

SCHRIFT UND ZAHL DIE GESCHICHTE DES ERRECHNETEN BILDES Friedrich Kittler

Wenn die Rede davon sein kann, unsere Kultur und Wissenschaft befinde sich in einem *iconic turn*, in einer »Wende zum Bild« also, dann unter der wesentlichen, aber nicht immer auch genannten Voraussetzung, dass unsere Kultur im Unterschied zu allen anderen über errechnete Bilder verfügt.

Was verstehe ich unter errechneten Bildern? Es sind damit ausschließlich Bilder gemeint, die aus einer Verbindung von Schrift und Zahl hervorgehen, unabhängig davon, ob sie von Maschinen oder Menschen hergestellt werden. Ausgeschlossen bleiben dagegen Bilder, die auf der Verbindung von Schrift und Bild beruhen oder anders ausgedrückt, auf Geometrie. Denn wie schon die Griechen wussten, als sie anhand des Bildes vom Quadrat die Unberechenbarkeit seiner Diagonale entdeckten, sind Richtscheit und Zirkel eine Sache, Zahlen oder Arithmetik eine andere. Würde diese drastische Einschränkung auf antike Arithmetik und moderne Algebra fallen gelassen, wäre das Thema uferlos. Man müsste dann aus allen Erdteilen und Kulturen errechnete Bilder aufzählen und erhielte unzählbar viele. Jede griechische Sonnenuhr, jede arabische Dunkelkammer wäre bereits ein solches Bild, weil der Strahlengang in beiden Fällen Gesetzen der geometrischen Optik unterliegt, die wir aber überhaupt erst durch die Arbeiten von Leonhard Euler¹ in trigonometrische Formeln fassen können.

DAS BILD ALS VORSTELLUNG

Allein dieser Umstand hindert uns bereits daran, errechnete Bilder bis in die wundersame Frühneuzeit zurückzuverfolgen, in der das ehemals mechanische Handwerk der Malerei zunächst unter die freien Künste aufstieg und schließlich zur Kunst schlechthin wurde. So schön die Freundschaft zwischen Leon Battista Alberti, der das erste linearperspektivische Tafelbild malte, und Filippo Brunelleschi, der die erste linearperspektivische Geometrie entwickelte, auch war, so führte sie doch nicht zu einem *iconic turn*, sondern lediglich zur neuzeitlichen Malerei als der »Blüte aller Kunst«. In seinem Traktat *Von der Malerei* hat Alberti denn auch darum gebeten, seine Sätze nicht als Text eines Mathematikers sondern »einzig eines Malers« auszulegen. Und noch Johann Heinrich Lamberts *Freye Perspektive* von 1764 führte nichtlinea-

re Skalen auf Linealen zum erklärten Zweck ein, Malern die vier trigonometrischen Funktionen zu ersparen. Wer Sinus oder Tangens seines Sehstrahls mechanisch von Lamberts Lineal ablas, konnte Tafelbilder fortan je nach Bedarf frei oder perspektivisch malen. Das errechnete Bild war also über vier Jahrhunderte lang zwar stets im Hintergrund gegenwärtig, blieb aber verborgen wie eine virtuelle, niemals durchgerechnete Mathematik. Das ungelöste Gleichungssystem führte jene Seinsepoche herauf, die Heidegger als *Zeit des Weltbilds* ausgemacht hat.

Von Descartes bis Kant stellte sich das *ego cogito* in dieser Epoche die Dinge dieser Welt grundsätzlich als seine eigenen Vorstellungen vor, gleichgültig, ob sie wahrgenommen, eingebildet oder wie Maschinenpläne entworfen waren. Seit den Beobachtungen von Kepler ging man davon aus, dass sich in den Tiefen unseres optischen Apparats eine *camera obscura*, eine Dunkelkammer, befindet, die alles Wahrgenommene und Vorgestellte als zweidimensionale Spiegelung auf die Netzhaut bannt. Descartes hat diese in den Sehapparat eingebaute Perspektive mit Hilfe zweier zeichnender Ärzte sogar technisch ins Bild gesetzt (Abb. 1).

816 TRAITÉ DE L'HOMME
occasion à l'âme, de sentir que le bras se tourne vers
l'objet B, si elle était déjà dans cette machine, ainsi que

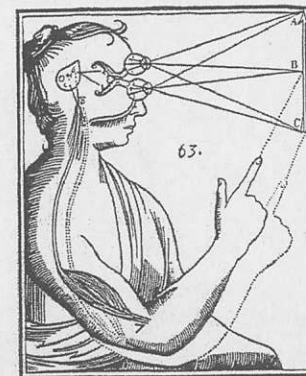


Abb. 1

So stellte sich René Descartes den Vorgang des Sehens vor (aus *Traité de l'Homme* von 1648).

Man kann sagen, dass Brunelleschi und Alberti, obwohl oder gerade weil Heideggers *Zeit des Weltbilds* einzig und allein Philosophen am Werk sah, mit der bildgebenden Geometrie eine Epoche begründet haben, in der das Subjekt in den Mittelpunkt trat. Im Verbund mit Gutenbergs Druckerpresse waren der exakte Holzschnitt und Kupferstich die technische Voraussetzung für das

Zeitalter der Erfindungen, welche ja bis heute auf Papier geschehen. Ingenieure stellten sich ihre Maschinen auf Papier vor, ihre Bücher hießen folgerichtig »Maschinentheater«. Wichtig war hierbei die Vorstellung von der Maschine, nicht der berechnete Plan. Praktisch gebaut wurden solche Maschinenentwürfe erst Jahrzehnte später.

