

Analog/Digital – Schrift, Bilder & Zahlen als Basismedien

WOLFGANG COY

Institut für Informatik und Hermann v. Helmholtz – Zentrum
der Humboldt Universität zu Berlin

1. Bilder, Zahlen, Schrift & Alphabet

Schrift ist als Visualisierung gesprochener Sprache entstanden. Die frühen Zeichen sind als Verbildlichung von Worten oder „Ideen“ entstanden. Typisierung zur Abstraktion: Ein Weg, der über 20000 oder 30000 Jahre verfolgt werden kann, von steinzeitlichen Höhlenbildern bis zu Hieroglyphen, Kanji-Zeichen und Icons.

Einsilbige Worte können dabei zu Bausteinen mehrsilbiger Worte werden – ein weiterer Schritt der Abstraktion, der in China und Japan ebenso wie im Mittelmeerraum vollzogen wurde. Ein Widerhall der vokallosen phönizischen Silbenschrift ist noch in der hebräischen und arabischen Schrift zu finden. Die universelle Schließung des Alphabets gelang (für mehr als anderthalb Jahrtausende unbemerkt) den Griechen, die statt der für ihre Sprache unpassenden semitischen Silben dem griechischen Kehlkopf angepaßte Konsonanten und Vokale erfanden, eine Erfindung, die im Kern die Verschriftlichung aller weltweit gesprochenen Dialekte erlaubt.

Die Schrift behält im Gewebe der Texte jedoch ihre „Schriftbildlichkeit“, um einen Ausdruck von Sybille Krämer zu verwenden. Diese Schriftbildlichkeit wird durch die Aufbereitung der Schrift zum formellen Manuskript seit der Mitte des 12. Jahrhunderts umfänglich erweitert und als typographische Aufbereitung des Textes mit dem Satz und dem Buchdruck festgeschrieben. Schrift wandelt sich derart von der phonemischen Notation zum Schriftbild, das eine Fülle von Lesetechnischen Hilfen bereit stellt. Deswegen können wir schneller und anders Lesen als Zuhören. Zwar kann der Text auf Fragen nicht antworten, wie Platon unbedingt anmerken musste, aber wir können auch Textpassagen überfliegen und überspringen – ohne allzu unhöflich zu werden. Mit dem Alphabet wird eine symbolische Welt des Gedächtnisses und des Nachdenkens eröffnet.

Eine eigenständige Entwicklung nimmt die völlig symbolische Form der Zahlen. Zahlen sind sicherlich aus der Erfahrung von Ansammlungen gleicher oder fast gleicher Elemente entstanden: der Anzahl Tiere in einer Herde, der Anzahl Ziegel beim Hausbau, der Anzahl einer Menge von Samenkörnern. Die frühen Zählprozesse waren deshalb wohl Zuordnungsprozesse, bevor Aufzähltechniken entstanden. So wurde die Anzahl der Tiere einer Herde durch eine entsprechende Zahl von Tonkügelchen in einer versiegelten Vase festgestellt. Brachte der sumerische Hirte die betreute Herde zurück, so mußte die Zahl der Tiere den verwahrten Kugeln in der versiegelten Vase entsprechen. Der Prozeß des Zählens ließ sich, weniger gerichtssicher, auch unter Einsatz der

Hände (und gelegentlich der Füße) bewerkstelligen – also mittels Zählen. Dies mündete in der Abstraktion des Zählens und einer entsprechenden Notation – meist mit Hilfe schon vorhandener Schreibnotationen – so bei den Hebräern und Arabern, aber auch bei den Griechen.

Typisch für diese frühen Zahlnotationen ist weniger ihre parasitäre Anlehnung an die Schrift, sondern die Idee, jeder Größenordnung ein eigenes Zeichen zuzuweisen. Die römischen Zahlen, die gerade nicht aus der griechischen Tradition, sondern aus einer etruskischen oder anderen italischen Notation stammen und sich deshalb mit eigenen Zahlzeichen vom lateinischen Alphabet absetzen, zeigen dies plastisch mit ihren Einer-, Zehner-, Hunderter- und Tausendergruppen, die durch abkürzende Sonderformen der 5, 50 und 500 ergänzt werden.

