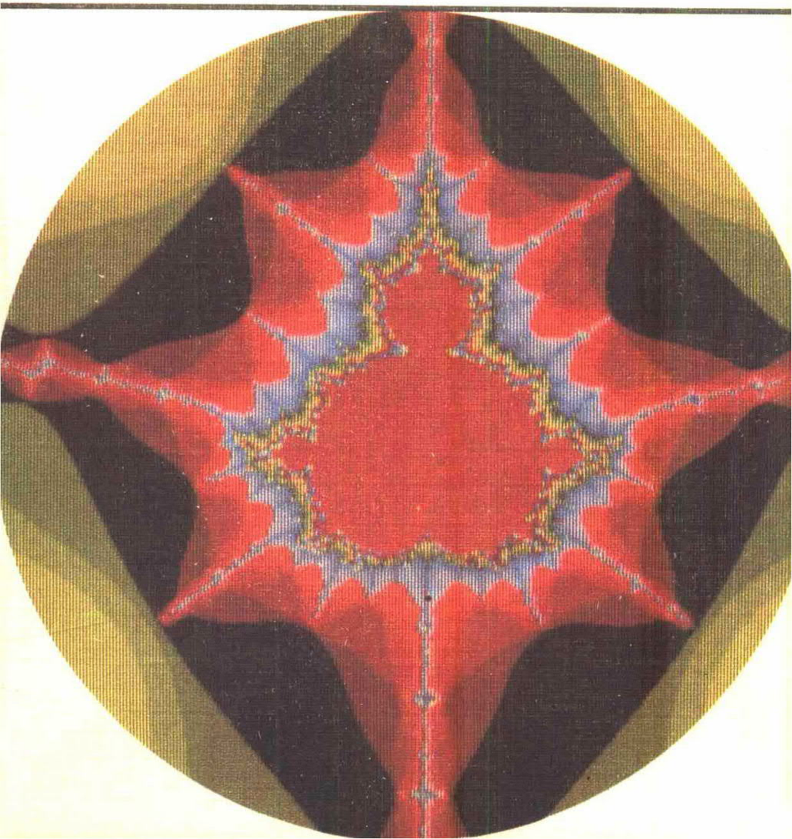
akzent

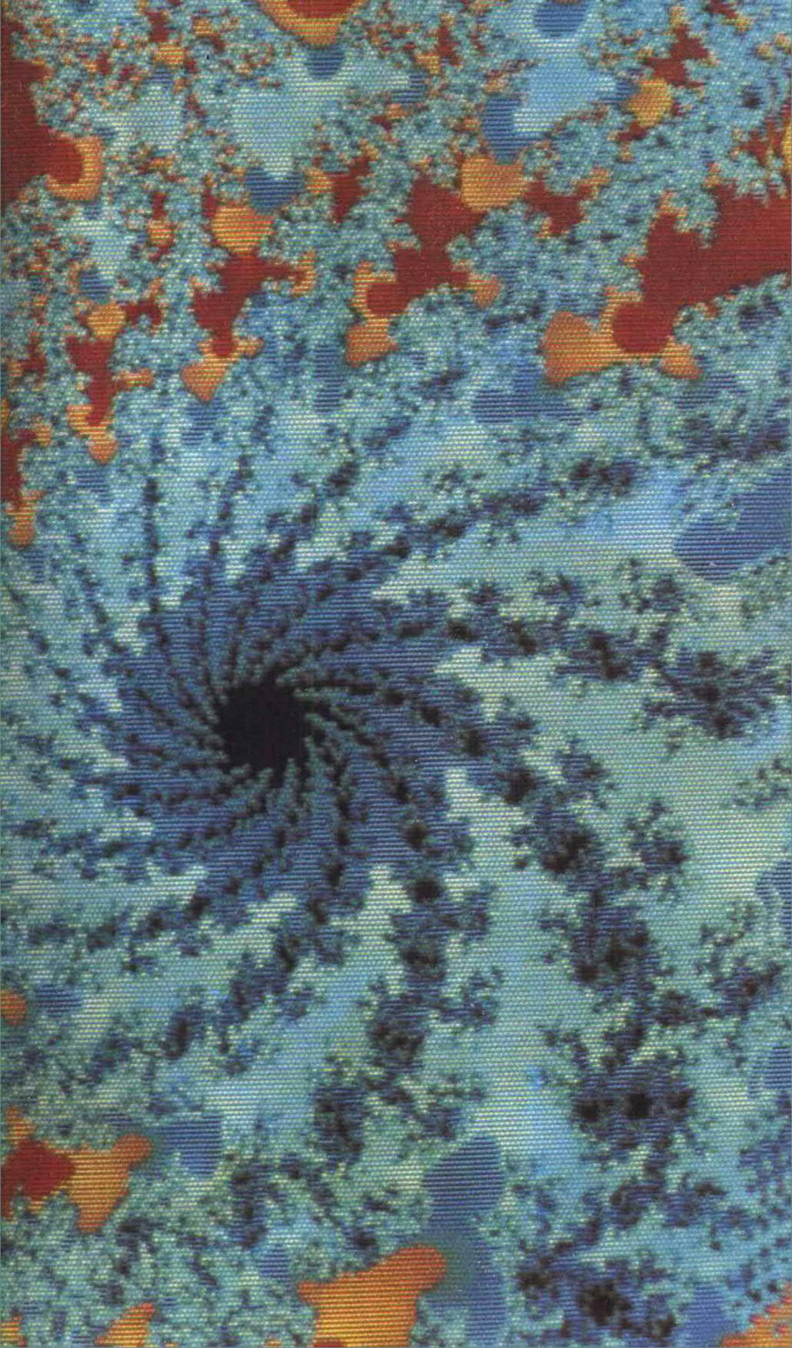
Horst Völz

Computer und Kunst



Während der Computer aus Wissenschaft und Technik nicht mehr wegzudenken ist, bleibt seine Stellung in der Kunst weiterhin umstritten. Gewiß hängen heute Computergrafiken in traditionellen Kunstausstellungen, die Stellungnahmen selbst engagierter Computergrafiker reichen jedoch von »reiner Umsetzungsautomat künstlicher Ideen« bis hin zum »Computer als künstlicher Mitarbeiter, der überraschende Wege in generatives Neuland weist«. Dabei ist die bildende Kunst noch das am wenigsten strittige Gebiet der Computeranwendung.

Der Autor übernimmt die schwierige Aufgabe, auf leichtverständliche und lebendige Weise Einsichten in das facettenreiche Bild der Wechselwirkung zwischen Computer und Kunst zu vermitteln. Beginnend mit einem Exkurs über die Informationstheorie und ihre Beziehung zu quantitativen Methoden in der Ästhetik, erhält der Leser Einblicke in die rechnergestützte Kunstanalyse von Musik und Literatur. Ein weiteres Kapitel, das sich der künstlerischen Selbstbetätigung widmet, zeigt, wie beispielsweise kurze BASIC-Programme schon reizvolle grafische Bilder erzeugen können. In den abschließenden Kapiteln setzt sich der Autor nochmals mit dem Informationsbegriff auseinander, um die Grenzen des Computers zu erkunden. Wird der Computer immer nur so etwas wie ein moderner Pinsel in der Hand des Malers sein?



Horst Völz

Computer und Kunst

Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin

Autor: Prof. Dr. habil. Horst Völz, Berlin
Zeichnungen: Klaus Thieme, Leipzig
Einbandfoto: Dr. sc. Ralf Der und Michael Steinert

Das Einbandfoto zeigt die typische Struktur des »Apfelmännchens« (s. S. 76). Die ganzseitigen Aufnahmen im Buch (außer auf den Seiten 65 und 117) sind weitere Ausschnittsvergrößerungen. Die auf der Grundlage von Mandelbrotmengen berechneten Bilder wurden von R. Der und M. Steinert mit dem Bildauswertesystem »Densitron 4« erzeugt. Für die Berechnung stand ein PC 1715 zur Verfügung. Durch Assemblerprogrammierung konnte der Rechenzeitaufwand in Grenzen gehalten werden. Für die Berechnung eines Bildes mit 400 × 400 Punkten wurden bei maximal 255 Zyklen etwa 24 Stunden Rechenzeit benötigt.

Völz, Horst:
Computer und Kunst / Horst Völz. Zeichn.: Klaus
Thieme. – 1. Aufl. – Leipzig; Jena; Berlin :
Urania-Verlag, 1988. – 128 S. : 60 Ill. (z. T.
farb.)
(Akzent; 87)
NE: GT ISBN 3-332-00220-1

ISBN 3-332-00220-1

1. Auflage 1988

Verlag für populärwissenschaftliche Literatur, Leipzig 1988
VLN 212-475/67/88 · LSV 305 9
Lektoren: Ewald Oetzel, Eckhart Reinhold
Umschlagreihenentwurf: Helmut Selle
Typographie: Marion Krahmer
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Neues Deutschland Berlin
Best.-Nr.: 654 227 8
00450

Inhalt

Was stammt vom Rechner?

Rechner sind heute in aller Munde; erlauben sie doch auf ganz ungewöhnliche Weise, die Arbeitsproduktivität wesentlich zu erhöhen; ermöglichen sie uns Technologien, die bisher undenkbar waren. Während die Jugend von ihnen fasziniert ist, haben die Älteren oft Bedenken, ja Ängste im Umgang. Dennoch sind sie für alle heute in greifbarer Nähe. Denken wir nur an die Fahrkartenautomaten, das Platzreservierungssystem der Reichsbahn und die Kontoführung bei den Sparkassen. Nicht so offensichtlich für jedermann sind die Textverarbeitungssysteme, mit denen unter anderem immer mehr Sekretärinnen erfolgreich arbeiten. Viele haben andererseits schon den Computereinsatz in der Medizin kennengelernt. Die Computer-Tomographie in all ihren Varianten leistet hier zuvor Unmögliches. Am weitesten entwickelt ist jedoch die Rechneranwendung in Wissenschaft und Technik. Bei vielen existieren hier jedoch nur vage Vorstellungen. Als ein Beispiel sei angeführt, daß die Entwicklung moderner Schaltkreise und Computer ohne sehr leistungsfähige Rechentechnik prinzipiell nicht mehr möglich ist.

Kunst und Kultur ist da ein völlig anders gearteter Teil unseres Lebens. Hier sind wir im täglichen Umgang mit der Architektur, wir gehen ins Kino, Theater, Konzert oder in Museen; wir lesen Bücher, betrachten Bilder und besitzen Schallplatten und Tonbänder. In vielen Fällen wird Kunst fälschlich dadurch gekennzeichnet, daß sie keine Nützlichkeit besitzt. Es wird dann ihre Emotionalität und ganzheitliche Beschreibung hervorgehoben. In jedem Falle ist sie aber für die Entwicklung der Persönlichkeit eines Menschen sehr wichtig.

Diese bewußt provokatorische Gegenüberstellung von nützlichem Computer und der Kunst kann noch weiter vertieft werden, indem wir vereinfachend sagen: Wissenschaft und Technik benötigen rationale Techniken und fordern großes Detailwissen. Kunst und Kultur verlangen schwer beschreibbares, meist intuitives Können und Verstehen. Hier spiegelt sich also der im Abendland betonte Widerspruch von Gesellschafts- und Naturwissenschaften wider. Warum auch nicht, könnten heute die Neurowissenschaftler antworten, schließlich haben sich die rechte und linke Großhirnhemisphäre genau auf diese Arbeitsteilung spezialisiert. Aber wir wissen auch, daß ein gewaltiges Bündel von Nerven beide Hemisphären koppelt und so die Integration zur Gesamtpersönlichkeit wieder herstellt. Letztlich erleben wir etwas Ähnliches zwischen beiden Bereichen: Kunst/Kultur und Wissenschaft/Technik. Diese Einheit macht schließlich unsere gesamte Zivilisation aus.

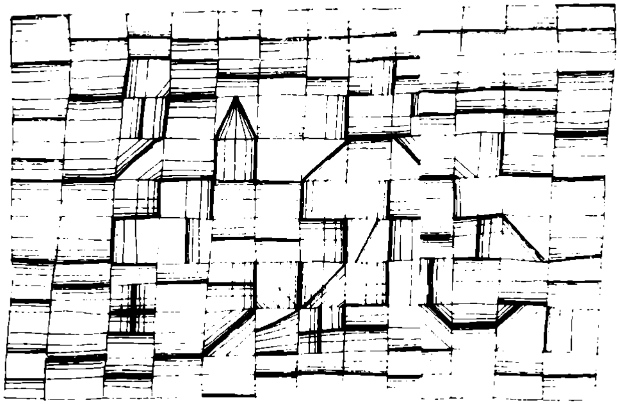
Damit kommen wir wieder zu den Rechnern. Was liegt also näher, als auch ihren Einsatz in Kunst und Kultur zu versuchen? Und natürlich ist dies schon lange geschehen, und genau einem Aspekt hiervon wendet sich diese Broschüre zu.

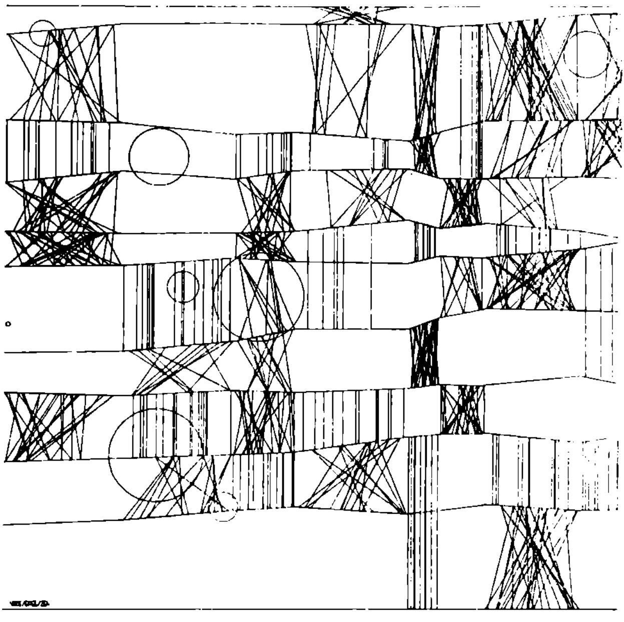
Das Generalthema könnte dabei lauten:

Wie ordnet sich der Rechner in Kunst und Kultur ein?
Wie unterstützt und fördert er unsere kulturellen und künstlerischen Interessen und Ziele?

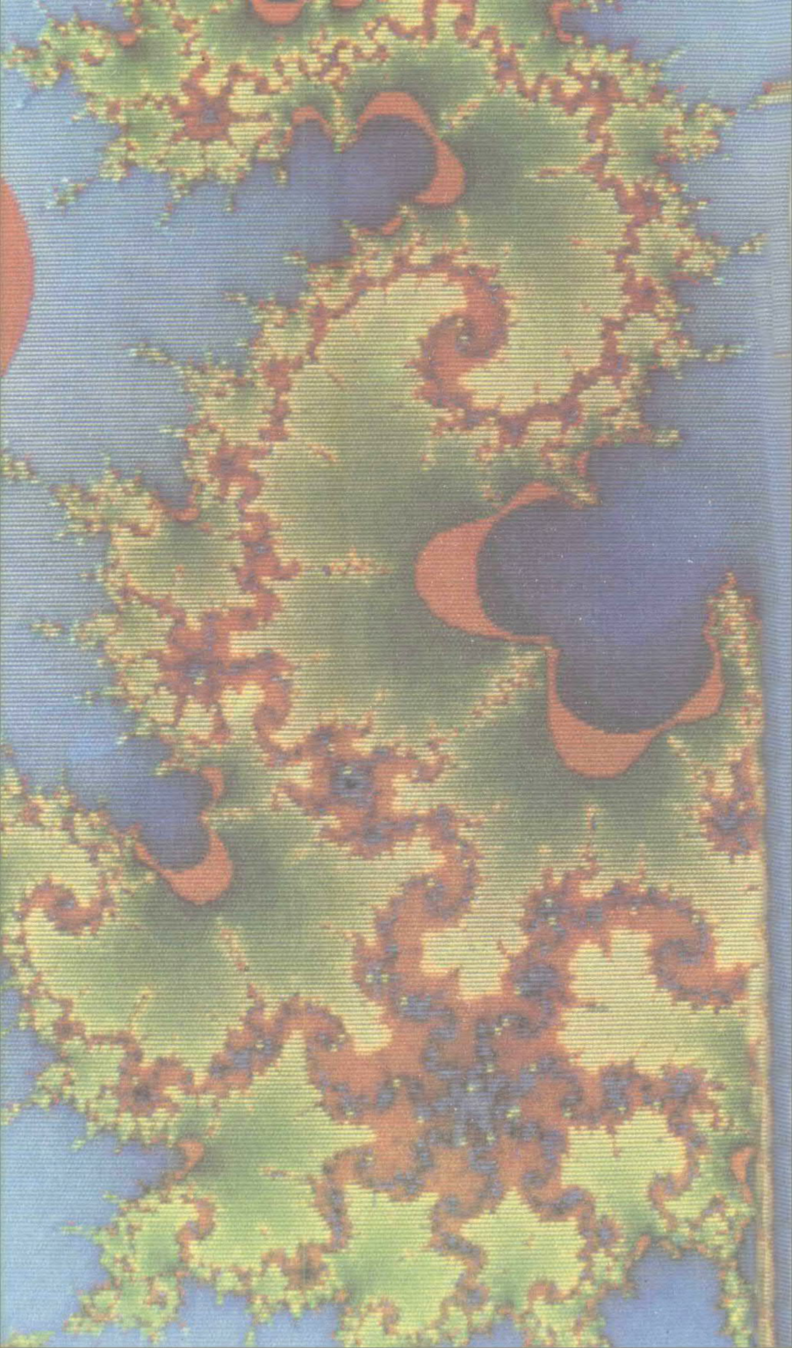
Sie finden im folgenden ein Gedicht und auf der nebenstehenden Seite zwei Grafiken. Schauen Sie sich bitte alle drei Werke genau an!

Die fröhlichen Träume regnen
Das Herz küßt den Grashalm
Das Grün verstreut den schlanken Geliebten
Fern ist eine Weite und melancholisch
Die Füchse schlafen ruhig
Der Traum streichelt die Lichter
Traumhaftes Schlafen gewinnt eine Erde
Anmut friert, wo dieses Leuchten tändelt
Magisch tanzt der schwache Hirte





Welches Bild ist ohne Rechner gestaltet? Es kann auch das Gedicht sein. Die Auflösung finden Sie am Ende der Darstellung in den Anmerkungen[1-3]!



Und nun entscheiden Sie sich: Eine der drei Schöpfungen wurde im alten Stil, das heißt ohne Hilfe von Rechnern hergestellt. Machen Sie sich keine Sorgen, bei vielen Urania-Vorträgen ergab sich, daß etwa 70 % der Besucher falsch wählten. Dazu ist noch zu ergänzen, daß die zwei Computer»kreationen« aus den Anfängen der 60er Jahre stammen. Dies bedeutet, daß heute viel mehr möglich ist. Es bedeutet aber auch, daß etwa gleiche »Leistungen« heute mit Heim- bzw. Kleinrechnern mühelos zu verwirklichen sind.

Der Kleinrechner gestattet also eine kreative, künstlerische Selbstbetätigung, die durchaus neben Musizieren, Singen, Malen, Basteln usw. gestellt werden kann! Diese Möglichkeit haben uns bisher nur wenige technische Entwicklungen gebracht. Vielleicht sogar nur die Fotografie in ihrem Spektrum vom Amateurbild bis zur künstlerischen Fotografie und der Fotomontage. Die Potenzen des Schmalfilms und der Tonbandtechnik (Hörspiele und Playback) werden selbst in Klubs und Arbeitsgemeinschaften nur erstaunlich wenig genutzt. Hoffen wir und tragen wir dazu bei, daß es beim Rechner anders sein wird. Auf alle Fälle verlangt er, ähnlich wie es beim Lesen, Fotografieren und Filmen – im Gegensatz zum Fernsehen – der Fall ist, wieder eigene Aktivität.

Grundlagen der Information

Kunst als Information

In der Geschichte der Technik unterscheiden wir zuweilen drei Etappen.

Im 18. Jahrhundert bemühten sich die Techniker, mittels der Feinmechanik Menschen nachzubilden. Coppelia[4] ist hier vielleicht ein gutes Beispiel. Die drei menschenähnlichen Nachbildungen von Droz[5] sind im Museum von Neuchâtel zu bewundern.

Im 19. Jahrhundert bestimmte die Energietechnik das Feld. Die Dampfmaschine war ein Beginn. Es folgten der Verbrennungsmotor und schließlich die Elektrizität. Wenngleich auch meist die Pferdestärke (PS) zum Vergleich benutzt wurde, war es doch wesentlicher, daß der Mensch hierdurch von schwerer körperlicher Arbeit entlastet wurde, seine Kraft sich so vervielfachte.