Umgekehrt kann es errechnete Bilder erst geben, seitdem, wie Hegel das in harten Worten ausdrückt, das Vorstellen zu Ende geht. Als Medien der Vorstellung nannte Hegel die christliche Religion und die drei Künste Malerei, Musik und Poesie. Von diesen war das Denken in Begriffen, das Qualitative, als das Unvorstellbare unterschieden. Unvorstellbares tauchte für Hegel aber auch im Reich der Zahlen auf, das er hochmütig zum bloß Quantitativen verharmloste. Historisch gesehen findet sich hier unser erstes Beispiel eines errechneten Bildes. Es hat den Gang des Menschen zum Gegenstand: Gegeben seien zwei Beine mit je drei Gelenken, Hüfte, Knie und Ferse. Gegeben sei also Platons Definition des Zweifüßlers oder Menschen, für dessen Gang eine mathematische Lösung gesucht wird. Von vornherein ist klar, dass Vorstellungen unmöglich zwei Beinen beim Gehen folgen können, es sei denn, das cartesische Subjekt würde gleichzeitig im dreidimensionalen Raum sechs Gelenken oder Freiheitsgraden innewohnen. Solche Überlegungen waren es, die 1836, fünf Jahre nach Hegels Tod, zum ersten, im strengen Sinn errechneten Bild führten. Zwei gelehrte Brüder, der Leipziger Anatom Ernst Heinrich Weber und der Göttinger Physiker Wilhelm Weber, taten sich zusammen, um auf hunderten von Seiten etwas durchzurechnen, was lange Zeit ungerechtfertigter Weise als bekannt angenommen worden war. *Die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*² hieß ihr stolzes Buch. Descartes hatte zwar als erster Wissenschaftler genügend Arroganz besessen, um die an seinem Fenster vorbeiziehenden Tiere und Menschen als Maschinen zu bezeichnen, doch auf die Idee, ihren Gang zu berechnen, hatte ihn das nicht gebracht.

EIN VON HAND ERRECHNETES BILD

Die Brüder Weber dagegen erklärten schon im Vorwort ihres Buches, dass sie Tiere nicht nur als Maschinen ansahen, sondern sie auch nachbauen wollten. Ihr erklärtes Ziel war die vollständige und »erfolgreiche« Formulierung aller »Vorschriften zum Bau von Maschinen, welche wie der Mensch von zwei Stützen getragen, und durch deren abwechselnde Streckung und Schwingung fortbewegt werden«, wobei es, zumal in unwegsamen »Wüsten oder Flüs-

sen«, keine Rolle spiele, ob eine solche »Dampf bewegte Maschine« besser auf »zwei, vier, sechs oder mehreren Beinen« daherkäme.³

Die Zahl der Gehwerkzeuge wird also zur freien Variablen von Strecken und Schwingen, wobei die Variablen sich aber weiterhin am ersten je gezeichneten trigonometrischen Funktionsgraphen, der Sinusfunktion von 1638, orientieren. Seit der Entdeckung der musikalischen Obertöne schwingender Saiten ist klar, welcher mathematische Weg hier einzig zur Lösung führen kann. Die n mal 3 Gelenke oder Freiheitsgrade von n Beinen in 3 Dimensionen müssen als partielle Differentialgleichungen von lauter Sinusschwingungen angeschrieben und gelöst werden. Genau das wird im Hauptteil der *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge* getan. Nach drastischen mathematischen Vereinfachungen geht die partielle Differentialgleichung in Raum und Zeit auf, nun aber nicht mehr, um Dampfmaschinen auf n Beinen zu konstruieren, sondern um Gehen, Springen, Laufen in errechnete Bilder umzusetzen (Abb. 2).

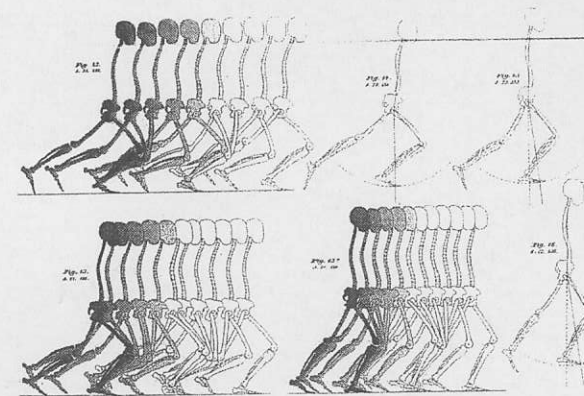


Abb. 2

Illustration aus Wilhelm Webers *Über die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge* von 1836. Positionen des menschlichen Gangs in den verschiedenen Fortbewegungsphasen.

Der Auftrag der Gebrüder Weber, die numerischen Lösungstabellen physisch wieder zu beleben, geht dann auch an einen Künstler. Die Brüder wissen nämlich, dass

(...) die Lagen der verschiedenen Theile des Körpers beim Gehen und Laufen zu schnell wechseln, als dass sie sich in einem einzigen Augenblicke den Sinnen und dem Gedächtnisse vollständig einprägen würden, und man zu ihrer Auffassung gewisser Instrumente

und indirekter [nämlich Weberscher] Methoden bedarf, die dem Künstler nicht zu Gebote stehen.⁴

Als wäre damit das faktisch besiegelte Ende der Kunst noch nicht besiegelt genug, fällt dem Physiker Wilhelm Weber kurz vor Drucklegung des Buches ein Jahrgang von Poggendorfs *Annalen der Physik* in die Hände. Darin wird ausführlich die Technik des neuen »Lebensrads« beschrieben, das auf der Grundlage der optischen Forschungen Faradays von dem Österreicher Stampfer entwickelt worden war. Damit gibt es nun auch die passende Maschine, um die gezeichneten Phasenbilder der menschlichen Gehwerkzeuge zu animieren. Kaum hat Weber die Bilder nacheinander auf die

(...) Trommel einer Rotationsmaschine mit gleichförmiger Geschwindigkeit [geklebt], so erscheinen die Figuren dem Auge als gehend oder laufend, und ihre Bewegungen zeigen eine überraschende Übereinstimmung mit den Bewegungen eines wirklich gehenden oder laufenden Menschen. Hätte man niemals einen Menschen gehen oder laufen gesehen, so könnte man sich mit Hilfe der Theorie eine mit der Erfahrung sehr wohl übereinstimmende Vorstellung von diesen Bewegungen verschaffen, und das, was dabei geschähe, voraussagen.⁵

Das errechnete Bild ist also Voraussage, mathematische Prophetie und technisch erzeugte Wahrheit. Damit sollten die Brüder Weber Recht behalten. Was sie bei aller Prophetie allerdings nicht vorherahnen konnten, betrifft ein Kuriosum der Wissenschaftsgeschichte: Der Berliner Physiologe Emil Du Bois-Reymond nahm 1890 die auf das Lebensrad geflochtenen Beine aus Zahlentabellen zum willkommenen Anlass, um das Verhältnis zwischen Naturwissenschaft und bildender Kunst zu revidieren. Technikgeschichtlich durchaus korrekt wurden die Brüder Weber mit einem Mal zu Propheten der Bewegungsfotografen Étienne-Jules Marey und Eadweard Muybridge, die wiederum, keine fünf Jahre nach Du Bois-Reymond, nachträglich zu Propheten des Kinos aufsteigen sollten. Ernst Weber ist zu diesem Zeitpunkt bereits zwölf Jahre tot.

