld, Schlichtern 1954, S. 11.
- 12 Muche 1954 [wie Anm. 11], S. 14.
- 13 Vgl. Franke/Jäger 1973, S. 31 f.; Ben F. Laposky: Oscillations: Electronic Abstractions, in: *Kinetic Art: Theory and Practice. Selections from the Journal 'Leonardo'*, hg. v. Frank J. Malina, New York 1974, S. 142–152, S. 142.
- 14 Vgl. Ernst Benz: *Theologie der Elektrizität. Zur Begegnung und Auseinandersetzung von Theologie und Naturwissenschaft im 17. und 18. Jahrhundert* [= Schriftenreihe Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abhandlungen der Geistes- und Sozialwissenschaftlichen Klasse, Nr. 12, 1970], Mainz 1970; Siegfried Zielinski: *Archäologie der Medien. Zur Tiefenzeit des technischen Hörens und Sehens*, Reinbek bei Hamburg 2002.

All bibliographical references of quotations apply to the original language source.

- 1 Louis Couffignal: *Denkmaschinen*, Stuttgart 1955, p. 11. [first edition: *Les Machines à penser*, Paris 1952].
- 2 Couffignal 1955 (see note 1), p. 33.
- 3 Cf. Stanislaw M. Ulam: Electronic Computers and Scientific Research, Part 2, in: *Computers and Automation*, September 1963, pp. 35–40, p. 38 f.
- 4 *The Machine as Seen at the End of the Mechanical Age*, ed. by Pontus Hultén, cat. exhib. Museum of Modern Art New York/University of St. Thomas, Houston/San Francisco Museum of Art 1968/69, p. 13.
- 5 Political events such as the Berlin blockade in 1948/49, the explosion of the first Soviet atomic bomb in 1949, and the invasion of South Korea by North Korea in 1950 had meant that large sums of money became available for the development of this digital computer, since it promised effective control of air traffic and air defence systems; compare Kent C. Redmond and Thomas M. Smith: *Project Whirlwind: The History of a Pioneer Computer*, Bedford (Mass.) 1960, p. 73.
- 6 The project had three main phases: the Cape Cod System 1953 (*Whirlwind I*), the Cape Cod System of 1954 and the phase of an experimental part-sector of *SAGE* in Lexington, which was completed in 1955. It was equipped with a prototype of the *AN/FSQ-7*.
- 7 “A sheet of paper 20 feet long, full of numbers”, Joseph C. R. Licklider: Man-Computer Symbiosis, in: *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, Vol. HFE-1, March 1960, pp. 4–11, p. 5. Licklider had worked on the *SAGE* project himself as from 1950.
- 8 Cf. Norman H. Taylor, transcribed in *Retrospectives: The Early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard*, in: *SIGGRAPH '89 Panel Proceedings Special Session*, Boston (Mass.) 1989, pp. 19–38, p. 20 f.
- 9 Joseph C. R. Licklider: Computer Graphics as a Medium of Artistic Expression, Computers and Their Potential Applications in Museums. A conference sponsored by The Metropolitan Museum of Art, New York 1968, pp. 273–302, p. 302.
- 10 Herbert W. Franke: *Zur Ausstellung Dr. Herbert W. Franke. Elektronische und programmierte Grafik*, hectographed manuscript, Archive Otto Beckmann, 3 pages, p. 1.
- 11 Georg Muche: Die Kunst stirbt nicht an der Technik. Talk at Galerie Wasmuth zu Berlin, January 1954, private printing, ed. by Ludwig Steinfeld, Schlichtern 1954, p. 11.
- 12 Muche 1954 [see note 11], p. 14.
- 13 Cf. Franke/Jäger 1973, p. 31 f.; Ben F. Laposky: Oscillations: Electronic Abstractions, in: *Kinetic Art: Theory and Practice. Selections from the Journal 'Leonardo'*, ed. by Frank J. Malina, New York 1974, pp. 142–152, p. 142.
- 14 Cf. Ernst Benz: *Theologie der Elektrizität. Zur Begegnung und Auseinandersetzung von Theologie und Naturwissenschaft im 17. und 18. Jahrhundert* [= Schriftenreihe Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abhandlungen der Geistes- und Sozialwissenschaftlichen Klasse, No. 12, 1970], Mainz 1970; Siegfried Zielinski: *Archäologie der Medien. Zur Tiefenzeit des technischen Hörens und Sehens*, Reinbek bei Hamburg 2002.