Das Phonemalphabet, diese griechische Erfindung des 7. Jahrhunderts, hat das Sprechen zum Diktat geführt. Unvollkommen zwar, aber über einen langen Weg von fast drei Jahrtausenden bis zum internationalen phonemischen Standardalphabet ist eine Notation für die lautlichen Möglichkeiten des menschlichen Rachenraums entstanden.

Das Alphabet ist in diesem Prozeß zur Wundertüte des symbolischen Raums geworden. Die pythagoräische Schule hat dies in dem ihr eigenen Überschwang in alle Richtungen verfolgt: Das Alphabet diene ihnen nicht nur zur Fixierung der Schrift, sondern auch als Zahlenvorrat, zur musikalischen Notation und selbst zur Beschreibung von Farben. Für die Pythagoräer gilt „Alles ist Alphabet“ oder „Alles ist Zeichen“, was ja sowohl den formalen Aspekt betrifft wie es einen übergeordneten auf einen verborgenen esoterischen Sinn deuten soll.

2. Kodes

Bei Aristoteles heißt dieses Stigma der Pythagoräer „Alles ist Zahl“ – und dies ist präzise in dem Sinne, daß die Zahlen anders als Buchstaben, Musiknoten und Farben einen Verweis auf Abstrakta darstellen, eben auf das Zählbare, während Buchstaben, Musiknoten und Farben auf Sinneseindrücke verweisen. Diese sind freilich selber auf dem Weg vom Sinnlichen zum Abstrakten: Schon die Vokale und Konsonanten des griechischen Alphabetes sind von den Silben abstrahierende Konstruktionen – und die Musiknoten dienen zur Fixierung der Tonhöhe einer schwingender Monochordsaite. Zahlen aber gehen weiter in diesem Abstraktionsprozeß; sie verweisen bestenfalls auf den Prozeß des Zählens, also nicht auf einen Sinneseindruck sondern eine geistige Tätigkeit.

Dennoch haben die griechischen Zahldarstellungen einen gravierenden Mangel: Sie benötigen immer neue Zahlzeichen um mit dem unbeschränkten Wachstum Schritt halten zu können, der im Zählprozeß angelegt ist. Dieses unbeschränkte Wachstum war den Erfindern der europäischen Mathematik selbstverständlich bekannt und Techniker wie Archimedes konnten sehr große Zahlen, wie sie zur Bezeichnung astronomischer Längenverhältnisse nötig waren, exakt anschreiben. Eine allgemeine Methode zur Erweiterung des Zählraumes besaßen sie jedoch nicht. Dies war jedoch über Stellennotationen möglich, bei denen mit einem kleinen Ziffernvorrat beliebig große Zahlen exakt darstellbar sind, wenn die Stelle der Ziffer eine Zahlpotenz repräsentiert. Schon den babylonischen Mathematikern waren solche Stellensysteme geläufig – mit einem kleinen, aber wichtigen Manko: Dem Nichts, das dann auftritt, wenn eine Stelle leer bleiben soll.

Die Null also vollendet ein Stellensystem, indem sie die leere Position einer Stelle angeben. Die Babylonier haben bei Bedarf tatsächlich eine Stelle freigelassen, aber sie hatten dann Schwierigkeiten, wenn zwei oder mehr solche leeren, nicht-sichtbaren Stellen nebeneinander stehen sollten. In der Praxis war dies im babylonischen Sechzigersystem freilich weniger auffällig als in den Dezimalsystemen (oder gar im Binärsystem); es kam ja zum ersten Mal bei der Zahl 3600 vor.