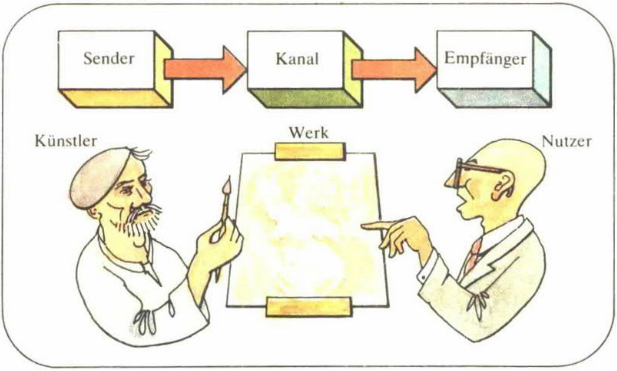
Das 20. Jahrhundert wird bereits seit längerem durch die Informationstechnik charakterisiert. Ein besonders eindrucksvolles Beispiel dafür lieferten unter anderen die Japaner mit der Begründung des Programms ihrer fünften Rechnergeneration. Nur wer die neuen Informationstechnologien ausreichend beherrscht, gewinnt den Wettlauf in die Zukunft. Jeder andere wird ähnlich wie die heutigen Analphabeten leben müssen. Wenn Lenin einst definierte: Kommunismus ist Elektrifizierung des ganzen Landes plus Sowjetmacht, so würde er dies heute wahrscheinlich bezüglich der neuen Informationstechniken sagen.

Was nimmt es da wunder, daß viele sich bemühen, die künstlerischen Prozesse betont unter diesem Gesichts-

Von den beiden Schweizern Droz gebauter menschenähnlicher Automat. In dieser Art gibt es einen Zeichner, einen Schreiber und einen Klavierspieler. Die Automaten sind etwa 70 cm groß und werden an jedem ersten und dritten Sonntagvormittag im Museum der Schönen Künste in Neuchâtel, Schweiz, ausgestellt bzw. vorgeführt.

punkt zu betrachten. Doch hier muß bereits gesagt werden, daß die Information nur einen ausgewählten Aspekt der Kunst betrifft. Das Unternehmen von Bense[6], auf dieser Basis eine »Exakte Ästhetik« zu begründen, ist aus Gründen, auf die noch genauer einzugehen sein wird, gescheitert. Der informationelle Aspekt ist jedoch immerhin bedeutsam genug, um vielfältige nützliche Aussagen zu gewinnen.

Ein Schwerpunkt des Zusammenhangs von Kunst und Information kann unter anderem vom Kanalmodell der Shannon-Theorie aus begründet werden. Die Information geht dabei von einem Sender über einen Kanal zum Empfänger. Im künstlerischen Bereich ist der Sender der Künstler, sein Werk entspricht dem Kanal, und der Emp-



Die Zuordnung von einem technischen Nachrichtenkanal und einem künstlerischen Prozeß. Die Analogie ist mehr als nur formal; sie ist ein Schwerpunkt in dieser Darstellung.

fänger ist derjenige, der das Kunstwerk rezipiert (aufnimmt, genießt). Damit vermittelt der Künstler spezifische Information zum rezipierenden Empfänger.

Was in einem solchen Kontext Information darstellt, was wir über sie erfahren und wie wir dabei Rechner sinnvoll einsetzen können, das bildet den wesentlichen Inhalt dieser Betrachtung.

Analyse und Synthese

In den Naturwissenschaften ist es üblich, zunächst Prozesse zu analysieren, um dann aus diesen Kenntnissen die Prozesse nach unserem Willen zu gestalten oder, anders ausgedrückt, zu synthetisieren, Neues zu generieren. Diese beiden Stufen werden uns im folgenden auch bezüglich des Verhältnisses von Computer und Kunst beschäftigen.

Künstlerische Werke und Prozesse sind meist sehr reich an Information. Sie sind sogar so reich an Information, daß eine Untersuchung hierüber mit den klassischen Methoden praktisch nicht durchführbar ist. Der

Rechner stellt dafür eine neue Qualität bereit, die gerade dadurch gekennzeichnet ist, daß relativ mühelos, schnell und dazu noch exakt große Datenmengen bearbeitet werden können. Auf diese Weise erhalten wir zu künstlerischen Werken und Prozessen neuartige Aussagen.

Was liegt näher, als anzunehmen, daß mit diesen neuen Methoden auch neuartige Kunstwerke und künstlerische Prozesse zu »synthetisieren«, d. h. zu schaffen sind. Allerdings treten hierbei unerwartete Probleme auf, und es gibt unüberschreitbare Grenzen, die bereits schon in der Mathematik, vereinfacht ausgedrückt, bereits vor der Rechentechnik beginnen. Nichtsdestoweniger ist mittels der Information bezüglich Kunst, Kunstwerke und künstlerische Prozesse viel Interessantes und damit den Kenntnisstand Vertiefendes zu gewinnen.

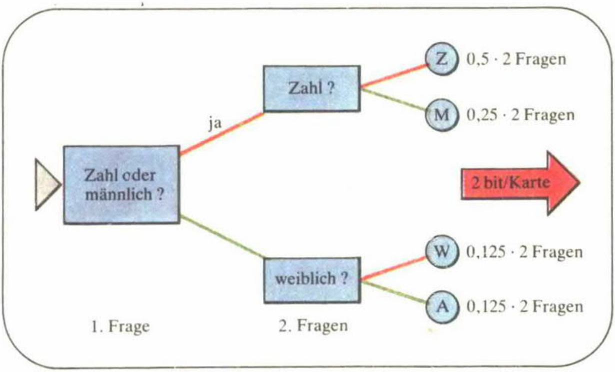
Kartenraten

Um uns mit der Information näher vertraut zu machen, gehen wir von einem normalen Skatblatt aus. Die Karten ordnen wir dann vier Klassen gemäß der Tabelle zu.

Klassenbildung mit Skatkarten

Klasse	Beschreibung	Karten	%
Z	alle Karten mit Zahlen	7, 8, 9, 10	50
M	alle männlichen Karten	König, Bube	25
W	alle weiblichen Karten	Dame	12,5
A	alle Asse	As	12,5

Ein Spielmeister mischt jetzt die Karten und zieht immer eine heraus, ohne sie zu zeigen. Die Aufgabe der Spieler ist es, abwechselnd und im Wettkampf mit möglichst wenig Fragen möglichst für viele Karten die Klasse zu erraten. Es dürfen dabei nur Fragen (wenn auch beliebig komplexe) an den Spielmeister gestellt werden, die er eindeutig mit einem Ja oder Nein beantworten kann, z. B. derart: »Gehört die Karte einer der Klassen M oder W an?« Bei einer Dame, einem König oder Buben müßte



Eine Fragestrategie, mit der es möglich ist, die Klasseneinteilung gemäß der Tabelle mit zwei Fragen zu erraten. Theoretisch kommt man aber im Mittel mit 1,75 aus. Überlegen Sie bitte selbst, wie dies möglich ist, bevor Sie die Lösung auf den folgenden Seiten lesen.

der Spielmeister hierauf mit einem Ja, sonst mit einem Nein antworten.

Aus der Shannonschen Informationstheorie folgt nun aber in diesem Beispiel, daß eine bestmögliche Fragestrategie mit 1,75 Fragen je gezogener Karte auskommen könnte. Dies ist natürlich ein Mittelwert, der nur in einem langen Spiel erreicht werden kann. In etwa ist zu erwarten, daß bei 100 zu ratenden Karten mindestens 175 Fragen notwendig sind. Für ein gutes Ergebnis müssen wir also gezielt Fragen stellen. Fachleute nennen den Plan hierzu eine Fragestrategie. Ein in ähnlichen Spielen etwas Erfahrenerer wird daher mit der abgebildeten Strategie 1 sein Glück versuchen.

Wie man sofort sieht, sind aber so je Karte immer zwei Fragen notwendig! Der Informationstheorie zufolge müßte es eine bessere Strategie geben. Vielleicht überlegen Sie zunächst ein wenig, bevor Sie die Lösung auf den folgenden Seiten betrachten.

Carnot-Prozeß – Informationstheorie

Schon auf S. 12 haben wir von der Kraftmaschine gesprochen. Sie wurde zunächst ohne Theorie gebaut. Ein guter Ingenieur hatte dabei ein »Gefühl« dafür, ob seine Maschine noch zu verbessern war. Aber genau wußte er es nicht – ganz zu schweigen von einem normalen oder gar schlechten Ingenieur. Dieser unbefriedigende Zustand wurde beseitigt, als Carnot[7] den idealen Kreisprozeß definierte. Damit konnte aus der Verbrennungs- und Umwelttemperatur T_v und T_u der maximal mögliche Wirkungsgrad η_{th} berechnet werden. Er sagt aus, wieviel Wärmeenergie bestenfalls in mechanische Energie umgewandelt werden kann. Andererseits konnte man schon länger an einer konkreten Maschine experimentell den Wirkungsgrad η_{ex} messen. Somit hatte man jetzt das Verhältnis zweier Wirkungsgrade zur Verfügung:

$$V = \frac{\eta_{ex}}{\eta_{th}}$$

Werden z. B. etwa 99 % erreicht, so hat es wohl keinen Sinn, die Maschine verbessern zu wollen. Bei 25 % ist dies dagegen geradezu technisch notwendig.

Eine ähnliche Situation entstand nun in den dreißiger Jahren in der Nachrichtentechnik hinsichtlich der Informationsübertragung. Es existierten Telegraf, Telefon, Rundfunk, und das Fernsehen begann. Diese technischen Einrichtungen wurden immer umfangreicher und gewannen an Massenbasis. So war es notwendig, auch hier Wirkungsgrade zu kennen, und zwar ebenfalls theoretische Grenzwerte und Messung des praktisch Erreichten. Doch trotz vielfältiger Ansätze gab es längere Zeit keine brauchbare Lösung. Mit einem Schlag gelang es dann 1948 Claude Shannon[8], eine nahezu perfekte Lösung vorzulegen. Sie erbrachte die theoretische Grundlage und auch Meßprinzipien, also formal das Analogon zum Carnot-Prozeß (vgl. die Tabelle).

Dieses Prinzip wird noch genauer zu behandeln sein. In der Tabelle ist außer der Informationsübertragung auch einiges zur Informationsverarbeitung ausgesagt. Sie besteht hauptsächlich in der Anwendung von Rechnern,

Wärmekraft-maschine	Nachrichten-übertragung	Informations-verarbeitung
$\eta = \frac{p_{mechanisch}}{p_{thermisch}}$ Carnot 1824 Wirkungsgrad: $\eta_{th} = \frac{T_v - T_u}{T_v}$ realer Wirkungsgrad einer konkreten Maschine = η_{re} Erreichte Güte $G = \frac{\eta_{re}}{\eta_{th}} < 1$	Informationsfluß = Zeichen/Sekunde Shannon 1948 Entropie: $H_{th} = -\sum_{n=1}^{k} p_n \cdot \mathrm{ld}(p_n)$ realer Informationsfluß = H_{re} $G = \frac{H_{re}}{H_{th}} < 1$	Zur Zeit keine wesentlichen Ansätze bekannt; vielleicht Parameter: • Länge des Programms • benötigte Speicher-kapazität • Zeitdauer Abarbeitung

um damit »neue« Information zu erzeugen. Auffällig ist, daß hier noch fast alle Grundlagen fehlen. Darauf wird genauer am Ende der Broschüre einzugehen sein.

Eine gute Ratestrategie

Eine mögliche Ratemethode für unser Skatspiel zeigt das Bild mit der Fragestrategie 2. Wir fragen also zuerst:

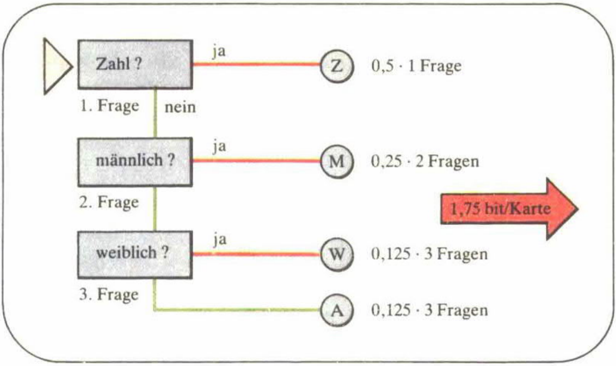
»Gehört die Karte zur Kasse Z?«

Bei der Antwort »Ja« haben wir dann mit einer Frage in 50 % der möglichen Fälle richtig geraten. Bei der Antwort »Nein« fragen wir weiter:

»Gehört die Karte zur Klasse M?«

Bei der Antwort »Ja« haben wir in 25 % der möglichen Fälle mit 2 Fragen das Ziel erreicht. Bei abermals »Nein« müssen wir leider für die restlichen 25 % sogar 3 Fragen verwenden und erreichen dann mit Sicherheit das Ziel. Fassen wir nun alles zusammen, so gilt:

1 Frage für 50 % = 0.5 2 Fragen für 25 % = 0.5
3 Fragen für 25 % = 0.75



Eine ideale Fragestrategie, die genau das leistet, was die Informationstheorie maximal zuläßt: 1,75 Ja/Nein-Fragen im Mittel. Beachten Sie, daß dies nur auf Kosten vieler Fragen bei den seltenen Ereignissen gelingt.

Die Summe ist also im Mittel 1.75 Fragen je Karte. Daraus folgt im Vergleich mit der Theorie, daß es keine bessere Fragestrategie geben kann. Es gibt noch andere, gleichwertige, aber danach zu suchen, lohnt eigentlich nicht.

Berechnung der Entropie

Für die Entropie gilt die Formel:

$$H = -\sum_{\nu=1}^{n} p_\nu \cdot \mathrm{ld}\,(p_\nu)$$

Hierin sind die einzelnen Klassen durch ν, die Wahrscheinlichkeit durch p_ν bezeichnet. Die Funktion ld steht für den dualen Logarithmus, also den Logarithmus zur Basis 2. Da er sonst wenig gebräuchlich ist, sei seine Umrechnung aus dem natürlichen Logarithmus ln und den Briggschen Logarithmus log mitgeteilt:

$$\mathrm{ld}\,(x) = \frac{\ln(x)}{\ln(2)} = \frac{\log(x)}{\log(2)}$$

Wenden wir diese Formel auf unser Skatspiel an, so gelten die Werte laut Tabelle. Daraus folgt das Ergebnis gemäß:

$$H = -(-1 \cdot 0.5 + -2 \cdot 0.25 + -3 \cdot 0.125 + -3 \cdot 0.125)$$
$$= 1.75$$

Überblick zu den Daten der Fragestrategie 2

Klasse	Wahrscheinlichkeit	log (p_v)	ld (p_v)
Z	0.5	−0.30103	−1.0
M	0.25	−0.60206	−2.0
D, A	0.125	−0.90309	−3.0

Kartenraten ist Informationsübertragung

Unser Ratespiel entspricht recht gut der Nachrichtenübertragung. Der Sender sendet Signale über einen eventuell gestörten Kanal. Der Empfänger muß diese Signale Klassen zuordnen. Nur so wird Information übertragen. Er muß dabei also wie bei unserer Fragestrategie einen Fragebaum – Techniker sagen dazu Codebaum und Codierung – ausnutzen. Denn nur wenn er das empfangene Signal richtig zuordnet, besteht eine fehlerfreie Übertragung. Stellen Sie sich vor, ein Fernschreiber sendet den Text »Haube«, und unser Empfänger erkennt fehlerhaft »Taube«. Dies muß vermieden werden. Außerdem muß jedes Wort in möglichst kurzer Zeit, also mit möglichst wenig Entscheidungsschritten übertragen werden. Eine Fragestrategie, die so etwas leistet, nennt der Techniker einen Optimal-Code.

Fassen wir dieses Ergebnis zusammen, so ist jedem Entscheidungsschritt im Codebaum genau ein Bit[9] zugeordnet. Damit können wir verallgemeinern:
Ein Bit entspricht genau einer Frage, die mit Ja/Nein beantwortet werden kann.

In diesem Sinne kann Information auch mit beseitigter Unsicherheit definiert werden. Vor der Übertragung ist nicht die Klasse der Karte bzw. der Inhalt der Übertragung bekannt. Wenn wir Aussagen zur Statistik der Signale, also die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der Kartenklassen, kennen, so ist mittels der Informationstheorie nur die minimale mittlere Anzahl der Ja/Nein-Fragen berechenbar. Nach der fehlerfreien Übertragung ist dagegen der Inhalt – die Kartenklasse – gegeben, sie entspricht dem Weg im Codebaum.

Fragestrategie bei Buchstaben

Die Buchstaben einer jeden Sprache lassen eine ähnliche Klassenbildung wie bei den Skatkarten zu. Die Auszählung eines hinreichend langen Textes führt bei der deutschen Sprache etwa zu den Ergebnissen der Tabelle.

Buchstabenhäufigkeiten in der deutschen Sprache

	%		%		%		%		%		%
*)	14,42	r	6,22	h	3,61	m	1,72	f	0,78	q	0,05
e	14,40	a	5,94	l	3,45	b	1,38	k	0,71	y	0,01
n	8,65	d	5,46	c	2,55	w	1,13	p	0,67		
s	6,46	t	5,36	g	2,36	z	0,92	j	0,28		
i	6,28	u	4,22	o	2,11	v	0,78	x	0,08		

*) bedeutet Leerzeichen und Trennzeichen wie ,.!? usw.

Es liegt damit nahe, zum Erraten eines Buchstabens, der zufällig aus einem deutschen Text ausgewählt wird, ebenfalls eine optimale Fragestrategie zu entwickeln. Dies ist relativ kompliziert. Die Theorie sagt aus, daß minimal 4,037 Fragen je Buchstaben notwendig sind. Die Theorie liefert darüber hinaus »günstige« Fragestrategien. Zwei Beispiele zeigt das Bild.

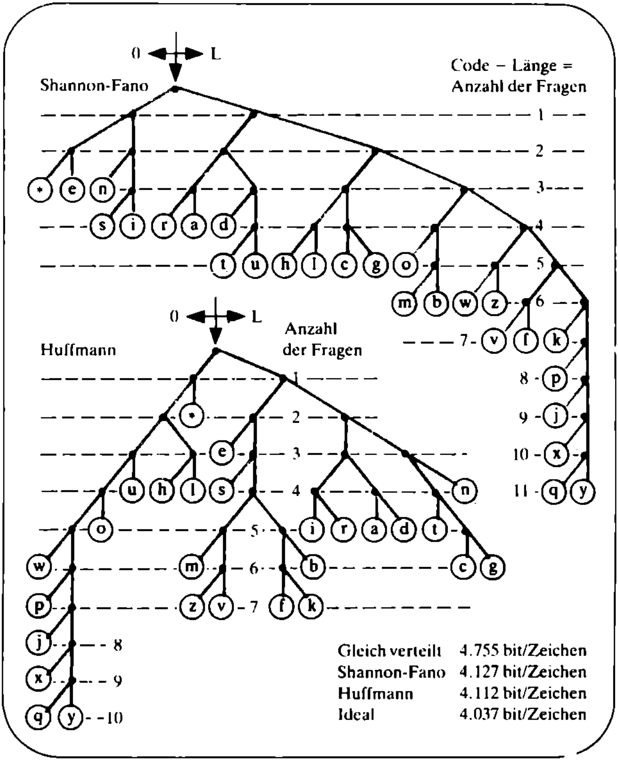
Es wird hier der ideale Fall nicht mehr genau, sondern nur näherungsweise erreicht. Versuchen wir, entsprechend dem oberen Beispiel die spezifischen Fragen zu formulieren. Die erste Frage lautet dann:

Ist es ·, b, n, s oder i?

Bei einem »Nein« müßten wir weiter fragen:

Ist es · oder b?

Die übrigen Fragen versuchen Sie bitte selbst zu finden. Dabei werden Sie feststellen, wie komplex solche Fragen



Fragestrategien (Optimalcodierungen) für das Alphabet der deutschen Sprache. Wären alle Buchstaben gleich häufig, so wären im Mittel 4,755 Fragen nötig. Der Codebaum hätte dann überall die Tiefe von 5, bei wenigen Zweigen von 4. Es gäbe keine bevorzugten oder benachteiligten Buchstaben.

Der obere Codebaum von Shannon-Fano beruht auf den ersten Ergebnissen zur Berechnung, die bereits von Shannon stammen. Der untere Codebaum folgt aus den theoretischen Ergebnissen, die Huffman 1950 ableitete. Er erreicht auch noch nicht den theoretischen Grenzwert. Hierzu müssen noch kompliziertere Verfahren verwendet werden. Sie fordern dann Buchstabenkombinationen und/oder Gedächtnis, also Berücksichtigung der Vergangenheit.