- ¹⁹ Ferdinand Braun: Ueber ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme, in: *Annalen der Physik und Chemie*, Bd. 60, Heft 1, Leipzig 1897, S. 552–559, S. 552. Ferdinand von Braun entwickelte die Kathodenstrahlröhre 1897.
- ¹⁶ Leo Graetz: *Die Elektrizität und ihre Anwendungen*, Stuttgart [1883] 1919, S. XIV; vgl. Siegfried Zielinski: Show and Hide. Projection As a Media Strategy Located between Proof of Truth and Illusionising, in: *Variatology 1. On Deep Time: Relations of Arts, Sciences and Technologies*, hg. v. Siegfried Zielinski u. Silvia M. Wagnermaier, Köln 2005, S. 81–102, S. 95.
- ¹⁷ Franke 1957, S. 28.
- ¹⁸ Ivan E. Sutherland: Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System, in: *Proceedings-Spring Joint Computer Conference*, Detroit (Michigan) 1963, S. 507–524, S. 507.
- ¹⁹ Kurd Alsleben in: <http://swiki.hfbk-hamburg.de:8888/NetzkunstWoerterBuch/43> [12. Juni 2004]; vgl. Alsleben/Eske 2001, S. 269.
- ²⁰ Vgl. auch Nierhoff 2006a.
- ²¹ Otto Beckmann: *Kreative Computerspiele architektonischer Natur*, Manuskript, Archiv Otto Beckmann, 7 Seiten, S. 5.
- ²² Alsleben 1962, S. 51; nachfolgendes Zitat S. 52.
- ²³ Vgl. *Mutualité. Kurd Alsleben und Antje Eske. Von der Computerzeichnung zur Netzkunstaffäre 1961–2006*, Kat. Ausst. Bremen 2006/07.
- ²⁴ Vgl. Joachim Fischer: Vorwort, in: Walter Dyck: *Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente. Nebst Nachtrag*, Nachdruck der Ausgabe aus dem Jahr 1892, hg. v. Joachim Fischer, Hildesheim/Zürich/New York 1994, S. VII–XXI.
- ²⁵ Norman H. Taylor 1989 (wie Anm. 8), S. 21. Zur Geschichte des Computerspiels vgl. Claus Pias: *Computer-Spiel Welten*, München 2002.
- ²⁶ Vgl. Frank Sinden: Principles and Programming of Animation, in: *Design and Planning*, hg. v. Martin Krampen u. Peter Seitz, New York 1967, S. 81–85, S. 85.
- ²⁷ Edward Zajac: Motion Picture Animation, in: *Computer Graphics. Utility, Production, Art*, hg. v. Fred Gruenberger, Washington/London 1967, S. 199–208, S. 201.
- ²⁸ Vgl. Margit Rosen: A Record of Decisions: Envisioning Computer Art, in: *Charles A. Csuri. Beyond Boundaries, 1963–present, SIGGRAPH 2006*, Boston (Mass.)/Ohio 2006, S. 25–46, S. 34 f.
- ²⁹ Paul Klee: Exakte Versuche im Bereich der Kunst (1928), in: *Das Bauhaus: 1919–1933*, hg. v. Hans M. Wingler, Köln 1962, S. 156.
- ³⁰ Sutherland: 1963 (wie Anm. 18), S. 522.
- ³¹ Ebd.
- ¹⁵ Ferdinand Braun: Ueber ein Verfahren zur Demonstration und zum Studium des zeitlichen Verlaufes variabler Ströme, in: *Annalen der Physik und Chemie*, Vol. 60, Issue 1, Leipzig 1897, pp. 552–559, p. 552. Ferdinand von Braun developed the cathode-ray tube in 1897.
- ¹⁶ Leo Graetz: *Die Elektrizität und ihre Anwendungen*, Stuttgart [1883] 1919, p. XIV; cf. Siegfried Zielinski: Show and Hide. Projection as a Media Strategy Located between Proof of Truth and Illusionising, in: *Variatology 1. On Deep Time: Relations of Arts, Sciences and Technologies*, ed. by Siegfried Zielinski and Silvia M. Wagnermaier, Cologne 2005, pp. 81–102, p. 95.
- ¹⁷ Franke 1957, p. 28.
