Peter Vestel: Time Ot, Vales de Rushandley Valto Kows, Kola 2006)

International Flusser Lecture

Time Slot.

Geschichte und Zukunft der apparativen Wahrnehmung (2006) vom Phenakistiskop bis zum Quantenkino

Peter Weibel

5.1-50

Die International Flusser Lectures sind ein Projekt des _Vilém_Flusser_Archivs an der Kunsthochschule für Medien Köln. Sie umkreisen oder durchschreiten die Ideenwelt des Prager Kulturphilosophen und wollen sie in ihrem anregenden Potenzial lebendig halten. Seit Sommer 2001 sind die Lectures und ihre Veröffentlichung Bestandteil des von der DFG geförderten intermedialen Editionsprojektes.

International Flusser Lecture

Peter Weibel

Time Slot.

Geschichte und Zukunft der apparativen Wahrnehmung vom Phenakistiskop bis zum Quantenkino

© 2006

Künstler, Autoren, Institution und Verlag der Buchhandlung Walther König, Köln

Herausgeber: Silvia Wagnermaier, Siegfried Zielinski, Marcel René Marburger

Gestaltung: Andreas Henrich

Verlag der Buchhandlung Walther König

Ehrenstraße 4

D - 50672 Köln

T: +49 (0)221 205 96 53

F: +49 (0)221 205 96 60

order@buchhandlung-walther-koenig.de

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme Ein Titelsatz für diese Publikation ist bei der Deutschen Bibliothek erhältlich.

ISBN 3-88375-971-6

International Flusser Lecture

Time Slot.

Geschichte und Zukunft der apparativen Wahrnehmung vom Phenakistiskop bis zum Quantenkino

Peter Weibel

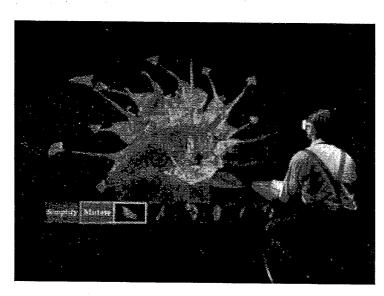
3

1. Einleitung

Die Möglichkeit, Bewegung von Körpern im Raum durch zweidimensionale Bilder darzustellen, war ein entscheidender Schritt in der visuellen Repräsentation von Realität. Sie bildete die Basis für den Weg von der Malerei und der Fotografie zum Kino. Ende des 19. Jahrhunderts als Technik des *trompe l'æil* erfunden, wurde sie in der Kinotechnik zu Beginn des 20. Jahrhunderts standardisiert. Dabei zeigen die Erfindungen der Bildtechnologien in ihrer historischen Entwicklung von Anfang an eine Tendenz hin zur Imitation von mehr als nur Bewegung, nämlich zur Imitation von Leben. Sie entwickelten sich von der Simulation von Bewegung (*motion picture*) zur Simulation von Belebtheit, zur Interaktion zwischen Bildsystem und Betrachter.

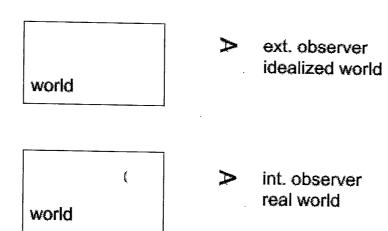
Die Simulation von Belebtheit wurde möglich durch die Computertechnologie, da der Computer die virtuelle Speicherung der Information als elektronische Konfiguration erlaubt. Information ist nicht länger chemisch oder magnetisch gespeichert, wie dies bei einer Filmspule oder einem Videotape der Fall ist. Sie wird nicht mehr einfach nur ausgelesen und projiziert. Die Speicherung im Computer macht die Information frei und variabel zugänglich. Das Bild wird in seiner Virtualität, als Möglichkeit gespeichert. Das computerbasierte Bild ist ein Feld aus Pixeln, die jederzeit veränderbar sind. Willard Van Orman Quine begründete mit seinem berühmten Diktum, "To be is to be the value of a variable"1, eine Philosophie der ontologischen Relativität. Sein Satz lässt sich auf das computerbasierte Bild und die so genannte virtuelle Realität übertragen. Der Status des digitalen Bildes ist nicht ontologisch, sondern relativistisch, variabel und virtuell. Die möglichen Werte der Variablen bilden das Bild, das sich abhängig von den Variablen verändert.

In einer computergestützten Installation kann der Betrachter somit mit seinem Verhalten das Verhalten des Bildes kontrollieren. Die konstruktivistische Philosophie bezeichnet künstliche Systeme, die sich wie lebende Systeme verhalten als "viabel" (realisierbar, durchführbar, lebensfähig). Dieser Begriff lässt sich auf die neuen interaktiven Bildsysteme übertragen. Die "Viabilität" des Bildverhaltens bezeichnet die Transformation des bewegten Bildes in ein lebendiges Bild. Der Computer ist damit das entscheidende Medium für die Simulation, das heißt für die Nachbildung von Prozessen oder Situationen in einem Modell. Ein Beispiel dafür ist die Installation *SonoMorphis* von Bernd Lintermann und Thorsten Belschner aus dem Jahr 1998. Sie simuliert die Prozesse der Evolution, indem die Regeln des Pflanzenwachstums in Algorithmen nachgebildet werden. Der Betrachter kann aus sechs angebotenen Organismen mit Hilfe von Neukombinations- und Mutationsalgorithmen neue Arten schaffen.



Bernd Lintermann, Torsten Belschner, *SonoMorphis*, 1998, Interaktive Installation, © Bernd Lintermann, Torsten Belschner // Quelle: Future Cinema

Dass das Bildfeld zu einem Bildsystem wurde, das auf die Bewegung des Beobachters reagiert, erlaubt jedoch Simulationen von weiter reichender epistemologischer Bedeutung: In der realen Welt ist der Beobachter immer Teil der Welt, die er beobachtet. Er ist immer ein innerer Beobachter. Den äußeren Beobachter, der das Beobachtete nicht beeinflusst und dessen Wahrnehmung nicht durch seine Sinne oder Medien bestimmt ist, gibt es nur in einer idealisierten, nichtexistierenden Welt. Otto E. Rösslers Überlegungen zur "Endophysik"² und seine "Physik des inneren Beobachters" haben in dieser Hinsicht unsere Vorstellung des Verhältnisses von Subjekt und Welt verändert. Während das Kino die von der klassischen Physik idealisierte Welt imitiert und den Kinobesucher als äußeren Beobachter erhält, können VR-Systeme Situationen eines "expliziten inneren Beobachters" imitieren. Der Nutzer eines VR-Systems erfährt bewusst den Einfluss seines Handelns und seiner Beobachtung auf seine virtuelle Umwelt sowie die Verzerrung seiner Wahrnehmung durch die vermittelnden Medien. VR-Systeme simulieren mit dem "inneren Beobachter" – neben Bewegung und Belebung - einen grundlegenden Aspekt unserer Wirklichkeit



Quelle: Future Cinema

und bringen Bilder der Nachahmung des Lebens auch auf dieser Ebene einen Schritt näher.

Um die Bedeutung dieser Entwicklungen für unsere Kultur deutlich zu machen, müssen wir zu den Anfängen des Kinos zurückkehren.

2. Wahrnehmungstheorien und apparative Wahrnehmung

Apparative Untersuchung der Sinneswahrnehmung

Die Neuzeit erfordert die Auseinandersetzung mit Wahrnehmung auf zwei Ebenen: erstens die mit der "maschinengestützten Wahrnehmung" von Welt, zweitens mit der "maschinengestützten Untersuchung" unserer natürlichen Sinneswahrnehmungen. Wir sehen uns heute von einer großen Menge unterschiedlicher Techniken umgeben, durch die wir die Welt wahrnehmen. Das Spektrum reicht vom Mikroskop bis zu den Head-Mounted-Displays der virtuellen Realität. Diese künstliche, maschinengestützte Wahrnehmung hat unsere Vorstellungen von der Sinneswahrnehmung verändert. Gleichzeitig haben die Kenntnisse von den Bedingungen unserer Sinneswahrnehmung die Konzepte konstruierbarer Wahrnehmungstechnologien transformiert. Im technologischen Zeitalter beeinflussen sich die Modelle der natürlich-organischen und jene der künstlich-maschinengestützten Wahrnehmung gegenseitig und konstruktiv. Wahrnehmung steht heute per definitionem unter den Bedingungen des technologischen Zeitalters. Mit seinem epochalen Essay Das Kunstwerk im Zeitalter seiner technischen Reproduzierbarkeit lieferte Walter Benjamin bereits 1936 eine diskursive Matrix, die es erlaubt, einige Stationen jener Transformation zu verstehen, welche die industrielle Revolution nach sich gezogen hat. Die Erforschung optischer Phänomene stand am Beginn der Industrialisierung der Wahrnehmung und diese am Beginn der Industrialisierung der Ästhetik, von der Benjamin sprach. Sie setzte wie die industrielle Revolution Anfang des 19. Jahrhunderts ein. Die Vereinzelung und Verabsolutierung des Auges im 20. Jahrhundert zum dominierenden Sinnesorgan geschah mit Hilfe von Maschinen und Medien und eröffnete einen neuen Horizont des Visuellen.

Um eine Vorstellung davon geben zu können, was die Zielrichtung der nächsten hundert Jahre sein könnte, ist es notwendig, eine Reinterpretation der letzten hundert Jahre des bewegten Bildes und des kinematischen Codes vorzunehmen. Es wird erkennbar, wie wir die bilderzeugende Maschinerie und die Inhalte der Bilder im Laufe der Zeit verändert haben, bis zu jenem Punkt, an dem wir mit dem "intelligenten Bild" konfrontiert sein werden.

Die Geschichte des Kinos könnten wir im Jahr 1895 beginnen lassen, als die Brüder Lumière mit Hilfe ihres *Cinématographen* Filme drehten und vorführten. Doch der *Cinématograph* ist als ein Produkt langjähriger Forschung zu betrachten. Physiker, Optiker, Mathematiker, Erfinder und Amateure, aber auch einige Künstler arbeiteten nahezu über ein Jahrhundert, um eine Maschine wie den Kinematographen zu produzieren. Wenn dies der Geburtstag des Kinos war, dann können wir sagen, dass das 19. Jahrhundert für fast hundert Jahre mit diesem Konzept schwanger ging, bevor es in der Lage war, einer solchen Maschine das Leben zu schenken.

Die "hundertjährige Schwangerschaft" begann 1824 als unter anderem Peter Mark Roget, ein Arzt, der später auch durch die Erstellung des ersten großen Wörterbuchs, des *Thesaurus*, bekannt werden sollte, die Trägheit der Retina wiederentdeckte. Etwa eine zwanzigstel Sekunde nach der Lichteinwirkung bleibt der Lichteindruck auf der Retina noch bestehen. Diese Nachbildwirkung, die scheinbare Verschmelzung von

rasch hintereinander rezipierten Bildern auf der Netzhaut des Auges, wurde wissenschaftlich erfasst und bildet die physiologische Grundlage der Kinematographie, der Kunst der Bewegungsillusion bzw. der maschinellen visuellen Simulation von Bewegung.