Doch Wilhelm Weber hat noch erlebt, dass nach fast vier Jahrzehnten die Augenblicksfotografie ihm und seinem Bruder vollkommen Recht gab.

Eadweard Muybridge in San Francisco wandte sie 1872 zuerst an, um die aufeinanderfolgenden Stellungen von Pferden in verschiedenen Gangarten zu messen. Dabei zeigte sich dasselbe wie an den Weber'schen schematischen Zeichnungen: Es kamen Bilder zum Vorschein, wie sie in Wirklichkeit niemand gesehen zu haben glaubte. Auf Straßenszenen, Aufzüge und dergleichen mehr gerichtet, fing die Kamera häufig Bilder von Menschen in ebenso wunderlichen Stellungen ein wie die, welche die Gebrüder Weber aus theoretischen Gründen gewählt hatten.⁶

Der Gang von Gehwerkzeugen, die durch das Lebensrad animiert waren, wirkte auf Du Bois-Reymond wie »ein betrunkenen Dorfmsikant«, der »über seine eigenen Füße stolpert«. ⁷ Dort, wo die Brüder Weber im Jahr 1836 »eine überraschende Übereinstimmung« zwischen wahrgenommenem und errechnetem Bild bemerkt hatten, wurden nun merkwürdige Abweichungen festge-



Abb. 3

Marcel Duchamp setzt mit seinem *Akt, die Treppe herabsteigend* von 1912 eine wissenschaftliche Veranschaulichung des menschlichen Gangs ins Bild.

stellt. Sie führten dazu, dass Wissenschaft und Film hoch über Kunst und Alltagswahrnehmung gestellt wurden. Marcel Duchamp hat diese Abweichung in seiner Kunst selbst zum Thema gemacht. Er setzt einer Fotografie, die zwar keine Kunst ist, aber Geld bringt, anders als seine Künstlerkollegen keine moderne Kunst entgegen, sondern eine wissenschaftlich-industrielle Visualisierung. Sein berühmter Frauenakt von 1912 (Abb. 3), der in 20 Einzelbildern eine Treppe hinabsteigt, sorgte bereits mit seinem Titel *Nr. 2* für einen Skandal.⁸ Dabei hieß das Bild nur deshalb so, weil Duchamp darin fotografische Phasenbilder der Medizin nachstellte, diese aber natürlich trotzdem Kunst sein sollten.

Erst heute, im Computerzeitalter, sehen wir die Kurzsichtigkeit solcher Zuordnungen. Die moderne Kunst hat aufgehört, das bildgebende Verfahren der Linearperspektive ein für allemal in das Reich bloßer Technik zu verbannen. Der Film, dem Du Bois-Reymond die Brüder Weber als Propheten voranstellte, ist inzwischen ein Alltagsmedium geworden, vor dem wir nicht mehr bewundernd das Knie beugen. Heute wie 1836, dem Erscheinungsjahr der *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge*, gilt der Satz: Was aber bleibet, stiften Kalküle. »Ein Knie geht einsam durch die Welt. Es ist ein Knie, sonst nichts.«⁹ Allerdings entfällt heute der ungeheure anatomische und numerische Aufwand, den die Brüder Weber treiben mussten, um das Knie von Hand zu errechnen, weil wir Hard- und Software haben, die uns den Aufwand abnehmen. Doch am Algorithmus selbst hat sich wenig verändert. Die bildgebenden Gleichungen müssen nur nicht mehr so brutal vereinfacht werden, um lösbar zu sein, und können sich deshalb inzwischen auch an die fotorealistiche Wiedergabe von Wirklichkeit wagen.

DIE UNIVERSALE TURINGMASCHINE

Der Grund für diese Entwicklung liegt auf der Hand: Universale Turingmaschinen¹⁰, im Volksmund Computer genannt, die Milliarden mathematischer oder logischer Operationen pro Sekunde durchführen, haben uns die Kulturtechniken des Lesens, Schreibens und Rechnens abgenommen. Die Maschinen haben nicht schon immer im Nanosekundenbereich gerechnet. Als Benoît Mandelbrot, einer der Begründer der fraktalen Geometrie, 1980 die ersten Julia-Gleichungen programmieren ließ, benötigte die Maschine Stunden, bevor auf dem Tektronix-Monitor spärliche schwarze Flecken erschienen, aus denen sich nach weiterem Warten schließlich das berühmte Apfel-

männchen herauschälte. In dem unvorstellbar schnellen und dennoch – im Gegensatz etwa zur Physiologie unseres Gehirns – explizit numerischen Befehlsfluss schlummern die Bedingungen für die Möglichkeiten, errechnete Bilder herzustellen. Ich sage ausdrücklich schlummern, weil uns die Computer zwar alle möglichen Kulturtechniken, nicht jedoch das Bild und die dahinter liegende Geometrie abgenommen haben. Sicher sind die Siliziumchips, aus denen fast alle Computer-Hardware heute besteht, Erzeugnisse des ausgeklügeltsten bildgebenden Verfahrens, das die Technikgeschichte kennt. Aber genau deshalb geht ihre Geometrie nur als Störfaktor in das Design und die Rechenleistung ein, denn kein elektronisches Nutzsignal misst seine eigene Laufzeit.

KURZGESCHICHTE DES COMPUTERBILDES

Es ist umso bemerkenswerter, dass es trotzdem dazu gekommen ist, dass Computermonitor und grafische Benutzeroberfläche heute mit der Turingmaschine fast schon synonym sind. Was hinter jenem Fenster namens »Windows« liegt und schaltet, bleibt den Endnutzern ebenso verborgen wie einst Albertis Fenster namens »Perspektive« den Endnutzern und den Malern verborgen blieb. Die Geschichte dieses Wandels, der auch eine Geschichte von Verleugnung und Vermarktung ist, verlief im Wesentlichen in drei Schritten.

Die ersten weißen Lichter, die Computer bereits um 1950 zum Flackern brachten, hatten zur Außenwelt, also auch zu Platons Bildbegriff, keinerlei Bezug. Sie bildeten nicht Dinge oder Räume ab, sondern zeigten als Signale an, welche Elektronenröhren an welchen Stellen durchgebrannt waren und welche nicht. Doch diese erste optische Schnittstelle zwischen Menschen und Maschinen machte bereits klar, dass Systeme, deren Komplexität unsere Begriffe von ihnen dramatisch übersteigt, darauf angewiesen sind, interne Zustände in so vielen Dimensionen wie möglich zu melden. Anders wären Computer gar nicht zu warten, geschweige denn zu entwanzen. Die Gestalt zweidimensionaler Bilder – in Zukunft vielleicht auch dreidimensionaler Hologramme – transportiert weitaus mehr Information als scheinbar simple Kommandozeilen, weshalb sich sogar noch bei Fehlermeldungen von »Windows« ein Fenster öffnet.

