

Seriell – ganzheitlich – fraktal Suche nach der wirklichen Bildverarbeitung

Die technische Bildverarbeitung benötigt extrem große Speicherkapazität und sehr hohe Rechnerleistung. Während für eine hochverdichtende Text- und Musikdatei der ASCII bzw. MIDI-Code zur Verfügung stehen, fehlt ein Analogon für Bild und Film. Im Vergleich zur wahrscheinlichen Speicherung von Bildern in unserem Gedächtnis, müsste es ihn jedoch geben. Im Beitrag werden die wichtigsten Zusammenhänge analysiert sowie Möglichkeiten und Probleme für einen hocheffektiven Bild-Code herausgearbeitet. Dabei muss auch geklärt werden, was Bilder eigentlich sind.

Bild etymologisch

Das Wort **Bild** besitzt eine recht allgemeine und teilweise sogar eine schillernde Bedeutung. Insbesondere existieren zwei Extreme, nämlich zum einem die materiell-technische, bevorzugt zweidimensionale und zum anderen die geistige, vor allem auf Ideen bezogene Variante. Typische Aussagen hierzu enthalten u.a. [1] bzw. [2]. Gemäß der Etymologie [3], [4] gehören **Bild** und **bilden** seit dem 8. Jh. zum Deutschen Standardwortschatz. Die älteste Bedeutung von **Bild** ist **Vorbild**, **Muster**, erst später überwiegt **Abbild**. Zeitweilig dürfte auch die Bedeutung von **Wunderbild** existiert haben. Sehr früh gab es einen Bezug zur **Bildung**. Üblich waren dabei auch **im Bilde sein**, **ins Bild setzen** und **sich ein Bild von einer Sache machen**. Allgemein dürfte ein Wortstamm ***bil** bezüglich richtiger oder falscher Form üblich gewesen sein. So existierten u.a. **unbilidi** und **unbilde** sowie **biliden** und **billich** im Sinne von **Unförmigkeit**, **Unrecht**, **maßlos** sowie einer Sache **Gestalt geben** und **passend, angemessen, gerecht**. In anderen Sprachen kommt ein ähnlich vieldeutiges und vielfältig anwendbareres Wort kaum vor. Im Lateinischen gibt es beispielsweise **imago**, **imagine** (**Bild**, **Ebenbild**) **descriptio**, **descriptionis** (**Abbildung**), **formatio**, **formationis** (**Bildung**) und **cultus** (**Bildung**, **Ausbildung**). Im Englischen existieren für **Bild** **figure**, **image**, **tableau**, **effigy**, **frame**, **icon** und **pattern**; im Französischen **illustration**, **image** und **tableau**; im Italienischen **dipinto**, **figura**, **immagine**, **pittura** und **quadro** und im Spanischen **cuadro**, **efigie**, **estampa**, **figura**, **imagen**, **imago** und **pintura**. Diese Aufzählung führt zu eingedeutschten und mehr spezifisch benutzten Wörtern, wie **Figur**, **Ikone**, **Illustration** und **Imagination**. Im Duden [4] werden für **Bild** sechs inhaltliche Varianten mit mehreren Untervarianten unterschieden. Bezüglich der folgenden Betrachtungen ist hier jedoch eine etwas abweichende Klassifikation angebracht.

Leben in der Welt

Für das **Leben** genügen im Allgemeinen die **Erde** bzw. unsere nähere Umgebung und daher der dreidimensional-euklidische Raum sowie die **Zeit**. Erweiterungen sind nur in kosmologischen Weiten und den extrem kleinen subatomaren Abmessungen notwendig. Für eine Beschreibung von **Teilen** oder **Ausschnitten** der **Welt** werden nicht immer alle vier Koordinaten benötigt. So ergeben sich die acht möglichen Kombinationen der **Tabelle 1**, mit eingefügten Beispielen. Sie sind immer Vereinfachungen der **Welt** und ermöglichen daher oft anschauliche Betrachtungen. Unabhängig von allen Koordinaten und damit besonders einfach sind z.B. die **Zahlen** und **Naturkonstanten**. Das andere und weitaus mehr umfassendere Extrem ist das **Geschehen** in der **Welt**, der **Ablauf** der **Welt**. Es liegt der **Gedanke** nahe, die acht Fälle auf die Oberflächen eines **Oktaeders** abzubilden. Für die weiteren Betrachtungen bringt das jedoch keinen sichtlichen Gewinn.

Tabelle 1. Die 8 möglichen Kombinationen aus Raum und Zeit einschließlich einiger typischer Beispiele.

Zeit	Raum			
	ohne	x	x, y	x, y, z
ohne	Zahlen, Naturkonstanten	Ladung - Feld Abstand $\sim 1/r^3$	Bild, Tabelle, Diagramm	Statue, Modell, Stereo- Raumbild, Hologramm
mit	Signale, Schall: $u = f(t)$	Freier Fall $x \sim t^2$	Oberflächen- Geschehen, Kinofilm	Ereignis, Geschehen, Theater

Zu jeder Zeit t und an jedem Ort (x, y, z) kann sich in dieser, sich verändernden Welt Stoff (Materie) und Energie befinden. Sie besitzen dabei spezifische Eigenschaften $E(x, y, z, t)$, wie Masse (Gewicht und Trägheit), Temperatur, chemischen Eigenschaften (Geruch und Geschmack), Härte, Strahlung (u.a. Licht), Schwingungen (elektromagnetisch und Schall) usw. Leben musste in dieser komplex veränderlichen Welt entstehen. Damit es überlebt, sich fortpflanzt und möglichst erfolgreich ist, musste es (jedes Lebewesen) zumindest einige Eigenschaften der Welt „erkennen“ (wahrnehmen, speichern) und dann zu seinem Vorteil nutzen. In sehr allgemeiner Auffassung wird so etwas als ein inneres Bild der Welt bezeichnet [2]. Diese Fähigkeiten haben sich mit der Höherentwicklung des Lebens ständig erweitert. Prinzipiell ist es jedoch nicht möglich, alle Eigenschaften an allen Orten zu erfassen. Die Welt ist sehr viel größer und existiert auch viel länger als das Leben. Daher war es, auch aus ökonomischen Gründen, immer notwendig, nur das gerade notwendige Maß zu berücksichtigen, in das innere Bild aufzunehmen. Die dabei notwendige große Einschränkung demonstrierte recht deutlich Platon mit seinem Höhlengleichnis. Allgemein können wir in einem stark eingeschränkten Raum und in einer recht kurzen Lebenszeit von der Welt nur wenig Ausgewähltes sehen, hören, fühlen, riechen und schmecken. Hierzu dienen vor allem unsere Sinnesorgane. Nur einen Bruchteil davon speichern wir in unserem Gedächtnis, und hiervon können wir wiederum nur einen Teil abrufen, d.h. nachträglich verfügbar machen. Im Folgenden geht es vor allem darum, wieweit dies alles für „Bilder“ jeglicher Art erfüllt wird.

Speicherung in der Technik und im Leben

Bei der **technischen Speicherung** wird ein Original A mit dem Aufzeichnungsvorgang in den Speicherzustand S überführt. Aus ihm wird beim Wiedergabevorgang eine Kopie B gewonnen. Dabei soll mit möglichst großer Ähnlichkeit $A \approx S \approx B$ gelten. Z.B. müssen aufgezeichnete Daten A praktisch fehlerfrei in den Speicherzustand S überführt werden, um sie dann daraus fehlerfrei als $B = A$ wiedergeben zu können. Bestenfalls ist das aber nur mit sehr großer Näherung zu erreichen. Auch ein aufgezeichnetes Musikstück soll bei der Wiedergabe möglichst genau dem ursprünglichen Original entsprechen. Ähnliches gilt für Fotografien und Filme. In der Technik werden alle Abweichungen $\{B - A\}$ bezüglich des Originals als *leider* unvermeidliche Mängel betrachtet.