Ein Existenzrecht unter den Ziffernzeichen erhielt die Null viel später, wohl im 7. Jahrhundert in Indien oder vielleicht doch etwas früher in Indochina, wie Needham andeutet. Ihr gleiches Bürgerrecht freilich erhält sie noch später: dann nämlich, als sie nicht nur als Ziffer, sondern auch als Zahl anerkannt wird – ein Prozeß, bei dem ein mathematischer „Horror vacui“ zu überwinden war.

Der Weg nach Europa verlangt von der Null dem Umweg über die arabische Halbinsel nach Spanien und nach Oberitalien. Marco Polos Vermittlungstätigkeit beschert den Europäern zwar Seide und Ravioli aus China, aber eben nicht die überlegene indische Mathematik; diese wird erst mit der arabischen Buchhaltung und Wissenschaft in einem Zangenangriff importiert. Nach kurzen und kruden Querelen gelingt dem indisch-arabischen Stellensystem der konzeptuelle Durchbruch.

Der äußeren Form nach ist das Stellensystem ein typografisches System wie die Buchstaben auch, mit typographischen Varianten ihrer Glyphen. Aber diese besitzen einen rein ideographischen Charakter, an dem keine Eierschalen einer phonemischen Geburt mehr kleben. Ziffern sind universelle Zeichen ohne nationalsprachliche Konnotation, so wie Fingerzahlen keinen verbalen Bezug haben – eben universelle Charaktere im Leibnizschen Sinne. Die Mathematik ist so zum Vorbild einer eigenständigen weltweiten Notation geworden (die dennoch nationale Überreste zu verwalten hat).

Typografisch rücken die Zahlen mit dem Stellensystem in den Rang von Wörtern, deren beliebig anordenbare Elementarteilchen die Ziffern bilden. Ziffern sind also Lettern! Und wenn Alphabete wie Zahlen gleichermaßen als typografisches Ordnungssystem beschreiben, braucht man einen neuen Oberbegriff: Den Kode. Mit der Vorstellung von Kodes gewinnt der formale Charakter der Alphabete an Bedeutung. Ein einzelner Strich genügt zum Zählen, aber ein Stellensystem braucht eben eine Leerstelle, eine Null. Das minimale Stellensystem muß also Null und wenigstens ein weiteres Zeichen enthalten: Ein Binäralphabet, heute meist, aber nicht zwingend, als $\{0,1\}$ geschrieben. Francis Bacon scheint, um 1620, als erster die Frage nach einem minimalen Kode untersucht zu haben. Er stellt seinen Vorschlag für ein Binäralphabet, mit dem sich nicht nur Zahlen, sondern auch Buchstaben kodieren lassen, in den Kontext der geheimen Nachrichtenübermittlung – über einen Belagerungsring hinweg zur Verständigung mit der eingeschlossenen Festung. Nachrichtentechnik und Kryptografie: „Wissen ist Macht!“.

Bacons Vereinheitlichung der Schriftalphabete mit den numerischen Stellensystemen enthält aber mehr Sprengstoff als seine Schrift ›De dignitate et augmentis scientiarum‹ enthüllt. Wenn nämlich alle Ziffern Lettern sind und, wie Bacon entdeckt, alle Lettern mit den zwei Ziffern 0 und 1 notierbar sind, so läßt sich auch mit allen Lettern rechnen. Dies begreift Gottfried Wilhelm Leibniz um 1697. Für ihn ist es ein göttlicher Hinweis im großen ›Buch der Natur‹: ›Einer hat Alles aus Nichts gemacht‹, oder moderner ausgedrückt: Alles ist binär konstruierbar. Aber eben nicht nur konstruierbar, sondern auch berechenbar, denn die Operationen der Addition und Multiplikation las-

sen sich wie ihre Umkehroperationen der Subtraktion und der Division auch im binären Zahlkörper vollziehen. Die binäre Arithmetik ließe sogar eine einfache maschinelle Verarbeitung zu, wie Leibniz in einem Brief anmerkt – er baut jedoch eine Dezimalmaschine, um die erhofften feudalen Geldgeber nicht zu verschrecken. Allein, diese „Anschlußfähigkeit“ bleibt ohne den erhofften Erfolg, so dass wir Leibniz in diesem Bereich vor allem als großen Vor-denker einstufen müssen.