Der zweite Schritt zum Monitor von heute war der Radarbildschirm. Als militärischer Zwilling unseres zivilen Wohnzimmermöbels holte Radar sowjetische Jägerflotten auf einen Bildschirm, dessen wesentliche Fähigkeit

darin bestand, geplante Gegenmaßnahmen der US Air Force sowohl entgegenzunehmen wie darzustellen. Es gab mithin auf irgendwelchen Militärflughäfen einen Anfangspunkt und in irgendwelchen Stratosphären ein feindliches Ziel. Die Gerade zwischen beiden Strecken im dreidimensionalen Raum aber heißt seit 1850 »Vektor«. Das heißt, mit der computerisierten Radarüberwachung wurde auch die Vektorgrafik geboren, das Vermögen einer Braunschen Röhre und ihres Elektronenstrahls, frei bewegliche Geraden leuchtend anzuzeigen.

Heute, nachdem der dritte Schritt vollzogen ist, entsteht derselbe Strich ganz anders. 1965 machte sich der Informatiker J. E. Bresenham die fast unglaubliche Mühe, einem Computer etwas beizubringen, das wir alle können. Er entwickelte – damals noch in Software, heute in Hardware, aber beide Male mit minimalem Rechenaufwand – einen Algorithmus, der von selbst eine gerade Linie zieht, dies aber nicht auf dem Bildschirm, sondern völlig virtuell ausschließlich im Arbeitsspeicher tut. Erst eine komplizierte Hardware sorgt dafür, dass alle diese Speicherzellen, die so genannten Pixel, kurz danach für Menschaugen sichtbar werden. Man darf nun das Zeilenbild gewohnter Fernsehschirme nicht mit dieser Pixelgrafik verwechseln. Erst der Pointillismus namens Pixel löst die Möglichkeitsbedingung, von der die Rede war, auch technisch ein: Bilder lassen sich fortan errechnen.

Hundertmal pro Sekunde einige sechzehn Millionen Farben und hunderttausend Einzelpunkte von Bildern zu bestimmen, ist allerdings auch für Computer kein Kinderspiel und beansprucht hohe Rechenleistungen. So kommt es denn, dass Technologie und Ökonomie eines Milliardenmarktes heute von Grafikkarten vorangetrieben werden. Für die einfachen Büroarbeiten, für die wir täglich den Computer benutzen, würden wir mit sehr viel weniger Rechenleistung auskommen. Die hohe Rechenleistung, die digitale Bilder beanspruchen, ist auch der Grund, warum das Internet von pornografischen Bildern verstopft wird. Aber wenn der Markt in seiner Unerättlichkeit auf diese Weise alle Bilder, die waren, sind und sein werden, in digitaler Höchstauflösung verschlingt, rechnen sich die Bilder eben noch nicht. Für das, was kommt, stehen nicht Marey und Muybridge Pate, sondern Ernst und Wilhelm Weber. Das Bild hat aufgehört die zweite Nachahmung eines Dings zu sein, das seinerseits schon eine Idee am platonischen Himmel nachahmt. Errechnete Bilder haben viel eher mit Zahlenspielen zu tun wie sie Pythagoras, der große Feind und Lehrer Platons, in die Welt setzte. Wenn der Infor-

matiker Stephen Wolfram¹¹ heute schreibt, dass Wolken zelluläre Automaten sind, die ihre Formen und selbst noch die Regentropfen wie ein großes Brettspiel in Echtzeit errechnen, und dass wir also, wenn wir vorüber ziehende Wolken betrachten, nur Zahlen in Bildern sehen, dann ist der alte Kurzschluss unversehens wieder da.

Ob Wolframs Hypothese zutrifft, muss ich offen lassen. Das Universum als Turingmaschine betrachtet, würde alle Bilder, nicht bloß die computergenerierten, zu errechneten machen. Der Materialismus, dem wir alle anhängen, wäre damit vollkommen. Doch trüfe dasselbe auch für alle Töne oder Düfte zu und würde folglich noch keinen *iconic turn* begründen. Das Einzige, was klar zu sein scheint, ist: Keine Wissenschaft der Welt kann entscheiden, ob die Welt selbst rechnet. Wir müssten diese Entscheidung wiederum den Computern überlassen, aus denen Informatiker wie Wolfram ihr Weltmodell bezogen haben. Deshalb halte ich es lieber mit der Gegenhypothese, dass Computer (nicht anders als wir Sterbliche) von endlichen Ressourcen zehren, dass sie also im Prinzip schon das, was läuft, verfehlen. Wenn Wolkenbilder über Monitore wandern, sind das eben Modelle und keine Wolken. Bis auf Widerruf verantworten es also die Wissenschaften, was heute und in Zukunft als Computerbild erscheinen kann.

Im Unterschied zu Platons Mimesis bedeutet »rendering« die Summe möglicher Verfahren und von nackten Zahlen, wieder zu einer, zwei oder gar drei sichtbaren Dimensionen zu gelangen. Schon mit der Beschreibung der drei ersten technischen Schritte bei der Entwicklung von Computern, angefangen von den ersten blinkenden Signallichtern über Bresenham's Gerade bis zur fotorealistischen Animation von heute, ist klar geworden, dass Mimesis heute eine abhängige Variable von Ingenieursmannjahren ist. Hinter den Ingenieuren aber verbergen sich Algorithmen, also erfolgreiche mathematische Modelle dessen, was Beine oder Lichter bei ihrem Wandern überhaupt tun. Und eben weil diese Modelle, allen Experimenten zum Trotz, Modelle bleiben, haben sie einmal aufgestellt werden müssen. Vom sonnenhaften Auge der Griechen zum Brechungsgesetz bei Descartes, von Lamberts diffuser Reflexivität zu Youngs schillernden Moirés, nichts an avancierter Computergrafik wäre ohne wissenschaftliche Optik zu haben. Und nichts wäre falscher als der phänomenologische Glaube, die Schönheiten dieser Erde seien solchen Formeln zum Opfer gefallen. Sie haben im Gegenteil erst die Spielräume aufgetan, in denen bildende Künstler fündig werden konnten, zumindest bevor

Bilder sich selbst errechneten. Die Kunstwissenschaft geht leider der verschlungenen Geschichte aller dieser Optiken zu selten nach. Was Goethes *Farbenlehre* als »Taten und Leiden des Lichts« verklärte, sind eher Taten und Leiden von Forschern, die wie Plateau erst ihr Augenlicht opfern musste, damit das Lebensrad des Films sich drehte.¹² Michael Baxandalls Versuch, die Aufklärung und ihre diffusen Schatten von der heutigen Computergrafik her, also gleichermaßen als Algorithmus wie als Kunststil, zu beschreiben, bleibt daher dringend fortzusetzen.¹³ Wir sehen bisher ja nur mit Mühe, wer uns was zu sehen lehrte.