Im **Biologischen** gelten meist andere Maßstäbe. Die DNA als genetische Speicherung (S) entspricht nicht dem Individuum (A bzw. B), sondern enthält nur Anleitungen zu seiner Erzeugung. Daher unterscheidet sich dieser Speicherzustand sehr deutlich vom Lebewesen $A \neq S$. Für die Evolution ist sogar eine Mutationsrate ΔS als Abweichungen gegenüber dem Original S notwendig. In diesem Sinne liegt ein gemaltes Portrait etwa zwischen den genannten technischen und biologischen Extremen. Es muss eigentlich nur das Typische der Person zeigen (s.u.).

Deutlich komplizierter verhält sich unser **Gedächtnis**. Hier soll dabei weitgehend von den vielfältigen Gedächtnisarten (z.B. semantisch, episodisch, prozedural und priming) und Gedächtnisstufen (u.a. Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis) abgesehen werden. Als Original A

können dabei die Sinneswahrnehmungen, wie Sehen, Hören, Fühlen, Riechen und Schmecken gelten. Allein diese Aufzählung macht deutlich, dass es uns insbesondere für das Fühlen, Tasten, Riechen und Schmecken nicht möglich ist, ein B aus dem Gedächtnis wieder zu erschaffen. Dafür besitzen wir keine biologische Möglichkeit zu seiner Ausgabe. Wir können uns des Erlebten nur pauschal erinnern. Dies genügt jedoch dafür, dass wir Ähnliches beim erneuten Wahrnehmen gut und schnell wiedererkennen. Doch nicht selten wird dabei auch das damals Erlebte mit allen Sinneswahrnehmungen erinnert. Unser Gedächtnis muss daher irgendetwas speichern, das gleichzeitig mehrere Wahrnehmungsqualitäten beinhaltet. Die entsprechenden Speicherzustände S im Gehirn entsprechen also nicht einer einzelnen Wahrnehmung A, sondern nur einem *Korrelat* K, welches das Wiedererkennen von A zwar ermöglicht, aber dennoch nicht A ähnelt. Nach heutigen Kenntnissen dürfte dieses K auch nicht an einem bestimmten Ort im Gehirn gespeichert sein. Durch elektrische Stimulation lässt u.a. sich kein A-Ähnliches im Bewusstsein hervorrufen. K besitzt folglich eine ganz andere Struktur, und dürfte so auch wesentlich weniger Speicheraufwand C erfordern: $C(A) \gg C(K)$. Dies alles dürfte ein Überbleibsel der o.g. Ökonomie des Lebens sein. Speicherzustände, die dem Fühlen, Schmecken und Riechen, also A entsprechen, sind schließlich nicht für das Leben und Überleben notwendig gewesen und sind es auch heute kaum. Es genügt völlig ein total vereinfachtes „Weltbild“. Es muss nur den Vergleich des Damaligen für das aktuelle Handeln ermöglichen. Beim einstigen Erfolg folgt gleiches Verhalten wie damals, andernfalls anderes. Zum gespeicherten Korrelat K gehört somit auch der damalige Erfolg oder Misserfolg.

Deutlich anders ist das Geschehen bei *Schall*. Ihn können wir als A wahrnehmen und als B auch selbst erzeugen. Wir hören einen Text A und können ihn als B nachsprechen. Doch was dazu im Gehirn als K gespeichert wird, ist wissenschaftlich noch immer recht unbekannt. Sehr wahrscheinlich besteht auch hier keine Ähnlichkeit zwischen A und K. Ebenfalls ist K hierbei, wie u.a. Stimulationen belegen, an keinem bestimmten Ort im Gehirn gebunden. Folglich müssen wir B bewusst aus einem deutlich andersartigen K *neu* erschaffen. Ganz ähnlich, jedoch etwas komplizierter sind die Möglichkeiten bezüglich Musik. Wir können eine Melodie und einen Rhythmus nachsingen, aber für Harmonien und instrumentelle Klänge haben wir keine Möglichkeit. Bestenfalls ist Nachahmen möglich. Dennoch sind meist Harmonien und Klänge auf Grund des gespeicherten Korrelats K gut wiedererkennbar und -erlebbar. Bedeutsam ist weiter, dass wir auch A nur gedanklich, also lautlos Sprechen und Singen können. Das ist teilweise sogar möglich, wenn wir parallel etwas anderes hören. Daher sind die besonders eindringlichen „Ohrwürmer“ und rhythmisch klappernde Floskeln möglich. Eine weitere Besonderheit des Gehörs besteht darin, dass wir die Ohren nicht wie die Augen schließen können. Dies hat wahrscheinlich biologische Gründe. So vernehmen die wenigen Lebewesen mit Gehör (ausschließlich viele Wirbeltiere und einige Insekten) schnell und zuverlässig lebenswichtige Alarmsignale.

Bilder mit Augen sehen, erkennen oder erinnern

Allgemein ist bekannt, dass unsere Augen ähnlich wie ein Fotoapparat funktionieren. Die dreidimensionale Umwelt A_3 wird mittels der Linse zweidimensional auf die Netzhaut als A_2 abgebildet. Das Ergebnis solcher, insbesondere technischer Abbildungen bestimmt heute weitgehend die Bedeutung des Begriffs Bild. Es existiert dann vorwiegend materiell fixiert, insbesondere auf Papier. Doch selbst den zuständigen Wissenschaftlern ist unbekannt, wie A_2 im Gedächtnis gespeichert ist. Subjektiv meinen wir, dass wir uns des ursprünglichen Bildes gut erinnern können¹. Doch wiedergeben, wie beim Schall, können wir es keinesfalls. Hierzu besitzen wir genauso wenig wie beim Riechen und Schmecken, eine Fähigkeit. Dennoch „sehen“ (erleben) wir im Traum nahezu reale Bilder $\{A_2\}$. Teilweise geschieht dies auch mit

¹ Zunächst wird absichtlich von Sondererscheinungen, wie Halluzinationen, eidetisches Gedächtnis, Déjà-vu und Inselbegabungen abgesehen. Auf sie wird später eingegangen.

geschlossenen Augen bei schlafähnlichen Tagträumen. Doch meist erleben wir hier bewegte Bildfolgen, wie im Film und nur ganz selten statische Bilder. Doch diese Bilder kommen außerdem so, wie *sie* wollen. Wir können sie nicht entsprechend unseren Wünschen abrufen. Dennoch können sie sehr vorteilhaft für die Phantasie und das kreative Schaffen sein². Andererseits besitzen wir recht genaue Vorstellungen von Personen, Gegenständen usw. und können sie dementsprechend verbal gut beschreiben. Doch wie schlecht A₂ gespeichert ist, weist insbesondere die Kriminalistik. Ein Täter wird von mehreren Personen recht unterschiedlich, teilweise sogar widersprüchlich beschrieben. Nur mittels eines schrittweise verbesserten Phantombildes wird eine brauchbare Ähnlichkeit erreicht. Daher gilt auch hier offensichtlich, dass nur ein Korrelat K gespeichert ist, das gerade zum Wiedererkennen ausreicht. Hierfür sprechen auch die großen Schwierigkeiten der Maler das Portrait einer Person zu schaffen. Er benötigt dafür sogar oft viele Sitzungen dieser Person. Heute werden dazu teilweise auch mehrere Fotografien benutzt. Noch deutlicher wird die Bedeutung des Korrelats K bei Karikaturen. Hier wird sogar ein Bild geschaffen, das absichtlich vom Original abweicht. Dennoch werden die so dargestellten Personen meist viel schneller und sicherer erkannt, als es beim Betrachten von Fotografien oder Portraits üblich ist. Ferner genügen selbst Scherenschnitte, Skizzen usw., um eine Person oder einen Gegenstand zu erkennen. Hinzu kommt dabei, dass diesen abweichenden Abbildern oft ein beachtlicher ästhetischer und ethischer Wert innewohnt. In [6] wird ab S. 145 etwas ausführlicher auf die individuelle Rekonstruktion von Bildern aus dem Gedächtnis eingegangen. U.a. steht dort:

„es scheint [im Gedächtnis H. V.] keine Speicherung von konkreten Abbildern in irgendeiner Form zu geben ... Wir alle können uns unmittelbar davon überzeugen, dass wir, wenn wir uns einen bestimmten Gegenstand, ein Gesicht oder ein Ereignis ins Gedächtnis rufen, nicht eine exakte Reproduktion, sondern eine Interpretation, eine Rekonstruktion des Originals erhalten. ... Erinnerungsbilder lassen sich nur flüchtig im Bewusstsein festhalten, und obwohl sie manchmal den Anschein erwecken, gute Kopien zu sein, sind sie häufig ungenau oder unvollständig. ... In ihrer kleinen Gemeinschaft von Synapsen speichern dispositionelle Repräsentationen kein Abbild an sich, sondern die Mittel, die erforderlich sind, ein » Bild « zu rekonstruieren.“

Ähnliche Aussagen, die zusätzlich noch auf Verknüpfungen der verschiedenen Sinnesqualitäten und deren Zeitabhängigkeit als Geschehen berücksichtigen, enthält u.a. [7] auf S. 53:

„..., dass menschliche Erinnerungen selbst nicht als Sinneseindrücke gespeichert sind, sondern eher ... als die zeitlichen Verknüpfungen zwischen verschiedenen Sinneseindrücken. Sobald man sich der Verknüpfungen erinnert, werden die Sinneseindrücke reaktiviert. ..., dass menschliches Erinnern stets relational oder assoziativ ist.“ Weiter S. 123: *„Das momentan gesehene Bild muss nicht völlig mit einem erinnerten identisch sein. Es kann nur einen kleinen Ausschnitt darstellen, stark verzerrt, überschattet oder von anderen Bildern überlagert sein. Doch wenn genügend eindeutige Merkmale des ursprünglichen Bildes vorhanden sind und unterschieden werden, lässt dieses sich mental wiederherstellen.“*

Andere Experimente zeigen, dass wir beim Betrachten von Bildern, häufig fehlende Details ergänzen. Dies kann an den vier Gesichtern von **Bild 1a** gut nachvollzogen werden. Oft werden in Bildern sogar Strukturen hineingedeutet, die eigentlich gar nicht vorhanden sind. So hat der Mensch z.B. aus der weitgehenden statistischen Verteilung der Sterne am Himmel (Bild 1d), die Sternbilder gemäß dem gleichen Ausschnitt von Bild 1e erschaffen (großer und kleiner Wagen sowie Drachen). Dabei ließen sich für diesen Ausschnitt durchaus andere Gebilde per

² U.a. wird in [5] ab s. S 326 berichtet, wie FRIEDRICH AUGUST VON KEKULÉ VON STRADONITZ (1829 – 1896) im Traum die Struktur des Benzolrings über sechs spielende Affen bzw. Schlangen fand. In der Literatur existieren mehrere Varianten.

Linien konstruieren. Noch deutlicher zeigen diese Freiheit die Interpretationen bei den Reizangeboten in Bild 1f. Auffällig sind auch Umschlagbilder, die meist im Wechsel von einigen Sekunden unterschiedliche Bilder wahrnehmen lassen. Bild 1b kann z.B. als Vase oder als zwei sich gegenüberstehende Gesichter erkannt werden. Besonders bekannt ist das Bild 1c, welches beim Betrachten zwischen alter und junger Frau hin und her springt. Dabei wechseln Halsband und Kinn der jungen Frau zu Mund und Nase der alten. Vielleicht werden jedes Mal beim „Sehen“ aus/mit dem Gedächtnis die Bilder neu und dabei anders konstruiert. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass es zwar Melodien als Ohrwürmer, aber keine entsprechenden Bilderwürmer gibt. Es sei denn oft wiederkehrende Träume werden so interpretiert. Aber auch die fallen jedes Mal etwas anders aus. Erstaunlich erscheint, dass beim Blind-Schachspielen die Meister nie das Brett mit den Figuren sehen, sondern nur typische Stellungen [Spektrum d. Wissenschaften 2007, Heft 1, S. 36f; Denken bei Genies]. Bedeutsam ist auch, was spät Erblindete noch optisch wissen. Typisch ist die Aussage: An Farben kann ich mich kaum noch erinnern. Bei der Achromatopsie bewirkt eine lokale Schädigung des frühen visuellen Kortex nicht nur den Verlust der Farbwahrnehmung, sondern auch den der Farbvorstellung [6], S. 145.

Halluzination, eidetisches Gedächtnis und Inselbegabungen

Die zuvor geschilderten Fakten gelten vorwiegend für gesunde Menschen und im normalen Leben. Bei einigen Personen und in außergewöhnlichen Situationen können auch andere bildliche Erscheinungen vorkommen. Besonders auffällig ist die **Halluzination**. Hierbei nimmt ein Mensch individuell etwas sehend, hörend usw. wahr, wofür kein Reiz vorliegt. Die Halluzination ist meist so intensiv, dass der Betroffene sie nicht von der Wirklichkeit unterscheiden kann. Die Ursachen können vielfältig sein, z.B. Auslösung durch Drogen (LSD), Psychosen, Trance, Epilepsie, krankhafte Veränderungen im Gehirn und Schlafentzug. Pseudo-Halluzinationen treten dagegen auch bei Gesunden u.a. bei Meditationen, Hypnose und als Nacht- und Tagträume auf. Auch innere Bilder, die z.B. beim Lesen von Büchern erzeugt werden, zählt die Medizin hierzu. Alle diese Erscheinungen sind von der **Illusion** zu unterscheiden, bei der ein real vorhandener Sachverhalt nur verändert wahrgenommen wird. So scheint sich ein feststehender Gegenstand zu bewegen oder in irregulären Mustern werden z.B. Gesichter erkannt. Verwandt hiermit sind auch **Phantasiegebilde**, die jedoch auch nützlich sein können. Beim **Déjà-vu-Erlebnis** (*Déjà-vécu* französisch schon einmal gesehen) ist der Betroffene davon überzeugt, dass er die aktuelle Situation schon einmal genauso erlebt hat und das, obwohl es tatsächlich nicht der Fall gewesen sein kann. Hier liegt also eine Erinnerungstäuschung (Paramnesie) vor. Sie tritt häufiger im Zusammenhang mit Neurosen, Psychosen, Verdrängungen und Hirnerkrankungen, gelegentlich auch bei gesunden Menschen auf.