- ¹⁸ Ivan E. Sutherland: Sketchpad. A Man-Machine Graphical Communication System, in: *Proceedings-Spring Joint Computer Conference*, Detroit (Michigan) 1963, pp. 507–524, p. 507.
- ¹⁹ Kurd Alsleben in: <http://swiki.hfbk-hamburg.de:8888/NetzkunstWoerterBuch/43> [12th June 2004]; cf. Alsleben/Eske 2001, p. 269.
- ²⁰ See also Nierhoff 2006a.
- ²¹ Otto Beckmann: *Kreative Computerspiele architektonischer Natur*, manuscript, Archive Otto Beckmann, 7 pages, p. 5.
- ²² Alsleben 1962, p. 51; following quotation p. 52.
- ²³ Cf. *Mutualité. Kurd Alsleben and Antje Eske. Von der Computerzeichnung zur Netzkunstaffäre 1961–2006*, cat. exhib. Bremen 2006/07.
- ²⁴ Cf. Joachim Fischer: Vorwort, in: Walter Dyck: *Katalog mathematischer und mathematisch-physikalischer Modelle, Apparate und Instrumente. Nebst Nachtrag*, Reprint of the edition from the year 1892, ed. by Joachim Fischer, Hildesheim/Zürich/New York 1994, p. VII–XXI.
- ²⁵ Norman H. Taylor 1989 (see note 8), p. 21. On the History of the Computer Game, cf. Claus Pias: *Computer Spiel Welten*, Munich 2002.
- ²⁶ Cf. Frank Sinden: Principles and Programming of Animation, in: *Design and Planning*, ed. by Martin Krampen and Peter Seitz, New York 1967, pp. 81–85, p. 85.
- ²⁷ Edward Zajac: Motion Picture Animation, in: *Computer Graphics. Utility, Production, Art*, ed. by Fred Gruenberger, Washington/London 1967, pp. 199–208, p. 201.
- ²⁸ Cf. Margit Rosen: A Record of Decisions: Envisioning Computer Art, in: *Charles A. Csuri. Beyond Boundaries, 1963–present, SIGGRAPH 2006*, Boston (Mass.)/Ohio 2006, pp. 25–46, p. 34 f.
- ²⁹ Paul Klee: Exakte Versuche im Bereich der Kunst (1928), in: *Das Bauhaus: 1919–1933*, ed. by Hans M. Wingler, Cologne 1962, p. 156.
- ³⁰ Sutherland: 1963 (see note 18), p. 522.
- ³¹ Ibid.
- ³² Edward C. Wells: *Introduction*, in: Fetter 1965, S. VII.
- ³³ Vgl. Fetter 1965, S. 92.
- ³⁴ Vgl. *Cybernetic Serendipity. The Computer and the Arts, a Studio International Special Issue*, Kat. Ausst. London 1968, S. 88 f.; William A. Fetter: A Computer Graphics Human Figure Application of Bio-Stereometrics, in: *ACM SIGDA Newsletter*, Vol. 8, Ausg. 2, Juni 1978, S. 3–7.
- ³⁵ Sullivan Campbell: *Beyond Symbolism: Imagery and the Imagination*, in: Gruenberger 1967 (wie Anm. 27), S. 11–21, S. 14.
- ³⁶ Vgl. Manfred R. Schroeder: Images from Computers and Microfilm Plotters, in: *Communications of the ACM*, Volume 12/2, February 1969, S. 95–101.
- ³⁷ John von Neumann: Various Techniques Used in Connection with Random Digits, in: *Applied Mathematics Series*, Nr. 12, 1951, S. 36 ff.
- ³⁸ Vom 6. bis 24. April 1965 zeigte die Howard Wise Gallery in New York die Ausstellung *Computer-Generated Pictures*, mit Bildern von Bela Julesz und A. Michael Noll.
- ³⁹ Vgl. Carol Bosche: Computer Generated Random Dot Images, in: Krampen/Seitz 1967 (wie Anm. 26), S. 87–91; Bela Julesz: Binocular Depth Perception of Computer-Generated Patterns, in: *Bell System Technical Journal*, Vol. 39, September 1960, S. 1125–1162.
- ⁴⁰ Max Bense: Graphik. Computer. Bald krumme Linien, in: *Der Spiegel*, Nr. 18, vom 28. April 1965, S. 151 f., S. 151.