ZWEI STILISTISCHE UND/ODER MATHEMATISCHE OPTIONEN

Schon deshalb zeigt die Fotorealistik Stil. Ihre Bilder stehen den Künsten näher als sie träumen und wir ahnen. Dies soll an den beiden Verfahren, die seit fünfzehn Jahren für Fotorealistik Stand der Kunst sind, erläutert werden. Das ältere Verfahren nennt sich *Raytracing*, also Strahlverfolgung, der neuere, viel rechenaufwendigere Algorithmus heißt *Radiosity*, auf deutsch etwa »Strahlungsverfahren«¹⁴. Gemeinsam sind beiden Techniken nur zwei Grundannahmen: erstens das Gesetz der Perspektive und zweitens eine Baukastenwelt, deren dreidimensionale Elemente oder Objekte lediglich als Zahlenkolonnen im Programmcode existieren, also nie zu visueller Wirklichkeit gelangen. Das geschieht erst, wenn ein virtuelles Auge auf sie fällt.

Bei der Strahlverfolgung, dem *Raytracing*, sendet dieses Auge einen messerscharfen Strahl, der nacheinander alle Pixel eines virtuellen Bildschirms abtastet – ganz so wie einst Albertis Blick durch das Gitter einer zarten Leinwand auf die Szene fiel. Wenn dieser Strahl eines jener rein mathematischen Objekte trifft, die überdies von rein mathematischen Punktlichtern beschienen sind, gehorcht er also den zwei Gesetzen der Spiegelung und Brechung. Beim Weiterwandern, in einem neuen Winkel, sammelt er alles Leuchten einer virtuellen Welt ein, bevor er farbgesättigt diesen ganzen Weg zum Auge rückwärts nimmt. Ein Bild, das so entsteht, lebt folglich nur von seinen punktuellen Glanzlichtern und der glasklaren Durchsichtigkeit aller als transparent definierten Objekte. Einer der ersten Triumphe der Strahlverfolgung wurde 1979 von Turner Whitted für die Bell Labs programmiert (Abb. 4).¹⁵ Klarer könnten errechnete Bilder ihre Künstlichkeit kaum ausstellen.

Beim *Radiosity*-Verfahren geschieht genau das Umgekehrte. Glanzlichter und scharfe Spiegelreflexe sind zwar unmöglich zu errechnen, dafür aber

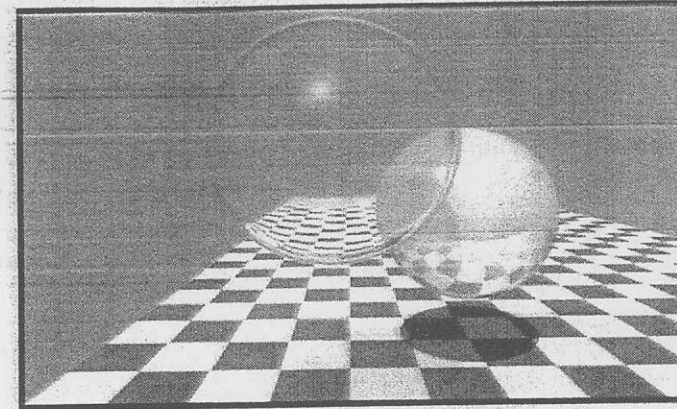


Plate III.10 Spheres and checkerboard. An early image produced with recursive ray tracing (Section 16.12). (Courtesy of Turner Whitted, Bell Laboratories.)

Abb. 4

Sphären und Schachbrett: Das Bild ist ein frühes Beispiel für die Anwendung des *Raytracing*-Verfahrens bei der Konstruktion von virtuellen Bildern.

ist die ganze virtuelle Szene in ihr eigenes Licht getaucht. Alle Flächen eines Innenraums, eines thermodynamisch geschlossenen Systems, interagieren in ihren Farben immer wieder miteinander, bis diffuse Reflexion und so genanntes Farbbloten das Endergebnis so radikal bestimmen, als hätte Johannes Vermeer noch einmal sein Mädchen mit dem roten Hut gemalt. *Hommage à Vermeer* hieß denn auch ein frühes *Radiosity*-Produkt der IBM. Schöne Kurven und Wölbungen, die der Reiz an den Farbflächen des Vermeer-Bildes sind, stehen allerdings nur dem Maler oder dem Raytracer offen. Das *Radiosity*-Verfahren muss sich jeder untrivialen Krümmung mühsam durch ebene Flächen annähern, was das Endergebnis noch diffuser erscheinen lässt, als der Algorithmus schon vorgibt (Abb. 5).

Die beiden Rendering-Verfahren ergeben zwei unterschiedliche Stile, die einander schon im Ansatz widersprechen. Anders gesagt, handelt es sich um unterschiedliche Methoden zweier Mathematiker aus unterschiedlichen Epochen, die Eingang in die Computergrafik gefunden haben. Der Gedanke, der sich hinter jedem Raytracer verbirgt, ist exakt auf das Jahr 1637 datierbar und stammt von René Descartes, der die Geometrie des Farbenspiels des Regenbogens löste und zu diesem Zweck nicht nur das alte Reflexionsgesetz einsetzte, sondern einem holländischen Bekannten auch das brandneue Refraktionsgesetz enteignete. Auf dem Kunststück spiegelnder Wassertropfen oder Kugeln baute nach Descartes der Differentialkalkül auf, so dass mit Fug und

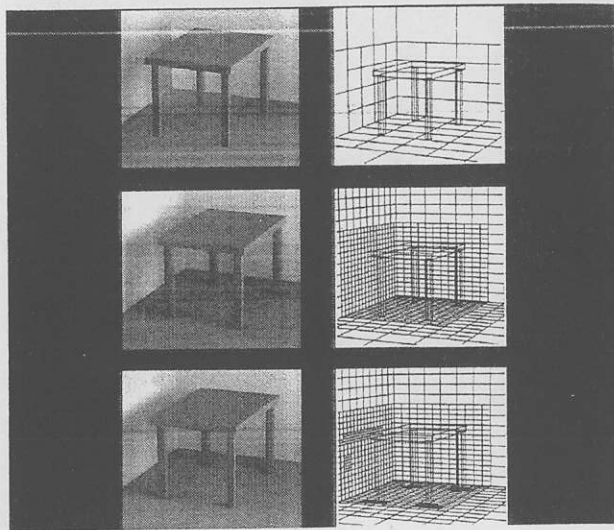


Abb. 5

Hommage à Vermeer: Der Tisch wurde unter Anwendung des *Radiosity*-Verfahrens generiert.