Deutlich anders verhält sich das Gedächtnis bei **Eidetikern**. Sie vergessen auf einem bestimmten Gebiet nichts. Z. B. können sie sich wunschgemäß bei geschlossenen Augen bewusst und detailreich Bilder anschauen. Besonders typisch ist dies beim Dirigenten LORIN MAAZEL (*1930). Er dirigiert stets mit geschlossenen Augen und „sieht“ dabei drei aktuelle Partiturseiten. Der Autor hatte ein ähnliches Erlebnis für zwei Tage nach einer Gehirnoperation (Details unter www.rosw.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF/Hypophysen.pdf). Besonders deutlich war der Effekt, wenn Licht mit etwa 300 lx auf die geschlossenen Augenlider fiel. Bei geöffneten Augen und in völliger Dunkelheit war dieses „Sehen“ nicht möglich. Noch heute fällt ihm auf, dass beim Tagträumen Bilder besonders leicht bei dieser Beleuchtung auftreten. Der Literatur nach bestehen ähnliche Möglichkeiten bei **Inselbegabungen**, die auch als Savant-Syndrom bezeichnet werden [z.B. Spektrum d. Wissenschaft 2002; Heft 9, S. 45 ff.].

Bilder der Technik

Der Mensch überführt beim Sehen einige Inhalte in sein Gedächtnis, die dann vor allem dem Wiedererkennen dienen, aber auch im Traum usw. ein Rekonstruieren ermöglichen. Mit etlichem Aufwand, der nur zum geringen Teil von der Reduzierung des Räumlichen auf Flächiges herrührt, kann er von diesen Bildern Zeichnungen, Skizzen und Gemälde anfertigen. In der Technik muss zunächst die Realität in einen adäquaten technischen Speicherzustand überführt werden. Bei der klassischen Fotografie oder dem Kinofilm ist dies u.a. ein Negativ, in der elektronischen Technik immer eine Datei. Bei der Fotografie wird das eigentliche Bild dann mittels Kopie, Projektion oder Druck aus dem Negativ erzeugt. Bei der elektronischen Technik stehen für die Bilderzeugung spezielle Geräte, wie Bildschirme, Monitore, Displays, Projektoren, Drucker und Plotter zur Verfügung. Details hierzu enthält u.a. [9]. So ergibt sich die Gegenüberstellung gemäß **Tabelle 2**. Im Gegensatz zu den fotografischen Bildern existieren bei Dateien für ein und dasselbe Bild mehrere Varianten. Dateien lassen sich nämlich sowohl komprimieren (verkleinern) als auch mit Fehlerschutz versehen. Zum einen können in ihnen die Bildinhalte pixelweise als Daten über die einzelnen Bildpunkte enthalten sein. Zum anderen können sie auch nur Konstruktionsanweisungen für das Bild enthalten. Dies ist z.B. bei der Vektorgrafik vorhanden, und besitzt daher eine gewisse Ähnlichkeit zu den fraktalen Methoden (s.u.) und in groben Zügen vielleicht zur Speicherung von Bildern im Gedächtnis (s.u.). Dabei ist zu betonen, dass wir im Gegensatz zur Technik eigentlich keine Pixel, sondern immer nur ganzheitliche Bilder sehen.

Tabelle 2. Bildgeschehen bei Mensch und Technik

	Bilderfassung	Speicherung	Wiedergabe
Mensch	Sehen	Gedächtnis	Rekonstruieren im Traum usw. Zeichnen, Malen, Schreiben
Technik	klassische Fotografie, Film	Negativ usw.	Bildkopie, Projektion, Druck
	elektronische Fotografie, Scanner	Datei	Bildschirm, Display, Projektion, Drucker, Plotter

Doch es gibt zusätzlich noch viele weitere Methoden der Herstellung und Benutzung von zweidimensionalen Bildern. Sie sind ausführlich in [1] behandelt und im **Bild 2** systematisch erfasst. Hier werden nur ganz wenige Beispiele wiederholt. So gibt es auch Varianten, bei denen nicht die Realität der Ausgangspunkt ist. Im oberen Teil des Bildes sind dafür die wichtigsten Versionen zusammengestellt, welche als Konstruktions- und wissenschaftlich-technische Zeichnungen für die technische Erzeugung von dreidimensionalen Gebilden erforderlich sind. Sie dienen der inhaltlichen Vorwegnahme (Antizipation) des künftigen Produkts. Mit künstlich bis künstlerisch geschaffenen zweidimensionalen Bildern lassen sich auch bildliche Widersprüche herstellen. Sie wurden z.B. umfangreich von MAURITS CORNELIS ESCHER (1898 – 1972) gestaltet. Aber auch komplexe Zusammenhänge, die nur schwer verbal zu beschreiben sind, werden so übersichtlich zusammengestellt. Dies kann als eine Verallgemeinerung von tabellarischen Übersichten aufgefasst werden. Auf rein mathematische Methoden ist im folgenden Abschnitt eingegangen. Mittelbar zu Bildern zählen auch die verschiedenen Schriften, einschließlich Noten, Tanzschrift und Formeln sowie Symbole, spezielle Zeichen (u.a. Sterne, Verkehr und Landkarten), Logos und Zahlen.

Heute besitzt der Begriff „***bildgebende***“ Verfahren nicht nur in der Medizin einen hohen Rang. Aus einer Vielzahl von Messdaten wird dabei ein anschauliches, oft der Wirklichkeit recht nahes Bild erzeugt. Heute wird fast alles visualisiert, damit die (behaupteten) Fakten und Zusammenhänge anschaulich und möglichst wirksam präsentiert werden können. Hierzu gehören u.a. auch Regressionsgrafiken. Die große Macht des Bildes gilt nicht nur für das

Fernsehen. Ein chinesisches Sprichwort lautet: Ein Bild sagt mehr als tausend Worte³. Andererseits kann ein Bild heute nahezu beliebig manipuliert werden. Der entsprechende Missbrauch erfolgt nicht selten und wird oft noch durch hinzugefügte Bildunterschriften verstärkt.

Bilder der Mathematik

Bis 1637 waren Geometrie und Arithmetik streng getrennte mathematische Disziplinen. Dann schuf RENÉ DESCARTES (1596 – 1650) mit seiner „le geometrie“ die Möglichkeit zur Berechnung der Geometrie. Einige Beispiele zeigt der linke Teil von **Bild 3**. Dies veränderte den Denkstil der Mathematiker. Denn so wurden auch für die Geometrie exakt überprüfbare, mathematische Beweise möglich. Bilder ermöglichen und erfordern dagegen nur Anschauung und Interpretation. So wurden von da an die Bilder der Geometrie als unwissenschaftlich bezeichnet und konsequent aus der Mathematik verbannt. Auf dem Mathematikerkongress von 1900 forderte daher DAVID HILBERT (1862 – 1943) die axiomatische Methode für alle mathematischen Teildisziplinen. Dieses Ziel wurde jedoch 1931 durch KURT GOEDEL (1906 – 1978) als undurchführbar bewiesen.