- ⁴¹ Edmund C. Berkeley: What Happens to the Quality and Character of an Intellectual Job When It Gets Mechanized, in: *Computers and Automation*, Mai 1964, S. 7.
- ⁴² Zur Konzeptionsgeschichte der Computerkunst vgl. Edward A. Shanken: *Art in the Information Age: Cybernetics, Software, Telematics, and the Conceptual Contributions of Art and Technology to Art History and Aesthetic Theory*, Diss. Duke University, Durham (North Carolina) 2001; Lambert 2003; Taylor 2004; Klütsch 2006.
- ⁴³ Vgl. Lejaren Hiller: On the Use of a High-Speed Electronic Digital Computer for Musical Composition, M. M. Thesis, University of Illinois 1958.
- ⁴⁴ Vgl. den Aufsatz von Ralf Bülow in diesem Katalog, S. 134–172.
- ⁴⁵ Cf. David Link: There Must Be an Angel. On the Beginnings of the Arithmetics of Rays, in: *Variatology 2. On Deep Time Relations of Arts, Sciences and Technologies*, ed. by Siegfried Zielinski, David Link, Eckhard Fuerius und Nadine Minkwitz, Cologne 2006, pp. 15–42.
- ⁴⁶ Rolf Lohberg und Theo Lutz: *Was denkt sich ein Elektronengehirn? Eine verständliche Einführung in die Arbeitsweise der Elektronenrechner*, München 1965, p. 128; cf. Theo Lutz: Stochastische Texte, in: *augenblick 4*, Issue 1, 1959, pp. 3–9.
- ⁴⁷ Cf. Charles Percy Snow: *The Two Cultures and the Scientific Revolution*, Cambridge 1959.
- ⁴⁸ Aldo Pellegrini: *New Tendencies in Art*, New York 1966, S. 139.
- ³² Edward C. Wells: *Introduction*, in: Fetter 1965, p. VII.
- ³³ Cf. Fetter 1965, p. 92.
- ³⁴ Cf. *Cybernetic Serendipity. The Computer and the Arts, a Studio International Special Issue*, cat. exhib. London 1968, p. 88 f.; William A. Fetter: A Computer Graphics Human Figure Application of Bio-Stereometrics, in: *ACM SIGDA Newsletter*, Vol. 8, Issue 2, June 1978, pp. 3–7.
- ³⁵ Sullivan Campbell: *Beyond Symbolism: Imagery and the Imagination*, in: Gruenberger 1967 (see note 27), pp. 11–21, p. 14.
- ³⁶ Cf. Manfred R. Schroeder: Images from Computers and Microfilm Plotters, in: *Communications of the ACM*, Volume 12/2, February 1969, pp. 95–101.
- ³⁷ John von Neumann: Various Techniques Used in Connection with Random Digits, in: *Applied Mathematics Series*, No. 12, 1951, p. 36 ff.
- ³⁸ From 6th to 24th April 1965, the Howard Wise Gallery in New York showed the exhibition *Computer-Generated Pictures*, with pictures by Bela Julesz and A. Michael Noll.
- ³⁹ Cf. Carol Bosche: Computer Generated Random Dot Images, in: Krampen/Seitz 1967 (see note 26), pp. 87–91; Bela Julesz: Binocular Depth Perception of Computer-Generated Patterns, in: *Bell System Technical Journal*, Vol. 39, September 1960, p. 1125–1162.
- ⁴⁰ Max Bense: Graphik. Computer. Bald krumme Linien, in: *Der Spiegel*, No. 18, 28th April 1965, p. 151 f., p. 151.
- ⁴¹ Edmund C. Berkeley: What Happens to the Quality and Character of an Intellectual Job When It Gets Mechanized, in: *Computers and Automation*, May 1964, p. 7.
- ⁴² On the history of conception of Computer Art, compare Edward A. Shanken: *Art in the Information Age: Cybernetics, Software, Telematics, and the Conceptual Contributions of Art and Technology to Art History and Aesthetic Theory*, diss. Duke University, Durham (North Carolina) 2001; Lambert 2003; Taylor 2004; Klütsch 2006.
- ⁴³ Cf. Lejaren Hiller: *On the Use of a High-Speed Electronic Digital Computer for Musical Composition*, M.M. Thesis, University of Illinois 1958.
- ⁴⁴ Cf. the essay by Ralf Bülow in this catalogue, pp. 134–172.