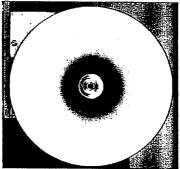
Die Nachbildwirkung und das so genannte "Zaunphänomen" – blickt man durch einen Zaun mit vertikalen Sprossen auf einen Wagen mit Speichenrädern, der vorüberfährt, so scheinen die Räder stillzustehen - weckten die Neugierde mehrerer Wissenschaftler. So baute Michael Faraday einen Apparat mit zwei gegeneinander drehbaren Zahnrädern. Bei gleicher Geschwindigkeit und Zähneanzahl boten sie den Eindruck eines feststehenden Rades. Wenn hingegen die Geschwindigkeit oder die Zähneanzahl differierten, bewegte sich der Zahnkranz scheinbar. Im Februar 1831 publizierte Faraday "On a peculiar Class of Optical Deceptions"³. Dem Weg von Roget und Faraday folgend wäre es möglich, eine langes paralleles Verzeichnis von physiologischer Forschung und Apparaten der Illusion anzulegen. So konzipierte der belgische Physiker Joseph Plateau 1832 das "Phenakistiskop"4. Ein österreichischer Mathematiker, Simon Stampfer, entwickelte im Jahre 1834 das so genannte "Stroboscop" ⁵. Mit seinem Buch Introduction à la médicine experimentale⁶ legte Claude Bernard bereits 1865 die Grundlagen für eine experimentelle Physiologie.

Ende des 19. Jahrhunderts formulierten Ernst Mach und Christian von Ehrenfels die Grundlagen der Gestaltpsychologie, die schließlich in den 1920er und 1930er Jahren durch die Berliner Psychologen Wolfgang Köhler, Kurt Koffka und Max Wertheimer ausgearbeitet wurde. Ernst Mach entwickelte ausgefeilte physikalische Methoden und Experimente, um die objektive Wirklichkeit seelischer und sensorischer Wahrnehmungen, besonders der Bewegung, mathematisch zu erfassen und zu dokumentieren. 1873 publizierte er *Optisch-akustische Versuche*⁷,

1875 die Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. Seine zahlreichen Forschungsergebnisse fasste er 1886 in seinem ersten Hauptwerk Beiträge zur Analyse der Empfindungen⁹ zusammen. Seine weiteren Bücher - die Populärwissenschaftliche Vorlesungen¹⁰ und Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen¹¹ aus den Jahren 1896 und 1900 sowie die posthume Veröffentlichung Die Principien der physikalischen Optik12 aus dem Jahr 1921 machten ihn nicht nur zu einer zentralen Figur des akademischen Wien der Jahrhundertwende, sondern sicherten ihm bis heute einen Einfluss auf die internationale Avantgarde. Seine Arbeit Beiträge zur Analyse der Empfindungen, in der die Begriffe "Tongestalt" und "Raumgestalt" auftauchen, hat zur Begründung der Gestaltpsychologie beigetragen. Seine Untersuchungen zum räumlichen Sehen - Beobachtungen über monoculare Stereoskopie¹³ oder sein populärer Aufsatz "Warum hat der Mensch zwei Augen?" – haben die stereoskopische Forschung, die Verschmelzung zweier flacher Bilder zu einem Bild mit scheinbarerer Tiefenwirkung, vorangetrieben.

Von den zahlreichen Beiträgen Machs zur Sinnesphysiologie, Gestalttheorie und Wahrnehmungspsychologie sind die "Mach'schen Ringe" bzw. "Bänder" vielleicht am bekanntesten.





Mach'sche Bänder entstehen an Stellen, wo zwei verschieden steile Lichtstärkengefälle zusammentreffen. // Quelle: Jenseits von Kunst



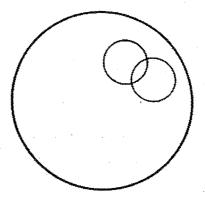




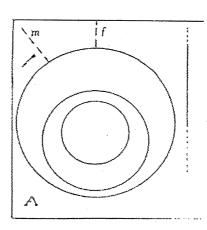
Auszug aus Ernst Machs Notizbüchern (1871-1910), vermutlich um 1871 entworfen // Quelle: Jenseits von Kunst

Der von Mach entdeckte Effekt der Kontrastwahrnehmung ist ein rätselhaftes Wechselspiel zwischen Kontrast und Angleichung - eine sensorische Illusion von Lichtstärkeverteilung. Es entstehen dabei für das Auge Kontraste bzw. Konturen, die von der tatsächlichen Helligkeitsverteilung abweichen. Beim Wechsel von weißen Feldern zu schwarzen beispielsweise wird die Grenze akzentuiert. Beim Übergang von der weißen in die schwarze Fläche entsteht subjektiv ein enger Ring von größter Helligkeit in der weißen Fläche und ein dunkler Ring in der schwarzen Fläche. 14 Mit diesen Mach'schen Effekten der Kontrastwahrnehmung arbeiteten später Maler wie Mark Rothko. Auf den Mach'schen Analysen aufbauend entwickelte Christian von Ehrenfels seine Überlegungen zur Gestalt, die er 1890 in seinem Aufsatz "Über Gestaltsqualitäten"15 veröffentlichte. Mit dieser Abhandlung setzte sich früh Alexius Meinong, der Begründer der Grazer Schule der "Gegenstandstheorie", auseinander und versuchte, den Gestaltbegriff theoretisch zu präzisieren. Er hielt einen eigenen psychischen Akt für nötig, damit aus den vorgegebenen Elementen der Wahrnehmung der entsprechende Gesamteindruck hervorgeht: Eine Gestaltvorstellung sei das Ergebnis eines psychischen Vorgangs, der als "Vorstellungsproduktion" zu verstehen sei. In Graz bildete sich mit Meinong und seinen

Schülern Stephan Witasek und Vittorio Benussi eine "Fundierungs- und Produktionstheorie" der Gestalt heraus, die im Gegensatz zur Berliner Schule (Köhler, Koffka, Wertheimer) stand, nach der die Gestalten das Primäre sind. Besonders Vittorio Benussi, der 1901 mit der Arbeit Über die Zöllersche Figur. Eine experimentalpsychologische Untersuchung dissertierte, spielte in dieser Auseinandersetzung der beiden Schulen eine zentrale Rolle.



Vittorio Benussi, 1912, Scheinbare Durchsichtigkeit beim stereokinetischen Phänomen. Klebt oder zeichnet man die Kreisstücke 3-farbig auf ein Kartenblatt und versetzt dieses in langsame Umdrehung, so sieht man zwei jeweils einfarbige Kreise — wie Schnittflächen einer Walze — hintereinander liegen. // Quelle: Jenseits von Kunst



Cesare L. Musatti, 1924, Kreise, die bei Rotation stereokinetische Effekte erzeugen // Quelle: Jenseits von Kunst



Marcel Duchamp, *Rotorelief*, 1935 // Quelle: Jenseits von Kunst

Physiologische Entdeckungen bildeten die Basis der Entwicklung des Kinos. Das für das bewegte Bild so grundlegende stroboskopische Prinzip wurde als erstes von Ophthalmologen entdeckt. Man könnte daher sagen, dass das Kino zunächst von Ärzten entwickelt wurde. Auf der Basis dieser physiologischen Entdeckung versuchten in den folgenden fünfzig Jahren Ingenieure, unterstützt von Physikern, Optikern und Mathematikern, verschiedene Maschinen zu konstruieren, die diese Eigenschaften nutzen konnten.

Exkurs: Wahrnehmung in der Chronokratie

Doch woher kam die Idee, die Trägheit des Sehens zu erforschen? Die Entdeckung der Sichtträgheit hat ihre Ursprünge in England, wo auch die Anfänge der industriellen Revolution zu finden sind. Die große Kluft zwischen der menschlichen und der maschinellen Leistung wurde damals offensichtlich. Maschinen wurden verlässlicher, schneller und wesentlich präziser. Dies provozierte die Frage: Was ist der Körper im Vergleich zur Maschine? Es schien, als müsse der Körper der Maschine angepasst werden. Die historischen Verknüpfungen zeigen sich in Details. 1895, im gleichen Jahr, als der Kinematograph in Frankreich der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, hielt auch Frederick Winslow Taylor, nach dem die Effektivierung des Verhältnisses von Mensch und Maschine in der Arbeitswelt benannt wurde, seine erste Vorlesung. Bereits 1872 sprach der Physiologe Étienne Jules Marey vom menschlichen Körper als einer "machine animale". 17 Philosophische Konzepte des Körpers als Maschine, wie sie bereits bei René Descartes und LaMettrie im 17. und 18. Jahrhundert zu finden sind, hatten sich in der Wissenschaftspraxis durchgesetzt.

Die Wissenschaft der experimentellen Physiologie und Psychologie versuchte zu erforschen, wie schnell das Auge operiert. Fragen der Geschwindigkeit, der Untersuchungen zeitlicher Abläufe, entwickelten jedoch in unterschiedlichen gesellschaftlichen Feldern eine größere Relevanz. Arbeits- und Bewegungsabläufe im Produktionsprozess sollten optimiert werden. Maschinell kontrollierte Zeit wurde zu einem universellen Maß jeder Aktivität. Auch der Begriff der "Reaktionszeit" wurde Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt, um jene Zeitspanne zu bezeichnen, die der Körper braucht, um auf maschinelle Prozesse antworten zu können.

Apparative Weltwahrnehmung

Die Arbeit Étienne Jules Mareys ist paradigmatisch für die apparative Aufrüstung unserer Wahrnehmung, welche sich parallel zur Untersuchung der Sinneswahrnehmung selbst entwickelte. Der als Physiologe und Mediziner ausgebildete Marey schuf Maschinen, die Bewegungen graphisch aufzeichnen konnten. Erst nachdem er die Werke Eadward Muybridges¹⁸ kennengelernt hatte, verwandte er Kameras. In dem Artikel "La méthode graphique"19 erläuterte er seine ursprüngliche ldee der direkten grafischen Aufzeichnung von Bewegung. Diese historische Entwicklung erinnert daran, das Wort Cinematograf durchaus wörtlich zu nehmen und als Schrift der Bewegung zu verstehen. Sowohl Muybridge als auch Marey begriffen sehr bald, dass es nicht genügt, die Bewegung zu analysieren, sondern dass auch Maschinen der Synthese entwickelt werden müssen. Die von der Maschine in Einzelbilder zerlegte Bewegung wurde wieder synthetisiert. Die Ingenieure des 19. Jahrhunderts bauten daher nun nicht nur Maschinen, die der Bewegung dienten. Sie konstruierten Maschinen, welche die Entdeckungen der Physiologie übersetzen konnten: Maschinen, mit denen Bewegung analysiert, und Maschinen, mit deren Hilfe Bewesimuliert(e) Bewegung.

gung synthetisiert werden konnte. Die Analyse, d. h. die in Einzelbilder zerlegende Aufzeichnung der Bewegung war die Aufgabe der Kamera, die Synthese der Bewegung hingegen die Aufgabe des Projektors. Der Kinematograph vereinte beide Aufgaben, er fungierte als Kamera und als Projektor. Die Kamera analysiert(e) Bewegung und der Projektor

In diesem Moment ist die Erfindung des Kinos abgeschlossen. Das 20. Jahrhundert hat lediglich die Erfindungen des 19. Jahrhunderts standardisiert und in ein Massenmedium verwandelt. Entscheidend ist jedoch, dass an diesem Punkt eine wesentliche Richtungsdefinition der Forschung und Entwicklung im Bereich des apparativen Sehens zu erkennen ist. Die Entwickler des Kinos begannen Maschinen zu bauen, in denen die Erkenntnisse der physiologischen Mechanismen der Wahrnehmung für die Simulation von Bewegung genutzt wurden, anstatt - und hier liegt das Problem - weiter gefasste "Maschinen der Wahrnehmung" zu entwickeln. Das Kino entwickelt sich aus der Aufzeichnung von Bewegung und ihrer Reproduktion. Alle weitergehenden wahrnehmungspsychologischen Forschungen bleiben unberücksichtigt. Das, was wir heute "Kino" oder "den kinematischen Code" nennen, ist bereits eine Reduktion des Forschungsansatzes des 19. Jahrhunderts. Statt Maschinen der Wahrnehmung zu entwickeln, entstanden reduzierte Maschinen für die Darstellung von Bewegung. Das System Hollywood steht heute noch für das Bewegungskino. Lediglich das Avantgarde-Kino der 1920er, 1950er und 1960er Jahre hatte die ursprüngliche Intention, eine komplexe Simulationsmaschine zu schaffen, aufrechterhalten.