Eine gewisse Rückkehr zum Bild erfolgte erst ab den 80er Jahren mit der Computertechnik. Etwas später entstanden dann die fraktalen Verfahren. Sie ermöglichten erstmalig Bilder zu erzeugen, die beachtliche Ähnlichkeiten mit natürlichen Gebilden zeigten. Diese Methoden verlangen immer eine Rekursion oder zumindest Iteration. Drei Beispiele hierzu zeigt Bild 3 (rechts). Bei der graphischen Iteration wird das Bild 3a – es kann völlig beliebig gewählt werden – dreimal verkleinert gemäß Bild 3b angeordnet. Dieser Prozess wird dann ständig mit dem so entstandenen Bild wiederholt. So entsteht das Sierpinsky-Dreieck Bild 3c. Es ist nach WACLAW FRANCISZEK SIERPINSKI (1882 – 1969) benannt. Eine andere fraktale Methode geht bereits ab 1970 auf ARISTID LINDENMAYER (1925 – 1989) zurück. Sie benutzt eine von ihm entwickelte sehr einfache Programmiersprache (L-Systeme) mit „[“ bzw. „]“ für den Stack, „F“ für eine Linie zeichnen und „+“ bzw. „-“ für eine Drehung. Zur Formel in Bild 3d gehört dann das Bild 3e. Bereits durch 5fache Iteration entsteht damit das strauchartige Gebilde. Im Prinzip lassen sich hiermit, wie LINDENMAYER zeigte, die Bilder fast aller Pflanzen recht einfach erzeugen. Das Bild 3g geht auf BENOÎT B. MANDELBROT (*1924) ab 1980 zurück. Hierbei wird der Konvergenzradius einer komplexen Funktion in Abhängigkeit eines Wertes k bestimmt. Im Beispiel ist es die einfache quadratische Gleichung⁴ $z = z^2 + k$. Es wird dann die Anzahl der Iterationszyklen gezählt, ab denen die Divergenz eintritt. Diese Bereiche werden durch unterschiedliche Farben, im Beispiel schwarz-weiß gekennzeichnet. Umgangssprachlich wird das entstandene Bild „Apfelmännchen“ genannt. Es gibt noch weitere fraktale Methoden, vgl. [8]. Insgesamt besteht aber die Hypothese, dass alle fraktalen Methoden etwa die gleiche Menge Bilder generieren. Sie sind jedoch deutlich anders als alle Bilder, die mit der analytischen Geometrie erzeugt werden können. Bei beiden Verfahren ist außerdem meist das Verhältnis vom mathematischen Aufwand zur erzeugten bildlichen Komplexität entgegengesetzt (**Bild 4b**). Fraktale Bilder besitzen überwiegend eine hohe Komplexität und werden mit relativ einfachen Formeln erzeugt. Viele geometrische Bilder sind dagegen recht einfach, aber nur mit hohem mathematischem Aufwand zu beschreiben bzw. zu unterscheiden. Ein Beispiel dafür sind die Kegelschnitte: Geraden, Kreis, Ellipsen, Parabeln und Hyperbeln. Sie werden alle durch eine einzige Formel beschrieben. Der jeweils vorliegende Fall ist jedoch nur äußerst aufwändig aus den Koeffizienten und mittels Hilfsgrößen gemäß der **Tabelle 3** zu

³ Hierzu ein Zitat von AP; Berliner Zeitung, 27.12.97: „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte, dachte sich ein Autofahrer in England, der mit überhöhter Geschwindigkeit in eine Radarfalle geraten war. Als ihm die Polizei das Beweisfoto zusammen mit dem Bescheid für eine Geldbuße von 40 Pfund schickte, antwortete der Autofahrer scheinbar angemessen: Er schickte ein Foto von einem Scheck über den verlangten Betrag. Ein paar Tage später kam die Antwort: Ein Foto von einem Paar Handschellen. Erst jetzt bezahlte der Autofahrer.“

⁴ z und k sind komplexe Größen gemäß $a + b \cdot i$ mit $i = \sqrt{-1}$. Die reelle Schreibweise $z = x + y \cdot i$ und $k = c + d \cdot i$ enthält Bild 3g.

bestimmen. Dabei ist zu betonen, dass hier die einfachste Variante gewählt wurde. Bei anderen Darstellungen sind die Kriterien deutlich aufwändiger. Geometrisch genügen dagegen bereits zwei Winkel, nämlich bzgl. Kegelform σ und der Neigung der Ebene α (Bild 4). Doch das Verhältnis der Komplexität von mathematischer Beschreibung und bildlicher Darstellung kann auch zwischen den beiden Extremen liegen. Beispiele sind u.a. Geschäftsgrafiken, Tabellen und Bilder komplizierter mathematischer Funktionen. Doch meist sind Bilder anschaulicher und einprägsamer.

Versuch einer Gegenüberstellung

Entsprechend dem bisher Dargestellten lassen sich für alle Sinneswahrnehmungen und Bilder zwei gegensätzliche Varianten unterscheiden. Zum einen liegt im Speicherzustand ein möglichst getreues Abbild der Wirklichkeit vor. Zum anderen sind nur Methoden und Parameter vorhanden, aus denen mittels einer oft recht aufwändigen Rekonstruktion ein Bild generiert wird, das weitgehend dem Original ähnelt. Einen Vergleich zwischen Mensch und Technik zeigt hierzu **Tabelle 4**. Während in der Technik die Zusammenhänge recht genau definiert und immer gut bekannt sind, gibt es für die Speicherung und Reproduktion der Sinnesdaten viele Unklarheiten. Gewiss ist jedoch, dass beim Fühlen, Geruch und Geschmack – mit Ausnahme von Halluzinationen – keine subjektive Reproduktion möglich ist (daher doppelt durchgestrichen). Beim Bild gibt es durch das Traumbild und das Tagtraumbild gewisse Möglichkeiten. Jedoch sind diese Bilder meist bewegt und vor allen kommen und gehen sie, so wie sie es wollen und nicht wie wir es uns wünschen. Sie sind nicht bewusst abrufbar (daher nur einfach durchgestrichen). Lediglich akustisch haben wir durch unseren Stimmapparat viele Möglichkeiten der willentlichen Erzeugung. Einige Möglichkeiten zur Darstellung bieten auch unsere Körperbewegungen und Gestik. In der Technik existieren für das Bild die beiden Varianten, nämlich die des weitgehend direkten Abbildens, vor allen mit optischen Mitteln und mehrere recht unterschiedliche Varianten der Generierung von Bildern aus wenigen Daten mittels Algorithmen. Es ist daher nützlich, die Vor- und Nachteile beider Möglichkeiten in **Tabelle 5** gegenüberzustellen. Auch hieraus folgt, dass für die biologischen Erfordernisse und damit auch für unser Gedächtnis die mittelbare Speicherung von Bildern – sowie anderer Sinnesdaten – die Vorteile überwiegen. Hieraus ergeben sich weitere Einsichten in die Datentechnik für Sprache, Musik, Bilder und Film.

Wesentliche Inhalte von *Sprache* können wir mittels der Buchstaben-Schrift aufzeichnen. Über den darauf aufbauenden ASCII (**a**merican **s**tandard **c**ode for **i**nformation **i**nterchange) wird technisch eine hoch verdichtete Sprachaufzeichnung möglich (Spracherkennung). Natürlich gehen so einige künstlerische Aspekte, insbesondere die des Sprechers und der individuellen Betonung verloren. Häufig werden sie jedoch nicht benötigt. Mit dem so vorhandenen Code ergeben sich wertvolle zusätzliche Möglichkeiten. Aus ihm lässt sich eine sehr gut verständliche, z.T. sogar individuell gefärbte Sprache generieren. Wesentlicher ist es, dass mittels der schriftlichen oder technischen ASCII-Aufzeichnung Texte hervorragend gestaltet⁵ werden können. Nur so ist es erst möglich geworden, umfangreiche und großartige Werke zu schaffen. Bei der *Musik* ist der wesentliche Inhalt ähnlich mittels Notenschrift zu erfassen und mit dem MIDI-Code (**m**usical **i**nstrument **d**igital **i**nterface) technisch nutzbar. In beiden Fällen wird gegenüber der direkten Schallaufzeichnung eine Datenreduktionen von mehr als 1000 : 1 erreicht. Diese Verdichtung ist jedoch deutlich von den üblichen Kompressionsverfahren zu unterscheiden, die spezielle redundante bzw. irrelevante Teile aus einer Datei entfernen (z.B. [8]).