- ⁴⁵ Cf. David Link: There Must Be an Angel. On the Beginnings of the Arithmetics of Rays, in: *Variatology 2. On Deep Time Relations of Arts, Sciences and Technologies*, ed. by Siegfried Zielinski, David Link, Eckhard Fuerius and Nadine Minkwitz, Cologne 2006, pp. 15–42.
- ⁴⁶ Rolf Lohberg and Theo Lutz: *Was denkt sich ein Elektronengehirn? Eine verständliche Einführung in die Arbeitsweise der Elektronenrechner*, Munich 1965, p. 128; cf. Theo Lutz: Stochastische Texte, in: *augenblick 4*, Issue 1, 1959, pp. 3–9.
- ⁴⁷ Cf. Charles Percy Snow: *The Two Cultures and the Scientific Revolution*, Cambridge 1959.
- ⁴⁸ Aldo Pellegrini: *New Tendencies in Art*, New York 1966, S. 139.

- ⁴⁹ Vgl. hierzu auch: *DIE NEUEN TENDENZEN – Eine europäische Künstlerbewegung 1963–1973*, Kat. Ausst. Ingolstadt/Düren 2006/07.
- ⁵⁰ Radoslav Putar: ohne Titel, in: *tendencije/tendencies 4*, Kat. Ausst. Zagreb 1969, unpag.
- ⁵¹ Matko Meštrović: Ideologija Novih tendencija, in: *Nova Tendencija 2*, Kat. Ausst. Galerija Suvremene Umjetnosti, Zagreb 1963, zit. n. Übersetzung in: Jerko Denegri: *Constructive Approach Art. Exat 51 And New Tendencies*, Zagreb 2004, S. 204 f.
- ⁵² Max Bense: *Programmierung des Schönen; allgemeine Texttheorie und Textästhetik*, Baden-Baden 1960, S. 11.
- ⁵³ Karl Gerstner: Historische Notizen für M. M., in: *Nova Tendencija 3*, Kat. Ausst. Galerija Suvremene Umjetnosti, Zagreb 1965, S. 57 ff., S. 57.
- ⁵⁴ Vgl. Marco Meneguzzo: Vom Kinetischen zum Programmieren: Eine italienische Geschichte 1958–1968, in: *Luce, movimento & programmazione. Kinetische Kunst aus Italien. 1958–68*, hg. v. Volker W. Feierabend u. Marco Meneguzzo, Mailand 2001 [= Kat. Ausst. Ulmer Museum/Städtische Kunsthalle Mannheim/Städtisches Museum Gelsenkirchen/Stadtgalerie Kiel/Staatliches Museum Schwerin 2001–03], S. 15–55.
- ⁵⁵ Marc Adrian: Notizen zu t-4, in: Kelemen/Putar 1968, S. 11–23, S. 23.
- ⁵⁶ Abraham A. Moles: „Peut-il encore y avoir des œuvres d'art?“, in: *bit international 1*, Zagreb 1968, S. 59–68, S. 63.
- ⁵⁷ Vgl. Abraham A. Moles: Cybernetique et l'œuvre d'Art, in: *Nova Tendencija 3*, Kat. Ausst. Zagreb 1965 (wie Anm. 54), S. 91–102, S. 94.
- ⁵⁸ Herbert W. Franke: Gesellschaftliche Aspekte der Computerkunst (1969), in: *bit international 7*, Zagreb 1971, S. 19–26, S. 24.
- ⁵⁹ Jack Burnham: Notes on Art and Information Processing, in: *Software. Information Technology: Its New Meaning For Art*, Kat. Ausst. The Jewish Museum New York 1970, S. 10–14, S. 10; vgl. Edward A. Shanken: Art in the Information Age: Technology and Conceptual Art, in: *Leonardo*, Vol. 35, Nr. 4, 2002, S. 433–438.
- ⁶⁰ Frieder Nake: Replik an Biasi, in: Kelemen/Putar 1968, S. 35–40, S. 36.
- ⁶¹ Alberto Biasi: Situazione 1967, in: Kelemen/Putar 1968, S. 29–33, S. 33.
- ⁶² Nake 1968 (wie Anm. 60), S. 37.
- ⁶³ Nake 1968 [wie Anm. 60], S. 30.