Mit solchen Methoden kann man sich schrittweise dem idealen Wert nähern. In den meisten Fällen ist es auch so nicht möglich, den Idealwert zu ereichen.

werden und wie schwierig es sein dürfte, danach zu verfahren. Weitaus schwieriger ist aber die Erstellung der hier gegebenen Fragestrategie oder, wie es in der Nachrichtentheorie heißt, des Codebaumes, ohne Rechner.

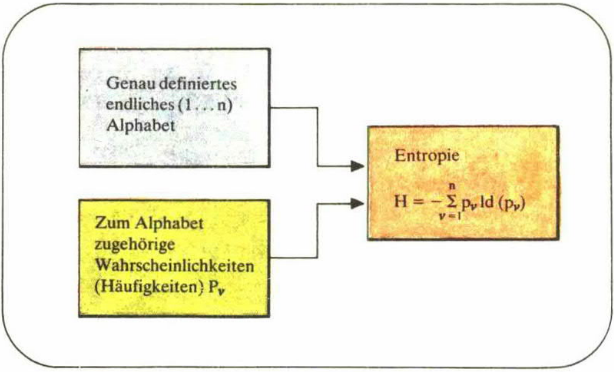
Definition der Entropie

Erinnern wir uns an die Tabelle mit dem Vergleich von Carnot- und Shannon-Theorie. Dort befindet sich bereits die entscheidende Formel für die Berechnung der Entropie[10]. Sie stammt von Shannon und lautet:

$$H = -\sum_{\nu=1}^{n} p_\nu \cdot \mathrm{ld}(p_\nu)\,.$$

Das Ergebnis der Berechnung ist dann eine Entropie in bit/Zeichen. Sie ist nicht identisch mit der thermodynamischen Entropie. Wegen des negativen Vorzeichens der Formel wird sie oft auch als Negentropie bezeichnet.
Für ihre Anwendung müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein:
1. Es gibt ein genau definiertes Alphabet mit n Zeichen.
2. Jedes Zeichen tritt mit einer festen Wahrscheinlichkeit auf.
Als Alphabet haben wir bisher die vier Klassen des Skatblattes bzw. die 27 Buchstaben eines Textes einschließlich der Trennzeichen betrachtet. Es ist eine große Stärke der Informationstheorie, daß sie hier dem Anwender sehr große Freiheit läßt. Die einzelnen Zeichen können z. B. musikalische Noten, gesprochene Worte, unterschiedliche Zeitabschnitte und ausgewählte Farben sein. Wichtig ist nur, daß vor der Berechnung ihre Anzahl definiert ist und die zugehörigen Wahrscheinlichkeiten gegeben sind.

Leider sind nur in wenigen Fällen die Wahrscheinlichkeiten vor dem Versuch hinreichend gut bekannt. Ein Beispiel hierfür ist der nicht gezinkte Würfel. Bei ihm ist zu erwarten, daß jede Augenzahl mit gleicher Wahrscheinlichkeit auftritt, nämlich ein Sechstel. Auch bei unserem Skatblatt kennen wir im voraus die einzelnen Wahrscheinlichkeiten. Anders liegen die Verhältnisse aber bereits bei den Buchstaben eines Textes. Hier ge-



Aus dem Zusammenspiel von Alphabet und Wahrscheinlichkeit wird nach diesem Schema die Entropie berechnet.

winnt man durch Auszählen nur die Häufigkeiten. Es existiert jedoch das Gesetz der großen Zahl. Hiernach konvergieren die Häufigkeiten gegen die Wahrscheinlichkeiten. Sie wissen recht gut, daß bei wenigen Würfen manchmal die Sechs, ein andermal die Drei gehäuft auftritt. Im Mittel über eine lange Zeit streben also die Häufigkeiten gegen die Wahrscheinlichkeiten, dies ist bei der Verwendung von Häufigkeiten zu beachten. Dabei muß der Text auch noch gewissen Bedingungen genügen; hierzu zählt unter anderem, daß die Auswahl repräsentativ ist. Fassen wir dies zusammen:

Durch Abzählen einer richtig ausgewählten und hinreichend großen Stichprobe ist es für die Entropieformel zulässig, die Wahrscheinlichkeiten durch die relativen Häufigkeiten zu ersetzen.

So sind die Zahlenwerte für die Buchstaben in der Tabelle bestimmt worden.

Zuweilen ist es aber nicht einmal möglich, die Häufigkeiten, geschweige denn die Wahrscheinlichkeiten zu ermitteln. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, Gleichwahrscheinlichkeit anzunehmen. Dafür gilt dann die einfache Formel:

$H_g = \mathrm{ld}\,(n)$,

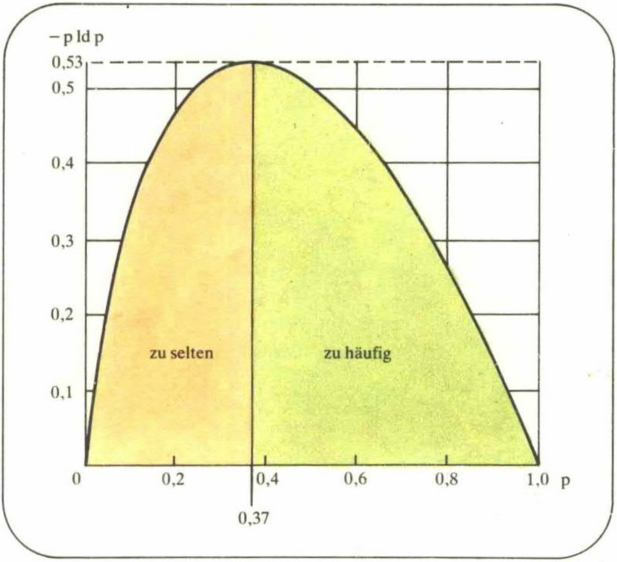
wobei n wieder die Anzahl der Zeichen bedeutet. Für die 27 Zeichen des geschriebenen Alphabets würde dann jedes Zeichen mit 1/27, das sind 3,7 %, auftreten sollen. Die zugehörige Entropie betrüge dann 4,755 bit/Zeichen. Sie ist also beachtlich größer als der reale Wert in der Sprache (s. S. 23). Ja generell erhält man so die maximal mögliche Entropie. Deshalb kann ein solcher Wert bestenfalls allgemein zur Abschätzung der oberen Grenze herangezogen werden:
Bei Annahme einer Gleichwahrscheinlichkeit für die Zeichen ergibt die einfache Entropieberechnung gemäß ld (n) nur eine obere Grenze für die Abschätzung der wirklichen Entropie.

Der Überraschungswert

In der Entropieformel kommt der Term: $-p \cdot \mathrm{ld}\,(p)$
vor. Den Verlauf dieser Beziehung in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit p zeigt das Bild. Er besitzt also bei: $p_m = 1/e = 36{,}788\,\%$
ein ausgeprägtes Maximum mit dem Wert: $ü_m = 0{,}5307$. Infolge der großen Nähe zum Seitenverhältnis beim Goldenen Schnitt gab es zunächst um diesen Wert mehrere Jahre Streit zwischen den Informationstheoretikern und Kunstwissenschaftlern. Es entfachte sich am Beispiel des Seitenverhältnisses für das »schönste« Rechteck. Hinzu kam, daß bereits Fechner[11] eine Analyse der schönsten Rechtecke vorgenommen hatte (s. Abb. S. 29).

Helmar Frank[12] und andere nahmen sich dieser Frage nun erneut aus der Sicht der Informationstheorie an. So entstand die Streitfrage, wer recht hätte. Heute, auf Abstand gesehen, ist die Angelegenheit geradezu trivial. Die »Klassiker« konstruierten eine Näherung mit Zirkel und Lineal, während die Informationstheorie per Rechnung exakt zu dem analogen Ergebnis gelangt.

Für den Goldenen Schnitt gilt (vgl. S. 30):
Die kürzere Strecke verhält sich zur längeren wie die längere zur ganzen, ungeteilten Strecke.
Daraus folgt: $b/a = (\sqrt{5} - 1)/2 = 0{,}61803$
bzw. $1 - b/a = 38{,}197\,\%$.



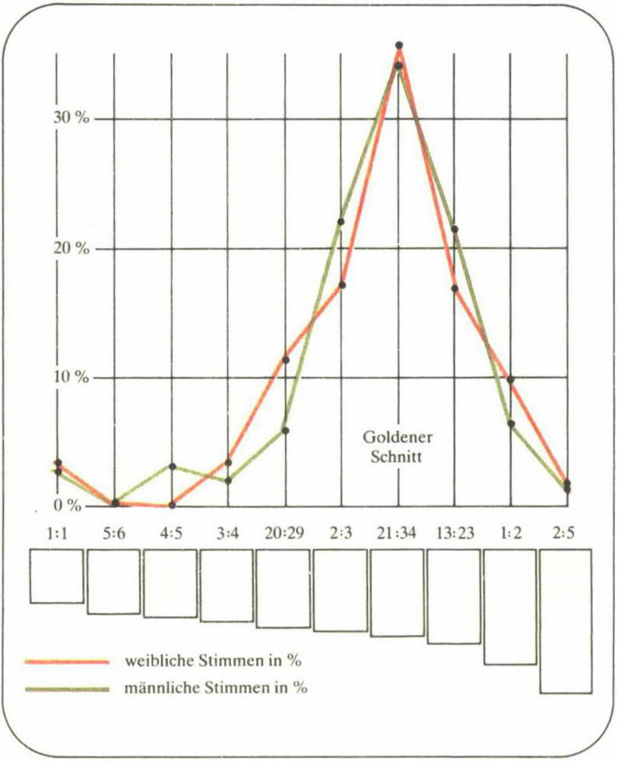
Funktioneller Verlauf des Grundterms der Entropie $-p \cdot ln\ (p)$. Das Maximum entspricht der Wahrscheinlichkeit 1/e, etwa 37 % (e = 2,71... = natürliche Zahl = Eulersche Zahl). Eine Eigenschaft mit dieser Wahrscheinlichkeit ist besonders auffällig. Sowohl Werte mit kleinerer als auch größerer Wahrscheinlichkeit fallen weniger auf. Die Höhe der Kurve ist also ein direktes Maß für die Auffälligkeit.

Im rechten Winkel wird die halbe Grundlänge nach oben abgetragen und von dort ein Kreisbogen zur Diagonalen gezogen. Dieser Schnittpunkt dient wiederum für einen Kreisbogen zur Grundlinie. Das Prinzip vom Goldenen Schnitt ist uralt und steht im engen Zusammenhang mit der Pentatonik der Griechen. Mit den Längen des Goldenen Schnittes besteht nämlich die Möglichkeit der Konstruktion eines regelmäßigen Fünfecks. Über längere Zeit bestimmte der Goldene Schnitt wesentlich die gesamte Gestaltung von Kunstwerken.

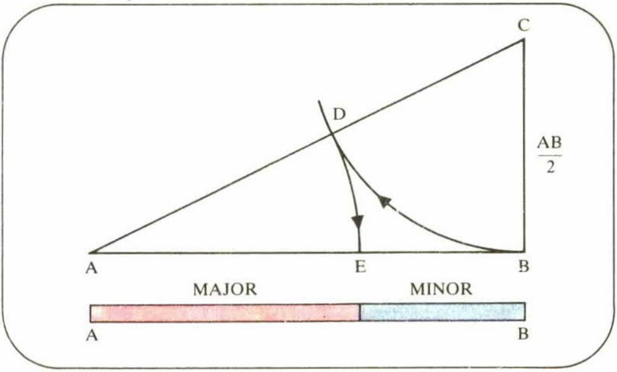
Da der Größtwert der Entropie und der Goldene Schnitt dicht beieinanderliegen, dürfte ihnen auch die gleiche Ursache zugrunde liegen. Von beiden Zahlenwerten kann man nun rationale Näherungen bilden. Gemäß der folgenden Tabelle wird dies deutlicher. Vor allem wenn man berücksichtigt, daß gerade diese ganzzahligen Verhältnisse vielfach zur Konstruktion verwendet wurden. Dadurch wird der gegenseitige Bezug noch deutlicher.

In der Folge zeigte sich dann, daß der informationelle Überraschungswert viel allgemeiner ist.

Teilen wir die Farben eines Bildes in zwei Gruppen, z. B. in Rot und nicht Rot, so wird das Rot dann beson-



Ergebnisse der Untersuchungen der Psychologen G. Th. Fechner 1876 zur Bestimmung des »schönsten« Rechtecks



Darstellung des Konstruktionsschemas für den Goldenen Schnitt. Im Bild ist die ganze, ungeteilte Strecke durch AB gegeben. Die halbe Länge wird senkrecht nach oben im Punkt B abgetragen und führt zum Punkt C. Seine Verbindung mit A liefert die Diagonale. Ein Kreis um C mit der Länge AB/2 führt auf ihr zum Schnittpunkt D, ein Kreis um A mit dem Radius AD ergibt auf der Grundlinie den Schnittpunkt E. Jetzt sind AE die längere und BE die kürzere Strecke.

ders auffällig, wenn es etwa 37 % der Fläche füllt. Wir können geradezu die Höhe der Kurve im Bild dazu nutzen, um auszusagen, wie stark uns eine Eigenschaft auffällt, wenn sie den entsprechenden Anteil besitzt. In Bild »Iphigenie« von Anselm Feuerbach gilt dies für die Summe der weißen Flächenanteile. Damit soll bewußt der Symbolwert der Farbe Weiß, also Reinheit, Tugend, Unschuld, betont werden.

Dieses Ergebnis nutzte der Besitzer eines großen Kaufhauses unmittelbar nach dem Bekanntwerden zu seinem Vorteil. Er machte die Preise für 37 % seiner Waren deutlich niedriger als die Konkurrenz und erhöhte die anderen Waren entsprechend. In kurzer Frist galt dieses Kaufhaus als besonders preiswert, und sein Besitzer machte beachtliche Zusatzgewinne.

Bei der Lautmalerei sollen bestimmte Vokale besonders betont werden. Für das E ist dies z. B. bewußt bei Versen von Edgar Allan Poe der Fall. Hier eine Probe aus »The Bells«:

Das Beispiel der Sixtinischen Madonna von Raffael zeigt hier, wie selbst innerhalb eines Bildes der Goldene Schnitt zur Bildgestaltung herangezogen wird.

Hear the sleges with the bells, silver bells!
What a world of erriment their melody foretells!

Ein Beispiel aus der Architektur mag diesen Fakt weiter erhärten. Fragt man ein Kind, was ein Haus sei, so dürften die Antworten lauten:

Merkmal	Goldener Schnitt		Auffälligkeit	
Wert	$1/2 \cdot (\sqrt{5} - 3)$		$1-1/e$	
Näherung	0,61803		0,63212	
Restwert	0,38197		0,36788	
Rationale	2:3	4,9 %	2:3	3,5 %
Näherungen	3:5	−1,8 %	5:8	−0,7 %
mit	5:8	0,7 %	7:11	0,4 %
Fehlern	8:13	−0,3 %	12:19	−0,05 %
	13:21	0,1 %	55:87	6E−5
	21:34	−0,04 %	67:106	−5E−5
	34:55	0,01 %	122:193	3E−6
	55:89	−5E−5		
	89:144	2E−5		

Ein Haus ist ein Dach über dem Kopf.
Ein Haus hat Türen und Fenster.
In diesem Sinne wurden Analysen von 24 zufällig ausgewählten Häusern gemacht. Dabei ergab sich, daß im Mittel die sichtbare Dachfläche nahezu bei 37 % liegt und daß dieser Wert auch recht gut für den Anteil der Fenster und Türen von der Häuserfront gilt. Selbst eine nach dieser Methode berechnete Rangfolge der »Schönheit« der Häuser stimmte besser mit dem Mittelwert der Expertenurteile überein als die Expertenurteile untereinander.

Diese Beispiele sind ein erster Hinweis darauf, wie eng sich offensichtlich Information und Ästhetik berühren.

Analyse, ein vielfältiges Verfahren

Analyse von Texten

Hören wir eine fremde Sprache, so gelingt es uns bei einiger Erfahrung – auch dann, wenn wir die Sprache überhaupt nicht verstehen –, in etwa anzugeben, ob es z. B. Englisch, Französisch, Russisch oder Spanisch ist. Wir können zwar nicht sagen, woran wir die Sprache erkennen, täuschen uns aber dennoch relativ selten. Es gibt also in den Sprachen innere Gesetzmäßigkeiten, die uns diese Entscheidung ermöglichen. Auf wie relativ einfache Weise dies teilweise möglich sein könnte, zeigt uns die Abbildung.

Dabei ist nur von vier typischen Texten die mittlere Silbenzahl je Wort gezählt worden. Das Ergebnis weist deutlich den Trend aus: Lateinisch besitzt im Mittel eine höhere Silbenzahl als Deutsch. Aber in beiden Sprachen sind wiederum auch Unterscheidungen zwischen Autoren möglich: Rilke verwendet im Mittel kürzere Wörter als Goethe, Sallustius betont die zwei- und dreisilbigen Wörter mehr als Cäsar.

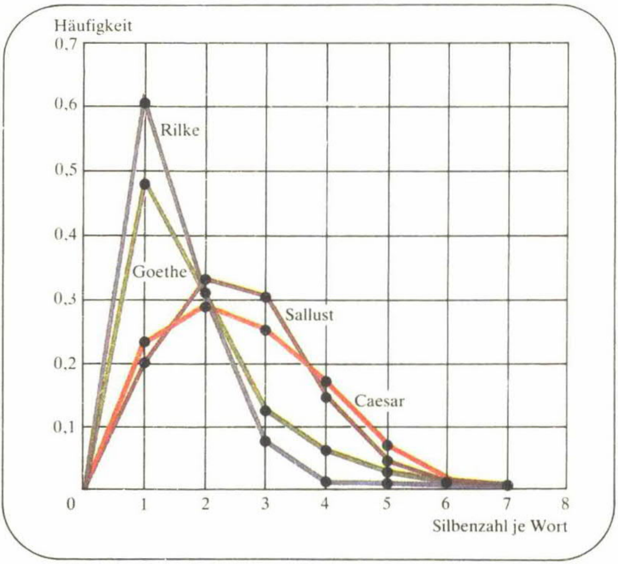
In Verallgemeinerung dieser Aussage kam Fucks[13] nach genaueren Analysen zu einer individuell geprägten Karte der Autoren (s. Abb.).

Hierzu hatte er eine große Anzahl von Texten analysiert. Sie stammten von Dichtern, Schriftstellern und Fachautoren. Er trug auf der Ordinate die mittlere Anzahl der Silben je Wort und auf der Abszisse die mittlere Anzahl der Wörter je Satz ab. Dabei ergab sich, daß jeder Autor eine genau definierte Stelle in dieser Fläche einnimmt.

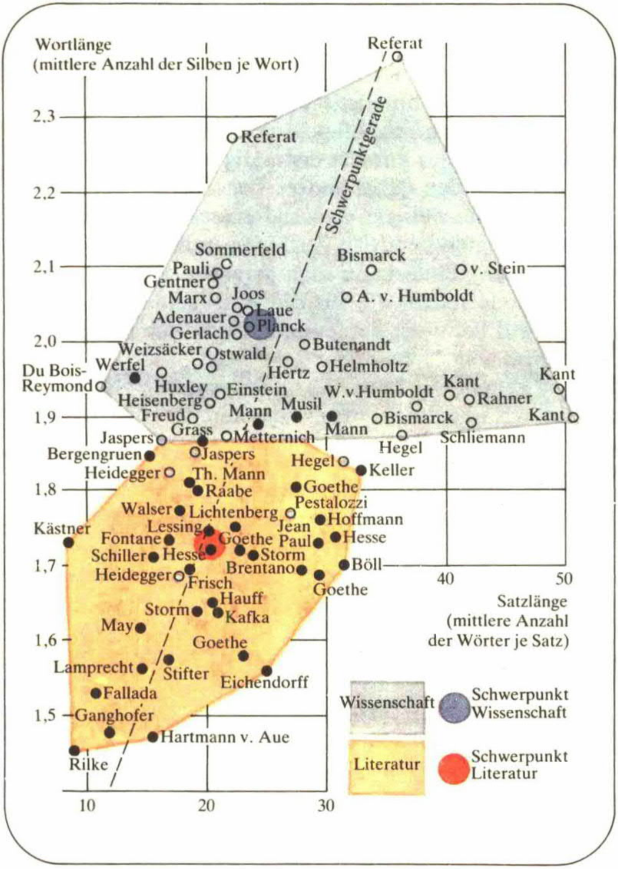
Untersucht man einen Text, dessen Autor umstritten ist, so besteht auf diese Weise die Möglichkeit, Aussagen zugunsten des einen oder anderen zu machen. Ähnlich wie bei einem kriminalistischen Gutachten läßt sich der Text also nur wenigen, oft sogar nur einem einzigen Autor zuordnen. Dies erfolgte erstmalig an einem Bibeltext. Allerdings wurden dabei andere Kriterien verwendet.