Tabelle 4. Varianten und Methoden beim Umgang mit Bildern durch Mensch und Technik.

⁵ Hier wird absichtlich der oft verwendete Begriff *Manipulation* vermieden. Er hat nämlich auch einen negativen Aspekt im Sinne von Fälschung. Hier ist jedoch die bessere Herausarbeitung des gedachten und oft künstlerischen oder präzisen technischen Inhalts gemeint.

	Mensch	Technik
Abbild	Traumbild, Tagtraumbild, Halluzination, Eidetiker	Foto, Druckbild, Zeichnung, Gemälde, bildgebende Technik
Algorithmen, Regeln für Bilder usw.	Wiedererkennen, Änderungen, Wahrnehmen	Vektorgraphik, L-Systeme, Fraktale, mathematische Gesetze, Formeln, darstellende Geometrie
Mittel zum Erzeugen von Bildern usw.	Sprache, Gesang, Gestik, Bild, Fühlen, Geruch, Geschmack	Bildschirm, Lautsprecher, Drucker, Plotter

Tabelle 5. Gegenüberstellung von unmittelbarer Bildspeicherung und Bildgenerierung aus Daten und Algorithmen.

	Direkte Speicherung	Daten und Algorithmen
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache und schnelle Aufzeichnung und Wiedergabe • Gute Wiedergabe der Realität 	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr geringer Speicherbedarf, gilt jedoch nicht für fotoähnliche Bilder • Einfacher Vergleich auf Bild- und Inhaltsähnlichkeit • Gute und schnelle Wiedererkennung sowie Klassenbildung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Großer Speicheraufwand • Mögliche Senkung durch Komprimierung • Schwierigkeiten beim Bildvergleich 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlende Normung, daher viele unterschiedliche Verfahren, wie Vektorgrafikformate, fraktale Methoden und mathematische Prinzipien • Rechenaufwand kann beträchtlich sein, was auch Zeitverzug bedeuten kann.

Auch für **Bilder** und **Filme** müssten die beiden Verfahren möglich sein. Wenn die Ähnlichkeit der Realität angestrebt wird, dann existieren Fotografie, Kino und Fernsehen. Sie benötigen sehr großen Aufwand. Für den stark verdichtenden Fall existieren einige Spezialverfahren, z.B. die Vektorgrafik. Es fehlt jedoch ein „universeller“ und genormter Bild-Code ähnlich ASCII oder MIDI-Code. Mit ihm würden die o.g. Vorteile, u.a. das hoch effektive Gestalten von Bildern und Filmen möglich. Dass in unserem Gedächtnis ähnliche Prinzipien erfolgen, ist nach dem bisher Geschilderten sehr wahrscheinlich. Mit der Darstellung von **Bild 5** werden diese Zusammenhänge noch deutlicher. Auf der Ordinate ist dabei die relative und typische Speicherkapazität für Schrift, Sprache, Musik, Bild und Film aufgetragen. Mit einem entsprechenden Umrechnungsfaktor gelten etwa, vor allem für künstlerische Werke, die gleichen Verhältnisse für den erforderlichen Produktionsaufwand eines Werkes. Deshalb ist für beide die gleiche relative Skalenteilung benutzt. Auf der Abszisse ist die ungefähre, individuelle Nutzung der Werke aufgetragen. Einen typischen Film sehen sich die meisten Menschen höchstens dreimal an. Musikaufnahmen hören sie dagegen sehr oft, durchaus hundertmal. Wie die großen Wachstumsraten der Hörbücher zeigen, gilt dies seit geraumer Zeit auch für künstlerische Sprachaufnahmen. Die Häufigkeiten und Betrachtungszeiten von Bildern tendieren mehr zum Film als zu Text, Sprache und Musik. Bei unvoreingenommener Betrachtung von **Bild 5** ließe sich eine Tendenz entsprechend der dünn punktierten Linie – wenn auch mit weniger Steilheit – ableiten. Mit etwas Wahrscheinlichkeit gilt sie jeweils getrennt und unterschiedlich für Film, Bild, Sprache Musik und Text. Denn je umfangreicher ein Werk ist, desto seltener kann man es – wegen der dafür notwendigen Zeitdauer – rezipieren. Doch für die hier durchzuführenden Betrachtungen ist ein die Gebiete übergreifender Vergleich notwendig. Dann sollte von der anschaulichen Vernunft her, Proportionalität zwischen Speicherkapazität/Produktionsaufwand einerseits und Nutzung andererseits bestehen. Relativ gesehen müsste etwa gleichviel rezipiert werden, wie an Information gespeichert bzw. bei der Herstellung an Aufwand hineingesteckt wurde. Diese Tendenz ist mit der gestrichelten Geraden

angedeutet. Dann aber ergibt sich, dass die heutige Bild- und Filmtechnik rund nur ein Tausendstel so effektiv sind, wie Schrift, ASCII und MIDI-Code. Mit einem ähnlichen Bild-Code ließe sich gewiss der entsprechende hohe Gewinn und die weiteren Vorteilen von ASCII und MIDI-Code erreichen. Wahrscheinlich würde er auch den Abläufen in unserem Gedächtnis recht ähnlich sein. Die sich hieraus ergebenden Möglichkeiten, Folgerungen und Probleme werden im nächsten Abschnitt betrachtet.

Folgerungen für den gewünschten Bild-Code

Zunächst sei angenommen, dass es den gewünschten Bild-Code gibt⁶. Er möge aus elementaren Bausteinen bestehen, und zwar so ähnlich, wie es bei den Texten die Buchstaben bzw. bei der Musik die Noten gibt. Dann müsste dieser Bild-Code genauso erlernt werden, wie das Alphabet zum Lesen und Schreiben bzw. die Noten für Musik. Sprechen kann ein Kind mit etwa zwei Jahren, Schreiben und Lesen mit etwa sieben Jahren. Einige Menschen bleiben dennoch ihr Leben lang Analphabeten. Noten zu lesen und sie zu benutzen lernen viele Menschen überhaupt nicht. Im ersten Lebensjahr erkennen wir bereits recht gut Realität. Ungewiss ist jedoch, wann so etwas wie eine Bildkompetenz vorhanden ist („man sieht nur, was man weiß“). Ein Bild-Code müsste jedoch ähnlich wie das Alphabet bzw. die Notenschrift erlernt werden. Für seine Nutzung wären daher sehr wahrscheinlich Spezialisten erforderlich, die deutlich mehr Fachwissen besitzen müssten, als es bei den heutigen Bild- und Videoprogrammen erforderlich ist. Diese Köpfer hätten dafür aber auch ganz neue und wesentlich leistungsfähigere Methoden zur Schaffung von Bildern und Filmen zur Verfügung. Nur sie würden den Bild-Code lesen und schreiben sowie mit ihm effektiv umgehen können. Für die anderen müssten Bilder und Filme etwa das bleiben, was sie auch heute sind. Zum Vergleich sei auf die Tanzschrift verwiesen. Sie beherrschen nur extrem wenige Spezialisten. So gut wie nie gehören die Balletttänzer dazu. Auch Choreografen beherrschen die Schrift höchst selten. Vielmehr gibt es spezielle Notatoren, welche die Choreografien mit der Tanzschrift aufzeichnen und das Werk so für die Wiederaufführung und Kulturgeschichte festhalten. Erstaunlicherweise hat sich die Videoaufzeichnung hierfür als sehr ungeeignet erwiesen. Ausgebildet werden die Notatoren eigentlich nur in England an einer Spezialstätte. Sie benötigen mehr als drei Jahre Spezialausbildung. (Details in [1]).