Während Leibniz so doch noch eine Interpretation von „Null/Nichts“ oder „Eins/Eines“ beibehält, die sich ja noch in Hegels „Logik“ widerspiegelt, bricht Hegels Zeitgenosse Carl Friedrich Gauß kühl mit diesen metaphysischen Eierschalen. Er setzt bei seinen telegrafischen Versuchen um 1830 an die Stelle von 0 und 1 die Zeichen + und – und weist damit auf die Elektrifizierbarkeit der digitalen Codes hin.

Seit Leibniz kann man mit Recht die alphabetischen Codes als digitale bezeichnen, auch wenn dies erst mit den digitalen Rechenmaschinen des 20. Jahrhunderts üblich wird. Festzuhalten bleibt: Zahlen sind als Wörter lesbar und Wörter sind als Zahlen lesbar. In diesem formalen Sinne gilt: Ziffern sind Lettern und Lettern sind Ziffern, beide Varietäten des Digitalen.

3. Digitalrechner

Leibnizens Vorstoß zum Bau einer binären Rechenmaschine bleibt für Jahrhunderte folgenlos. Über zwei unterschiedliche Pfade wird sie nahezu gleichzeitig im Jahr 1936 realisiert: Als binär kodierte Rechenmaschine des Berliner Bauingenieurs Konrad Zuse und als logisch abgerundetes Konzept einer *paper machine*, der Turing-Maschine des Cambridge-Mathematikers Alan M. Turing, der in seinem Aufsatz ›On computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem‹, das algorithmische Potential und einige Grenzen des Einsatzes digitaler Rechenmaschinen formuliert. Die technische Umsetzung erfolgt im zweiten Weltkrieg und danach, zur Dekodierung von Wehrmachtsfunksprüchen, zur Berechnung ballistischer und navigatorischer Tabellen und zur Berechnung der Atombomben und der Interkontinentalraketen.

Turings Akzent liegt auf der programmierten „Berechenbarkeit“ seines Maschinenkonstruktes und er legt damit ein sauberes Konzept formal-logischer Berechenbarkeit (und Entscheidbarkeit von logischen Prädikaten) vor. Damit wird die Linie mechanischer Rechenmaschinen von den bereits von Leibniz gebauten Vier-Species-Maschinen zu einem Maschinentyp fortgesetzt, der jegliche formal definierte Rechnung als Programmschrittfolge abarbeiten kann – im Prinzip unabhängig von der zugrunde liegende technischen Realisierung seiner universellen *paper machine*. Tatsächlich erweisen sich elektro-magnetische und elektronische Bauelemente, wie sie von Konrad Zuse, Howard Aiken seit 1936 und anderen verwendet wurden als die maschinelle Basis künftiger Rechentechnik, die später um Transistoren und Halbleiterschaltungen, Magnetbändern und –platten, CDs und DVDs erweitert wird.

Die logische Qualität der Turing-Maschinen ist zweifelsfrei, wenngleich ihre Umsetzung in Befehlssätze, Programmiersprachen, Software und Softwareentwicklungstechniken durchaus eine anspruchsvolle Aufgabe ist und bleibt. Die maschinelle Basis hängt aber, wie Alan Turing ebenso wie Konrad Zuse, Howard Aiken oder John von Neumann schnell vermerken von der Zuverlässigkeit der Bauelemente, insbesondere der Speicher ab. Die neue digitale Technik hängt also mindestens so stark von der Leistung

und Programmierung ihrer Prozessoren wie von der Präzision und Zuverlässigkeit ihrer Speicher ab.