Simulationen des Lebens: Kybernetik und Kino

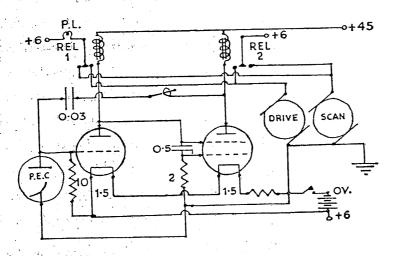
Die Illusionsmaschinen des 19. Jahrhunderts hatten sich auf die experimentelle Physiologie bezogen. Das 20. Jahrhundert verschob jedoch die Grenzen der wissenschaftlichen Untersuchung des Sehens. Auf die Gestaltpsychologie folgte die Neuro- und die Kognitionswissenschaft. Die Konzentration richtete sich nun auf das Gehirn, dessen Funktionsweisen in Analogie zu einer neuen Art von Maschine betrachtet wurden, dem Computer. Gleichzeitig bildeten Computerwissenschaftler wie W. Ross Ashby und John von Neumann Analogien zwischen ihren Maschinen und dem menschlichen Denkorgan.²⁰

Die Verschiebung in der Wahrnehmung des Menschen, die für das 20. Jahrhundert prägend war, wurde in der Publikation Norbert Wieners aus dem Jahr 1948 deutlich, mit der er einer neuen Wissenschaft, der Kybernetik, den Namen gab. Mit Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine²¹ knüpfte Wiener an den Vergleich zwischen Maschine und Mensch an. Die Wissenschaft der Kybernetik und ihre technischen Anwendungen erweiterten jedoch das Spektrum der Maschinen um Informationsmaschinen. Die Maschinen der Bewegung und des Transports verloren an Relevanz. Die neuen Maschinen waren perzeptorische Verarbeitungsmaschinen, Informations- und Kommunikationsmaschinen statt Bewegungsmaschinen. Mit Rezeptoren und Effektoren ausgerüstet sind sie in der Lage, Informationen zu empfangen, zu verarbeiten und diese Informationen an die Umwelt zurückzugeben. Es sind Maschinen, die Prozesse der Informationsverarbeitung durchführen, die bis zu diesem Zeitpunkt dem denkenden Menschen vorbehalten gewesen waren. Ihre Entwicklung stellte die Grundlagen dar für die Konzeption von visuellen Maschinen, welche die Simulation von Bewegung überschreiten und das "viable"

17

Bild, lebende Bildsysteme bzw. das denkende, intelligente Bild, konstruierbar machten. ²²

Ein weitgehend unbekanntes Experiment, mit einer Maschine Leben zu simulieren, ist die *Machina Speculatrix*, die W. Grey Walter 1950 der Öffentlichkeit präsentierte. Der Neurophysiologe hatte am Burden Neurological Institute als Teil seiner Untersuchungen der Gehirnfunktion mobile autonome Roboter gebaut. Die Roboter "Elsie" und "Elmer" (ELectro MEchanical Robots, Light Sensitive) rüstete er mit Motoren und Sensoren für Licht und Berührung aus. Diese einfachst programmierten Maschinen erlaubten ihm, seine Theorie zum komplexen Verhalten auf der Basis neuronaler Verbindungen zu studieren. Für die Bezeichnung "Machina Speculatrix" entschied sich Walter aufgrund der spekulierenden Bewegung in der Erkundung ihrer Umwelt. 1950 publizierte Walter in der Zeitschrift *Scientific American* zu seinen Forschungen den Artikel "The imitation of life" 23



W. Grev Walter Circuit of M. Speculatrix, 1950 // Quelle: Future Cinema



Claude E. Shannon, *Demonstration einer Maschine, für die Lösung des Labyrinth Problems*, 1951 // Quelle: Future Cinema

Das Ziel der neuen Generation von Maschinen war nicht mehr die Nachahmung von Bewegung, sondern die Erforschung der Imitation von Leben: Selbsterhalt durch Selbstregulation und Lernen sowie Reproduktion. Die Kybernetik machte deutlich, dass diese Maschine als System und als Teil des Gesamtsystems betrachtet werden muss, in das sie eingebunden ist. Nur Systeme können lebensähnliche Prozesse imitieren, nur rückgekoppelte Systeme können Denkprozesse nachahmen.

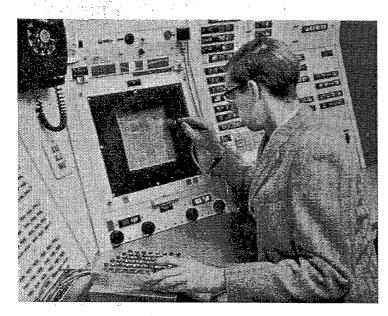
Systemische Bilder und Schnittstellen

Systeme müssen definiert werden. G. Spencer Brown formuliert das Axiom: "Construction: Draw a distinction".²⁴ Die Komponenten des Systems müssen isoliert, ihre Bezüge erklärt und das System und die

2

Umwelt voneinander unterschieden werden. Die apparative, maschinengestützte Währnehmung hat die Schnittstellen, die Grenzen zwischen Mensch und Umwelt, neu definiert. Dies hat auch Konsequenzen für den Bildbegriff des apparativen Visuellen. Bilder müssen als System begriffen werden, das sich aus maschinellen Bestandteilen, Software und dem Nutzer in einem zeitlichen performativen Vorgang realisiert. Wir müssen lernen, von Bildern nicht mehr als "Fenster" zu sprechen, sondern als "System". Wir benötigen hierfür eine Theorie der Grenze, des Interfaces.²⁵

Als Ivan Sutherland 1963 die Ergebnisse seiner Doktorarbeit an den MIT Lincoln Labs veröffentlichte, benannte er das neue Werkzeug nach dem aus dem 19. Jahrhundert übernommenen Verhältnis von Mensch und Maschine, aber gleichzeitig auch "System": "Sketchpad - A manmachine graphical communication system"²⁶. Mit dem interaktiven grafischen Kommunikationswerkzeug zwischen Mensch und Computer



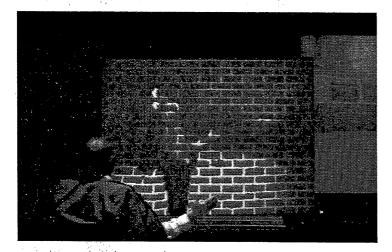
Ivan E. Sutherland, Sketchpad - A man-machine graphical communication system // Quelle: Schwartz, Medien-Kunst-Geschichte

wurde ein neues Arbeitsfeld sichtbar, das Interface. Was Sutherland in den Lincoln Labs konzipierte und technisch realisierte, war eine frühe Erfindung innerhalb eines Problemfeldes, das auf der theoretischen Ebene von der Kybernetik und der Systemtheorie bearbeitet wurde und das Denken des 20. Jahrhunderts stark beeinflusste.

Wie einleitend bereits erwähnt, gibt es eine Schnittstelle zwischen der Welt und uns. Die Schnittstelle bestimmt über unsere Wahrnehmung und unsere Handlungsfähigkeit. Der entscheidende Punkt ist, dass diese Schnittstelle variabel ist. Die Grenze lässt sich verschieben, sowohl in den Modellen, die wir uns von der Wirklichkeit machen, als auch in der tatsächlichen physikalischen Anwendung. Was sich jetzt in der Umwelt befindet, kann beim nächsten Schritt Teil des Systems sein. Was sich im System befindet, kann die Umwelt für das Subsystem sein. Das heißt, wenn ich in einem System Beobachter bin, kann ich für die nächste Umwelt, für einen anderen Beobachter, Teil des Systems sein. Doch normalerweise verhalten wir uns so wie im klassischen Kino. Wir glauben, wir seien äußere Beobachter des Bildes, deren Verhalten vor dem Bild keine Auswirkungen auf das Bild hat. Wir können jedoch nun Systeme konstruieren, bei denen unsere Beobachtung Teil des Systems ist, das wir sehen.

Hierfür wurde die Quantentheorie mit ihren Wirkungen auf die Beobachtung (von Heisenbergs *Unschärferelation*, 1927, bis John Archibald Wheeler's *participatory universe*, 1983) zu einem beispielhaften Modell für beobachterabhängige Medien wie sie in interaktiven Bildinstallationen und Systemen zur Anwendung kommen. "To speak of the universe as a self-excited circuit is to imply once more a participatory universe"²⁷. Wenn man etwa vor meine Arbeit *Die Wand, der Vorhang (Grenze, die), fachsprachlich auch: Lascaux* (1994) tritt, realisiert man

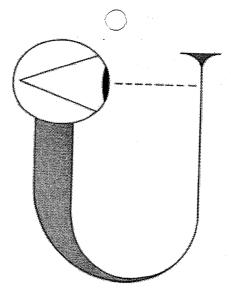
schnell, dass die eigene Beobachtung, das eigene Verhalten, die Projektion beeinflusst. Der Betrachter wird Teil des Systems, das er betrachtet. Man sieht sich selbst beim Sehen vor einem Objekt. Natürlich kann man auch zurücktreten und damit Teil der Umwelt sein, statt Teil des Systems.



Peter Weibel, Die Wand, der Vorhang // Quelle: ZKM

Die Grenze zwischen System und Umwelt ist variabel. Wir können die Idee der Grenze nicht zerstören, da wir sie benötigen. Aber wir können sie variieren. Das Interface sorgt für einen variablen Austausch von Signalen zwischen Umwelt und System. Daher ist in Zukunft viel von der Architektur zu erwarten, die bewusst die inneren Systeme, wie in einem Haus, mit der äußeren Umwelt, der Stadt, verbindet. Die Architektur wird neue Interfaces erfinden.

Das interaktive computerbasierte Bild kann als System definiert werden. Zwar finden wir bereits in der Videotechnik systemische Anwendungen. In Closed-Circuit-Installationen, beispielsweise in *Wype Cycle* von Ira Schneider und Frank Gillette aus dem Jahr 1969, beeinflusst der Betrachter durch sein Verhalten das Bild, das ihn beim Akt der Beob-



John Archibald Wheeler, Das Universum gesehen als selbsterregter Kreislauf.
Klein beginnend (ein dünnes U "oben rechts"), wächst es (Krümmung U) und führt zur ("oben links") Beobachterpartizipation, die sogar den frühesten Tagen des Universums "berührbare Realität" vermittelt. // Quelle: Future Cinema

achtung selbst zeigt. Doch die Möglichkeiten der Beeinflussung waren beschränkt. Die Transformationen in computergestützten Installationen können frei programmiert werden, bis zu dem Punkt, an welchem dem Betrachter ein "lebendiges" Bild gegenübertritt, dessen Verhalten als intelligent eingestuft wird und das nicht vorhersagbar ist. Neue Formen filmischer Erzählungen werden aus dieser Technik entstehen.