Leider wissen wir bis heute nicht, ob es für alle Bilder universell nutzbare elementare Bausteine gibt. Vielleicht existieren für einen Bild-Code aber auch ganz andere Aufbaumöglichkeiten, von denen wir z.Z. wohl nicht einmal eine Ahnung haben. Von unserer Sprache wissen wir, dass die Buchstaben nur ein Hilfsmittel zur Aufzeichnung von Sprache sind. Ihre Universalität, wirklich alles beschreiben zu können, beruht auf ganz anderen Fakten.

Falls ein Bild-Code existiert – was schon wegen unserer typischen Bild-Speicherung im Gehirn sehr wahrscheinlich ist – ist die Frage zu beantworten, warum er bis heute nicht gefunden wurde. Das Alphabet der Schrift war bereits um 300 v.Chr. vollständig vorhanden. Der dazu passende ASCII wurde aber erst 1968 international genormt. Noten gab es ab dem 13. Jh. Der MIDI-Code wurde auf dieser Basis 1982 eingeführt. Bis heute sind bestenfalls Ansätze zu einem Bild-Code auf Spezialgebieten vorhanden. Hierzu zählen u.a. die Zeichen auf Landkarten, mathematische und chemische Formeln, spezielle Symbole, wie ♀ (weiblich), ♂ (männlich), ∅ (Durchmesser), ☎ (Telefon-Nr. folgt), ↗ (Richtungshinweis), ® (geschütztes Warenzeichen) und © (Copyright) sowie Piktogramme für die Disziplinen der Olympiaden, wie sie u.a. von OTL AICHER (1922 – 1991) geschaffen wurden. Auch Flussdiagramme, Konstruktionszeichnungen, Schaltbilder und Kurvendarstellungen dürften etwas vom Charakter

⁶ Diese Aussage vertritt der Autor seit einigen Jahren. Sie wurde von ihm erstmalig 1991 öffentlich vorgetragen [10]. Inzwischen sind viele Fakten hinzugekommen. An der Technischen Universität Berlin gab es hierzu mehrere recht erfolgreiche Projekte. Doch offensichtlich sind immer noch neue grundlegende Erkenntnisse notwendig, die der Autor wahrscheinlich nicht allein erbringen kann. Das ist der Hauptgrund für diesen Bericht.

eines Bild-Codes besitzen. Bisher hat sich jedoch gezeigt, dass diese Ansätze ziemlich unwahrscheinlich zum universellen Bild-Code führen können. Deutlich geeigneter erscheinen die gegensätzlichen und sich vielleicht ergänzenden Methoden der klassisch geometrischen und fraktalen Geometrie. Eine Zwischenstellung nimmt die Vektorgrafik ein, auf die hier nicht weiter eingegangen ist. Eine Arbeitshypothese ist es daher, so etwas wie einen fraktalen Bild-Code zu entwickeln. Eine gewisse Hoffnung hierfür bestand mehrere Jahre durch die Methoden der fraktalen Codierung, die einen recht hohen Stand erreichte. Inzwischen ist sie auf diesem Gebiet jedoch wegen ihres großen Aufwandes und störender Artefakte weitgehend durch die Methoden mit Wavelets abgelöst, z.B. bei JPEG2000. Doch schon länger und immer wirksamer werden die fraktalen Methoden in der Computergrafik zur Generierung von Landschaften, Wolken, Pflanzen, beim Rendern (Strukturen mit Oberflächen versehen) usw. genutzt. Für die erreichbare und erreichte Leistungsfähigkeit ist z.B. die Homepage „farbrausch.de“ besonders interessant. Hier legen Computerfachleute u.a. mehrminütige Musik-Filme mit einer Speicherkapazität von weniger als 64 KByte ab.

Rekursivität als ein wesentliches Problem

Unsere Sprache ist streng *seriell*. Es muss alles nacheinander erzählt werden. Bei der so erfolgenden Beschreibung von Geschehen sind aber durchaus (gedankliche) Sprünge möglich. Der erzählte Zeitablauf kann so nahezu beliebig gegenüber dem wirklichen Geschehen verändert werden. Andererseits ermöglicht dies, dass vorher Gesagtes bereits vom Hörer vergessen ist. Es kann dann neu und anders wiedergegeben werden. Etwas zuverlässiger sind schriftliche oder andersartig vorgenommene Aufzeichnungen. Im Prinzip erfolgt unser gesamtes rationales Denken (Kausalität, Ursache → Wirkung) in sequentiellen Abläufen. Dies gilt einschließlich der mathematischen und logischen Beweise. Allgemeiner ausgedrückt ist unsere heutige Kultur primär seriell. Bildliche Inhalte sind dagegen fast immer *ganzheitlich*, benötigen aber meist einen inhaltlichen Kontext. Beim Film, Fernsehen usw. kann Serielles und Ganzheitliches vereint werden. Eine neue Qualität tritt mit der Entwicklung der Rechentechnik ein. Die erste, allerdings rein theoretische Arbeit stammt 1936 von ALAN MATHISON TURING (1912 – 1954). Formal wird dabei von einer Turing-Maschine gesprochen. Sie wurde aber höchstens ausnahmsweise und ohne praktische Bedeutung als Hardware gebaut oder genutzt. Mit ihr wird erstmalig das *rekursive* Prinzip eindeutig definiert: Eine mathematische Funktion ruft sich hierbei selbst auf. Dieses Prinzip wurde schnell zur besonders wichtigen Grundlage der Rechentechnik. Nur wenige Jahre später definierte ALONZO CHURCH (1903 – 1995), dass mit der Rekursivität die Möglichkeiten und Grenzen der Berechenbarkeit vollständig definiert sind (Church'sche These). Praktisch genutzt wird dieses Prinzip jedoch erst mit der Entwicklung der elektronischen Rechner ab etwa 1950. Ab Mitte der 70er Jahre erfolgte eine umfangreichere Anwendung mit der fraktalen Grafik. Während die Menschen im Laufe ihrer Geschichte also viele Jahrtausende die Welt rein seriell erlebt und beschrieben haben, benutzen sie rekursive Betrachtungen höchstens fünfzig Jahre und das auch nur in ausgewählten Gebieten. Dies hat zur Folge, dass es immer noch kaum jemandem gelingt, das Ergebnis eines rekursiven Algorithmus vorauszusagen⁷. Wir müssen also erst mühevoll lernen, wie Rekursion wirkt. Andererseits schließt das nicht aus, dass unser Gehirn zumindest teilweise rekursiv arbeitet. Die L-Systeme (s.o.) zeigen sogar, dass bereits die Genetik der Pflanzen dieses Prinzip gründlich anwendet. Es dürfte sogar ein Grundprinzip der meisten genetischen Abläufe sein. Ferner erkennen wir recht mühelos laublose Bäume an der für sie typischen Verzweigung (Vgl. **Bild 6**).

Ein wichtiges Rekursionsprinzip ist die Drehmultiplikation, wovon Bild 3d bis f ein besonders einfaches Beispiel zeigt. Sie lässt sich sehr effektiv und parallel in verkoppelten

⁷ In mehrjährigen Projekten zur Bildverarbeitung an der Technischen Universität zu Berlin wurden mehrere veränderbare rekursive Formalismen programmiert (z.B. Bild 3a bis e). Trotz tagelanger Versuche mit ihnen, gelang es keinem Studenten vorauszusagen, was sich bei einer Änderung der Parameter und/oder Voraussetzungen für ein endgültiges Bild einstellt.