Im Laufe der weiteren Anwendungen der Informationstheorie erfolgten derartige Aussagen immer häufiger und erfolgreicher. Heute kann man geradezu von einer Standardmethode reden, die für die Entscheidung über den Personalstil bei nicht eindeutigen Zuordnungen herangezogen wird.

Doch kehren wir zu der Karte der Autoren zurück, hier ist nämlich noch mehr zu entnehmen. Zunächst streuen



Ergebnis der Auszählung von lateinischen und deutschen Texten bezüglich der Häufigkeit von Wörtern mit unterschiedlicher Silbenzahl. Es ist sowohl deutlich der Unterschied beider Sprachen als auch die Individualität der Autoren zu erkennen.

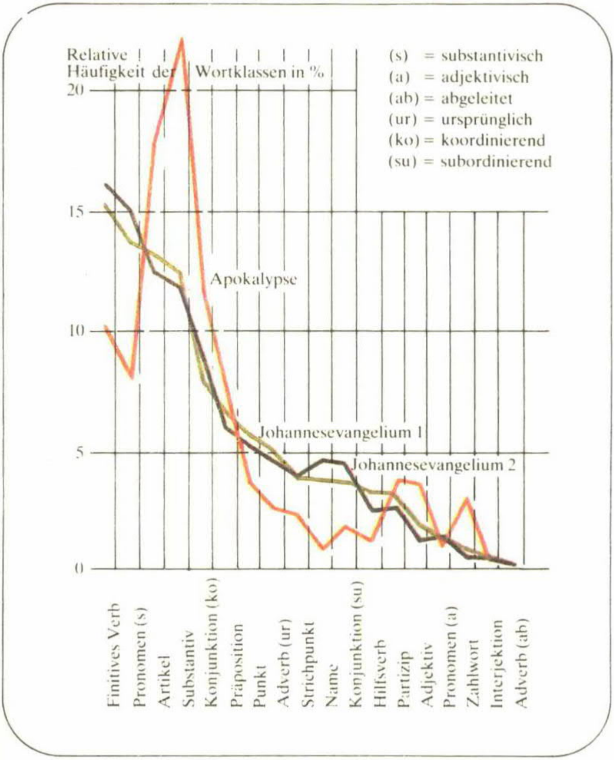


Karte für die spezifischen Orte verschiedener Autoren in einem Feld aus der mittleren Satz- und Wortlänge.

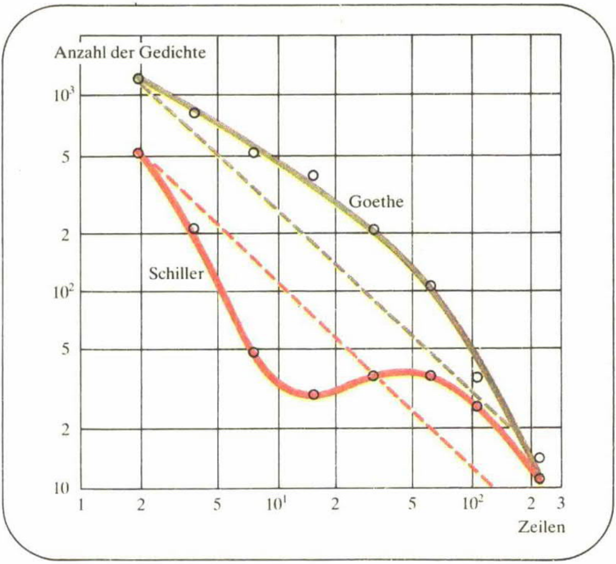
Die gestrichelte Schwerpunktgerade ergibt sich aus der Mittelung über alle analysierten Werke. Der Literaturschwerpunkt entsteht durch zweidimensionale Mittelung über die schöngeistigen Werke. Für den blauen Schwerpunkt gilt das gleiche über die wissenschaftlichen Werke.

In der Regel gibt es für jeden Autor einen festen Arbeitspunkt für alle seine Werke. Nur wenige »Wortgewaltige« sind imstande, ihr Grundgebiet zu verlassen. Im unteren Teil des Bildes ist dies für Goethe aufgezeigt.

alle Autoren um eine Schwerpunktgerade. Sie hat etwas mit dem Lesbarkeitsindex zu tun, auf den wir noch einmal etwas später zurückkommen. Dann sind zwei Gebiete abgegrenzt: unten links die Autoren der Literatur und rechts oben die Autoren der Wissenschaft. Die Literaten verwenden also im Mittel immer weniger »komplizierte« Wörter und Satzstrukturen. Die Wissenschaft verwendet eben Fachwörter, und die sind halt länger.



Beispiel der ersten erfolgreichen Anwendung für die Bestimmung der Autorenschaft bei unbekannter Herkunft des Textes. Johannesevangelium 1 und 2 stammen sehr wahrscheinlich vom gleichen Autor. Für die Apokalypse ist eindeutig ein anderer verantwortlich.



Anordnung aller Gedichte von Goethe und Schiller nach der Zeilenzahl. Während die Kurve für Goethe recht gut der idealen Geraden nahe kommt, weicht die von Schiller mit der starken Ausbeulung erheblich ab. Es liegt die Vermutung nahe, daß Schiller seine kurzen Gedichte bewußt zu längeren umgestaltete.

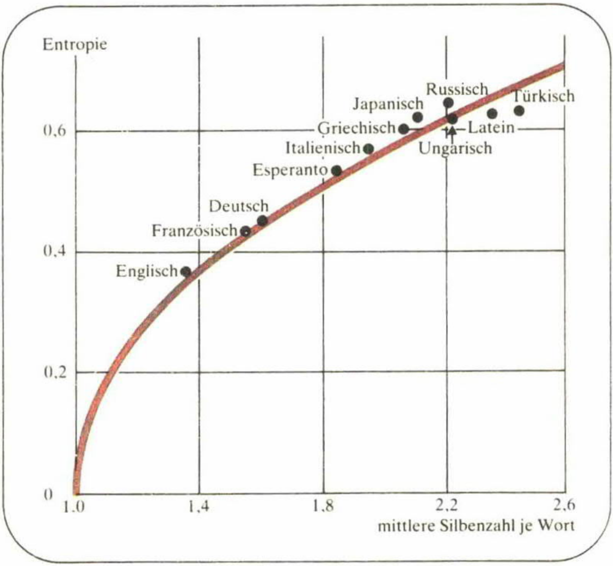
Deshalb auch ihre Tendenz zu Abkürzungen. Für beide Gebiete lassen sich Schwerpunkte angeben. Sie liegen grob bei 1,7 bzw. 2 Silben je Wort und 22 bzw. 25 Wörtern je Satz.

Bei genauerer Analyse des Bildes ist noch ein weiterer Fakt zu erkennen. Goethe steht mit verschiedenen Werken an unterschiedlichen Stellen. Dies widerspricht zunächst dem bisher Gesagten. Es zeigten dann aber detailliertere Untersuchungen, daß die Werte für Goethe im Laufe seines Lebens einen definierten Weg in diesem Diagramm zurücklegen. Man kann folglich aus dem Ort im Diagramm nicht nur auf Goethe schließen, sondern auch, wann er etwa das jeweils analysierte Werk geschrieben hat.

Die Fähigkeit, den Personalstil im Laufe ihres Lebens zu ändern, besitzen jedoch nur wenige »Sprachgewaltige«. Zu ihnen zählen unter anderem Goethe und Thomas Mann.

Aus der Vielzahl der möglichen und auch durchgeführten Analysen sei hier nur noch ein Beispiel bezüglich der Gedichte von Goethe und Schiller ausgewählt. Es sind dabei lediglich für alle bekannten Gedichte die Anzahl der Zeilen je Gedicht gezählt.

Während Goethes Gedichte gemäß dem Bild sehr nahe an der zu erwartenden idealen Geraden liegen, tritt für Schiller eine geradezu signifikante Abweichung auf. Die Gedichte mit kleiner Zeilenzahl, um etwa zehn, kommen ausgesprochen selten vor. Da so etwas nur bei Schiller auftritt und bei keinem anderen Dichter beobachtet wurde, wird ein willkürlicher Eingriff von Schiller (viel-



Kurve für die Entropie verschiedener Sprachen in Abhängigkeit von der mittleren Silbenzahl. Mit dieser Kurve wird Spezifisches über die Sprachen gewonnen. Einige Hinweise enthält der Text.

leicht aus finanziellen Gründen) vermutet. Diese Ursache kann natürlich nicht aus der statistischen Methode gefolgert werden. Hierzu bedarf es anderer Wege. Der Fakt der Abweichung wäre jedoch ohne sie nicht feststellbar.

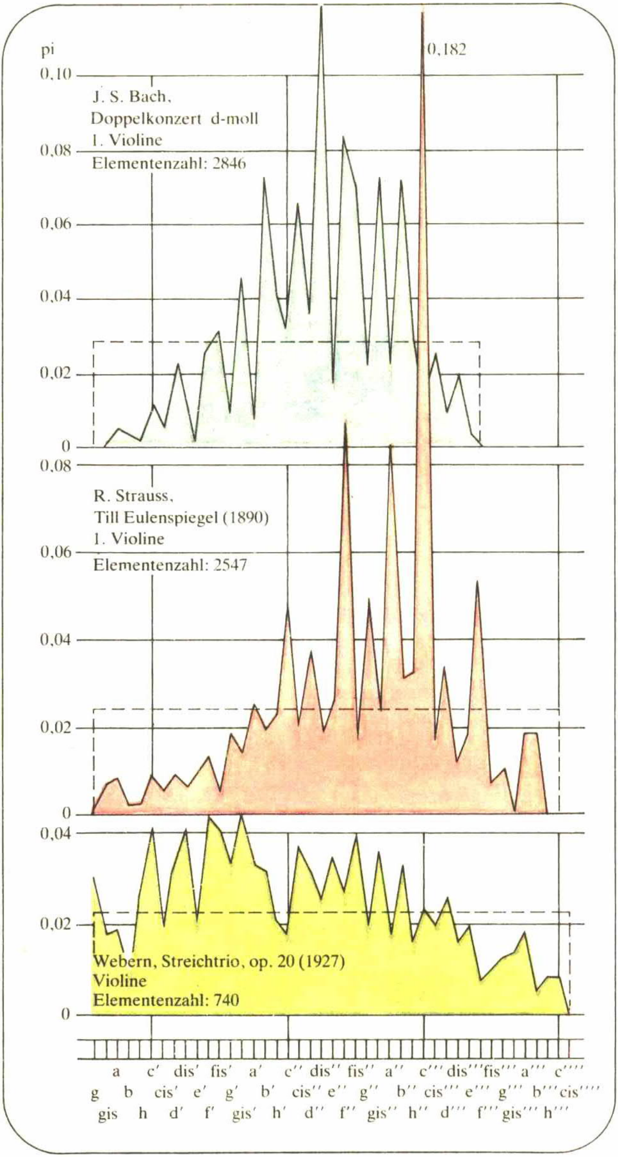
Wir können hier schlußfolgern, daß die statistischen Methoden – insbesondere mittels der Rechentechnik (wegen der umfangreichen Daten) – uns die Möglichkeit geben, neuartige Analysen an Literatur anzustellen. Dabei wurde im bisherigen Kontext zur Vereinfachung noch nicht einmal das Maß der Entropie verwendet. Es wäre aber nach den vorangegangenen Betrachtungen leicht zu errechnen und führte dann zu weiteren Aufschlüssen. Als ein Beispiel sei lediglich die Entropie je Wort verschiedener Sprachen ergänzt.

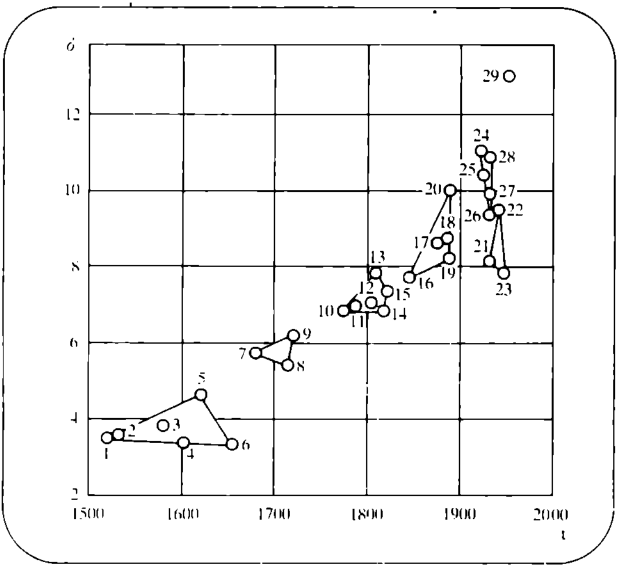
Die Abbildung gibt einen Hinweis darauf, wie groß im Mittel der informationelle Inhalt eines Wortes in den verschiedenen Sprachen ist. Sie zeigt darüber hinaus, daß hierbei eine Korrelation zur mittleren Silbenzahl der Wörter besteht. Im Russischen wird ein Wortstamm durch Suffixe und Präfixe wesentlich stärker als im Englischen modifiziert. Im Englischen bestimmt dagegen mehr die Wortstellung im Satz die detaillierte Aussage. Dies geht bei dieser Analyse jedoch nicht ein. Es wäre folglich falsch, aus einer solchen Kurve etwas über die Aussagekraft einer Sprache ableiten zu wollen. Dieses Beispiel zeigt also gleichermaßen die Möglichkeiten und Grenzen der informationstheoretischen Methoden.

Beispiel Musik

Noch mehr als bei der Sprache »fühlen« wir in der Musik, in welchem Zeitraum sie geschrieben sein könnte. Deshalb müßte auch eine informationstheoretische Analyse hier zu Ergebnissen führen. Auf diesem Gebiet hatte Fucks[13] wieder als erster Erfolge. Er wählte dazu 29

Untersuchungen an den Noten für die 1. Violine zeigen bezüglich der Häufigkeiten gespielter Noten einen recht individuellen Verlauf. Ist bei J. S. Bach noch der mittlere Teil der Skala bevorzugt, so verwendet A. von Webern bereits eine gewisse Gleichverteilung.


pi
0,10
0,08
0,06
0,04
0,02
0
0,182
J. S. Bach,
Doppelkonzert d-moll
1. Violine
Elementenzahl: 2846
R. Strauss,
Till Eulenspiegel (1890)
1. Violine
Elementenzahl: 2547
Webern, Streichtrio, op. 20 (1927)
Violine
Elementenzahl: 740
a c′ dis′ fis′ a′ c″ dis″ fis″ a″ c‴ dis‴ fis‴ a‴ c⁗
g b cis′ e′ g′ b′ cis″ e″ g″ b″ cis‴ e‴ g‴ b‴ cis⁗
gis h d′ f′ gis′ h′ d″ f″ gis″ h″ d‴ f‴ gis‴ h‴



Auswertung von 29 Musikwerken hinsichtlich der Tonhöhenstreuung der 1. Violine (gemäß der vorhergehenden Abbildung auf Seite 41), wobei allerdings umfangreiche Zwischenrechnungen notwendig sind. Vgl. hierzu Text und Anhang.[14]

1 – Willaert: Fantasien;
2 – de Modena: Fantasien;
3 – Palestrina: Ricercari;
4 – Haßler: Intraden;
5 – Schein: Suiten;
6 – Rosenmüller: Stud.-M.;
7 – Corelli: Concerto gr. 8;
8 – Vivaldi: Concerto gr. 3,2;
9 – Bach: Konzert für 2 Viol.;
10 – Mozart: Violin-K., KV 219;
11 – Mozart: Symph. g-Moll;
12 – Beethoven: 5. Symphonie;
13 – Beethoven: Streich-Qu. 74;
14 – Spohr; Violin-Konzert;
15 – Schubert: 8. Symph.;
16 – Schumann: 2. Symph.;
17 – Brahms: Violin-Konz.;
18 – Tschaikowski: 5. Symph.;
19 – Strauss: Till Eulenspiegel;
20 – Tschaikowski: 6. Symph.;
21 – Hindemith: Mathis d. M.;
22 – Bartók: Suite II;
23 – Egk: Orchester-Suite;
24 – Berg: Streich-Qu. 3;
25 – Webern: Streich-Trio 20;
26 – Berg: Violin-Konzert;
27 – Webern: Streich-Qu. 28;
28 – Schönberg: Violin-K.;
29 – Nono: Varianti

Werke aus fünf Jahrhunderten aus. Die Analyse legte er bezüglich der Noten für die erste Violine fest. Er zählte jene Häufigkeiten, mit denen die einzelnen Noten in den Werken gespielt werden.

Drei Beispiele hiervon zeigt das Bild auf Seite 41. Es sind deutlich Unterschiede zu erkennen. Es bedurfte aber komplizierter Berechnungen, um zu einer epochebezogenen Aussage gemäß dem Bild auf Seite 42 zu kommen. Es mußten nämlich Momente höherer Ordnung[14] gebildet werden. Für das n-te Moment gilt

$$\mu_n = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^n \, p(x_i)$$

Das Moment zweiter Ordnung ist die Streuung bzw. Standardabweichung. Mit ihr und dem Moment 4. Ordnung wird die Krümmung erhalten:

$$\frac{\mu_4}{\mu^2_2}$$

Wird hiervon noch der Wert drei abgezogen, so entsteht der Exzeß. Für ihn ergab sich ein nahezu linearer Zusammenhang mit dem Entstehungszeitpunkt des jeweiligen Musikwerkes. Dies geht recht deutlich aus dem Bild auf Seite 42 hervor.

Damit war wiederum eine Möglichkeit geschaffen, bei nicht sicherer Autorschaft eines Musikwerkes mittels eines Gutachtens auf dieser Basis zusätzliche Aussagen für den Musikwissenschaftler zu erlangen. Diese Methode wurde in der Folgezeit bis heute mehrfach erfolgreich angewendet. Sie ist jedoch nur eine der vielen Möglichkeiten, die heute die informationstheoretische Analyse bereitstellt. Auf eine völlig anders geartete wird später noch eingegangen.

Eine weitere Methode bezüglich der Musik wird später behandelt.

Das menschliche Gedächtnis

Offensichtlich übernimmt der Mensch Informationen in sein Gedächtnis. Er sammelt z. B. Erfahrungen und Wissen, lernt Gedichte und vieles andere mehr. Was lag da näher, als auch diese Prozesse einer informationstheoretischen Analyse zu unterziehen. Hierbei mußten die Probanden – so heißen die Versuchspersonen in der Psychologie – sinnlose Silben und lange Zufallszahlen auswendig lernen. Das Ergebnis des Lernens und Vergessens ließ sich dann gut am jeweils Gewußten überprüfen. Die mühevoll daraus gewonnenen Fakten zeigten, daß wir über drei Gedächtnisabschnitte verfügen, die in komplexer Weise zusammenwirken.

Das erste Teilgedächtnis wollen wir Gegenwartsgedächtnis nennen. Durch seine Leistungsfähigkeit hören wir einen Satz als Einheit und können die Schläge einer Kirchturmuhr auch nach ihrem Verklingen zählen. Es besitzt demgemäß eine Zeitdauer von rund 10 Sekunden, die wir in ihrer Gesamtheit als aktuelle Gegenwart empfinden. Zu lange Sätze, wie sie bestimmte Redner bewußt, um Spannung hervorzurufen, benutzen, sind dann, insbesondere wenn von der im Deutschen üblichen verbalen Klammer Gebrauch gemacht wird, nicht mehr zu verstehen. Es werden einfach diese 10 Sekunden überschritten.

Analysiert man die experimentellen Werte weiter, so folgen noch zwei Daten: Der maximal mögliche Informationsfluß zum Gegenwartsgedächtnis beträgt rund 15 bit/s und seine Speicherkapazität etwa 150 bit.

Vom Gegenwartsgedächtnis wird ein Teil der Information dann zum folgenden Kurzzeitgedächtnis weitergeleitet. Es verfügt nämlich nur über eine Zuflußrate von 0,5 bit/s. Dies bedeutet, daß etwa nur ein Dreißigstel der bewußt wahrgenommenen Informationen in das Kurzzeitgedächtnis gelangen kann. Weiter zeigte sich, daß seine Kapazität nur rund zehnmal so groß ist, also etwa 1500 bit beträgt.