Recht gesagt werden kann, dass Raytracer aus Tangenten und Normalen die erste Ableitung ins Bild setzen. Das sieht zwar niemand außer ihren Programmierern, sollte aber eigentlich zur allgemeinen Bildung zählen.

Anders steht es mit der Herkunft von *Radiosity*. Zunächst hat der Algorithmus als solcher mit Optik oder Bildern überhaupt nichts zu tun. Er stammt, wie so vieles an heutigen Computern, aus den geheimen Waffenschmieden des Krieges und diente ab etwa 1960 dazu, durch Stratosphärenreibung glühende Raketenköpfe wirksam zu kühlen. Hinter dieser Ausbreitung von Hitze steht als mathematischer Gedanke aber Lamberts gute alte Diffusion des Lichts.¹⁶ Die Mathematik, die als *Radiosity* in Erscheinung tritt, ist also Integralkalkül, das genaue Gegenteil von Ableitung. An diesem Entweder-oder zweier prominenter Wege zum Rendering wird vielleicht deutlich, wie fern errechnete Bilder noch vom Endziel sind, das Borges einst den Spiegeln und der Vaterschaft zuschrieb: diese elendste aller Welten auch noch zu verdoppeln. Denn selbst wenn es in jüngster Zeit gelungen ist, *Raytracing* und *Radiosity* mit schierer algorithmischer Gewalt zu kombinieren, bringt uns das zwar die Kathedrale von Chartres, aber noch lange keine Naturgesetze näher (Abb. 6).

Die Computer-Graphics-Community weiß immerhin schon in der Theorie, was völlig durchgerechnete Bilder wären: Im vereinfachten Fall einer geometrischen Optik müssten Fredholmsche Integralgleichungen zweiter

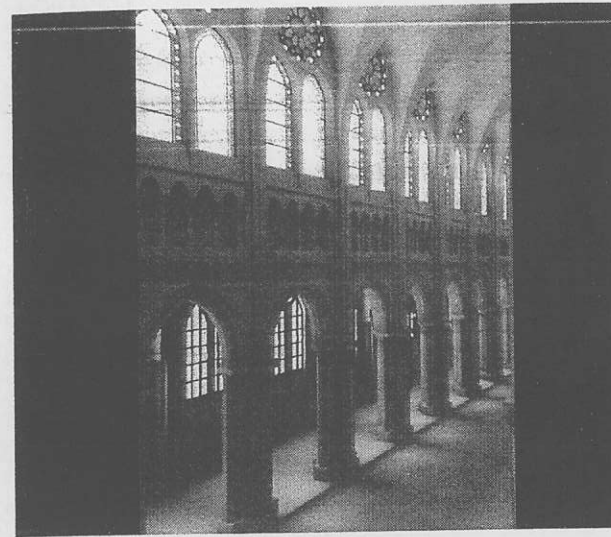


Abb. 6

Computerbild der *Kathedrale von Chartres*: Das Beispiel ist Ergebnis der Anwendung zweierlei Verfahren auf ein und dasselbe Bild, dem *Raytracing*- und dem *Radiosity*-Verfahren.

Ordnung gelöst werden, im realistischen Fall einer elektroquantendynamischen Optik wären das Feynmansche Pfadintegrale über alle beteiligten Photonen. Dann erst würden Katzenfelle schimmern und Ölhäutchen irisieren, gleichzeitig würden aber auch die notwendigen Rechenschritte ins Immense steigen. Um mit Wittgenstein zu sprechen: Die Welt ist leider alles, was der Fall ist.

SCIENTIFIC VISUALISATION IN DER ANWENDUNG

Genau aus dieser Schwierigkeit erwächst den digital errechneten Bildern aber auch ihre Zukunft. Dass die avanciertesten Firmen der Branche heute schon ihre Algorithmen mit Kernphysikern austauschen, ist ein Indiz dafür. Am Ende fiele die Visualisierung von Photonen, Quanten oder Quarks, wie sie mit maßlosem Aufwand in kilometerlangen Tunnels erzeugt werden, mit der schlichten Sichtbarkeit dieser Welt wieder zusammen. Es scheint über allen kommerziellen Milliardenenerfolg hinaus die Bestimmung errechneter Bilder zu sein, an dieser Einsicht mitzuwirken. Jedes technische Medium hat im Laufe unserer langen Geschichte eine Schicht des Wirklichen freigelegt: Es gäbe keine Brisanzgeschosse ohne Momentfotografie und keine Tuberkulosebehandlung ohne Wilhelm Röntgen. Die wissenschaftliche Visualisierung allein berechtigt mithin, von einem *iconic turn* zu sprechen. Das gilt insbesondere für das Computerzeitalter. Seitdem wissenschaftliche Bilder nicht mehr nur wie

einst auf Röntgenschirmen und Zelluloid in Zwischenspeichern aufgefangen werden, sondern ohne Rechnerunterstützung gar nicht erst zu Stande kämen, bricht, wie der Kölner Physiker Peter Mittelstädt bemerkt, das Zeitalter des Weltbildes endgültig zusammen. Keine Anschauung, wie das einst bei Kant der Fall war, gibt den Wissenschaften ihre Gegenstände vor, kein Verstand bringt ihre Vorstellungen auf den Begriff. Es sind im Gegenteil Computer, die heute alle diese konstitutiven Leistungen übernehmen, die einst vom Subjekt geleistet wurden, von der Steuerung über die Registrierung und statistische Glättung bis hin zu einer Computergrafik, die das Gegenteil von Fotorealismus liefert. Solche Bilder sagen sprichwörtlich mehr als tausend Worte, weil sie auf einen Blick Diagnosen in der Medizin oder Entdeckungen in der Kernphysik möglich machen. Ob allerdings der Name »Bild« hier noch trifft, darüber streiten die Experten. Zu viele nicht mehr kontrollierte Zwischenschritte in Hardware und Software liegen etwa zwischen einem Hirntumor und dem computertomographischen Bild eines Hirntumors. Keine Farbe bildet tatsächlich eine Farbe ab, keine Linie eine Linie. An die Stelle der guten alten Anschauung sind frei visualisierte Potenziale oder Elektronenspins getreten. Wenn solche computergraphischen Befunde auch noch in die Lage versetzt werden, Eingriffe anderer Computer auf die Ausgangsdaten ihrerseits auszusteuern, schließt sich ein Regelkreis: Die Wissenschaft macht sich kein Bild mehr von der Welt und schaut sich am Ende ins leere Auge.