Schichtsystemen durchführen. Derartige Strukturen konnten in den drei wichtigsten Seh-Gebiete (Area 17 bis 19) nachgewiesen werden. Ferner lässt sich mit den rekursiven Verfahren gut erklären, dass wir individuelle Gesichter in sehr verschiedenen Ansichten und Perspektiven nahezu gleichgut und -schnell erkennen. Eventuell werden hierzu entsprechende Algorithmen von speziellen neuronalen Bereichen ausgelöst. Hierfür spricht, dass in der unteren Furche des Schläfenlappens (Sulcus temporalis inferior) im visuellen System von Affen so genannte Gesichtszellen gefunden wurden. Sie reagieren ausschließlich auf Gesichter und zwar mit ähnlichen Merkmalen und nicht allein auf ein bestimmtes. Beim Menschen dürfte dies ähnlich gelten. Hier wird u.a. vom Großmutter-Neuron gesprochen, das für die Erkennung der Großmutter zuständig ist. Wird das entsprechende Areal geschädigt, so werden zwar noch Gesichter gesehen, aber nicht mehr als Gesichter erkannt (z.B. [6], S. 143). Mit diesen und weiteren Argumenten kann gefolgert werden, dass die Natur und auch unser Gehirn im erheblichen Umfang rekursive Prinzipien benutzen. Jedoch in unserem Denken sind wir dazu bisher nicht fähig. Es spricht jedoch nichts dagegen, dass wir es erlernen können. Vielleicht wäre erst danach der Weg zu einem effektiven Bild-Code verfügbar. Vielleicht hängt auch die Ganzheitlichkeit der Bilder mit den rekursiven Fraktalen zusammen. Das endgültige Bild existiert nämlich immer erst dann, wenn die Rekursion hinreichend tief erfolgte. Die Probleme für das Verstehen der Rekursivität könnten auch mit den Schwierigkeiten bei der Umkehrung von Prozessen zusammenhängen. In der Physik sind dafür z.B. die inversen Probleme bekannt. Schließlich ist noch zu fragen, ob und ab wann wir einen Bild-Code unbedingt benötigen. Offensichtlich ist der Wunsch erst durch die fortschreitende grafische Rechentechnik, wie digitaler Film und virtueller Raum wesentlich geworden. Mit ihren wachsenden Möglichkeiten und Forderungen wird er jedoch trotz der großen rechentechnischen Weiterentwicklungen immer notwendiger werden. Sein Verstehen würde außerdem – wie gezeigt wurde – eine verbesserte Weltansicht sowie völlig neue Konstruktionsprinzipien für Bilder, einschließlich deren Antizipation ermöglichen.

Vergleich zwischen Sehen und Hören

Gemäß den vorstehenden Aussagen ist unser Denken und damit unser Weltbild fast ausschließlich seriell bestimmt. Die wesentlichen Ursachen hierfür sind das Primat unserer Sprache, die Annahme von kausalen Abläufen (Ursache → Wirkung) und die Ableitung bei mathematischen Beweisen. Dennoch wird fast immer angenommen, dass wir ca. 70 % unserer Information über das Auge und nur 20 % über das Ohr aufnehmen. Dieser Widerspruch lässt sich relativ einfach durch eine Analyse der Berechnungsmethoden für die Informationsflüsse zu unserem Gedächtnis auflösen. Beim Hören wird von einigermaßen richtigen physiologischen Parametern ausgegangen. Die rund 200 000 unterscheidbaren Signale der Hörfläche aus Lautstärke und Frequenz werden mit der Zeitdauer zum Erkennen der Signale (im Mittel 0,1 s) verknüpft. Beim Sehen werden dagegen die technisch notwendigen Bildpunkte für ein gutes Bild (mehr als eine Million Pixel) mit der Anzahl der technisch möglichen Farbnuancen (24 Bit Tiefe) und der Bildrate von etwa 50 Hz multipliziert [9]. Physiologisch sind aber im Mittel jedoch nur sehr viel kleinere Werte erreichbar. Z.B. sehen wir nur innerhalb eines Raumwinkels von 2 ° hinreichend scharf und farbig. Außerdem werden Bilder immer ganzheitlich erfasst, sodass wir dann nie die Pixel sehen. Hinzu kommt weiter, dass wir – wie eingangs ausführlich beschrieben – nicht die Bilder, sondern nur wesentliche Strukturelemente ins Gedächtnis übernehmen. Zuweilen werden auch die Millionen Zäpfchen und Stäbchen des Auges gegenüber den rund 50 000 Hörzellen des Gehörs zum Vergleich herangezogen. Etwas zu Gunsten des Gehörs müsste dabei ergänzt werden, dass unser Gehör mindestens die zehnfache Zeitauflösung wie das Sehen besitzt. Doch noch wesentlicher ist die sich anschließende Verarbeitung. Beim Sehen verläuft sie über 6 sich meist von der Anzahl her verengende Neuronenschichten. Hören geschieht jedoch über 7 sich vorwiegend stark erweiternde Schichten. Die Verarbeitung ist daher beim Hören deutlich komplexer.

Deutlich andere Belege für die Dominanz von Hören gegenüber Sehen ergeben sich aus dem Verlust dieser Fähigkeiten. Blinde haben dabei, ganz im Gegensatz zu Taubstummen, fast keine Probleme im Beruf und täglichen Leben. Besonders deutlich zeigt sich dieser Unterschied in den Pflegestätten und bei Therapeuten. Besonders schwierig erlangen Taubstumme eine Vorstellung für abstrakte Begriffe. So gibt es bisher weniger als zehn Taubstumme die promoviert haben, aber hunderte Blinde. Auch die katholische Kirche muss sehr großen Aufwand treiben, damit Taubstumme nachprüfbar Gott erfassen, was ja eine Voraussetzung für die Kommunion ist.

Literatur

- [1] Völz, H.: Handbuch der Speicherung von Information. Bd. 2 – Technik und Geschichte vorelektronischer Medien. Shaker Verlag Aachen 2005
- [2] Hüther, G.: Die Macht der inneren Bilder. 3. Aufl. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen. 2006
- [3] Kluge: Etymologisches Wörterbuch der Deutschen Sprache, 24. Aufl. de Gruyter, Berlin 2002.
- [4] N.N.: PC-Bibliothek. 3.0. Bibliographisches Institut (CD). Brockhaus. Mannheim 2003
- [5] Sheldrake, R.: Das Gedächtnis der Natur. Scherz-Verlag. Bern - München - Wien, 4. Aufl. 1993.
- [6] Damasio, A. R.: Descartes Irrtum – Fühlen, Denken und das Gehirn. List, Berlin 2004
- [7] Alkon, D. L.: Gedächtnisspur, auf der Suche nach der Erinnerung. Klett - Cotta, Stuttgart, 1995
- [8] Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Allgemeine Grundlagen für Naturwissenschaft, Technik und Medizin. Shaker Verlag, Aachen 2001
- [9] Völz, H.: Das Mensch-Maschine-System. Mit CD-ROM. Expert-Verlag, Renningen - Malsheim 1999
- [10] Völz, H.: Was könnte ein effizienter Bild-Code für die Animation Neues bieten? Tagungsband der 3. Fachtagung „Computeranimation“ 6./7.2.1991 in Magdeburg. S. 8 – 13 (vorgetragen am 6.2).

Anmerkung: [1] und [8] sowie Bd. 1 und 3 des Handbuches der Speicherung von Information existieren auch zusammengefasst auf der CD: Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007
Irgendwann die Probleme der **Phantom-Bilder** einarbeiten