Mit den großen Digitalen Speichern, wie sie mit den magnetischen Techniken vom Magnetband über den Ferritkern bis zu den Magnetplatten, aber auch mit den bistabilen Kippstufen der RAMs und ROMs und den optischen Speichern bereit gestellt werden, wird die Rechentechnik zur Datentechnik oder Informatik. Unter Mediensichtspunkten steigert die Digitaltechnik die Zuverlässigkeit von Speicherung, Übertragung und Kopieren um Größenordnungen. Die Sicherheit der Speicherung beruht auf der Zuverlässigkeit, mit der zwei unterschiedliche physikalische Zustände für die Speicherung eines Bits auch nach längerer Speicherung unterscheidbar bleiben. Entsprechend hängt die Sicherheit der Übertragung und Kopie vom Rauschen der Übertragungskanäle, also den möglichen Störsignalen ab. Diese physikalischen Qualitäten unterscheiden digitale Techniken freilich nicht von analogen Medienspeichern, das neue der Digitaltechnik liegt in der Möglichkeit, Unzuverlässigkeiten wie Alterung, Rauschen und andere Störungen mit Hilfe geeigneter Kodier Techniken zu mildern und dies in beinahe beliebigem Maße. Dies wird durch fehlerentdeckende und fehlerkorrigierende Ziffernkodes erreicht.

4. Analoge Signale und digitale Kodes

Interessant wird die Frage beliebig guter Kopierbarkeit oder Übertragbarkeit bei Meß- oder Mediensignalen, wie sie die autografischen Medien erzeugen. Hier schleifen die zu übertragenden oder zu kopierenden Schwingungen durch die physikalischen Ungenauigkeiten der Meßwerterfassung ab. Eine Fotografie einer Fotografie enthält weniger Details als die ursprüngliche Version, eine Schallplatte kann keine perfekte Kopie einer anderen Schallplatte sein, ein mit einem Meßinstrument abgelesener Meßwert ist immer ungenau in dem Sinne, dass er keinen Wert, sondern ein Werteintervall angibt. Die analogen Speicher der autografischen Medien des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts, also Foto, Film, Schallplatte oder Magnetband speichern also keineswegs präzise Messwerte, sondern Intervalle, innerhalb derer das gemessene Signal irgendwo, nicht mehr exakt bestimmbar, liegt. Das ist die Krux aller Aufnahmetechnik.

In der digitalen Technik werden analoge Signale in Zahlen gewandelt; der Wandlungsprozeß selber ist freilich auch bei den benötigten Analog/Digitalwandlern mit ähnlichen Präzisionsverlusten behaftet wie die Aufnahme analoger Signale. Sind erst einmal die Signale digitalisiert, also in Zahlen verwandelt, so reduziert sich der Kopier- oder Übertragungsprozeß auf die Repetition eben dieser Zahlen.

Bleibe es bei den Zahlen, so hätten wir eine neue Qualität erreicht, denn Ziffern sind Symbole, also nicht-körperliche Entitäten. Sie zu kopieren scheint idealiter in völliger Perfektion möglich. Doch leider gibt es keine Speicher für Ziffern, sondern nur für deren körperliche Erscheinungsformen, also digitale Signale. Erst als Signale erhalten Ziffern eine materielle Gestalt und alle Operationen des Speicherns, Übertragens und Kopierens sind so perfekt wie die zugrunde liegende Signaltechnik – mit einer kleinen, freilich nicht unwichtigen Besonderheit: Ganze Zahlen lassen sich in den Grenzen fehlerkorrigierender Kodes perfekt restaurieren und auf ihren Ausgangswert zurücksetzen. Solange diese Korrekturen funktionieren, sind digitalisierte Signale verlustfrei speicherbar, übertragbar und kopierbar.