Vergleicht man diese beiden Zahlen, dann erkennt man eine Zeitdauer von rund 50 Minuten. In dieser Zeit könnte also das Kurzzeitgedächtnis voll mit Information

Daten der drei Gedächtnisarten

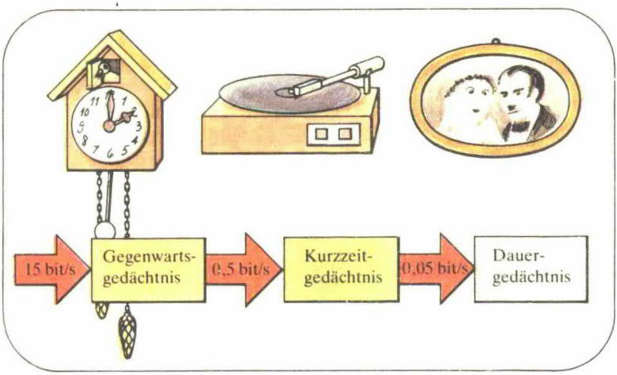
Gedächtnis	Gegenwart	Kurzzeit	Dauer
Fluß	15 bit/s	0,5 bit/s	0,05 bit/s
Kapazität	150 bit	1500 bit	10^6 – 10^8 bit
Zeit	10 s	45 min	lebenslang
physiologische Grundlage	»Trampelpfade« Neuronenaktivität	Stoffwechsel der Neuronen	Struktur der »Verschaltung«

angefüllt sein. Es ist auch hier ohne die Informationstheorie kaum zu erklären, warum unsere Vorfahren die Stundeneinteilung gewählt haben, denn die 24 taucht in keinem anderen Zusammenhang auf. Die Vermutung liegt also nahe, daß sie intuitiv auf diese recht bedeutsame Zeitspanne Bezug nahmen. Auffällig ist weiter, daß noch genauer die Schul- und Vorlesungsstunden auf diesen Wert festgelegt sind. Vielleicht ist es gar kein schlechter Witz, wenn man davon spricht, daß ein Professor über alles reden darf, nur nicht über eine Stunde.

Schließlich gelangt die Information in unser Dauergedächtnis. Wie schon der Name sagt, bleibt sie hier so lange beständig, wie wir leben. Der Informationsfluß in dieses Gedächtnis beträgt jedoch nur 0,05 bit/s, also ein Dreihundertstel dessen, was wir bewußt mit dem Gegenwartsgedächtnis wahrnehmen. Zuweilen wurden und werden in der Literatur für dieses Gedächtnis riesengroße Zahlenwerte genannt. Heute ist jedoch sichergestellt, daß seine bewußt nutzbare Kapazität zwischen einer und einhundert Millionen bit liegt.

Angesichts heute schon vorhandener technischer Speicher mit vielen Milliarden bit ist dieser Wert erstaunlich klein. Es seien daher zwei Beispiele für diesen relativ kleinen Wert angeführt: Selbst wenn wir 100 Jahre pausenlos, also Tag und Nacht, die 0,05 bit/s aufnehmen, ergeben sich erst rund 150 Millionen bit!

Es gibt das Spiel »Begrifferaten«. Man kann sich dabei, wie die Praxis zeigt, noch so komplizierte Begriffe vorstellen, sie werden praktisch immer mit rund 20 Ja/Nein-Fra-



Analysen unseres Gedächtnisses führten zu dem Ergebnis, daß hier drei Teilgedächtnisse mit unterschiedlichen Daten funktionell zusammenwirken.

gen zu erraten sein. Da 2^{20} grob eine Million ist, könnte auch dies ein Hinweis auf die Speicherkapazität unseres Dauergedächtnisses sein.

Anfangs waren alle genannten Werte recht umstritten, heute werden sie im wesentlichen von allen Fachleuten akzeptiert. Dabei ist beachtlich, daß die Zahlenwerte für unser Gegenwartsgedächtnis nahezu unabhängig vom Alter und der Intelligenz sind. Hierzu muß aber betont werden, daß alle Werte vorrangig für Informationen gültig sind, die keinen Inhalt besitzen bzw. in keinen Kontext zu bekannten Fakten stehen. Andererseits ist jedoch die Strukturierung der komplexen Information in unserem Dauergedächtnis wesentlich für unsere geistigen Leistungen, sie erfolgt erfahrungsgemäß sekundär. Die Aufnahme neuer Information hängt stark davon ab, wieweit sie an schon vorhandene Information anzukoppeln ist.

In den letzten Jahren haben nun die Neurowissenschaften viel Licht in Details der Gedächtnisabläufe gebracht. Danach laufen die Prozesse aller drei Gedächtnisse an jedem einzelnen Neuron ab. Ganz im Gegensatz zu technischen Speichern gibt es also keinen bestimmbaren Ort für eine Information. Sie ist über sehr viele Neuronen verstreut abgelegt.

Stark vereinfacht gesagt, funktioniert unser Gegenwartsgedächtnis dadurch, daß eine größere Anzahl von Neuronen aktiviert ist. Die Auswahl der jeweiligen Neuronen hängt in noch nicht bekannter Weise vom Inhalt der Information ab.

Bei etwa unveränderter Information bildet sich dann das Kurzzeitgedächtnis als so etwas wie ein Trampelpfad aus. Die angeregten Neuronen müssen dabei für ihre Aktivierung Proteine produzieren. Dieser Prozeß hat aber eine Halbwertszeit von rund 20 Minuten. Wenn die Aktivierung zur Proteinbildung in Gang gekommen ist, kann sie folglich nicht sofort wieder aufhören. Der Trampelpfad ist ausgetreten und damit leichter begehbar.

Wird auch diese Information wiederholt, muß etwas Neues auftreten. Es wird vermutet, daß es dann zur verstärkten Kopplung der Neuronen durch größere oder neue Synapsen kommt. Vereinfacht ausgedrückt, die »Verschaltung« der Neuronen verändert sich, und sie ist die Grundlage des Dauergedächtnisses.

Daher die seltsam anmutende Frage: Was nutzt dem Bräutigam das Schaltbild des Gehirns seiner Braut? Es ist einmal so komplex, daß selbst mit den Mitteln der heutigen Siliziumtechnik in der Mikroelektronik dafür eine Fläche, wie sie die Insel Rügen besitzt, gerade ausreichen würde. Diese Komplexität ist für den Bräutigam unüberschaubar. Andererseits wird die Struktur durch Lernen und Erlebnisse so stark verändert, daß er auch nicht abzusehen vermag, wie sie sich entwickelt.

Im allgemeinen existieren bei technischen Speichern definierte Orte für die verschiedenen Informationen. Beim Gehirn ist dies anders. Wenn z. B. infolge Krankheit bestimmte Hirngebiete ausfielen oder operativ entfernt werden mußten, konnte nie festgestellt werden, daß der betroffene Mensch dadurch etwas Bestimmtes nicht mehr wußte. Das gesamte Wissen scheint also gleichmäßig über das Gehirn verteilt zu sein. Jedoch existieren ganz wenige Spezialisierungen. Sie betreffen z. B. die sensorischen und motorischen Leistungen, die Sprache oder größere komplexere Leistungen. Insbesondere besteht eine Spezialisierung zwischen der rechten und linken Großhirnhälfte, wie die Tabelle zeigt.

Arbeitsteilung beider Großhirnhälften

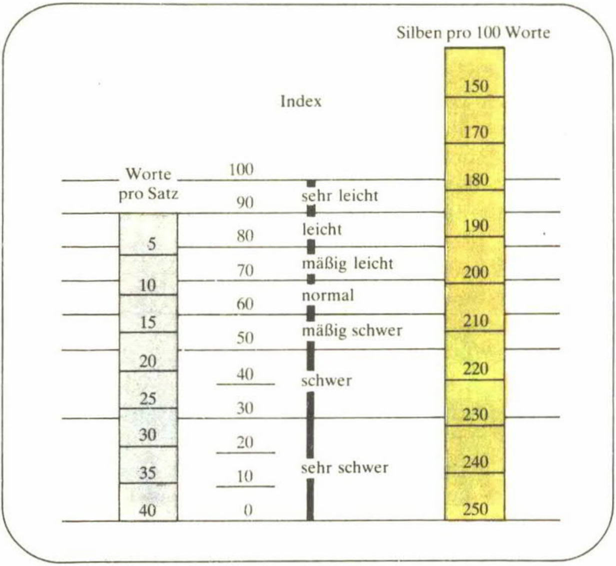
links	rechts
Sprache	Bilder
analytisch	integrierend
logisch	ganzheitlich
strukturell	räumlich
bewußt	intuitiv

In der linken Gehirnhälfte geschieht also vor allem das, was eine gewisse Ähnlichkeit mit unserer Rechentechnik besitzt. Die rechte Hälfte ist dagegen mehr für Prozesse zuständig, die in etwa dem Anliegen von Kunst und Gefühl entsprechen. Beide Hirnhälften sind aber durch ein enorm umfangreiches Nervenbündel, den sogenannten Balken verbunden. Die hierüber fließenden Informationen integrieren beide Spezialisierungen zu einer Einheit, die die Gesamtpersönlichkeit wesentlich bestimmt. Wie sagte es Johannes R. Becher?
»Sparet Anmut nicht noch Mühe,
Leidenschaft nicht noch Verstand ...«

Es ist auffällig, daß nur das europäische Denken eine so deutliche Trennung von Natur- und Geisteswissenschaft vollzog. Im asiatischen Kulturkreis gab es so etwas nicht. Es ist auch das Anliegen dieser Broschüre – ähnlich wie es der Balken im Gehirn realisiert –, zwischen beiden, dem Rechner und der Kunst, zu vermitteln und Verbindungen herzustellen.

Klassenbildung und Lesbarkeitsindex

Die Zahl Sieben hat zumindest im Volksmund besondere Bedeutung. Nicht nur, daß sie oft im Märchen (die sieben Geißlein, Schwaben, Zwerge usw.) oder in der Literatur (die sieben Todsünden usw.) vorkommt, nein sie wird auch immer wieder von der Wissenschaft (die sieben Planeten, der siebente Sinn, die sieben Weltwunder) in Anspruch genommen. Die Psychologie spricht direkt von der



Nomogramm zur einfachen Bestimmung eines Lesbarkeitsindexes auf der Basis der mittleren Satzlänge und Silbenzahl.

magischen Zahl Sieben und meint damit den Bereich von der Fünf bis zur Neun.

Mittels der Informationstheorie und den Daten unseres Gegenwartsgedächtnisses läßt sich eine gewisse Begründung hierfür geben. Nehmen wir an, wir haben eine Vielzahl unterschiedlicher Gegenstände und sollen sie irgendwie ordnen. Dann zeigt die Praxis, daß wir in der Regel zunächst fünf bis neun Häufchen (Klassen) bilden. Dabei wird jedem Häufchen unbewußt eine bestimmte Eigenschaft oder Eigenschaftskombination so zugeordnet, daß wir bei einem neuen Gegenstand mit Ja/Nein-Fragen entscheiden können, zu welchem Häufchen er gehört.

Es sind also fünf bis neun Ja/Nein-Entscheidungen bezüglich der Zuordnung zu treffen. Damit wird unser Gegenwartsgedächtnis mit $2^5 = 32$ bis maximal $2^9 = 512$ bit belastet. Die typische Sieben fordert $2^7 = 128$ bit und liegt damit genau im optimalen Bereich unseres Gegenwartsgedächtnisses.

Wir wissen, daß Texte unterschiedlich leicht oder schwer lesbar sein können. Auch hier geht außer inhaltlichen Fragen die Belastung unseres Gegenwartsgedächtnisses wesentlich ein. Es läßt sich aus vielen Experimenten in etwa das abgebildete Diagramm bestätigen. Das darin enthaltene Ergebnis läßt sich auch in Formeln ausdrücken:

$I = 240 - W - 0{,}8 \cdot S.$

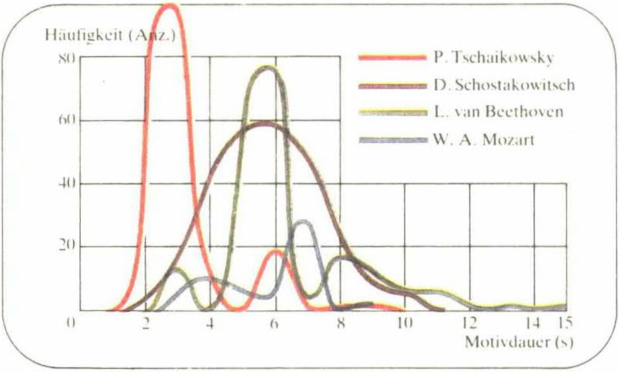
Darin bedeuten:

I = Lesbarkeitsindex,
W = Wörter je Satz,
S = Silben je 100 Wörter.

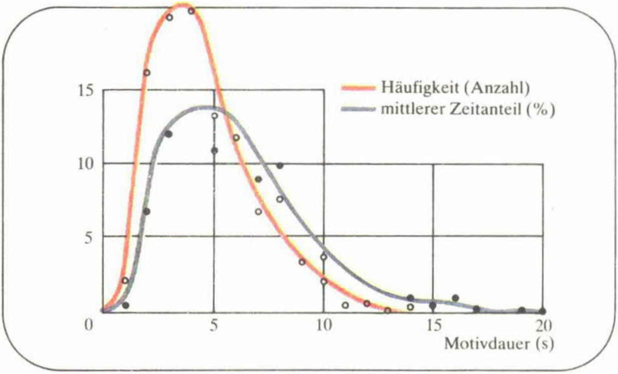
Die Grundstruktur für die Informationsaufnahme bildet folglich der Satz, der als eine Einheit aufgenommen wird. Dann geht in die Belastung unseres Gedächtnisses zunächst die Anzahl der Wörter ein. Je mehr Wörter ein Satz enthält, desto schwerer ist er lesbar. Weiter ist die mittlere Silbenzahl je Wort wichtig. Da die Entropie aber den Logarithmus enthält, steht in der obigen Formel nicht die Multiplikation, sondern die Summe beider Teile.

Nochmals Musik

Bei allen bisher durchgeführten statistischen Analysen von Werken wurde versucht, die individuellen Werte bezüglich verschiedener Autoren zu finden. Die Analyse des Gedächtnisses zeigte nun aber, daß es auch Zahlenwerte gibt, die typisch für alle Menschen sind. Ein Kennzeichen der Musik besteht gerade darin, daß sie unabhängig von ihrem Entstehungszeitpunkt gleichermaßen gut rezipierbar ist. Aus diesem Grunde versuchte ich in Zusammenarbeit mit der Musikhochschule »Hanns Eisler«, solche Werte in der Musik aller Epochen zu finden. Wir wählten dazu 69 typische Werke aus und definierten drei musikalische Größen: Themen, Motive und emotionale Flächen. In mühevoller Arbeit stoppte Manfred Nitschke die einzelnen Zeiten für diese Parameter. Für die Motive



Häufigkeit der Motivdauer bei vier klassischen Musikwerken. Tschaikowski: Sinfonie Nr. 6, 3. Satz (Allegro molto vivace); Schostakowitsch: Sinfonie Nr. 1, 1. Satz; van Beethoven: Sinfonie Nr. 3 Es-Dur, 1. Satz; Mozart: Eine kleine Nachtmusik, 2. Satz (Romanze)



Gemittelte Häufigkeit der Motivdauer in 42 Werken aus allen musikalischen Epochen. Die beiden Teilkurven entstehen dadurch, daß einmal die Anzahl der Zeiten und das andere Mal die relativen Zeitanteile der Bezug sind.

bei drei Werken zeigte sich folgender Verlauf: Jedes Werk hat seine individuelle Verteilung bezüglich der Häufigkeit der Themendauer.

Sobald wir aber den Mittelwert über alle Werke bildeten, entstand ein sehr überraschendes Bild: Nicht etwa zehn Sekunden, sondern genau die Hälfte davon bilden den betont ausgeprägten Mittelwert. Hierfür war natürlich unbedingt eine Erklärung notwendig, die im nächsten Abschnitt folgt.

Bezüglich der anderen Parameter, z. B. bei den Rhythmen, Themen und emotionalen Flächen, ergaben sich vielfältige Bezüge zu den Biorhythmen. Daraus ist zu vermuten – und zum Teil ist es inzwischen bestätigt –, daß der Ablauf der Musik ständig synchronisierend und desynchronisierend auf die Biorhythmen einwirkt. So wird das Hörerlebnis unter anderen mit Emotionen gekoppelt.

Der Rezeptionsprozeß

Stellen Sie sich vor, Sie hören erstmals, also ohne jede Erfahrung, Musik aus einem unbekannten Kulturkreis. Dies mag vielleicht indische oder afrikanische Musik sein. Zumeist können Sie mit dieser Musik so gut wie nichts anfangen. Sie verwirrt Sie. Sie finden keine Ihnen bekannten Strukturen, wie Themen, Motive oder Rhythmen. Nun machen Sie sich die Mühe und hören immer wieder mit hoher Aufmerksamkeit solche Musik. Dann tritt irgendwann der Zeitpunkt ein, wo sie Wesentliches dieser Musik erkennen und damit immer wieder erkennen können. Dies bereitet Freude, und Sie werden vielleicht sogar Interesse und Genuß daran finden. Sie sind von der ersten Phase der Verwirrung in die zweite Phase des Erkennens und Wiedererkennens eingetreten.

Bei weiterem Hören können Sie zu einem Spezialisten werden. Sie erkennen dann nicht nur Teile, sondern können auch die Qualität des einzelnen Werkes und der jeweiligen Interpretation einschätzen. Diese dritte Phase ist die maximal erreichbare und wurde insbesondere von Adorno[15] für den Musikkenner gefordert.

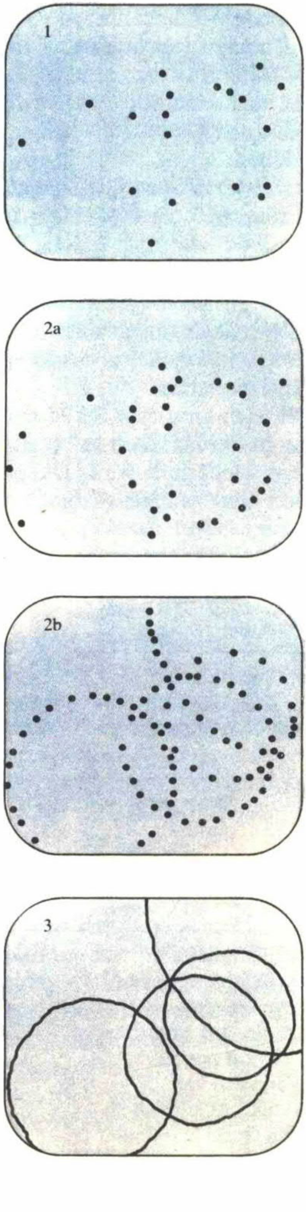
Kehren wir jedoch wieder zu der uns bekannten europäischen Musik zurück und stellen uns einen Experten der klassischen Musik vor, der sich voll auf den Zeitraum von Mozart bis Beethoven spezialisiert hat. Er kann, auch wenn er ein ihm noch unbekanntes Werk dieser Epoche hört, sofort die Themen erkennen und ihre Veränderungen verfolgen. Dazu muß er in seinem Gegenwartsgedächtnis einmal das »ideale« Thema verfügbar halten und es ständig mit den aktuellen Veränderungen im Musikablauf vergleichen.

Jetzt wissen wir, warum das Thema im Mittel nur fünf Sekunden lang sein darf. Es muß eben zweimal im Gegenwartsgedächtnis seinen Platz finden. Einmal in seiner Grundgestalt, die meist im Langzeitgedächtnis gespeichert ist und von dort ins Gegenwartsgedächtnis zurückgerufen wird, zweitens in Form des aktuellen Musikablaufs. Erst der Vergleich beider ermöglicht die Bewertung der jeweiligen Interpretation.

Außerdem läßt sich an dieser Stelle auch gut erklären, warum im Mittel in der klassischen Musik ein Thema ungefähr dreißigmal wiederholt wird. Dabei sind natürlich seine Variationen um das eigentliche Thema mitgezählt.

Phasen des Lernens

Nr.	Phase	Wirkung	Beispiel
1	Verwirrung	Informationsflut ist so groß, daß keine spürbare Rezeption erfolgt	Musik aus unbekanntem Kulturkreis
2	Wiedererkennung	Einige Strukturen sind erkannt und werden wiedererkannt Dies bereitet Genuß	Klassikgewohnter Hörer rezipiert unbekanntes Werk der Klassik
3	Strukturierung	Strukturen und Verknüpfungen sind erkannt, gespeichert Neues und Ähnliches sind gut rezipierbar Vergleich von aktuell Ablaufendem und Gespeichertem	Rezeption eines Musikkenners (analytisches Hören)


1
2a
2b
3

Wir benötigen eben dreißig Wiederholungen, wenn wir ein neues Thema vom Gegenwartsgedächtnis in das Kurzzeitgedächtnis überführen wollen. Diese Zahl folgt aus der Analyse unseres Gedächtnisses, und intuitiv wußten gute Komponisten das bereits damals, obwohl zu der Zeit noch lange nicht an die Informationstheorie zu denken war.

Weiter wird verständlich, warum die Variation um die ideale Gestalt »herumspielt«. So kann sich nämlich eine für jeden typische individuelle Idealgestalt für das Thema ausbilden, die dann vielleicht der Ausdruck seines Geschmacks und seiner Bildung ist. Zum anderen ermöglicht dies dem Kenner, immer wieder neue Details bei den Variationen zu erkennen.