- ⁶⁴ Der Dank gilt Marc Adrian, Kurt Alsleben, dem Otto-Beckmann-Archiv, Oskar Beckmann, Inge Borchardt, Charles A. Csuri, Kenneth C. Knowlton, Matko Meštrović, Frieder Nake, Georg Nees, A. Michael Noll, Cord Passow, Manfred R. Schroeder, Frank Sinden und Edward Zajac.
- ⁶⁵ Abraham A. Moles: Manuskript, Transkription der Einführung zum *Kolloquium Computers and Visual Research*, Zagreb 1968, Archiv Muzej Suvremene Umjetnosti Zagreb, S. 3.
- p. 139.
- ⁴⁸ On this, see also: *DIE NEUEN TENDENZEN – Eine europäische Künstlerbewegung 1963–1973*, cat. exhib. Ingolstadt/Düren 2006/07.
- ⁵⁰ Radoslav Putar: Untitled, in: *tendencije/tendencies 4*, cat. exhib. Zagreb 1969, no pag.
- ⁵¹ Matko Meštrović: Ideologija Novih tendencija, in: *Nova Tendencija 2*, cat. exhib. Galerija Suvremene Umjetnosti, Zagreb 1963, quoted from the translation in: Jerko Denegri: *Constructive Approach Art. Exat 51 And New Tendencies*, Zagreb 2004, p. 204 f.
- ⁵² Max Bense: *Programmierung des Schönen; allgemeine Texttheorie und Textästhetik*, Baden-Baden 1960, p. 11.
- ⁵³ Karl Gerstner: Historische Notizen für M. M., in: *Nova Tendencija 3*, cat. exhib. Galerija Suvremene Umjetnosti, Zagreb 1965, p. 57 ff., p. 57.
- ⁵⁴ Cf. Marco Meneguzzo: Vom Kinetischen zum Programmieren: Eine italienische Geschichte 1958–1968, in: *Luce, movimento & programmazione. Kinetische Kunst aus Italien. 1958–68*, ed. by Volker W. Feierabend and Marco Meneguzzo, Milan 2001 [= cat. exhib. Ulmer Museum/Städtische Kunsthalle Mannheim/Städtisches Museum Gelsenkirchen/Stadtgalerie Kiel/Staatliches Museum Schwerin 2001–03], pp. 15–55.
- ⁵⁵ Marc Adrian: Notizen zu t-4, in: Kelemen/Putar 1968, pp. 11–23, p. 23.
- ⁵⁶ Abraham A. Moles: „Peut-il encore y avoir des œuvres d'art?“, in: *bit international 1*, Zagreb 1968, pp. 59–68, p. 63.
- ⁵⁷ Cf. Abraham A. Moles: Cybernetique et l'œuvre d'Art, in: *Nova Tendencija 3*, cat. exhib. Zagreb 1965 (see note 53), pp. 91–102, p. 94.
- ⁵⁸ Herbert W. Franke: Gesellschaftliche Aspekte der Computerkunst (1969), in: *bit international 7*, Zagreb 1971, pp. 19–26, p. 24.
- ⁵⁹ Jack Burnham: Notes on Art and Information processing, in: *Software. Information Technology: Its New Meaning For Art*, cat. exhib. The Jewish Museum New York 1970, p. 10–14, p. 10; compare Edward A. Shanken: Art in the Information Age: Technology and Conceptual Art, in: *Leonardo*, Vol. 35, No. 4, 2002, pp. 433–438.
- ⁶⁰ Frieder Nake: Replik an Biasi, in: Kelemen/Putar 1968, pp. 35–40, p. 36.
- ⁶¹ Alberto Biasi: Situazione 1967, in: Kelemen/Putar 1968, pp. 29–33, p. 33.
- ⁶² Nake 1968 (see note 60), p. 37.
- ⁶³ Nake 1968 (see note 60), p. 30.
- ⁶⁴ Thanks are due to Marc Adrian, Kurt Alsleben, the Otto Beckmann Archive, Oskar Beckmann, Inge Borchardt, Charles A. Csuri, Kenneth Knowlton, Matko Meštrović, Frieder Nake, Georg Nees, A. Michael Noll, Cord Passow, Manfred R. Schroeder, Frank Sinden and Edward Zajac.
- ⁶⁵ Abraham A. Moles: Manuscript, transcription of the introduction to the colloquium *Computers and Visual Research*, Zagreb 1968, Archive Muzej Suvremene Umjetnosti Zagreb, p. 3.