Wenn nur einzelne Lettern und Ziffern übertragen und kopiert werden, ist es einleuchtend, dass eine beliebig hohe Präzision erreichbar ist, denn die Grundaufgabe der Übertragung oder Kopie heißt: »Lese eine Zahl n im Speicher A und schreibe diese Zahl in den Speicher B!« Für eine einzelne Ziffer scheint dies keine große Herausforderung zu sein, für die Kopie von Millionen oder Milliarden Zeichen sind freilich technische Vorkehrungen zu treffen, um die Fehlerfreiheit der Kopie oder Übertragung aufrecht zu erhalten.

Was nun durch die Digitaltechnik verändert wird, ist die durch Kodierung steigbare Präzision der Kopien einmal gespeicherter Werte. Im Analogen entspricht dies einer erneuten Aufnahme – womit die Umwandlung eines Meßwertes in ein Meßwertintervall erneut vorgenommen wird. In der Folge wird dieses Intervall zwangsläufig verändert und gegebenenfalls verfälscht.

Anders kann man die Kopie digitalisierter Meßwerte verstehen. Sie sind Zahlen aus einem endlichen Zahlenvorrat möglicher Werte, dem Meßbereich. Und diese lassen sich durch geeignete Codes mit beliebiger Genauigkeit kopieren. Während die digitale Aufnahmetechnik ähnliche Probleme der Genauigkeit wie die analoge zu lösen hat, besteht bei der Kopie die Möglichkeit beliebig gesteigerter Präzision. Dies ist eine wesentliche Differenz der beiden Techniken.

Beliebige Genauigkeit beschreibt allerdings nur ein Potential, das je nach Ausprägung der Codes mehr oder minder gut erreicht wird. Es sei aber vor der Illusion gewarnt, die sei beliebig oft möglich. Auch CDs sind nicht völlig fehlerfrei: Eine von zwei Audio CDs enthält, bedingt durch das normierte Fehlerkorrekturverfahren. Bei CD-ROMs und DVDs ist das sehr viel besser. Beliebiger Steigerbarkeit ist es freilich nicht, denn jede Fehlerkorrektur verlangt zusätzlichen Speicherplatz – bis irgendwann der ganze Speicherplatz von der Sorge um die Korrektur aufgeessen wird. Eine völlig fehlerfreie (also beliebig korrigierbare) Kodierung ist auch mit digitalen Techniken niemals erreichbar.

Die Differenz zwischen analoger und digitaler Speicherung ist also die eines zwar großen und beliebig steigbaren quantitativen Sprunges, aber keine völlige „Wesensfremdheit“, wenngleich ein Hegelscher Umschlag von Quantität zu Qualität sichtbar zu werden scheint.

5. Und die Bilder?

Digitalrechner und Digitalkodes werden durch die Digitalisierung analoger Signale zu großen Unifikatoren. Alle Signale, die aus Schrift oder Zahlen bestehen und alle Signale, die sich in Zahlen oder Schrift verwandeln lassen, sind in digitalen Speichern ablegbar. Und diese werden immer größer. Mitte der Sechziger stellt IBM die erste erfolgreiche magnetische Wechselplatte vor, die IBM 2305. Sie speichert in einer tortengroßen Ausführung 5 Megabyte, also etwa den Textumfang von einem Dutzend Büchern. Dasselbe Material in Taschenbuchform wäre kompakter gewesen. Derzeit (im Jahr 2000) fassen Platten mit 3,5" Durchmesser 75 Gigabyte und mittlere Rechenzentren halten Plattenplatz im Terabytebereich vor – Speicher, in denen mehr digitalisierter Text als in irgendeiner Bibliothek der Welt speicherbar wäre.