Genetische Algorithmen

Das computerbasierte Bild ist ein System aus Variablen. Als nächstes ist daher die Frage zu klären, wie diese Variablen eines Bildsystems zu definieren sind. Wir definieren sie als Agenten. Die Idee der Agenten hat eine lange Geschichte: Ein Mathematiker, Axel Thue, sah sich 1914 mit einem linguistischen Problem² konfrontiert. Er hatte eine Reihe von Buchstaben, sagen wir sieben Buchstaben, von A-G, die ein Alphabet darstellten. Er notierte eine Formel, die aus, sagen wir, vier Buchstaben bestand. Seine Grammatik bestand aus zwei Regeln: A kann immer zu A und B transformiert werden, und B kann immer zu A transformiert werden. Seine Fragestellung lautete nun, ob eine allgemeine Methode

25

gefunden werden könne, mittels derer sich entscheiden lässt, ob sich aufgrund der beiden Regeln, der Grammatik, jede schriftliche Formel aus den sieben Buchstaben ableiten lässt. Er fand heraus, dass sich dieses "Wortproblem" nicht auf dem allgemeinen Niveau lösen ließ, sondern nur Schritt für Schritt. Die Unlösbarkeit dieses "Wort-Problems" Thue's erlangte später durch Emil Leon Post29 Berühmtheit. Noam Chomsky, der das Semi-Thue-System erfand, schuf die ersten logisch-mathematischen Modelle für die Sprache. Auf der Grundlage dieses Semi-Thue-Systems Chomskys entwickelten J. Backus und P. Naur die erste Programmiersprache, "ALGOL" (ALGOrithmic Language)30, 1967 erfand Aristid Lindenmayer, der belgische Mathematiker, das L-System, das Lindenmayer-System, das eine klare Anwendung der Thue-Technologie war³¹. Es handelte sich um eine Programmiersprache, die Lindenmayer als "genetischen Algorithmus" bezeichnete. Thue sagte, wenn man dieses Wort-Problem habe, das heißt, wenn man herausfinden wolle, ob sich eine Buchstabenreihe aus der Grundformel ableiten lässt, dann müsse man einen Algorithmus, eine allgemeine Formel dafür erfinden. Lindenmayer griff nach 50 Jahren Forschung Thues Idee auf und entwickelte einen genetischen Algorithmus. Mit Hilfe dieses mathematisch-linguistischen Modells war er imstande, das Wachstum von Pflanzen zu simulieren. 32 Es waren keine indexikalischen Aufzeichnungs- und Projektionsmaschinen wie der Cinématograph, sondern es war eine Programmiersprache, die es möglich machte, einen Aspekt des Lebens nachzuahmen. W. Grey Walter hatte versucht, exploratorisches Verhalten nachzubilden, die genetischen Algorithmen Lindenmayers machten es möglich, Wachstum zu simulieren. Mimesis bezieht sich nicht mehr auf die illusionistische Nachahmung der Oberfläche, sondern auf die Regeln, die diese Oberfläche erzeugen. Der cinematische Kode eines möglichen Kinos der Zukunft ist nicht die Nachahmung der Bewegung, sondern

die Nachahmung von Wachstum, sogar von chaotischem Wachstum, als einem Aspekt des Lebens. Genetische Algorithmen definieren, wie die Pflanze wächst. Die visuelle Simulation von Bewegung als Ausdrucksform des Lebens reicht für die Zukunft des Films nicht aus. Nach Lindenmayer schrieb John H. Holland 1996 das beste Lehrbuch über genetische Algorithmen. Er präsentierte den nächsten Schritt, das Konzept der "komplexen adaptiven Systeme". Das Ziel war, ein System in die Lage zu versetzen, sich an die Umwelt anzupassen. Bis dahin gab es die Trennung von System und Umwelt und es gab keinen Austausch zwischen beiden. Man hatte keine Vorstellung davon, wie sich das System von selbst entwickeln, und wie das gesamte System wachsen und sich an die Umwelt anpassen können würde. 1996 veröffentlichte Holland ein Buch mit dem Titel Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity33, in dem er erläutert, wie Adaptation zum Aufbau von Komplexität führt. Er stellt sieben Konzepte vor: Aggregation, Tagging, Nicht-Linearität, Flüsse, Diversität, interne Modelle und Bausteine. Alle diese Mechanismen oder Eigenschaften eines Systems machen es möglich, dass sich ein System, wenn es komplex genug ist, an die Umwelt anpassen kann. Diese Adaptation wird durch so genannte Software-Agenten oder durch autonome Agenten durchgeführt. Diese Agenten können innerhalb des Algorithmus ihre eigene Entscheidung darüber treffen, was zu tun ist, so dass sich erstmals das System innerhalb des Systems anpassen kann. Diesen Prozess der Anpassung können wir als "intelligentes Verhalten" bezeichnen. Das System insgesamt wird "lebensfähig". Komplexe Algorithmen und neuronale Netze ermöglichen es, von "viablen", lebensähnlichen Bildsystemen zu sprechen. Ähnlich wie ein Roboter Grey Walters, verhält sich das Bild als System wie ein lebender Organismus.

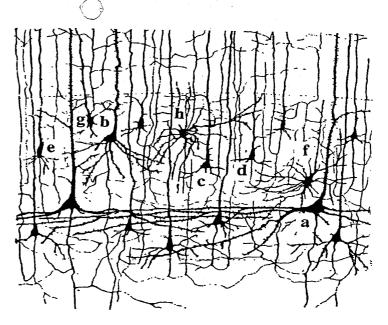
4. Wahrnehmungssysteme jenseits des Auges

Neurocinema

Die Geschichte des Films und des computerbasierten Bildes zeigt deutlich, dass nicht mehr die Physiologie die Grundlagenwissenschaft eines Kinos der Zukunft ist, sondern die Neuro- und Kognitionswissenschaft, begleitet von der Mathematik und der Automatentheorie. Paten sind Forscher wie Alan Turing, Ross Ashby, Norbert Wiener und Arturo Rosenblueth, Warren McCulloch, Donald McKay, Walter Pitts und Aristid Lindenmayer, ebenso wie John McCarthy.³⁴

Im 19. Jahrhundert entdeckte man, dass Neuronen Aktionspotentiale benutzen, um Signale über große Entfernungen zu übertragen. Die Alles-oder-nichts-Natur des Aktionspotentials bedeutet, dass es Informationen durch ihre Präsenz oder Absenz und nicht durch ihre Größe oder Form kodiert, also im binären Code. In dieser Hinsicht kann man ein Aktionspotential als Impuls auffassen. Wie repräsentieren Aktionspotentiale sensorische Zustände und mentale Aktivitäten? Wie sind Informationen in den Feuerungsmustern (firing patterns) gespeicherter und wiedergewonnener Aktionspotentiale enthalten? Die ersten Bilder neuronaler Netzwerke verdanken wir Ramón y Cajal. Sie machten es möglich, die Frage, wie das Gehirn Informationen verarbeitet, präziser zu formulieren. Erregung und Hemmung waren als Attribute der Aktivitäten der neuronalen Netzwerke seit 1900 bekannt. Doch die erregenden und hemmenden Effekte der Nervenpulse wurden erstmals von David Lloyd nachgewiesen. Se

Um die Verbindung zwischen der physiologischen Untersuchung des Nervensystems und seiner Tätigkeiten sowie den Möglichkeiten einer Informationen prozessierenden Maschine und damit des "viablen" Bildes zu sehen, müssen wir jedoch zunächst zur Geschichte der Logik

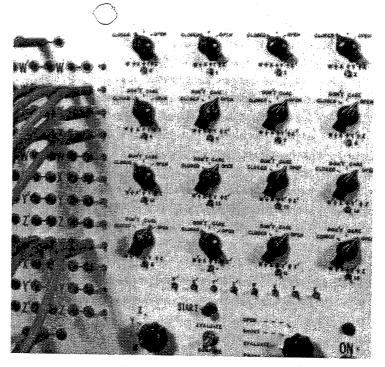


Diese Reproduktion einer Zeichnung von Ramón y Cajal zeigt die Neuronen im Kortex in einem kleinen Maßstab; in Wirklichkeit ist die Neuronendichte wesentlich höher. Die Zelle b ist ein hübsches Beispiel einer pyramidalen Zelle mit einem dreieckigen Zellkörper. Dendriten kann man an ihrer rauen Oberfläche erkennen. Das Axon erstreckt sich nach unten und weist links und rechts mehrere Seitenzweige auf. // Quelle: Future Cinema

zurückkehren und zur Annahme, dass der Geist logisch strukturiert ist. Gottfried Wilhelm von Leibniz zeigte, dass sich die Logik operational auf die Arithmetik reduzieren und dass sich die Arithmetik in einem binären Kode ausdrücken lässt. 37 Alle Zahlen können durch die Ziffern 0 und 1 dargestellt werden. Er konzipierte eine logische Maschine, die jede berechenbare Zahl durch algebraische Operationen, die man heute als Algorithmen bezeichnet, berechnen konnte. Der englische Mathematiker George Boole entwickelte Mitte des 19. Jahrhunderts in seinen Büchern zur Untersuchung der Gesetze des Denkens 38 und zur mathematischen Analyse 39 eine symbolische Methode für logische Relationen, ein Satzkalkül, deren Variablen entweder 0 oder 1 sind. Die Beschreibung der mit Denkprozessen einhergehenden Nervenaktivitäten lässt sich in Anleitungen für die Gestaltung von Maschinen

verwandeln, die denken können, oder – was auf dasselbe hinausläuft – für die Gestaltung von Programmen. Die Ideen der formalen Logik träfen auf die Ergebnisse physiologischer Untersuchungen und die daraus abgeleiteten Modelle.

Seit Ramon y Cajals Entdeckung, dass der zerebrale Kortex aus Zellschichten besteht, die die Oberfläche der Pia Mater berühren, hat die Gehirnwissenschaft enorme Fortschritte gemacht. Es gibt inzwischen einen Atlas des menschlichen Gehirns⁴⁰, und wir wissen viel über die bewussten Erfahrungen⁴¹. Beginnend im 19. Jahrhundert machte die Erforschung von Analogien zwischen Mathematik und Geist, zwischen algebraischen Operationen und Nervenaktivitäten schnelle Fortschritte. Mitte des 20. Jahrhunderts konnten Nervenaktivitäten, die Ideen und Denkprozesse repräsentierten, in mathematischen Termen beschrieben und formuliert werden. Diese Suche führte zu nach mathematischen Gesetzen konstruierten theoretischen Maschinen, die rechnen bzw. denken konnten, wie etwa dem Satzkalkül. Diese theoretischen Maschinen können in reale Maschinen umgesetzt werden. Mechanismus, Mentalismus und Mathematik wurden als parallele Welten aufgefasst.42 Symbolische oder formale Logik kamen letztendlich bei der Gestaltung von Stromkreisen zum Einsatz. 43 Man baute Stromkreise, um ein Gehirn zu entwerfen.44 1938 benutzte Claude E. Shannon die Boole'sche Algebra, um zu zeigen, dass es eine vollkommene Analogie zwischen dem Kalkül von Sätzen und dem Kalkül für Relais und Schaltkreise gibt. 45 Ein Theorem des Satzkalküles kann auch als gültiges Theorem von Schaltkreisen gedeutet werden.