Was ich meine, wird klar, wenn man die heutigen Verschaltungen bildgebender und bildgesteuerter Automaten mit den schönen wissenschaftlichen Zeichnungen in Descartes' Traktat *Vom Menschen* betrachtet: Afferente Nerven aus den Augen lenken efferente Nerven in den Fingermuskeln, bis Descartes' Automatenmensch nach einem schönen roten Apfel greifen kann. Vom prinzipiellen Regelkreis her bleibt heute zwar alles wie gehabt, doch ist der Philosoph, der sich auf dem Buchpapier einst selbst aufzuschneiden wagte, in Computerfarmen abgewandert.

Gegen eine solche Zukunftsvision spricht allerdings der technische Alltagsstand von heute. Die Lust auf fertig errechnete Bilder ist so groß oder geldgierig, dass die Computergrafik im PC-Markt wie im Netz fast als Einwegstraße anmutet, das heißt von jeder möglichen Rückkoppelung abgeschnitten bleibt. Handelsübliche Grafikkarten sind einzig dazu da, Bilder aus dem Arbeitsspeicher auf den Monitor zu übertragen, nicht aber umgekehrt, ihnen vorgelegte Bilder im Arbeitsspeicher durchzurechnen. Die Bildsynthese ist,

mit anderen Worten, der Analyse technisch noch meilenweit voraus. Selbst eine so prominente Grafiksoftware wie XWindow, unter Unix als Betriebssystem nachgerade Standard, erlaubt zwar ganz selbstverständlich, Pixel oder Farben auszugeben, kennt aber nicht einmal Befehle, um derlei Farben auf dem Monitor auch wieder einzulesen. Kein `XGetPixel()` entspricht dem `XDrawPixel()`. Insofern bleibt die Computergrafik, wie sie dem Endnutzer vor Augen steht, eigentümlich blind. Die einzige rühmliche Ausnahme, weil sie Patienten retten kann, ist die Computerdiagnose in der Medizin. Es wäre für die Universitäten lohnend und dringend geboten, eigene nicht-proprietäre Verfahren der Bildanalyse zu entwickeln. Wer kann – um nur ein Beispiel aus der Kunstgeschichte zu nennen – im Vorhinein entscheiden, ob sich die Echtheit oder Falschheit von Bildern besser durch das menschliche Auge oder durch Bilderkennungsalgorithmen erkennen lässt? Vermeers Mädchen mit dem roten Hut tauchte erst 1820 aus dem Dunkel auf und ist so romantisch schön, dass manche Kunsthistoriker auf eine Fälschung tippen. Algorithmen, die Bilder statt nach bloßen Künstlernamen oder Titeln nach ihrer realen Machart ordnen, zum Beispiel nach maximalen Ähnlichkeiten, könnten hier unter Umständen den Beweis erbringen.

COMPUTERDESIGN

Der Computer ist das Leitmedium unserer Kultur, das sie von allen anderen Kulturen unterscheidet. Wenn seine Auswirkungen einst offenbar werden, werden berechnete und errechnete Bilder zusammenfallen. Bei allem Unbehagen über das Missverhältnis zwischen Analyse und Synthese, zwischen Berechnung und Errechnung digitaler Bilder: Ohne Bilder wären Computer ein Spielzeug von Mathematikern geblieben, eine Maschine auf Buchpapier, ganz wie Alan Turing 1936 über ihre Prinzipschaltung in Worten und mathematischen Zeichen geschrieben hat. Wir müssten unsere Beine weiterhin von Hand berechnen, wie dies die Webers genau 100 Jahre vor Turing getan haben. Aber ganz wie die Symbiose von Grafikkarte und Radarschirm schließlich zur grafischen Benutzeroberfläche führte, so treibt eine Symbiose von Hardware-Entwicklung und Materialforschung den Siegeszug der Digitaltechnik unaufhaltsam vorwärts.

Die Hardware auf der einen Seite wäre ohne technische Bilder weder zu begreifen noch zu bauen: Schaltsymbole und Schaltpläne, Kennkurven und andere Diagramme eröffnen jeweils Felder der Berechnung, denen die realen

Schaltungen als immer winzigere Spiegelbilder dann mehr und mehr entsprechen. Erstmals in der Technikgeschichte fallen im Computerdesign Recto und Verso, Schaltplan und Elektronenlithografie, zusammen. Der Materialforschung auf der anderen Seite ist es zu verdanken, dass Computer nicht mehr wie in ihren Anfängen im Schrittempo rechnen. Mit der Erfindung des Transistors 1947 durch Shockley, Brattain und ihre Mitarbeiter von den Bell Labs lief die erste Materialforschung nach Rechelementen in die Zielgerade ein. Germanium und bald darauf Silizium erwiesen sich als Elemente, die, auf atomarer Ebene umgewandelt, verstärken und am Ende zählen konnten. Der mathematische Materialismus eines Pythagoras kehrte triumphal zurück. Aus Transistoren wurden integrierte Schaltungen, aus ICs ganze Ozeane von Transistorgattern, wie sie in der Branche heißen. Die Festkörperphysik verfügt infolgedessen über Hochleistungsrechner, die ihr Bilder der Materie selbst zustellen. Diese computergenerierten Bilder zeigen dank Rasterelektronenmikroskopen Strukturen in immer höherer Auflösung und die Strukturen geben ihrerseits wieder Möglichkeiten für immer effizientere Hardware vor. Während das Zurückgehen auf die Ebene von Photonen und Quanten in der Computergrafik nur ein realistischer Tick der Programmierer bleibt, ist er beim Computerdesign eine schiere technische Notwendigkeit, schon allein aus dem Grund, weil die Siliziumtechnologie sich unaufhaltsam ihren physikalischen Grenzen nähert. Mittlerweile laufen die ersten Quantencomputer im Versuchsstadium, und eines schönen Tages sollen sie alle verbliebenen Feindcodes knacken können.