Aber es sind eben nicht nur Texte und Zahlen, die in Binärfolgen umgewandelt werden, sondern auch Töne, Bilder und Filme. Bildsensoren in CCD- oder CMOS-Technik erlauben es Bilder zu rastern und die Rasterpunkte in Zahlenwerte umzuwandeln – in einer Geschwindigkeit, die digitale Videotechnik mit 25 oder 30 Bildern in der Sekunde als Konsumtechnik anbieten hilft. Fernsehstudios sind inzwischen voll digital geworden und die Hollywood-Industrie zieht nach. Der Film verliert die Referenz seines Namens: digitale Speicher ersetzen das Zelluloid. Die Projektion wird digitalisiert – im Kino ebenso wie beim LCD-Fernsehschirm, einer Technologie, die dem LCD-Computerbildschirm entspringt. Film wie Fernsehen: Die Digitaltechnik wandelt wie im Audibereich die gesamte Produktionskette. Selbst Videorekorder werden entweder durch DVDs ersetzt oder von Bandmaschinen zu Festplattenrekordern.

Mit der Lösung des Speicherproblems trägt der zweite Aspekt der Digitalisierung: Die programmierte Bearbeitung des digitalisierten Materials. Oberflächlich wird dies in der Erweiterung der special effects sichtbar. Doch hinter der FX-Produktion werden handfeste ökonomische Vorteile sichtbar: billiges Aufnahmемaterial, virtuelle Kulissen, nicht-linearer Schnitt. Die nicht-lineare Bearbeitung, die durch den direkten, adressierten Speicherzugriff und durch programmierte Arrangements möglich wird, greift radikal in die gerade mal hundert Jahre alte Tradition der filmischen Bildfolgen ein. So wie der Text durch programmierte Links in das Gewebe des Hypertextes verwandelt wird, werden Bildfolgen in ein hypermediales Gewebe von Takes oder Clips gewandelt. Die autorengenerierte lineare Anordnung wird um Navigation und programmierte Interaktion ergänzt. Die Computerspieleindustrie hat dies zuerst aufgegriffen, aber die Möglichkeiten verknüpfter multimedialer Elemente reichen von den CD-Fassungen von Wörterbüchern und Lexika bis zu den ersten Realisierungen virtueller Welten.

6. Computer sind Medienmaschinen (geworden)

Das Konzept programmierter Hypertexte reicht in die Sechziger Jahre zurück. Allgemein bekannt wurde es in den Neunzigern durch das World Wide Web und die unterliegende Hypertext Markup Language HTML, die zu dem übertriebenen Ruhm kamen, mit dem Internet identifiziert zu werden. Das Netz erweitert die Multimediamaschine Computer zum Netzmedium. Auch die Vernetzung beruht wesentlich auf der Digitalisierung: Sowohl die Adressierungsschemata und –mechanismen wie auch die Datenübertragungsmechanismen der Paketvermittlung sind ohne Rechentechnik nicht realisierbar.

Vernetzung und Multimedia definieren moderne Computer als Medienmaschinen. Dies ist nicht ihre einzige Erscheinungsform und nicht ihre endgültige, aber es ist zur dominierenden Erscheinungsform geworden. Dies gilt zumindest solange, wie der PC die dominierende Form des Computers ist. Schon werden neue Formen sichtbar – in der Verschmelzung mit der Telekommunikationstechnik, in den Prozessoren der *embedded systems* (deren Stückzahlen die PC-Produktion übertreffen) oder in den Konzepten des *ubiquitous Computing* oder der *wearable Computer*. Die digitale Medienrevolution hat erst begonnen und nicht alle Computer werden zu Bildschirmmedien.

7. Das Spannungsfeld *analog/digital*

Greifen wir noch einmal die Frage nach den Unterschieden digitaler und analoger Kodierung auf. Sie kann entlang zweier Konstrukte verfolgt werden: Den Speichern und den Prozessoren.

Medial schlägt sich die symbolische, speziell die numerische Herkunft des Digitalen erst einmal in den unifizierten Speichern, den Digitalbändern, CDs und DVDs nieder. Dies erweist sich für die Trennung Analog/Digital nur bedingt als aussagekräftig: zwar sehen wir eine deutliche Steigerung der Dauerhaftigkeit der Speicherung, der Stabilität der Übertragung und Sicherheit beim Kopieren, aber dies begründet keine grundlegende Differenz. Es zeigt nur eine Erweiterung der alphabetischen Tradition, die ja als grundsätzlich digitale gesehen werden kann.