Insgesamt haben wir damit eine Menge über das Rezipieren von Musik in Erfahrung gebracht. Insbesondere wird verständlich, warum hochspezialisierte Musikkenner nur einen recht engen Musikbereich erfolgreich rezipieren können. Es dürfte weiter deutlich geworden sein, warum erst von einer bestimmten Musikerfahrung an überhaupt die Qualität einer Interpretation eingeschätzt werden kann. Und nicht zuletzt gewinnen wir Verständnis dafür, warum Gegenwartsmusik oft abgelehnt wird. Der Hörer hat hierfür keine passenden Strukturen zur Rezeption bereit. Er müßte darüber hinaus relativ viel Gegenwartsmusik gehört haben, um einschätzen zu können, was gut oder weniger gut ist. Dies verlangt aber aktive Arbeit und viel Zeit zum intensiven Anhören derartiger Musik. Während dieser Zeit ist kaum Musikgenuß möglich.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß der hier behandelte Vorgang des Musikhörens universell für das meiste Lernen gilt. Gemäß der Tabelle können wir die drei behandelten Phasen als Stufen eines jeden Lernvorgangs betrachten.

Bildliche Gestaltung für die drei Lernphasen. Im Teilbild 1 ist keine Struktur zu erkennen. Es herrscht die Phase der Verwirrung. In 2a und 2b erkennt man Kreise mehr oder weniger deutlich, dies entspricht der Phase des Erkennens und Wiedererkennens. Teilbild 3 ermöglicht im Sinne der analytischen Phase nicht nur das Erkennen der Kreise, sondern auch, wie sie individuell von der idealen Kreisgestalt abweichen.

Zur Veranschaulichung diene das stark vereinfachte Bild: Im Teil 1 erkennen wir nichts. Die einzelnen Punkte scheinen völlig zufällig angeordnet. Im Teil 2 a treten wir in die zweite Phase ein. Hier wird ein Kreis erahnbar, und im Bild 2 b sind bereits zwei Kreise und zwei Kreisbögen zu erkennen. Es macht Freude, ihren Verlauf zu verfolgen. In die letzte analytische Phase führt uns Bild 3. Es zeigt die Kreise, aber auch ihre Mängel. Wir haben das ideale Kreisbild im Gegenwartsgedächtnis und können daran die einzelnen Abweichungen ermessen.

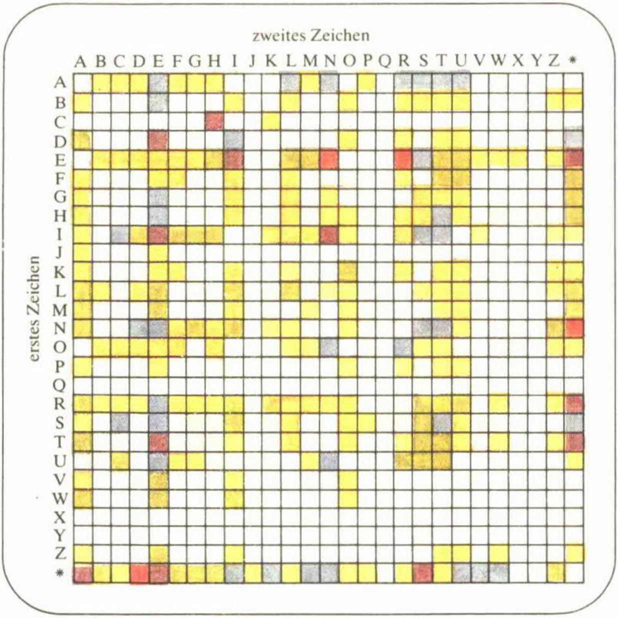
Markow-Ketten

Schauen wir uns die deutsche Sprache an, so fällt auf, daß nicht nur die einzelnen Buchstaben unterschiedlich häufig auftreten. Nach jedem Buchstaben ist es ebenfalls unterschiedlich wahrscheinlich, welcher Buchstabe folgt. Nach einem Q steht mit Gewißheit ein U, nach einem S meist ein C, E, U oder ein Trennzeichen, seltener ein I oder S, und erst dann sind A, L, O, P, U wahrscheinlich. Man spricht in solchen Fällen von bedingten Wahrscheinlichkeiten. Einen Überblick hierzu gibt die Abbildung.

Solche Abfolgen können in die Ratestrategie einbezogen werden. Hierzu läßt man den ersten Buchstaben raten und zählt die Anzahl der Versuche. Darauf wird der folgende geraten und ebenfalls die Anzahl der notwendigen Fragen registriert. Dieses von Weitner [16] eingeführte Verfahren eignet sich sogar für einen fortlaufenden Text. Ein Beispiel hierzu zeigt die Abbildung.

Es ist gut zu erkennen, daß es Stellen gibt, wo sofort die erste Frage richtig gestellt wurde. An anderen Stellen, insbesondere für das W im Wort »Entwicklung« und »wurde«, das D in »durch« und das Z in »zwei«, waren viele Versuche notwendig.

Solche Versuche können nun leicht modifiziert werden. Es werden nur zwei, drei, vier usw. aufeinanderfolgende Buchstaben geraten. Dann zeigt sich, daß die mittlere Zahl der Rateversuche für einen Buchstaben von der

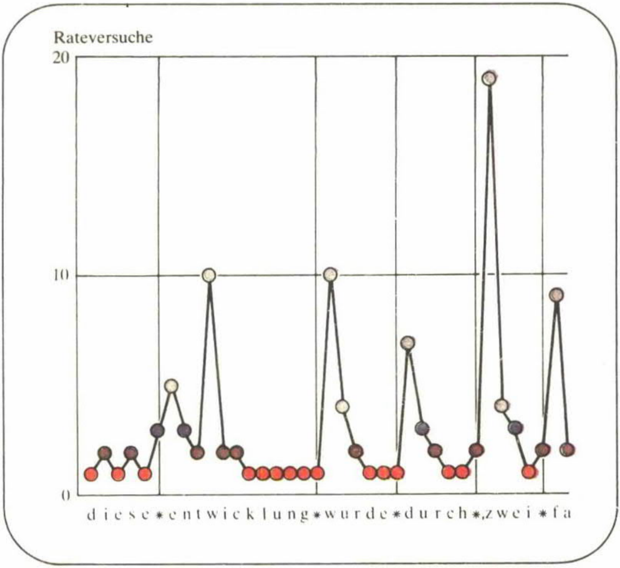


Matrix für die Aufeinanderfolge von Buchstaben in der deutschen Sprache. Nach C (senkrechte Spalte) folgt besonders oft H und manchmal K, aber selten O.

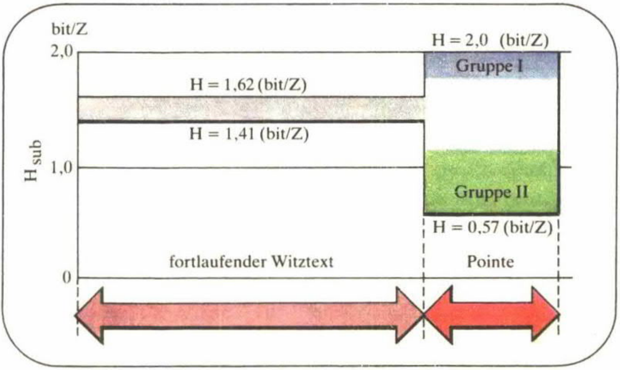
Anzahl der schon bekannten Buchstaben, also von der Kettenlänge abhängt. Je länger die Kette ist, desto weniger Rateversuche sind im Mittel je Buchstaben erforderlich. Diesen Verlauf gibt die Abbildung wieder.

Lag die berechnete Entropie für Einzelbuchstaben bei etwa 4,7 bit/Buchstabe (s. S. 26), so sinkt sie jetzt auf einen Grenzwert von rund 1,7 bit/Buchstaben ab. Dieser Grenzwert wird sogar in guter Näherung bereits bei Kettenlängen ab acht Buchstaben erreicht. Dies ist auch die mittlere Buchstabenzahl je Wort im Deutschen.

Nach diesen Untersuchungen müßte es folglich möglich sein, mittels einer speziellen Ratestrategie mit 1,7 Ja/Nein-Fragen je Buchstaben jeden Text erraten oder, technisch gesprochen, übertragen zu können. Wie man leicht



Prinzip des Ratetests nach Weitner. Es sind die konkreten Rateversuche in der Reihenfolge des Lesens dargestellt. Dabei ist immer nur der jeweils bereits gelesene Text sichtbar.

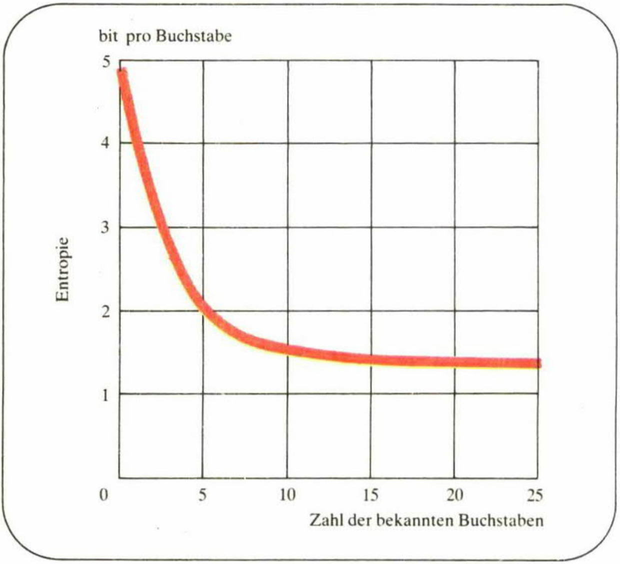


Informationsfluß beim Erzählen eines Witzes. Über längere Zeit wird eine Information von etwa 1,5 bit/Zeichen übertragen. Bei der Pointe steigt oder fällt der Wert plötzlich.

erkennt, wird die Fragestrategie (der Codebaum) aber extrem kompliziert sein. Er muß nicht nur eine Matrix gemäß den Übergängen zwischen den Buchstaben gespeichert haben, er muß darüber hinaus acht bis zehn Buchstaben ständig rückwärts verfolgen können. Aber prinzipiell ist so etwas möglich.

Man spricht dann von einem Code mit Gedächtnis bezüglich der komplexen Kettenverknüpfung zur Vergangenheit von Markow[17]-Ketten n-ter Ordnung.

Vergleicht man die starken Einschränkungen für den im Kontext zu ratenden Buchstaben, d. h., wenn man die vorangegangenen kennt, so ist das erhaltene Ergebnis auch anders beschreibbar: Aus den Kenntnissen der Vergangenheit können zusätzliche Kenntnisse für die dann



Berechnete Entropie in der deutschen Sprache auf Grund von Rateversuchen. Die Entropie je Buchstabe fällt also deutlich mit der Anzahl der bereits bekannten Buchstaben. Bei etwa acht Buchstaben wird der kleine Grenzwert um 1,5 bit erreicht. Dies ist zugleich die mittlere Buchstabenzahl der Wörter.

folgenden Buchstaben (die Zukunft) abgeleitet werden. Wir schauen also voraus, was geschehen könnte. Wie stark wir dies bei der Musik tun, merkt man deutlich, wenn man z. B. eine Melodie, die plötzlich abbricht, mühelos fortsetzt.

Eines der anschaulichsten Beispiele betrifft den Witz. Hierbei erfolgt ein Ablauf entsprechend der Abbildung. Im Laufe der Erzählung wird uns fortlaufend eine etwa gleichbleibende Informationsmenge übermittelt. Sie liegt, wie gemessen wurde, bei etwa 1,5 bit/Zeichen. Bei der Pointe tritt dann etwas Unerwartetes auf. Die Entropie steigt auf etwa 2 an. Es gibt auch seltene Fälle, wo sie steil abfällt, wenn man nämlich aus der Erzählung die Pointe unvermittelt selbst erkennt.

Freud [18] hat diesen Vorgang inhaltlich bereits in seiner Witztheorie beschrieben. Er meinte, daß beim Verfolgen des Textes eine gewisse psychologische Energie notwendig sei. Bei der Pointe ist dann plötzlich weniger notwendig. Alles zerfällt in ein Nichts, und die überschüssige psychologische Energie entlädt sich als Lachen. Er nahm auch an, daß Tragisches genau umgekehrt verstanden werden kann. Es wird zum Schluß eben viel mehr psychologische Energie verlangt als erwartet wurde, wir werden traurig.

Diese Betrachtungen lassen sich generell auf Emotionen ausdehnen. Sie entstehen durch einen komplexen Vergleich zwischen zwei Fakten, Abläufen usw. Im Theater identifizieren wir uns z. B. mit einer handelnden Person und vergleichen dabei, wie wir in ähnlichen Situationen handeln würden. Dabei erleben wir je nach der Richtung der Abweichung positive oder negative Emotionen.

Wenn wir ein bestimmtes Ziel erreichen wollen, vergleichen wir verschiedene Wege, die dahin führen. Sobald wir einen besonders günstigen finden, erleben wir dies als Freude.

Möglichkeiten auf Kleinstrechnern

In diesem Abschnitt soll an einigen wenigen Beispielen gezeigt werden, wie auch mit sehr kleinen Rechnern bereits eine beachtliche künstlerische Selbstbetätigung möglich ist. Die Beispiele wurden im Sinne einer Demonstration und möglichst einfacher Programme ausgewählt. Sie sind auf dem KC 85/2 mit BASIC-Modul bzw. auf dem KC 85/3 erprobt.

Generierung einfacher Textgrafiken

Mittels des Druckrasters besteht die Möglichkeit, die einzelnen Positionen mit Buchstaben/Zeichen zu belegen oder auch leer zu lassen. Selbst auf einem Bildschirm mit nur $30 \cdot 40$ Zeichen ergeben sich hier beachtliche Möglichkeiten. Ein besonders einfaches Beispiel zeigt das mittels des Programms TEST erzeugte Bild.

Es tendiert in eine Richtung, wie sie gar nicht so selten bei Werbung angewendet wird. Beachten Sie die Möglichkeit, den Text horizontal und vertikal zu lesen.

Die erwähnte Möglichkeit läßt sich relativ weit treiben. Mit einem umfangreicheren Programm hat Ruth Völz[19] eine Vielzahl von Bildern gestalten können. Hier als Beispiel nur das Bild »Musik wird störend oft empfunden«.

In diesen Bildern existiert eine gestaffelte Information. Einmal drückt das unmittelbar sichtbare Bild einen Inhalt aus, der sonst gar zu oft bei Computerbildern fehlt. Dieser Inhalt wird noch durch die gewählte Textkette ergänzt, zum Teil modifiziert. Schließlich werden aus dieser Textkette infolge des Bildaufbaus Teiltexte ausgeblen-

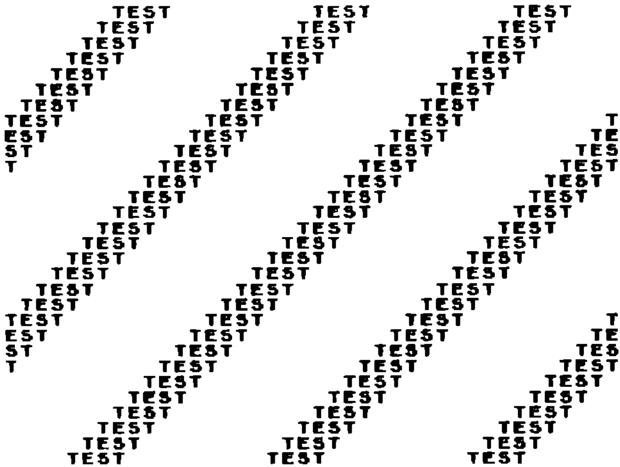
MUSIK&WIRD&STOEREND&MEIST&EMPFUNDEN&

Textgrafik von Ruth Völz zur Demonstration von »Musik wird störend oft empfunden«. Beachten Sie, wie diese Textkette das Bild aufbaut und was für interessante Wort- und Textverstümmelungen dabei auftreten.

det. Dies macht ein genaueres Hinsehen oft lohnenswert. Viele Betrachter erfreuten sich bei derartigen Bildern aber auch nur an der Ähnlichkeit mit auf Stoff gestickten Bildern.

Eine andere Variante besteht beim Druck darin, in einer Zeile mehrfach übereinander drucken zu können. Durch geschickte Buchstabenkombinationen lassen sich so auch Grauwerte realisieren. Solche Grafiken wurden bei komplexer Technik des öfteren in Großrechenzentren mittels automatischer Abrasterung von Vorlagen hergestellt. Sie stellen dann allerdings nichts Neues gegenüber der üblichen Druckrasterung dar.

```
10 WINDOW 0,31,0,39: CLS
20 FOR X=1 TO 98
30  PRINT SPC(9);"TEST";
40 NEXT
```



BASIC-Programm und Bildschirmausdruck, bei dem man wiederholt das Wort »TEST« horizontal und vertikal lesen kann.

Die nebenstehende Abbildung wurde von Michael Steinert mit einem BASIC-Programm erzeugt, wobei eine durch Zufallszahlen gesteuerte Koordinatentransformation verwendet wurde.

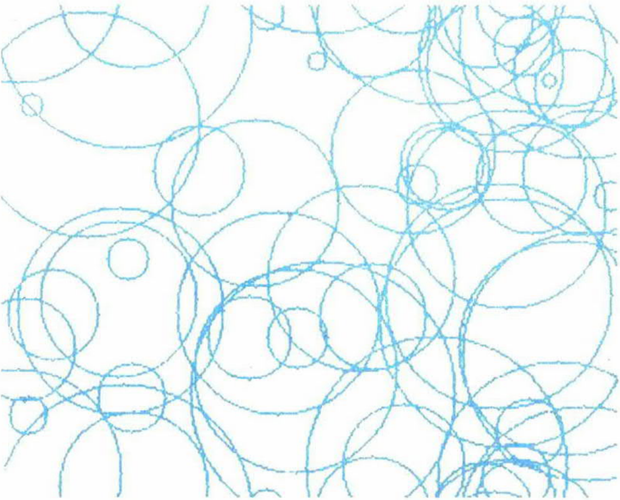

TEST

Anwendung von Linien und Kreisen

Als Grundroutinen vieler Rechner existieren direkt aufrufbare Subroutinen für Kreise und Linien. Eine wiederum sehr einfache Anwendung stellt das Programm KREISE dar.

Dabei werden in zwei FOR-NEXT-Schleifen je zwei Kreise gestaltet. Eine Entartung der Grundroutine wird bewußt genutzt, nämlich so, daß sie für große Argumente auch teilweise Geraden erzeugt.

```
10 WINDOW 0,31,0,39: CLS: !## KREISE ##
20 FOR X=20 TO 300 STEP 30
30   FOR Y=3 TO 20 STEP 7
40    CIRCLE 310-X, 195-Y, X, 7
50    CIRCLE  15+Y,  20+X, X, 6
60   NEXT
70 NEXT
```



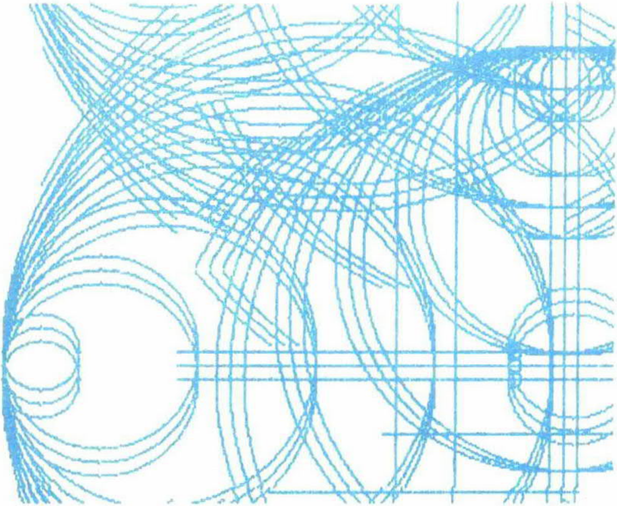
BASIC-Programm KREISE und Bildschirmausdruck. Das Programm ist speziell auf den KC 85/2 bzw. 3 bezogen und zeigt, mit wie einfachen Mitteln bereits Computergrafiken zu gewinnen sind.
Wenn die Zahlenwerte in den Zeilen 20 bis 50 verändert werden, entsteht auch ein modifiziertes Bild. So einfach gestaltet sich hier ein Experimentieren.

Bei vielen ästhetisch anmutenden Gebilden spielt der Zufall eine wichtige Rolle. Er wird daher nicht selten bewußt eingesetzt, um eine freie Variation zwischen einzelnen Bildern zu erhalten. Den Ausdruck eines Bildes von den vielen Möglichkeiten des Programms Zufallskreise sehen Sie im Bild.

Etwas anspruchsvoller ist es schon, Linien in komplexer hierarchischer Weise zu verschachteln. Dies leistet das Programm N-ECK.