Claude E. Shannon. Ansicht der Vorderseite des Schaltkreis-Analysators // Quelle: Future Cinema

Der entscheidende Wendepunkt kam 1943 mit der Veröffentlichung dreier theoretischer Schriften, die gleichzeitig die Geburtsstunde der Kybernetik kennzeichnen. Auf die Rolle der Kybernetik hatte ich bereits im Zusammenhang mit der Systemtheorie und dem viablen Bild verwiesen. Hier sei nun neben der Simulation von Leben ein weiterer Aspekt herausgegriffen — die Mechanisierung des Denkens. Norbert Wiener, Arturo Rosenblueth und Julian H. Bigelow vom MIT schlugen in ihren Publikationen Möglichkeiten vor, Ziele und Zwecke des Verhaltens in Maschinen einzubauen. 46 Warren S. McCulloch und Walter H. Pitts zeigten, wie Maschinen logische und abstrakte Konzepte benutzen, und wie neuronale Netzwerke als Parallelcomputer aufgefasst werden könnten. 47

Ein logisches Kalkül der der Nervenaktivität immanenten Ideen 1943

$$\begin{split} & \mathcal{N}_{2}(t) = \mathcal{N}_{1}(t-1) \\ & \mathcal{N}_{3}(t) = \mathcal{N}_{1}(t-1) \vee \mathcal{N}_{2}(t-1) \\ & \mathcal{N}_{3}(t) = \mathcal{N}_{1}(t-1) \vee \mathcal{N}_{2}(t-1) \\ & \mathcal{N}_{3}(t) = \mathcal{N}_{1}(t-1) - \mathcal{N}_{2}(t-1) \\ & \mathcal{N}_{4}(t) = \mathcal{N}_{2}(t-2) - \mathcal{N}_{2}(t-1) \\ & \mathcal{N}_{4}(t) = \mathcal{N}_{1}(t-1) - \mathcal{N}_{2}(t-1) \vee \mathcal{N}_{3}(t-1) - \mathcal{N}_{1}(t-1) - \mathcal{N}_{2}(t-1) - \mathcal{N}_{3}(t-1) \\ & \mathcal{N}_{4}(t) = \mathcal{N}_{1}(t-2) - \mathcal{N}_{2}(t-2) \vee \mathcal{N}_{3}(t-2) - \mathcal{N}_{1}(t-2) - \mathcal{N}_{2}(t-2) - \mathcal{N}_{3}(t-2) \\ & \mathcal{N}_{3}(t) = \mathcal{N}_{2}(t-2) - \mathcal{N}_{1}(t-3) \end{split}$$

Quelle: Future Cinema

1943 schlug Kenneth J.W. Craik von der Cambridge University vor, dass Maschinen Modelle und Analogien benutzen könnten, um Probleme zu lösen. 48 Warren McCulloch und Walter Pitts formale Theorie neuronaler Netzwerke bildeten die Grundlage für die Automatentheorie und Künstliche Intelligenz. Aufgrund des "Alles-oder-nichts"-Charakters der Nervenaktivität kann man ein Neuron als binäre logische Vorrichtung auffassen. Neuronale Ereignisse lassen sich mittels der aus Rudolf Carnaps Die logische Syntax der Sprache⁴⁹ (1934) abgeleiteten Satzloaik beschreiben. Shannon demonstrierte die Analogie zwischen dem Satzkalkiil und der Nervenaktivität. Neuronale Netzwerke, Schaltkreise und logisches Kalkül gehorchten denselben Gesetzen. Elektronische Maschinen können daher die Aufgabe neuronaler Netzwerke erledigen und rechnen. McCullochs und Pitts Modell der Nervenaktivität und ihr Vorschlag, dass Neuronen logische Funktionen berechnen, beeinflusste John von Neumanns Architektur zukünftiger digitaler Computer, die er 1945 in seinem Aufsatz "First draft of a report on the Electronic Discrete Variable Calculator" skizzierte. 1947 präsentierten Pitts und McCulloch eine theoretische Konstruktion neuronaler Netzwerke zur

Mustererkennung, die zeigte, wie visueller Input motorischen Output mittels der distribuierten Aktivität eines schichtenweisen neuronalen Netzwerks kontrollieren kann. In diesem bemerkenswerten Aufsatz mit dem Titel "How we know universals: The perception of auditory and visual forms"50, schlugen Pitts und McCulloch eine ganze Reihe sehr spezifischer neuronaler Mechanismen vor, die dazu benutzt werden können, wichtige Quantitäten von einer neuronalen Repräsentation zu abstrahieren. Zwischen den Aufsätzen von 1943 und 1947 ereignete sich der Übergang von der binären neuronalen Rechenlogik zu spezialisierten neuronalen Strukturen, die bestimmte Aspekte eines sensorischen Stimulus berechneten. S.C. Kleenes Aufsatz "Representation of events in nerve nets and finit automata" von 1951⁵¹ markierte, gemeinsam mit anderen, den Beginn der abstrakten Automatentheorie.

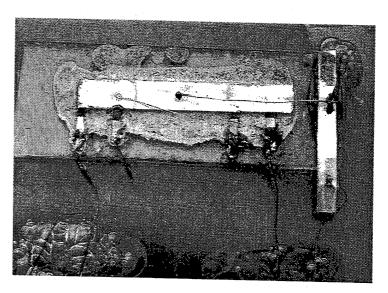
Die Idee war geboren: Mit Hilfe der Logik ließen sich Ereignisse der Welt in künstlichen neuronalen Netzwerken repräsentieren. Diese Netzwerke ließen sich durch Schaltkreise simulieren, die denselben Gesetzen symbolischer Logik folgten, wie sie bei der Repräsentation von Ereignissen in neuronalen Netzwerken angewendet werden. Automaten, die mittels solcher Schaltkreise gebaut wurden, konnten Nervenaktivitäten im Gehirn wie etwa Denkprozesse, Rechnen und sogar das Sehen prinzipiell simulieren. Die Maschinensicht im molekularen Maßstab ist eine Möglichkeit des zukünftigen kinematischen Imaginären. Das Modell von McCulloch und Pitts basierte auf binären Einheiten, während viele der jüngeren Netzwerkmodelle auf kontinuierlichen Variablen beruhen. Unsere Wahrnehmung der Welt wird vom Input der sensorischen Nerven bestimmt. Dieser Input erreicht das Gehirn in Form kodierter Sequenzen aus Feuerungsmustern von Aktionspotentialen oder nadelförmigen Impulsen. Das Auge beispielsweise kommuniziert dem Gehirn Ketten nadelförmiger Impulse. Die

Information wird durch das Feuern der Neuronen kodiert, das Timing der nädelförmigen Impulse kodiert die Information. Neuronale Netzwerke sind daher impulskodiert. Sehen ist keine räumliche Darstellung im Gehirn vermittels der Netzhaut, sondern die Berechnung zeitlicher Muster durch das Gehirn. Diese impulsgestützte neuronale Kodierung, die durch das Feuern der Neuronen erzeugt wird, liefert die Grundlage unserer Wahrnehmung. Biologische neuronale Netzwerke, die durch Pulse kommunizieren, benutzen das Timing des Impulses zur Informationsübertragung. Impulsgesteuerte neuronale Netzwerke⁵² bedeuten, dass Sehen als ein zeitlicher Kode begriffen wird.

Das zukünftige Kino wird imstande sein, solche impulsgesteuerten neuronalen Netzwerke genau zu simulieren oder zu stimulieren. Statt trompe l'oeil dürfte der nächste Schritt das trompe le cerveau sein; der kinematografische Apparat wird das Gehirn täuschen, nicht das Auge, und wird mit Hilfe molekularer Maschinen präzise impulsgesteuerte neuronale Netzwerke steuern und lenken. Wir werden imstande sein, das Sehen zu imitieren, eine kinematische Erfahrung ohne Licht zu konstruieren. Dank impulsgestützter zeitlicher Codes, die das Gehirn direkt mit Hilfe von Neurochips oder Gehirnchips stimulieren, wird es Wahrnehmung ohne die Augen als Sehorgane geben. Die Stimulation, die künstliche impulsgestützte Repräsentation der Welt, wird die Simulation ersetzen. Das Gehirn wird zur Filmleinwand werden. 53 Man kann davon ausgehen, dass die Neurophysiologie im 21. Jahrhundert die Rolle spielen wird, die die Physiologie für die Entwicklung des Films im 19. Jahrhundert gespielt hat. Fortschritte beim Neurocinema und der Kognitionswissenschaft⁵⁴ geben Anlass zu der Hoffnung, dass es den Ingenieuren der Zukunft gelingen wird, diese Entdeckungen in neuronalen und molekularen Maschinen zu implementieren, welche die Simulationstechnologie zur Täuschung des Auges in eine Stimulationstechnologie verwandelt, die ihrerseits das Gehirn täuscht.

eye cinema trompe l'oeil eye technology		neurocinema	trompe le cerveau brain technology	
medicine	Roget	cognitive science	Edelmann	
physiology physics	Marey Faraday	neurophysiology nanotechnology	Kandel _	
optics mathematics	Stampfer Mach	quantum physics quantum computing	Feynman Bell Deutsch	
macro-engineers	Lumière	molecular engineering	Drexler	

EyecinemaBraincinema // Quelle: Future Cinema



Jack Kilby. Der erste "integrierte Stromkreis" oder "Chip". Statt jede Komponente einzeln herstellen zu müssen, brachte der Erfinder einen Transistor, einen Kondensator und mehrere Resistoren auf demselben Germaniumstück unter. // Quelle: Future Cinema

Exkurs: Nichtlokale, verteilte Bildsysteme

Frühe Virtual-Reality-Umgebungen ermöglichten einem Betrachter, einen digitalen Raum zu erkunden. Im nächsten Jahrzehnt müssen wir versuchen, das Bild so zu gestalten, dass der Beobachter nur ein Knoten in einem weiter definierten Bildsystem ist. Der Beobachter ist nicht mehr der Privilegierte eines Originals oder einer exklusiven Hardware-

Software-Installation. Blicken wir in die Geschichte des bewegten Bildes, so waren die ersten Illusionsgeräte, wie beispielsweise das Phenakistiskop, auf einen individuellen Betrachter ausgerichtet. Eine Person sah an einem Ort einen Film. Diese Erfahrung wurde in eine kollektive Erfahrung transformiert. Das Verhältnis aus der Anzahl möglicher Zuschauer, möglicher Orte und Zeiten wandelte sich historisch immer wieder. Im Kino sahen mehrere Personen einen Film zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort – das Prinzip der Einheit blieb erhalten.