Die eigentliche Differenz liegt in den erweiterten maschinellen Verarbeitungsmöglichkeiten mit Programmen und Prozessoren: die mediale Interaktion wird um dynamische Formen der Navigation in den Medien erweitert, die den analogen Medien abgehen. Hypertexte und auf den Nutzer programmiert reagierende, mediale Speicher sind die ersten Formen dynamischer „virtueller Welten“, wie sie die herkömmlichen analogen Medien nicht bieten konnten. Erst in diesem Sinne ist sinnvoll, „Digitalmedium“ und „Computer“ zusammen zu denken.

Literaturhinweise

TIM BERNERS-LEE (mit MARK FISCHETTI), *Weaving the Web: the original design of the World Wide Web by its inventor*, New York : HarperCollins Publishers, 2000.

ROBERT CAILLIAU, *A Short History of the Web*, European branch of the W3 Consortium Paris, 2 November 1995 (*Vortragsmanuskript*)

WOLFGANG COY, *Beyond Turing?*, erscheint in H. DENCKER, *Interface5*, Hamburg (im Satz)

WOLFGANG COY, *Eine kurze Geschichte der Informatik in Deutschland*, in J. DESEL, *Anwendungsorientierte Informatik*, Berlin-Heidelberg-New York: Springer 2001

WOLFGANG COY, *Wer kontrolliert das Internet*, In: SIBYLLE KRÄMER, *Medien Computer Realität*. Frankfurt/M: Suhrkamp, 1998

WOLFGANG COY, *Hat das Internet ein Programm?* In: JOACHIM PAECH, [Hrsg.], *Strukturwandel medialer Programme - vom Fernsehen zu Multimedia*, Konstanz: UVK Medien, 1999

FRIEDRICH KITTLER, *Alan Turing – Enigma*, Berlin: Brinckmann&Bose, 1992.

JARON LANIER, *Interview mit Corey S. Powell für Scientific American 1996*, <http://www.sciam.com/interview/lanier.html>

LICKLIDER, J.C.R.: *Man-Computer Symbiosis*, IRE Transactions on Human Factors in Electronic, HFE-1, March 1960, S. 4-11

- NIKLAS LUHMANN, Die Realität der Massenmedien, Opladen:Westdeutscher Verlag, 1998
- HERBERT MARSHALL McLUHAN, Die Gutenberg Galaxis, (Vorwort dieser Ausgabe von WOLFGANG COY), Bonn: Addison-Wesley, 1996 (amr. Orig. 1962)
- JOHN M. MCQUILLAN, VINTON G. CERF (Hrsg.), Tutorial : a practical view of computer communications protocols, New York : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1978
- TED NELSON, Literary Machines, Mindful Press (Distributed by Eastgate Systems), 1999 (Orig. 1982)
- KRISTÓF J.C. NYÍRI, "Cyberspace: A planetary network of people and ideas", *The UNESCO Courier*, Juni 1997, pp.25-29.
- ALAN M. TURING, On computable numbers with an application to the Entscheidungsproblem, Proc. London Mathematical. Society, ser. 2, 42, (230-265), 1936/37
- MARTIN WARNKE, WOLFGANG COY, CHRISTOPH THOLEN, HyperKult -Geschichte, Theorie und Kontext digitaler Medien, Basel [u.a.]: Stroemfeld, 1997
- HARTMUT WINKLER, Über Computer, Medien und andere Schwierigkeiten, : *Ästhetik und Kommunikation*. Heft 96, Jahrgang 26, März 1997
- KONRAD ZUSE, Der Computer - mein Lebenswerk, Berlin, New York u.a.: Springer, 1984