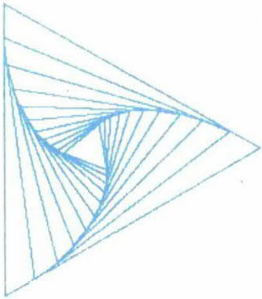
Hierbei ist es möglich, zunächst die Anzahl der Ecken

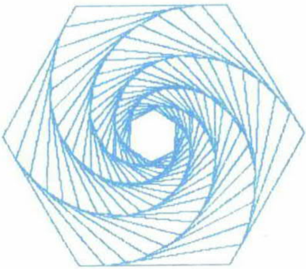
```
10 WINDOW 0,31,0,39: CLS: PRINT TAB(10);"## Zufallskreise ##": PRINT
20 INPUT"min.: max. Radius";RM,RA: RA=RA-RM
30 INPUT"Anzahl";N: CLS
40 FOR I=1 TO N
50  X=320*RND(1): Y=255*RND(1): R=RM+RA*RND(1)
60  CIRCLE X, Y, R, 7
70 NEXT
```



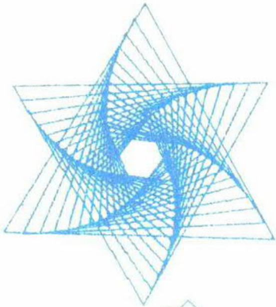
Zufall und Gesetz wirken in diesem BASIC-Programm zusammen, um ein Bild zu erzeugen.
In Zeile 20 werden der größte und kleinste Radius eingegeben. Die Anzahl N der Kreise bestimmt, wie voll das Bild wird.
In Zeile 50 wird die Zufallsfunktion RND(1) verwendet.

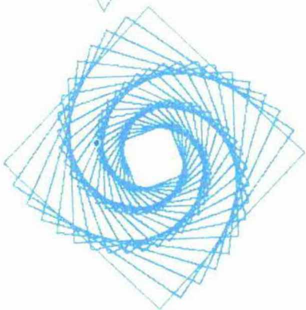
```
10 WINDOW0,31,0,39: CLS: PRINT TAB(10);"## N-ECK ##": PRINT
20 INPUT"Ecken-Anzahl=";N: Q=2*PI/N: IF N<3 OR N>12 GOTO 20
30 DIM P(5), X(N), Y(N): P(0)=N
40 INPUT"Startlaenge =";P(1)
50 INPUT"Endlaenge   =";P(2): IF P(2)>=P(1) GOTO 50
60 INPUT"Drehwinkel  =";P(3): D=P(3)*PI/180: IF D>Q/2 GOTO 60
70 S=SIN(D): C=COS(D): A=COS(Q): B=SIN(Q)
80 P(4)=B/(C*B+S-A*S): X(1)=A: Y(1)=B
90 PRINT"Idealer Wert="P(4): INPUT"aendern 0/1 =";R: P(5)=P(4)
100 IF R=1 THEN INPUT"gewuenschter=";P(5)
110 !-------- Eingabe beendet --------------------
120 CLS: FOR I=1 TO N-1: A=I*Q: X(I)=COS(A): Y(I)=SIN(A): NEXT
130 X(0)=1: Y(0)=0: X(N)=1: Y(N)=0: R=P(1)
140 !----------- Rechnen -------------------------
150 X1=R*X(0)+160: Y1=R*Y(0)+130: !Startwert
160 FOR I=1 TO N: X2=R*X(I)+160: Y2=R*Y(I)+130
170  LINE X1,Y1,X2,Y2,7: X1=X2: Y1=Y2
180 NEXT
190 FOR I=0 TO N: A=X(I)*C-Y(I)*S: Y(I)=Y(I)*C+X(I)*S: X(I)=A
200 NEXT: R=R*P(5): IF R<P(2) GOTO 150: !neues n-Eck
210 !---------- Anzeigen -------------------------
220 LOCATE 30,0: FOR I=1 TO 5: PRINT P(I),: NEXT: LOCATE 0,1
```





Das BASIC-Programm N-ECK zeichnet sich durch hohe Variabilität aus.





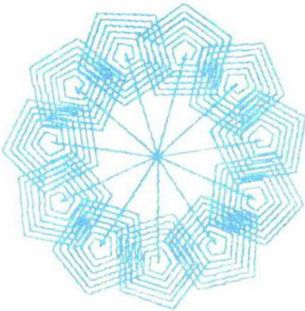
Wird der „ideale" Wert weiter verwendet, so entstehen beispielsweise das Dreieck und Sechseck auf der linken Seite.
Durch willkürliche Änderung lassen sich Effekte erzielen, wie sie der aus einem Dreieck entstandene sechsstrahlige Stern und das Viereck zeigen.

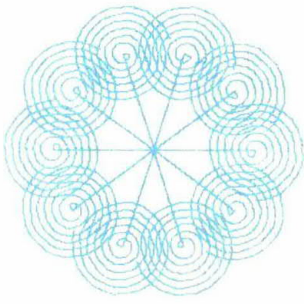
eines Vielecks frei zu wählen. Dann läßt sich eine Verschachtelung der regelmäßg kleiner werdenden Kantenlängen und die wählbare Drehung zur Bildgestaltung ausnutzen. Die vier Beispielbilder zeigen dies deutlich. Vielleicht beachten Sie, daß der Stern aus der Überlagerung eines Dreiecks entsteht.

Eine andere Verschachtelung zeigen die beiden Bilder von dem Programm DOLDE.

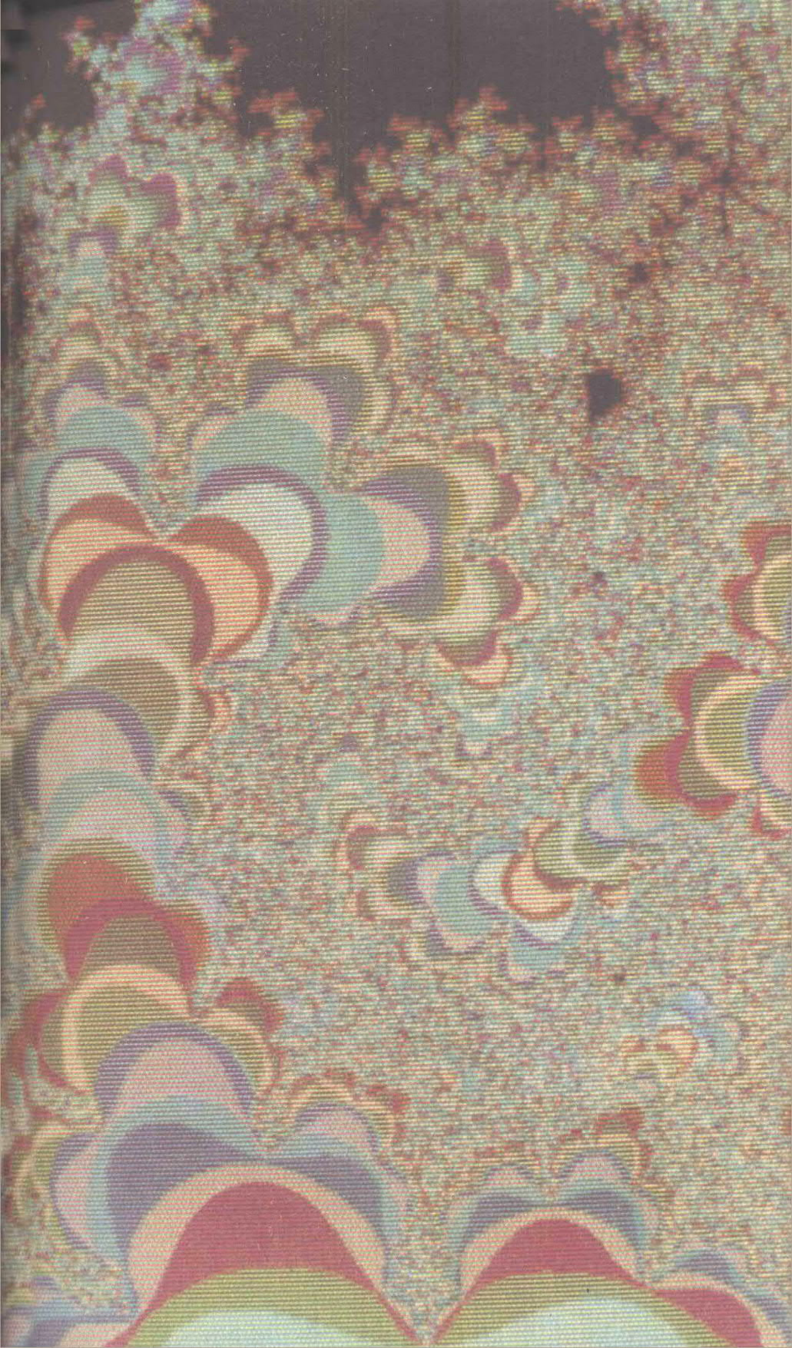
Jetzt ist für Sie gewiß verständlich, wie ein ähnliches Bild zu realisieren ist, das dem von Nake auf Seite 9 ähnelt. Sie erkennen weiter, daß im Prinzip die Möglichkeiten für interessante Gebilde vor allem durch die Phantasie des Programmierers begrenzt werden. Sie ist meist weitaus wichtiger als die Leistungsfähigkeit des Rechners.

```
10 WINDOW 0,31,0,39: CLS: PRINT TAB(10);"## DOLDE ##": PRINT
20 !------------- Parameter -----------------
30 R1=5: R2=40: R=80: XM=190: YM=125: S=2*PI
40 !------------- Eingaben ------------------
50 INPUT"Dolden  =";N: Q=S/N
60 INPUT"Ecken   =";E: T=S/E
70 INPUT"Linien  =";L: F=(R2-R1)/L: CLS
80 !-------- Zeichnen der Stengel -----------
90 FOR I=0 TO N-1: P=I*Q
100  XR=R*COS(P)+XM: YR=R*SIN(P)+YM
110  LINE XM, YM, XR, YR, 4: XA=XR: YA=YR
120 !-------- Zeichnen der Dolden -----------
130   FOR J=1 TO L
140    K=J-INT(J/E)*E: K=K*T-P: V=R1+F*J
150    XN=XR-V*SIN(K): YN=YR-V*COS(K)
160    LINE XA, YA, XN, YN, 2: XA=XN: YA=YN
170   NEXT
180 NEXT
190 PRINT"n =";N: PRINT"e =";E: PRINT"l =";L
```





Das BASIC-Programm DOLDE erzeugt Bilder von hierarchischer Struktur. Es können die Anzahl der Stengel und die Eckenzahl der Blüten gewählt werden.

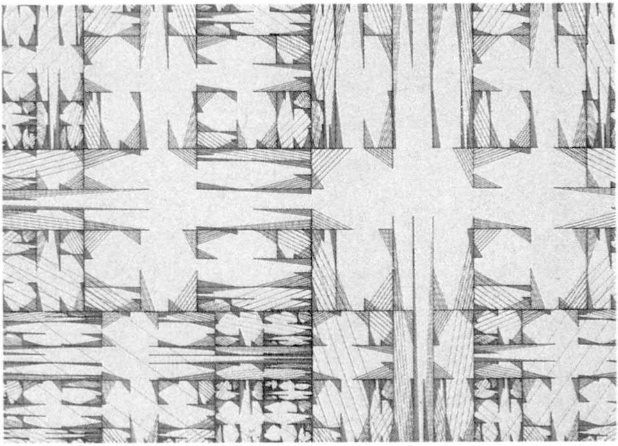


Quasiperiodische Strukturen

Bei vielen Computergrafiken wird die variierte Wiederholung einer definierten Struktur verwendet. Diese Methode hat unter anderem beachtlichen Nutzen in der angewandten Computergrafik. Ein Beispiel zeigt das Bild, das an der Hochschule für Industrielle Formgestaltung, Halle, allerdings auf einem wesentlich größeren Rechner, erzeugt wurde. In dieser Richtung liegt derzeit ein Schwerpunkt bei vielen Versuchen grafischer Gestaltung. Die meisten erfolgreichen Anwendungen liegen auf den Gebieten der angewandten Grafik, Werbung und Formgestaltung.

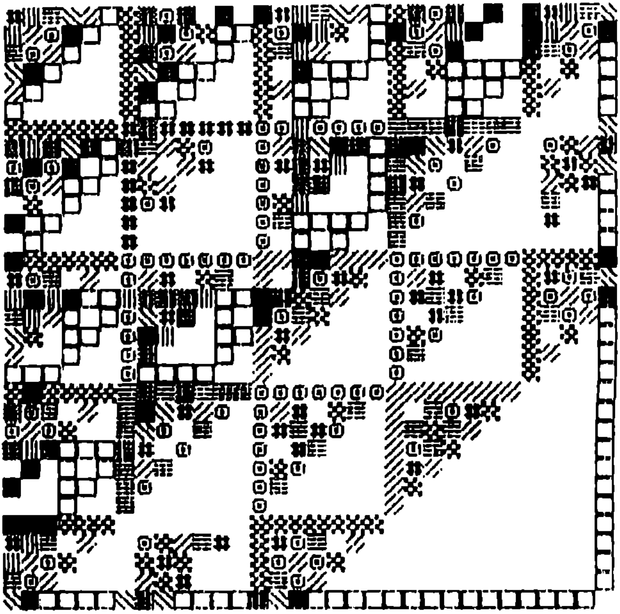
Vielfach werden auch mathematische Gesetzmäßigkeiten in den Programmen genutzt. Hier ist ein Beispiel ausgewählt, das mit Hilfe des Pascal[20]schen Dreiecks erzeugt wird.

Normalerweise befindet sich seine Spitze oben. Damit ein Rechteck entstehen kann, wird es um 45 Grad gedreht, und zusätzlich wird eine Modulo-Arithmetik ver-



Bildgenerierung mit einem Großrechner durch ein flexibles Programmsystem der Hochschule für Industrielle Formgestaltung, Halle, Burg Giebichenstein.

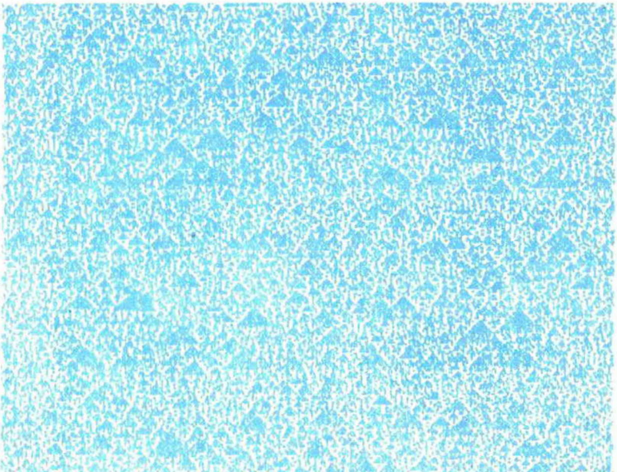
```
10 WINDOW 0,31,0,39: CLS: PRINT TAB(10)"## PASCAL2 ##": PRINT
20 INPUT"M= ";M: DIM A(32),B(32),C(11): F=14242: CLS
30 '------- Umschalten Zeichenausgabe ---------
40 VPOKE F,VPEEK(F) OR 8: FOR I=0 TO 11: READ C(I): NEXT
50 FOR I=0 TO 32: A(I)=1: NEXT: B(0)=1
60 '-------- Rechnung, Anzeige -------
70 FOR Z=1 TO 32: FOR I=1 TO 32
80 B(I)=B(I-1)+A(I): IF B(I)>=M THEN B(I)=B(I)-M
90 X=B(I)-12*INT(B(I)/12): PRINT AT(Z,I+6);CHR$(C(X)): A(I)=B(I)
100 NEXT: NEXT: VPOKE F,VPEEK(F) AND 247
110 PRINT "PASCAL": PRINT"MODULO": PRINT M
120 DATA 32,91,35,5,6,21,23,127,27,14,20,4
```



BASIC-Programm PASCAL2 für eine grafische Gestaltung mittels des Pascalschen Dreiecks beim Modulo-Wert 14. Die einzelnen Modulo-Ergebnisse werden über grafische Symbole dargestellt.

wendet. Sie rechnet wie folgt: Bei Modulo 5 existieren z. B. nur die Zahlen 0 bis 4. Entstehen größere Zahlen, so werden genau so viele Fünfen abgezogen, bis wieder eine Zahl von 0 bis 4 entsteht. Einfacher ist es aber, dieses Prinzip ähnlich wie bei der Textgrafik zu gestalten. Statt

```
10 WINDOW 0,31,0,39: CLS: DIM A(319), B(319):!## PASCALZ ##
20 !-------- Zufallsbelegung -----------
30 FOR I=0 TO 319: A(I)=INT(RND(1)+.5): NEXT
40 !----------- Ablauf -----------------
50 FOR J=0 TO 255
60   FOR I=0 TO 319
70    IF A(I)=0 THEN PSET I,J,7
80   NEXT
90 !---------- Rechnung ----------------
100  B(0)=A(319)+A(1): B(319)=A(0)+A(318)
110  FOR I=1 TO 318: B(I)=A(I-1)+A(I+1): NEXT
120 !--------- Uebernahme --------------
130  FOR I=0 TO 319: A(I)=B(I): IF A(I)=2 THEN A(I)=0
140  NEXT
150 NEXT
```



Wenn die Unterkante des Pascal-Dreiecks mit Zufallszahlen belegt wird und dann die bekannten Additionen erfolgen, entsteht mittels des BASIC-Programms PASCALZ dieses Bild.

der Farben werden dazu nur spezielle Grafikzeichen verwendet. Dies zeigt beispielhaft das Bild zum Programm PASCAL2.

In den üblichen Programmen mit dem Pascalschen Dreieck ist die Ausgangszeile eindeutig belegt. Dies muß aber nicht immer der Fall sein. Es besteht auch die Möglichkeit, hier mit dem Zufall Zahlen abzulegen. Dann ergibt sich eine erheblich abweichende Situation nicht nur für den Start. Es entsteht ein Bild, das Zufall und Gesetzmäßigkeit vereint.

Mit dem Programm PASCALZ wurde dies für die hohe Pixelauflösung von 255 mal 255 des KC 85/3 realisiert. Die Pixel der unteren Zeile wurden dazu zufällig mit 0 oder 1 belegt. Dann wurde der schon oben beschriebene Algorithmus mit der Addition benachbarter Zahlen der vorangehenden Zeile angewendet. Im Programm wurde dazu das Pascalsche Dreieck allerdings noch einmal zusätzlich gedreht. Insgesamt entstehen dann dreieckförmige Teilstrukturen unterschiedlicher Größe und mehr oder weniger stochastischer Anordnung.