,	19 th century	Viewer(s)	Place(s)	Time(s)	Film(s)		
	Phenakistoscope single spectator	1	1	1	1		
	Projector simultaneous collective perception	x	1	1	1		
	20 th century						
	TV simultaneously distri- buted non-local	×	X	1	1		
	Video, CD-ROM	x/1	x/1	x/1	x/1		
	Virtual Reality single spectator	1	1	1	1		
	21 st century						
	Distributed non-local Multi-User Virtual Environment (MUVE) anybody anywhere	x	x	x	x		
	any time	X = any quantity					

Anzahl der Betrachter - Ort - Zeit // Quelle: Future Cinema

Das Fernsehen ermöglichte eine kollektive Beobachtung an unterschiedlichen Orten zum selben Zeitpunkt. Immersive virtuelle Realitäten, wie sie mit Ivan Sutherlands Head-Mounted-Display begannen, entsprechen in ihrer Struktur wieder dem Phenakistiskop. Der Beobachter sieht isoliert einen Film an einem Ort. Ziel muss jedoch sein, kollektive, optional simultane und nicht-simultane sowie dislozierte Erfahrungen zu ermöglichen, anstatt zur Einzelerfahrung zurückzukehren. Das Bildsystem muss an unterschiedlichen Orten erfahrbar sein, sein Material aus Quellen stammen, die nicht notwendig lokal sind. Wir müssen ein Technologiesystem entwickeln, das es uns ermöglicht, eine kollektive Erfahrung zu machen. Die jeweilige Schnittstelle zum Bildsystem darf den Betrachter nicht durch Hardware-Apparaturen von seiner Umwelt trennen. Das Kino der Zukunft muss von der Neurophysiologie lernen.

Quantencinema

Das Skalieren ist eine Frage des zukünftigen Kinos. Können wir, wenn wir auf der Ebene der supramolekularen Chemie oder Nanotechnologie arbeiten, einen kinematografischen Apparat erfinden, der es uns ermöglicht, nicht nur einzigartige Neuronen, Zellen und neuronale Netzwerke zu entwickeln, sondern auch Partikel, die kleiner sind als Neuronen? Wenn das machbar ist, dann können wir von der Quantentheorie lernen. Sie lehrt uns - die neuere Systemtheorie hat dieses Wissen integriert --, dass die Realität beobachterabhängig ist. Alles, was beobachtet wird, wird durch den Akt der Beobachtung auch verändert. Das bedeutet, dass wir uns von der Rezeptortechnologie (Kamera) zur Effektortechnologie bewegen müssen. Bis jetzt haben wir nur Rezeptoren entwickelt: Aufzeichnungsmaschinen, mit denen man die Welt aufzeichnen und repräsentieren kann. Die jahrzehntealte Krise der Repräsentation wird erst dann gelöst sein, wenn wir eine Effektorentechnologie entwickeln. Der Akt der Beobachtung verändert nicht nur die Wahrnehmung der Realität und des Bildes, sondern auch die reale Welt. Wenn in unserem Fall der Beobachter eine Maschine

ist, dann ist unsere Realität nicht nur beobachter-, sondern auch maschinenabhängig. Die neuen Beobachtungsmaschinen verändern nicht nur die Wahrnehmung und simulieren das Leben, sondern sie konstruieren die Realität. Letztlich wird auch unser Status als Subjekte durch diese beobachterabhängige, maschinenabhängige Realität verändert. Während man in der klassischen Welt mit Fug und Recht sagen konnte "erkenne dich selbst" oder "drücke dich selbst aus", muss das Subjekt in der Welt, die mit Hilfe solcher Maschinen konstruiert wird, ebenfalls hergestellt werden. Wie die Maschinen, die konstruieren können, was sie und wir sehen, ist das Einzige, was wir tun können "uns selbst" zu konstruieren. David Finkelstein hat gezeigt, dass man die Quantenphysik als theoretisches Modell für die interaktiven Medien betrachten

Media Quantum Physics D. Finkelstein: Computer Quantum interactivity complementaitry massive massive parallel parallel computing virtual (qubits, worlds superposition) entanglement (E. Schrödinger) simulation teleportationof teleportation of information (Zeilinger)

Quelle: Future Cinema

kànn.55

36

Wahrscheinlichkeitsräume und Wirklichkeit

Das Kino der Zukunft muss veränderten Begriffen von Raum, Zeit und Bewegung Rechnung tragen. Auch hierfür wurden die Grundlagen bereits im 19. Jahrhundert gelegt. Fast zur selben Zeit wie Marey veröffentlichte der Mathematiker Josiah Gibbs 1873 einen Artikel mit dem Titel "A method of geometrical representation of the thermodynamic properties of substances by means of surfaces"56. Es ging darum, eine Methode für die geometrische Darstellung der thermodynamischen Eigenschaften lebender Organismen zu finden, darum, wie man Energie darstellt. Er wollte weder Bewegung noch Partikel darstellen, sondern eine immaterielle Eigenschaft, und zwar mit Hilfe der Oberflächen. So erfand er das, was wir heute als texture-mapping bezeichnen. Er realisierte, dass man durch die Konstruktion von Oberflächen eine Vorstellung davon gewinnen kann, wie man einen Energiestrom darstellen kann. Dieser Artikel schuf das, was heute als der "Phasen-Zustand" oder der "Gibbs-Phasen-Zustand" bezeichnet wird. Dieser zeigt, dass der Raum nichts Kontinuierliches ist, sondern dass er selbst eine statistische Eigenschaft ist.

Richard Feynman verstand Gibbs Idee und führte sie einen Schritt weiter. Er sah, dass der Position eines Anfangswertes durch den Zustand eines Systems ersetzt werden muss. Der Zustand eines Systems wird von einem Vektor in seiner Entwicklungszeit repräsentiert: Gibbs arbeitete nur mit Geometrie, Feynman hingegen meinte, dass wir auch die Entwicklungszeit berücksichtigen müssen. Statt die Bewegung eines Partikels von einem Punkt A im Raum zu einem Punkt B zu betrachten, müssen wir sie durch einen Phasenraum ersetzen. Die Vorgänge dürfen nicht als Bewegung definiert werden, sondern als Übergänge zwischen verschiedenen Zuständen. Das ist eine großartige Idee. Wir sehen nicht mehr wie die Aufzeichnungsmaschinen des 19. Jahrhunderts, die Bewegung in Einzelbildern analysierten, sondern wir sehen die Bewe-

gung als ein dynamisches System, in dem wir Übergänge zwischen Zuständen unterscheiden müssen. Wenn es zu einem Übergang kommt, dann wechselt das ganze System in einen anderen Phasenzustand. Dieser Raum lässt sich nie wirklich messen, sondern man kann ihm nur einen Wahrscheinlichkeitswert zuordnen.

Es bleiben also Wahrscheinlichkeiten für mögliche Wege. Im altmodischen Kino gibt es hier einen Anfangspunkt A und dort einen Endpunkt B, und wir wissen genau, wohin eine Gestalt sich bewegt. In der Physik verhält es sich anders: Es gibt viele Wahrscheinlichkeiten für mögliche Wege. Der Weg, den ein Partikel nimmt, ist einfach nur ein probabilistischer Durchschnitt (aller) möglichen Wege. Feynman entwickelte das, was heute als das "Feynman-Weg-Integral" bezeichnet wird, ein Integral aller möglichen Wege. Für Filmemacher, für Hersteller visueller Werke bedeutet dies, dass der Beobachter die Chance erhalten muss, die möglichen Wege einzuschlagen. Statt zu sagen, er tut dieses oder jenes, benötigen wir eine Art kausaler Zirkularität, bei der man von diesem zu jenem geht. Wir müssen eine Technologie erfinden, die eine Möglichkeit von Wegen bereitstellt, ein stochastisches Wahrscheinlichkeitsmodell von Wegen, von Bewegungen. Erst wenn wir darüber verfügen, können wir uns vorstellen, dass ein Betrachter seine eigene Entscheidung trifft. Wir versuchen das heute noch auf ziemlich rudimentäre Weise mit den zeitgenössischen Hypermedien oder CD-ROMs, bei denen man in einer Geschichte verschiedenen narrativen Wegen folgen kann, und im Database Cinema. Es gibt bereits eine Tendenz, dem Beobachter ein undefiniertes Feld zur Verfügung zu stellen, eine Wahrscheinlichkeit verschiedener Wege. Das Feynman-Integral der Wahrscheinlichkeitswerte ist im Computer gespeichert, und der Beobachter handelt wie ein Partikel, indem er die Übergänge zwischen den Phasenzuständen auswählt. Der Film der Zukunft wird das Leben (eines Individuums) als den probabilistischen Durchschnitt (aller) möglichen Wege zeigen.

Beim linearen Kinomodell verfügt man über einen Projektor und ein Bild. Wenn man erkennt, dass die Quelle des Bildes ein großes Feld von Wahrscheinlichkeiten, ja sogar von stochastischen Wahrscheinlichkeiten ist, beginnt man zu begreifen, wie viele Menschen imstande sein könnten, verschiedene Filme zur gleichen Zeit zu sehen. Ich habe die Vision, dass jedes Mitglied eines Kinopublikums imstande ist, nicht nur einen anderen Film zu imaginieren, sondern tatsächlich einen anderen Film zu sehen. Diese Idee, die sich mit Bildern auf Zelluloid nicht realisieren lässt, kann mit der virtuellen Informationsspeicherung in einem Quantencomputer, der den stochastischen Zugang zur Information ermöglicht, in die Tat umgesetzt werden. Jeder Betrachter hat eine bestimmte Menge von Variablen, die es ihm, auch wenn sie endlich sind, erlauben, einen anderen Film zu sehen, der aus demselben Vorrat an Wahrscheinlichkeitswerten resultiert. Diese Idee wendet das Feynman-Integral auf das optische Feld an und benötigt die Leistungskapazität des Quantencomputers⁵⁷, der in Zukunft die elektronischen Computer ersetzen wird. Das neue Feld der Quanteninformation mit seinen merkwürdigen Attraktionen wie Überlagerung (superimposition) und Verschränkung (entanglement)58 erlaubt die utopische Vision eines völlig neuen, kinematischen Imaginären ohne lokale Beschränkungen.

Kathryn Bigelows erstaunlicher Film *Strange Days*⁵⁹ skizziert bereits solch ein Quantencinema der Zukunft mit einer extrem avancierten Interface-Technologie, einer direkten Verknüpfung mit dem Gehirn, einem kinematischen Apparat, der alle früheren historischen kinematografischen Maschinen ersetzt, ein subjektives Kameraauge von nie zuvor gesehener Art, das es uns ermöglicht, mit den Augen eines anderen zu

sehen. Ein kinematischer Apparat namens "Squid" (Superconducting Quantum Interference Device), der auf der *Josephson junction* basiert, ist das erste Beispiel für das Quantencinema. Ein ähnlicher visueller Apparat erscheint in *Brainstorm* von Douglas Trumbull aus dem Jahr 1983.