Auf dieser untersten Ebene strahlt Materie als reine Energie, ist also immer schon Information, das heißt computertauglich. All die großartigen Paradoxien der Quantenphysik werden mit einem Schlag aufhören, lediglich Lehrbücher zu bevölkern, sondern als Tunneleffekte oder Quantenfallen in den technischen Alltag einziehen. Jedenfalls gäbe es kein Bild von den Grundbausteinen dessen, was ist, ohne moderne Computer, wie es umgekehrt keine modernen Computer gäbe ohne jenes unvorstellbare Bild. In dieser menschenleeren Einheit blitzt das Sein auf – ein Bild für Götter.

Ich möchte am Schluss einen Vortrag Martin Heideggers in Erinnerung rufen, den der Philosoph am 18. November 1955 im Auditorium Maximum der Münchner Technischen Universität über *Die Künste im technischen Zeitalter* hielt. Heidegger stellte in seinem Vortrag die Frage nach der Technik überhaupt. Wenn man im folgenden Zitat die Begriffe »entbergen« als Geschehnis

geschichtlicher Wahrheit, »schalten«, ob mit oder gegen Heideggers Wortlaut, als digitalen Computertakt und schließlich »steuern« als Computer-science liest, bündelt sich alles, was ich mit Daten und Fakten zu belegen versuchte, in wenigen kurzen Sätzen, die vom Kreislauf namens Technik handeln wie zeugen:

Das Entbergen, das die moderne Technik durchherrscht, hat den Charakter des Stellens im Sinne der Herausforderung. Diese geschieht dadurch, daß die in der Natur verborgene Energie aufgeschlossen, das Erschlossene umgeformt, das Umgeformte gespeichert, das Gespeicherte wieder verteilt und das Verteilte erneut umgeschaltet wird. Erschließen, umformen, speichern, verteilen, umschalten sind Weisen des Entbergens. Dieses läuft jedoch nicht einfach ab. Es verläuft sich auch nicht ins Unbestimmte. Das Entbergen entbirgt ihm selber seine eigenen, vielfach verzahnten Bahnen dadurch, daß es sie steuert.¹⁷

1 Mathematiker der Aufklärung, geb. 1701 in Basel, gest. 1783 in St. Petersburg.

2 Wilhelm und Eduard F. Weber: *Die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Eine anatomisch-physiologische Untersuchung*. Göttingen 1836.

3 Weber: 1836. S. 209.

4 Weber: 1836. S. 6.

5 Weber: 1836. S. 294 f.

6 Emil Du Bois-Reymond: *Aufsätze*. S. 407 f.

7 Emil Du Bois-Reymond: *Aufsätze*. S. 407.

8 Stefan Heidenreich: *Was verspricht die Kunst?* Berlin 1998. S. 128.

9 Christian Morgenstern: *Alle Galgenlieder*. Zürich 1997. S. 38.

10 Die Turing-Maschine wurde 1936 von dem englischen Mathematiker Alan Turing als mathematisches Modell zur Untersuchung prinzipieller Fragen der Berechenbarkeit geschaffen. Sie stellt ein einfaches Modell für einen Computer dar.

11 Informatiker, Mathematiker und Autor von *A New Kind of Science*. Champaign, Ill. 2002.

12 Joseph Plateau, Erfinder des Stroboskops, wurde blind, nachdem er in einem Experiment 25 Sekunden lang in die Sonne gesehen hatte. Er legte mit seiner Technik die Grundlage für die »laufenden Bilder« den Film.

13 Michael Baxandall: *Lücher im Licht. Der Schatten und die Aufklärung*. München 1998.

14 J. Pöpsel, U. Claussen, R.-D. Klein, J. Plate: *Computergrafik. Algorithmen und Implementierung*. Hamburg 1994.

15 James D. Foley u. a.: *Computer Graphics: Principles and Practice*. 1995. 2nd ed., S. 778.

16 Johann Heinrich Lambert (1728–1777) führte mit seinem Werk *Photometria, seu de mensura et gradibus luminis colorum et umbrae* (Augsburg 1760), die Lehre von der Messung der Intensität des Lichts in die Wissenschaft ein. Auf der Grundlage seiner Untersuchungen und den Erkenntnissen August Beers (1825–1863) lässt sich heute mittels Licht die chemische Zusammensetzung eines Materials ermitteln (Lambert's Beersches Gesetz).

17 Martin Heidegger: *Vorträge und Aufsätze*. 2. unveränderte Auflage. Pfullingen 1959. S. 24.

Bilder waren nie zuvor so präsent wie heute. Neben die künstlerischen Bilder sind gleichrangig technische, naturwissenschaftliche und mediale Bilder getreten. Die Allgegenwart der Bilder im Fernsehen, die zunehmenden Visualisierungen in den Naturwissenschaften und die bildgebenden Verfahren in der Medizin haben Bildern eine nie gekannte Präsenz und Bedeutung gegeben, der sich niemand entziehen kann.

ICONIC TURN beantwortet die Forderung nach einem interdisziplinären Blick auf die neue vielfältige Bilderwelt. Noch gibt es sie nicht, die fächerübergreifende Bildwissenschaft, die die spezifischen Blickwinkel von Geistes- und Naturwissenschaften zusammenführt. Doch ist innerhalb der Geisteswissenschaften, insbesondere unter Kunst- und Medienhistorikern, eine rege Debatte darüber entstanden, wie sie aussehen könnte und welche Themen sie vorrangig behandeln sollte. ICONIC TURN ist der erste Versuch, das komplexe Thema Bild in seiner Vielfalt zu erfassen. Prominente Vertreter aus Geistes- und Naturwissenschaften, aber auch bekannte Bilder-Macher kommen zu Wort. Das thematisch breit gefächerte Spektrum berührt philosophische, kunst- und kulturwissenschaftliche Fragen ebenso wie Fragen der Naturwissenschaften nach dem Erkenntnisgewinn von Computervisualisierungen.

UNI GIESSEN, BEREICHSBIBLIOTHEK



0016 7058034 9

ICONIC TURN

DIE NEUE MACHT DER BILDER

Herausgegeben von
Christa Maar und
Hubert Burda

DuMont Köln 2004