Kathryn Bigelow, *Strange Days*, USA, 1995, Farbe, Ton, 139 Min, Filmstill, © 20th Century-Fox // Quelle: Future Cinema

Die neue Computertechnologie wird es dem kinematografischen Kode ermöglichen, sich von einer 1:1 Beziehung (ein Betrachter, ein Film, ein Raum, eine Zeit) zu einem virtuellen Environment für viele Benutzer zu entwickeln (x Betrachter, x Filme, x Räume, x Zeiten). Die Viele-Welten-Interpretation der Quantenmechanik⁶⁰ modelliert eine Zukunft aus vielen virtuellen Welten auf der Basis vieler paralleler Rechenvorgänge und Verschränkungen. In dieser verteilten Virtual Reality werden einhundert Zuschauer nicht nur vor der Leinwand agieren, sondern auch hinter ihr. Reale und simulierte Welten werden Modelle, zwischen denen es zu Variablen, Verbindungen und Transformationen kommt, die

einander ähnlicher werden. So wie das 20. Jahrhundert bildtechnologische Erfindungen des 19. Jahrhunderts standardisierte und sie in eine Massenindustrie verwandelte, muss das 21. Jahrhundert die avancierte Bildtechnologie des 20. Jahrhunderts mit dem Massengebrauch kompatibel machen. Um zu überleben, muss sich die VR-Technologie die kollektiven, simultanen und nicht-simultanen sowie dislozierten Formen der Wahrnehmung aneignen.

Die Formel für die zukünftige digitale Bild-Technologie lautet: anybody, anytime, anywhere. Doch der entscheidende Punkt ist, dass der Beobachter bei dieser Form der kollektiven Interaktion — statt der gegenwärtigen individuellen Interface-Technologie — kein äußerer Beobachter bleibt, wie im Falle des Films, sondern ein innerer Beobachter wird. Er wird an den Bildwelten teilhaben und sie dadurch verändern. Dieser Eintritt in die Bildwelt wird Reaktionen im Sinne des kovarianten Modells nicht nur in multiplen parallelen Bildwelten auslösen, sondern auch in der realen Welt. Die Relation zwischen Bildwelt und Realität wird multipel und reversibel sein, und der Beobachter selbst wird zur Schnittstelle zwischen einer künstlichen virtuellen Welt und der realen Welt.

image

ext. observer classical image

image

int. observer interactive image

Quelle: Future Cinema

40

Der Beobachter wird von einer erzählten Welt zur anderen springen. Statt linearer Narration werden multiple User augenblickshafte multiple Erzählungen schaffen. Die Interaktionen zwischen Beobachter und Bildwelt werden bidirektional werden. Eine Ursache in der realen Welt wird eine Wirkung in der virtuellen Welt haben und umgekehrt eine Ursache in der virtuellen Welt eine Wirkung in einer anderen parallelen virtuellen Welt oder in der realen Welt.

Vom kinematografischen zum digitalen Code

Die Konvergenz von Film, Video, Fernsehen und Internet bietet eine historische Gelegenheit, den kinematografischen Kode auszudehnen und zu revolutionieren. Der Horizont des neuen Digitalbildes wird bereits durch multiple Projektionen, die multiple Erzähltechniken unterstützen, errichtet, durch Immersions-Bildtechnologien von CAVE zu Online-Spielen und anderen distribuierten VR-Technologien. Doch vor allem wird die Bildtechnologie der Zukunft durch massive parallele virtuelle Welten gestaltet werden: multi-user virtual environments (MUVES), multiple Spieler in multiplen Welten. Die Idee drahtloser oder Online-MUVEs wird durch die eigentümlichsten Kennzeichen der Quantenphysik nachhaltig unterstützt: Nicht-Lokalität und Entanglement. Einstein, der darin Newton folgte, glaubte nicht an physikalische "Fernwirkungen". Die Quantentheorie sagte voraus, dass Photonenpaare sich bei korrefierten Messungen identisch verhalten, und daher spricht man davon, dass Photonen "entangled", d. h. verschränkt sind: Offenbar "beeinflusst" der Messvorgang das Ergebnis einer Messung des anderen nur augenblickshaft, ganz unabhängig davon, wie groß die Distanz zwischen ihnen ist. Einstein nannte dieses Verhalten "gespenstische Fernwirkung". 1964 wies John Bell nach, dass es ein solches Verhalten theoretisch gibt. 61 Diese scheinbare Fähigkeit von Quantensystemen, über Entfernungen hinweg zu agieren, ist als Nicht-Lokalität bzw.

Teleportation bekannt. Experimente von Clauser, Aspect und Zeilinger⁶² bestätigten den verschränkten, superkorrelierten Charakter des Zwillings-Photonen-Zustands, die Möglichkeit von Interaktionen zwischen voneinander entfernten Messvorrichtungen. In diesen distribuierten oder dislozierten interaktiven virtuellen Welten kann der Benutzer sein eigener Kameramann sein, und das bewegte Bild kadrieren und neu kadrieren, sich hinein- und herauszoomen. Die Interaktion wird nicht nur unidirektional vom Beobachter zum Bild, vom Realen zum Virtuellen sein, sondern auch bidirektional – vom Virtuellen zurück zum Realen, vom Bild zurück zum Beobachter. Reversibles Rechnen wird reversible Relationen zwischen realem Raum und Bildraum ermöglichen. Diese Interaktion wird nicht lokal gebunden sein $\,-\,$ wie es selbst bei der computergestützten Interaktion der Fall war – , sondern korrelativ zwischen entfernten virtuellen Welten oder zwischen dislozierten realen und virtuellen Welten. Die Struktur der nicht-lokalen Kommunikation wird von intelligenten virtuellen Agenten oder Assistenten unterstützt werden. Diese intelligenten Bildsysteme werden ein weiterer Schritt sein zur Befreiung der Menschheit aus dem natürlichen Gefängnis von Raum und Zeit.

5. Time Slot

Die Entwicklung von Technologien folgte unterschiedlichen Tendenzen des Begehrens. Das hier skizzierte Kino der Zukunft reagiert auf Bedingungen der menschlichen Existenz. Der Mensch nimmt an der Evolution so kurz teil, dass er sie nicht einmal beobachten kann. Von dem riesigen Theaterstück der Evolution sieht er nicht viel. Er ist kaum dabei. Medien ermöglichen es, dieses winzige Zeitfenster, diese 80 Jahre eines durchschnittlichen menschlichen Lebens, ein bisschen auszu-

dehnen. Die Medien sind, wie Freud schon 1930 in Das Unbehagen in der Kultur geschrieben hat, Medien der Absenz. Die Schrift bringt uns beispielsweise nahe und vergegenwärtigt uns, was zeitlich und räumlich entfernt ist. Dies leisten auch die technischen Medien. Sie setzen die Arbeit der Schrift fort. Mit Hilfe der Schrift ist es uns schon gelungen, den anschaulichen und direkten Erfahrungshorizont symbolisch zu überschreiten. Mit Texten und Bildern (pictures) konnten wir Epochen und Räume der Vergangenheit und der Zukunft zeigen bzw. erobern, die jenseits unserer körperlichen Erfahrung lagen. Wir konnten an Ereignissen teilnehmen, die längst vergangen waren und Orte besuchen, die es gar nicht mehr gab. Die Texte und Bilder erzählen von abwesenden Dingen. Der evolutionäre Sinn dieser Technologien des Gedächtnisses, des Speicherns, ist darin zu sehen, den Wunsch des Menschen zu erfüllen, seine Erfahrungen in Raum und Zeit auszudehnen, über die Grenzen der Gegenwart hinauszugehen. Die menschliche Existenz ist aufgrund unseres Begehrens, das vom Imaginären und Symbolischen lebt, nicht allein mit den Erfahrungen, die es im realen Raum und in der Echtzeit macht, zufrieden zu stellen. Denn der Stoff, den das reale Leben bietet, reicht nicht aus. So erfindet der Mensch Kulturtechniken, Techniken der Absenz, die es ihm ermöglichen, über die reale Zeit und den realen Raum hinauszugehen und an den Erfahrungen, Bedürfnissen, Gedanken und Ideen teilzunehmen, die andere Menschen zu anderen Zeiten und an anderen Orten vor ihm gemacht haben. Der evolutionäre Sinn der Kulturtechniken ist, das Zeitfenster, den Zeitschlitz, der dem Menschen als sein persönliches Leben gegeben ist - gemessen an den Milliarden Jahren der Evolution ein extrem minimaler Ausschnitt in der Weltlinie - auszudehnen. Techniken der realen Verlängerung des biologischen Lebens können dieses Ziel verfolgen. Doch der gesunden Lebensführung und der Medizin ist mäßiger Erfolg beschieden, das Leben und das dottet zu verändern, durch die Schranken, die die Evolution selbst setzt.

Techniken des symbolischen Ausdehnens des Lebens und der Erfahrung versuchen, innerhalb des engen Zeitrahmens des menschlichen Lebens uns andere Zeiten und andere Räume zu eröffnen. Dies ist die Aufgabe der Kultur, der Kultur der Kreation, des Speicherns und der Übertragung.

Die Medien folgen einer Morphologie des Begehrens und haben eine wesentliche Aufgabe: das winzige Wahrnehmungsfenster zu erweitern, das uns die Evolution und ihr Prinzip der Selektion, der Tod, gewähren. Sie ermöglichen Zugang zu Erfahrungen, die vor der individuellen Lebenszeit liegen und jenseits des physischen lokalen Horizonts. Die Akkumulation und Verdichtung von Erfahrung dehnt die Zeit. Der evolutionäre Sinn der Medien ist es, die Gesetze der Evolution, deren Kern der Tod ist, zu beugen.

Wir sind Passagiere in einem Flugzeug, dessen Kapitän uns nicht sagt, wie lange unsere Reise dauert. Wir wissen nur, dass sie zu kurz sein wird. Nichts wünschen wir sehnlicher, als die Reise zu verlängern. Doch der Pilot bestimmt den Time Slot unseres Lebens, der definiert, wie kurz wir auf der Welt sind und an der Evolution teilnehmen dürfen. Wir dehnen daher das Zeitfenster so weit wir können, zumindest symbolisch, in andere Zeiten und Räume der Evolution aus, um mehr von der Evolution zu genießen, als diese uns real teilhaben lässt. Das Kino der Zukunft ist das Versprechen, mehr als alle anderen Kulturtechniken den evolutionären Zeitschlitz auszudehnen. Im Kino sind wir Zeitreisende im Raumschiff der Evolution.

[Mitarbeit: Margit Rosen / Ika Szope]

- Willard Van Orman Quine, "A logistical approach to the ontological problem", Vortrag im Rahmen des 5th International Congress for the Unity Of Science (Cambridge, MA, 1939); nachgedruckt in: The Ways of Paradox and Other Essays (New York: Random House, 1966), S. 64–69; siehe auch W. Van Orman Quine, From a Logical Point of View (Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1980).
- Otto E. Rössler, Endophysik. Die Welt des Inneren Beobachters, hq. von Peter Weibel (Berlin: Merve, 1992).

Jan Daniel Britania

- ³ Michael Faraday, On a peculiar class of optical deceptions. *Journal of the Royal Institution of Great Britain* 1 (1831): 205–223, 333–336.
- ⁴ Joseph Plateau, Sur un nouveau genre d'illusions d'optique. *Correspondance mathémathique et physique* VII (1832): 365–369 und ders., Des illusions optiques sur lesquelles se fonde le petit appareil appelé récemment Phénakistiscope, 1831.
- Simon Stampfer, *Die Stroboscopischen Scheiben oder optischen Zauberscheiben. Deren Theorie und wissenschaftliche Anwendung, erklärt von dem Erfinder Simon Stampfer* (Wien und Leipzig: Trentsensky & Vieweg, 1833). Vgl. auch: Étienne Jules Marey, Développement de la méthode graphique par l'emploi de la photographie, Ergänzung zu: Ders., *La Méthode graphique dans les sciences expérimentales* (Paris: Masson, 1832) und È.J. Marey, Photography of moving objects and the study of animal movement by chronophotography. *Scientific American*, Supplement (5. Feb. 1887).
- ⁶ Claude Bernard, *Introduction à la médicine experimentale* (Paris: J. B. Baillière et fils und New York: Baillière Bros., 1865).
- ⁷ Ernst Mach, Optisch-akustische Versuche. Die spectrale und stroboskopische Untersuchung tönender Körper (Prag: Calve, 1873).
- ⁸ E. Mach, *Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen* (Leipzig: Engelmann, 1875).
- ⁹ E. Mach, Beiträge zur Analyse der Empfindungen (Jena: Fischer, 1886).
- ¹⁰ E. Mach, *Populärwissenschaftliche Vorlesungen* (Leipzig: Barth, 1896).
- ¹¹ E. Mach, *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen* (Jena: Fischer, 1900).
- ¹² E. Mach, Die Prinzipien der physikalischen Optik: historisch und erkenntnispsychologisch entwickelt (Leipzig: Barth, 1921).
- ¹³ E. Mach, Beobachtungen über monoculare Stereoskopie (Wien: Gerold, 1868).

- ¹⁴ György von Békésy erweiterte die Funktion der Mach-Bänder auf andere Sinnesgebiete und entdeckte 1928 hemmende Effekte im Innenohr, wofür er 1961 den Nobelpreis erhielt.
- Veröffentlicht in der von R. Avenarius in Leipzig herausgegebenen Vierteljahresschrift für wissenschaftliche Philosophie 14 (1890): 249–292.
- ¹⁶ Benussi erhielt 1919 einen Lehrstuhl für Experimentalpsychologie in Padua, wo er die psychologische Schule von Padua begründete (1919–1927), deren bedeutendster Schüler und anfangs einziger Hörer Cesare L. Musatti war, dessen Schüler wiederum Gaetano Kanisza und Fabio Metelli waren.
- ¹⁷ É.J. Marey, *La Machine animale* (Paris: Librairie Germer Baillière, 1873).
- ¹⁸ Eadward Muybridge, *Animal Locomotion. An Electro-photographic Investigation of Consecutive Phases of Animal Movements* (Philadelphia: J. B. Lippincott, 1887).
- ¹⁹ É.J. Marey, Développement de la méthode graphique par l'emploi de la photographie, Ergänzung zu: Ders., *La méthode graphique dans les sciences expérimentales* (Paris: G. Masson, 1885).
 É.J. Marey, Moteurs animés. Expériences de physiologie graphique. *La Nature* 278 (28. September 1878): 273 –278 und 279 (5. Oktober 1878): 289–295.

47

- ²⁰ W. Ross Ashby, *Design for a Brain* (London: Chapman & Hall, 1952); John von Neumann, *The Computer and the Brain* (New Haven: Yale University Press, 1958).
- ²¹ Norbert Wiener, Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine (Paris: Hermann et Cie/ Cambridge, MA: The MIT Press und New York: Wiley and Sons, 1948); zweite Edition um zwei Kapitel erweitert (Cambridge, MA: The MIT Press und New York: Wiley and Sons, 1961).
- ²² Zur Konzeption des Begriffes "Leben" als ",bio-logic' of possible life, life-as-it-could-be" vgl.: Christopher Langton, Vorwort, in: Ders., C. Taylor, J. D. Farmer und S. Rasmussen (Hg.), Artificial Life II, Volume X of SFI Studies in the Sciences of Complexity (Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1992), S. xiii–xviii.
- ²³ W. Grey Walter, An imitation of life. *Scientific American* 182/5 (1950): 42–45; vgl. auch: Ders., *The Living Brain* (London: Duckworth, 1953).
- ²⁴ G. Spencer Brown, *Laws of Form* (London: George Allan and Unwin, 1969).
- ²⁵ Otto E. Rössler, *Endophysics. The World as an Interface* (Singapur, 1998).

John Archibald Wheeler, Law without law, in: J.A. Wheeler und W.H. Zurek (Hg.), Quantum Theory and Measurement (Princeton: Princeton University Press; 1983), S. 182–213. (Auf die Quantentheorie und ihre Konsequenzen für unser Weltbild und ein mögliches Kino der Zukunft werde ich in einem der folgenden Abschnitte noch eingehen.)

²⁸ Axel Thue, *Probleme über Veränderungen von Zeichenreihen nach gegebenen Regeln* (Dybwad: Kristiania, 1914).

²⁹ Emil Leon Post, Recursive unsolvability of a problem of Thue. *Journal of Symbolic Logic* 12 (1947): 1–11.

J. W. Backus, Report on the Algorithmic Language Algol 60: Decicated to the Memory of William Turanski, hg. von Peter Naur (Kopenhagen: Danish Academy of Technical Sciences, 1960).

³¹ Aristid Lindenmayer, Developmental systems without cellular interaction, their languages and grammars. *Journal of Theoretical Biology* (1971): 455–484.

³² Przemyslaw Prusinkiewicz und Aristid Lindenmayer, The Algorithmic Beauty of Plants (New York: Springer, 1990).

³³ John H. Holland und Heather Mimnaugh, *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity* (Cambridge, MA: Perseus Books, 1996).

Alan M. Turing, "On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem", in: *Proceedings of the London Mathematical Society* 42/2 (1936): 230–265 und 43/7 (1937): 544–546; Norbert Wiener, Julian Bigelow, Arturo Rosenblueth, Behaviour, purpose and teleology. *Philosophy of Science* 10 (1943): 1, 18–24; Donald MacKay, In search of basic symbols, in: H. von Foerster (Hg.), *Proceedings of the 8th Conference on Cybernetics* (New York: Josiah Macey Jr. Foundation, 1951); Warren Mc Culloch und Walter Pitts, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5 (1943): 115–133; R. Ashby, *Design for a Brain. The Origin of Adaptive Behaviour* (London, 1952); John McCarthy, Recursive functions of symbolic expressions and their computation by machine, Part I, in: *Communications of the ACM* (1960); Aristid Lindenmayer, Developmental systems without cellular interaction, their languages and grammars. *Journal of Theoretical Biology* (1971): 455–484.

35 Ramón y Cajal, *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés* (Paris, 1909–1910).

David P.C. Lloyd, Integrative patterns of excitation and inhibition in two-neuron reflex arcs. *Journal of Neurophysiology* 9 (1946): 439–444.

³⁷ Vgl. G.W. Leibniz, "Wunderbarer Ursprung aller Zahlen aus 1 und 0, welcher ein schöhnes Vorbild gibet des Geheimnißes der Schöpfung, da alles von Gott und sonst aus Nichts, entstehet" [1696], ediert in: Hans J. Zacher, *Die Hauptschriften zur Dyadik von G. W. Leibniz, – ein Beitrag zur Geschichte des binären Zahlensystems* (Frankfurt/M., 1973), S. 229–234.

³⁸ George Boole, An Investigation of the Laws of Thought (London: Walton and Maberly, 1845).

³⁹ G. Boole, *The Mathematical Analysis of Logic Being. An Essay Towards a Calculus of Deductive Reasoning* (Cambridge, 1847).

⁴⁰ Donald H. Ford, J.P. Schadé, *Atlas of the Human Brain* (Amsterdam, 1971).

⁴¹ John C. Eccles (Hg.), *Brain and Conscious Experien*ce (Berlin: Springer, 1966).

⁴² Judson Ch. Webb, *Mechanism, Mentalism und Metamathematics* (Dordrecht/ Boston, 1980).

⁴³ Claude E. Shannon, A symbolic analysis of relay and switching circuits. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, New York (1938): 713.

44 W. Ross Ashby, Design for a Brain (Fußnote 20).

⁴⁵ C.E. Shannon, A symbolic analysis (Fußnote 43).

⁴⁶ N. Wiener, A. Rosenblueth und J. H. Bigelow, Behaviour, purpose, and teleology (Fußnote 34).

⁴⁷ W.S. McCulloch und W.H. Pitts, A logical calculus of ideas immanent in nervous activity (Fußnote 34).

48 Ibid.

⁴⁹ Rudolf Carnap, *Die logische Syntax der Sprache* (Wien: Julius Springer, 1934).

⁵⁰ W.S. McCulloch und W. Pitts, How we know universals: The perception of auditory and visual forms. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 9, Chicago (1947): 127–147.

⁵¹ In: Claude E. Shannon und John McCarthy, *Automata Studies* (Princeton, 1956), S. 3–41.

Wolfgang Maass und Christopher M. Bishop (Hg.), Pulsed Neuronal Networks (Cambridge, MA, 1999).

- ⁵³ Gregory Flaxman.(Hg.), *The Brain is the Screen. Deleuze and the Philosophy of Cinema* (Minneapolis, 2000).
- ⁵⁴ Eric Kandel, James Schwartz (Hg.), Principles of Neuronal Science (New York, 1981); Gerald Edelmann, The Universe of Consciousness (New York: Basic Books, 2000); David Chalmers, The Conscious Mind (New York, 1996).
- ⁵⁵ D. und S. R. Finkelstein, Computer interactivity simulates quantum complementarity. *Int. J. Theor. Phys.* 22 (1983): 753–779.
- 56 Vgl.: W.R. Longley and R.G. Van Name (Hg.), The Collected Works of J. Willard Gibbs (New York/ London: Longmans, Green, 1928).
- ⁵⁷ David Deutsch, Quantum Theory: The Church-Turing Principle and the Universal Quantum Computer. *Proc. Royal Society of London*, Ser. A, Bd. 400 (1985): 97–117.
- ⁵⁸ B. S. DeWitt, N. Graham (Hg.), *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics* (Princeton, 1973).
- 59 1995, Drehbuch: James Cameron und Jay Cockes.
- Erwin Schrödinger, Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik. Naturwissenschaften 23 (1935): 807–812, 823–828, 844–849.
- ⁶¹ John S. Bell, On the Einstein Podolski Rosen Paradox. *Physics* 1 (1964): 195–200.

St. J. Freedman und J.F. Clauser, *Physical Review Letters* 28 (1972): 938–941; Alain Aspect, *Physical Review* 14 (1976): 1944–1951; D.M. Greenberger, M.A. Horne und A. Zeilinger, Going beyond Bell's Theorem, in: M. Kafatos (Hg.), *Bell's Theorem, Quantum Theory, and Conceptions of the Universe* (Dordrecht/Boston/ London: Kluwer, 1989), S. 69–72.

Peter Weibel

Künstler, Ausstellungskurator, Kunst- und Medientheoretiker, wurde 1944 in Odessa geboren. Er studierte Literatur, Film, Mathematik, Medizin und Philosophie in Paris und Wien. Nach internationalen Lektoraten und Gastprofessuren seit 1976 war er Professor für Fotografie an der Gesamthochschule Kassel (1982–85), Associate Professor für Video und digitale Kunst in Buffalo (1984–89), Direktor des Instituts für Neue Medien an der Städelschule in Frankfurt/M. (1989–94), künstlerischer Berater der Ars Electronica, Linz (1986–95), Österreich-Kommissär der Biennale von Venedig (1993–99) und künstlerischer Leiter der Neuen Galerie am Landesmuseum Joanneum in Graz (1993–1999). Seit 1984 ist er Professor für visuelle Mediengestaltung an der Hochschule für angewandte Kunst in Wien und seit 1999 Vorstand des Zentrums für Kunst und Medientechnologie (ZKM) in Karlsruhe.