Modulo-Arithmetik am Pascalschen Dreieck

Übliches Pascalsches Dreieck

					1					
				1		1				
			1		2		1			
		1		3		3		1		
	1		4		6		4		1	
1		5		10		10		5		1

um 45 Grad gedreht

1	1	1	1	1	1
1	2	3	4	5	
1	3	6	10		
1	4	10			
1	5				
1					

und modulo 5

1	1	1	1	1	1
1	2	3	4	0	
1	3	1	0		
1	4	0			
1	0				
1					

Anwendung stochastischer Systeme

Vom Wetter wissen wir, daß die Meteorologen große Probleme bei längerfristigeren Vorhersagen haben. Ähnliches gilt auch für spezielle mathematische Funktionen. Sie verhalten sich sogar bei extrem dicht benachbarten Punkten oft sehr unterschiedlich. Kleinste Änderungen der Eingangsparameter haben oft nicht mehr absehbare Folgen. Diese Funktionen, zu denen z. B. die Julia-Mengen gehören, haben für die Computergrafik beachtliche Bedeutung gewonnen, gestatten sie doch, interessante farbige Bilder zu realisieren. Zwei Beispiele dafür finden Sie auf den Seiten 117 und 118. Diese Computergrafiken wurden von G. Jansen und F. Kriegel[21] auf einem Großrechner generiert. Ihr Nachteil ist jedoch der sehr große Rechenaufwand, genauer, die unwahrscheinlich lange Rechenzeit. Ist doch für jeden darzustellenden Punkt das iterative Verhalten der ausgewählten Funktion zu bestimmen. Dazu müssen je Bildpunkt oft Hunderte, ja Tausende von Zyklen durchlaufen werden. Deshalb gelingt ein effektiver Umgang nur mit Großrechnern. Dennoch wurden hier Versuche mit dem KC 85/3 und sogar in BASIC unternommen. Verwendet wurde die besonders einfache Funktion, die zum sogenannten Apfelmännchen führt. Für die Parameter X und Y wird mit den Koordinaten A und B begonnen. Beide Werte werden in jedem Zyklus neu berechnet, und zwar gemäß:

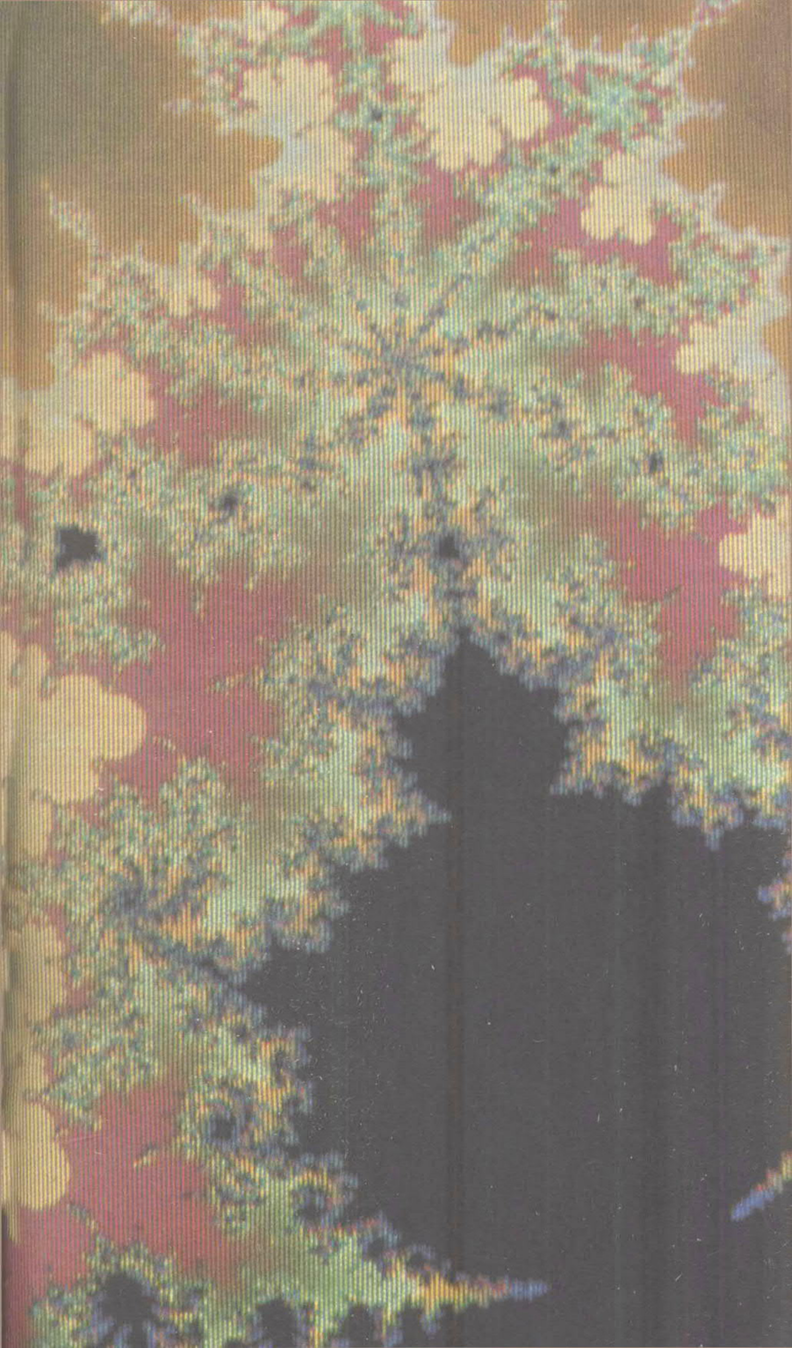
$$A = A \cdot A - B \cdot B - X \text{ und } B = 2 \cdot A \cdot B - Y$$

Als Beispielprogramm kann APFEL gelten. Das Grundbild gilt für den Bereich

$$-1 < X < 2.8 \text{ und } -1.5 < Y < 1.5$$

und liefert das charakteristische „Apfelmännchen“, das in Variationen auch in vielen Ausschnittsvergrößerungen wiederkehrt. Beispiele dafür geben das Bild auf dem Einband und die Bildseiten 32 und 77.

Einigen Freaks ist es geradezu zur Leidenschaft geworden, immer wieder neue Strukturen in dieser Funktion zu entdecken. Dies ist vor allem wegen der großen Rechenzeit von Stunden bis zu Tagen jedoch mühselig. Andererseits ist es dem Kenner möglich, aus jedem Bild Ähnlichkeiten herauszulesen. Es gelingt ihm dann zu sagen, zu



```
10 WINDOW 0,31,0,39: CLS: PRINT TAB(10)"## APFEL ##": PRINT
20 A=0: B=A: M=A: Y=A: N=A: G=100: H=A
30 INPUT"Zyklen =";Z
40 INPUT"X1, X2 =";X1, X2: XD=(X2-X1)/320: X=X1-XD
50 INPUT"Y1, Y2 =";Y1, Y2: YD=(Y2-Y1)/256: CLS
60 FOR I=0 TO 319: Y=Y1-YD: X=X+XD
70   FOR J=0 TO 255: Y=Y+YD: A=.5: B=0: H=.5
80     FOR N=1 TO Z
90      M=A*A-B*B-X: B=A*B: B=B+B-Y: A=M
100      IF ABS(A)+ABS(B) > G THEN H=N/2: N=Z
110     NEXT: IF H>INT(H) THEN PSET I,J,7
120 NEXT: NEXT
130 INPUT"";A
```

Einfaches BASIC-Programm zur Erzeugung des »Apfelmännchens« und von Ausschnitten daraus

welcher Iterationsfunktion das jeweilige Bild gehört. Es besteht die Möglichkeit, auch andere Iterationsformeln zu verwenden. Dadurch entstehen völlig andere Strukturen. Das Apfelmännchen ist beispielsweise durch Spiralstrukturen (S. 2) und eigenartige Säulenstrukturen (S. 71) gekennzeichnet. Einen kleinen Eindruck der Formenvielfalt bei anderen Koordinatenwerten und Vergrößerungsmaßstäben vermitteln die Bildseiten.

Wenn man sich bemüht, die entstehenden »Säulenbilder« räumlich zu sehen, scheinen eigenwillige Welten dargestellt zu sein, die nicht wenig an die bizarr-verkehrten Geometrien von Escher[22] erinnern.

Erzeugung von Texten

Schon in Swifts[23] »Gullivers Reisen« existiert eine Stelle, die beschreibt, wie mit komplizierten Gerüsten Texte beliebiger Art maschinell erzeugt werden. Dies sollte doch erst recht mit der heutigen Technik möglich sein! Mit zu den ersten Versuchen auf der Basis der Informationstheorie zählt die Texterzeugung von Küpfmüller[24] (S. 79), die er 1950 erwürfelte.

In der ersten Zeile werden alle Buchstaben der Reihe nach mit gleicher Wahrscheinlichkeit ausgewählt. In der nächsten Zeile werden dann die Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt, wie sie in der deutschen Sprache auftre-

Texterzeugung auf der Basis der Informationstheorie (nach Küpfmüller)

Nullgruppen
ITVWDGAKNAJTSQOSRMOIAQVFWTKHXD
Einsergruppen
EME GKNEET ERS TITBL VTZENFNDGBGD EAI E LASZ BETEATR IASMIRCH EGEOM
Zweiergruppen
AUSZ KEINU WONDINGLIN DUFRN ISAR STEISBERER ITEHM ANORER
Dreiergruppen
PLANZEUNDGES PHIN INE UNDEN ÜBBEICHT GES AUF ES SO UNG GAN DICH WANDERSO
Vierergruppen
ICH FOLGEMÄSZIG BIS STEHEN DISPONIN SEELE NAMEN

In der obersten Zeile sind alle Zeichen gleichwahrscheinlich vorhanden. In der zweiten Zeile ist beim Würfeln die Häufigkeit der Buchstaben in der deutschen Sprache berücksichtigt. Von da ab wird auch immer erfaßt, welche Buchstaben auf vorangegangene folgen. In der letzten Zeile entsteht so ein schon deutschklingender Text, der beinahe Sinn ergäbe.

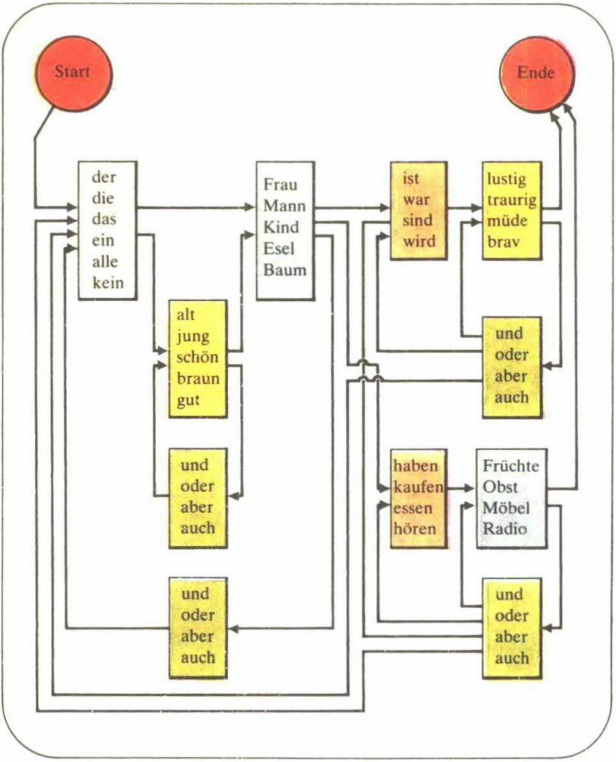
ten. Die dritte Zeile erfaßt dann die Häufigkeiten, mit denen Buchstaben auf schon ausgewählte folgen. In diesem Sinne wird in der Folge immer mehr die Vergangenheit berücksichtigt, und zum Schluß entsteht ein Text, der durchaus deutsch klingt und beinahe einen Sinn hat. Da kann doch wirklich die Hoffnung entstehen, daß bei Einbeziehung weiterer Daten durchaus vernünftige, ja vielleicht sogar neuartige nützliche oder künstlerische Texte entstehen könnten. Diese Hoffnung ist leider unberechtigt. Dies zu beweisen ist jedoch schwierig. Ich möchte hier, leicht variiert, ein Beispiel von Weizenbaum[25], das er allerdings in einem anderen Kontext gebraucht, verwenden.

Ein Spieler gewinnt in einer Spielbank den Hauptgewinn. Nun kommt er auf die Idee, daß es hierfür determinierte Ursachen gegeben haben muß. Er rekonstruiert die Bedingungen, die beim Gewinnen existierten: Da stand eine hübsche Blondine hinter ihm. Also erster Versuch an der Spielbank mit Blondine. Er schlägt fehl. Damals hatte er einen bunten Schlips um. Also mit Blondine und buntem Schlips erneut zur Spielbank. Auch dieser Versuch schlägt fehl. Damals hatte er zwei Kognak getrunken. Also Blondine, bunter Schlips, zwei Kognak getrunken und auf zur Spielbank. Wieder Fehlschlag.

Die Versuchsreihe läßt sich beliebig fortsetzen, sie mutet methodisch sogar wissenschaftlich an. Also müßte sie doch auch zum Ziele führen. Vielleicht ergibt sich bei einer hinreichend langen Versuchsserie sogar erneut der Hauptgewinn. Aber ist damit bewiesen, daß jetzt die Bedingungen für den Hauptgewinn gefunden wurden? Der nächste Versuch, den er wieder nach dieser Methode unternimmt, wird es zeigen!

Ganz ähnlich müssen wir uns auch das zufällige Erzeugen von Texten, die zu einem Erfolg führen sollen, vorstellen. Aber wir besitzen ja auch bessere Mittel. Sie bestehen darin, daß wir Zufall und Gesetz verknüpfen können, ähnlich wie es bereits im vorigen Abschnitt bei den Bildern geschah. Schauen wir uns hierzu einen einfachen Graphen für Texte an.

Er besitzt einen Start- und Endpunkt. Vom Start gelangt man zu einem Kästchen mit Artikeln. Hier wird einer ausgewürfelt. Dieses Kästchen hat zwei Ausgänge. Einer von beiden wird per Zufall gewählt. Dadurch gelangt man zu einem weiteren Kästchen, z. B. mit Adjektiven. Dort wird wieder eines erwürfelt und erneut mit Zufall bei einem der beiden Ausgänge fortgesetzt. So kann man sich durch den Graphen bis zum Ende bewegen und erhält einen Text. Damit er grammatikalisch richtig ist, muß in einem solchen Programm auch eine kleine Grammatik implementiert werden. Mit dem Programm kann dann besonders wirkungsvoll gearbeitet werden, wenn z. B. unter einem bestimmten Gesichtspunkt – vielleicht Weihnachten – Verben, Adjektive und Substantive eingegeben wurden. Die anderen Textteile können im Programm fest implementiert sein. Die Erfahrung zeigt, daß es recht schwierig ist, die Wahrscheinlichkeiten für die Wahl zwischen den verschiedenen Ausgängen festzulegen. Aber ansonsten laufen solche Programme recht gut



Syntaxgraph für eine Texterzeugung mit Gesetz und Zufall. Im ersten Kasten nach Start wird ein Artikel erwürfelt. Von den beiden Ausgängen wird wieder einer durch Würfeln ausgewählt. So entsteht bei ständiger Wiederholung dieses Prinzips ein Text, bis das Ende erreicht ist. Werden in die Kästchen inhaltsspezifische Wörter, z. B. für Weihnachten, Lyrik usw., eingetragen, können mit den Texten bestimmte Stimmungen erzielt werden. Auf diese Weise lassen sich unter anderem Gedichte in freier Prosa erzeugen.

und machen durchaus Freude. Hierzu noch ein paar Beispiele von unterschiedlichen Programmen und Autoren: Bei meinen Versuchen hatte ich einmal besondere Freude an einem zufällig entstandenen Einzeiler:

Das rote Grün leuchtet blau.

Beispielgedichte, die nach einem Syntaxgraph-Schema erzeugt wurden.

Der Schnee ist kalt
und jeder Friede ist tief
und kein Christbaum ist leise
oder jede Kerze ist weiß
oder ein Friede ist kalt
oder nicht jede Kerze ist rein
und ein Engel ist rein
und jeder Friede ist still
oder jeder Friede ist weiß
oder das Kind ist still
ein Engel ist überall

Autopoem Nr. 303
Wenn die Dunkelheit spielt, erstarrt ein
Abend
Gold und Schönheit strahlen manchmal
Ich tanze und sinne
Oft berührt mich das Gras
Die Glocke wächst rauh und golden
Pfade und Boten sind drunten stürmisch
Wer küßt eine Pflanze? –
Der Poet

träume und fische
sind schlank und zärtlich
blau erscheint das traumhafte reh
ein magischer klang spielt
und morgen regnet die stille

Wenn man um das Entstehen weiß, freut man sich über den Blödsinn. Doch was ist, wenn ein Dichter denselben Text in einem bestimmten Kontext metaphorisch verwendet? Dann kann es eine sehr tiefe Aussage sein. Auf dieses Problem ist noch einzugehen, wenn wir uns mit dem Inhalt der Information beschäftigen.

Es gibt in der Literatur Texte, die bereits von ihrer inneren Gesetzmäßigkeit her den Eigenschaften eines Rechners so gemäß sind, daß eine Rechnergestaltung mehr als naheliegend ist. Wie ist es denn mit dem Text von Carl Reinhardt[26]:

```
10 WINDOW 0,15,0,39: CLS: PRINT TAB(12);"## MOPS ##": B$="Fehler !"
20 PRINT TAB(4);"frei nach Carl Reinhardt 1850"
30 PRINT: DIM A(8),B(8),C$(8),D$(2),E$(2),F$(2)
40 D$(0)="DER": D$(1)="DAS": D$(2)="DIE"
50 E$(0)="DEM": E$(1)="DEM": E$(2)="DER"
60 F$(0)="DEN": F$(1)="DAS": F$(2)="DIE"
70 FOR I=0 TO 8
80 INPUT"Wort mit Artikel";A$
90 IF MID$(A$,4,1)<>" " THEN PRINTB$: GOTO80
100 IF LEFT$(A$,3)="DER" THEN A(I)=0: GOTO140
110 IF LEFT$(A$,3)="DAS" THEN A(I)=1: GOTO140
120 IF LEFT$(A$,3)="DIE" THEN A(I)=2: GOTO140
130 PRINT B$: GOTO80
140 C$(I)=MID$(A$,4)
150 NEXT: WINDOW 2,31,0,39: CLS
160 WINDOW 12,31,0,39: CLS
170 FORI=0 TO 8
180 X=INT(8*RND(1)+.5)
190 C=0: IF I=0 THEN B(I)=X: NEXT
200 FOR J=0 TO I-1
210 IF B(J)=X THEN C=1: J=I
220 NEXT: IF C=1 GOTO180
230 B(I)=X
240 NEXT
250 PRINT"WENN ";D$(A(B(0)));C$(B(0));" MIT ";E$(A(B(1)));C$(B(1
260 PRINT"  UEBER ";F$(A(B(2)));C$(B(2));" SPRINGT"
270 PRINT"UND ";D$(A(B(3)));C$(B(3));" IN ";E$(A(B(4)));C$(B(4
280 PRINT"  ";F$(A(B(5)));C$(B(5));" VERSCHLINGT"
290 PRINT"DANN ";D$(A(B(6)));C$(B(6));" AUS ";E$(A(B(7)));C$(B(7))
300 PRINT"  ALS";C$(B(8));" ERKLINGT"
310 INPUT"";A:GOTO160
```

BASIC-Programm MOPS, das nach Eingabe von neun Substantiven mit Artikeln lustig-witzige Zeilen erzeugt. Das Programm ist eine Adaption an Reinhardts »Wenn der Mops mit der Wurst ...«

Wenn der Mops mit der Wurst über den Spucknapf springt
und der Storch in der Luft den Frosch verschlingt ...

Hier folgt dann eine Vielzahl von Variationen, wobei im wesentlichen die Wörter Mops, Wurst, Spucknapf, Storch, Luft, Frosch permutiert werden. Dies zwingt doch geradezu zu Rechneranwendungen. Genau in diesem Sinne habe ich das Programm MOPS geschrieben, dabei aber eine dritte Zeile hinzugefügt, so daß zunächst neun Wörter einzugeben sind, die dann permutiert ausgewählt und eingesetzt werden. Da gemäß 9! genau 362 880 Variationen möglich sind, ist es nicht günstig, sie systematisch vom Rechner durchlaufen zu lassen. Besser ist, sie werden zufällig erzeugt. Dadurch entsteht ein zusätzlicher Überraschungseffekt.

```
## MOPS ##
   frei nach Carl Reinhardt 1850

WENN DER GOTT MIT DER UNSCHULD
  UEBER DAS ELEND SPRINGT
UND DIE HOELLE IN DEM GELD
  DIE JUNGFAU VERSCHLINGT
DANN DER TEUFEL AUS DER DISKO
  ALS WELT ERKLINGT

WENN DIE HOELLE MIT DEM GOTT
  UEBER DEN TEUFEL SPRINGT
UND DIE JUNGFAU IN DER UNSCHULD
  DIE DISKO VERSCHLINGT
DANN DAS GELD AUS DER WELT
  ALS ELEND ERKLINGT

WENN DIE HOELLE MIT DEM TEUFEL
  UEBER DAS GELD SPRINGT
UND DAS ELEND IN DER DISKO
  DIE WELT VERSCHLINGT
DANN DIE UNSCHULD AUS DER JUNGFAU
  ALS GOTT ERKLINGT

WENN DIE JUNGFAU MIT DER UNSCHULD
  UEBER DEN TEUFEL SPRINGT
UND DAS GELD IN DER WELT
  DEN GOTT VERSCHLINGT
DANN DAS ELEND AUS DER HOELLE
  ALS DISKO ERKLINGT

WENN DIE HOELLE MIT DEM TEUFEL
  UEBER DIE WELT SPRINGT
UND DIE DISKO IN DER UNSCHULD
  DIE JUNGFAU VERSCHLINGT
DANN DAS GELD AUS DEM GOTT
  ALS ELEND ERKLINGT

WENN DIE HOELLE MIT DER WELT
  UEBER DEN GOTT SPRINGT
UND DIE JUNGFAU IN DEM TEUFEL
  DIE DISKO VERSCHLINGT
DANN DAS GELD AUS DER UNSCHULD
  ALS ELEND ERKLINGT

WENN DAS GELD MIT DER JUNGFAU
  UEBER DIE UNSCHULD SPRINGT
UND DIE DISKO IN DEM TEUFEL
  DEN GOTT VERSCHLINGT
DANN DAS ELEND AUS DER WELT
  ALS HOELLE ERKLINGT

WENN DER TEUFEL MIT DER JUNGFAU
  UEBER DAS GELD SPRINGT
UND DIE UNSCHULD IN DER DISKO
  DAS ELEND VERSCHLINGT
DANN DIE HOELLE AUS DEM GOTT
  ALS WELT ERKLINGT
```

Einige Texte des Programms MOPS bei der Eingabe von DER GOTT, DIE UNSCHULD, DAS GELD, DIE DISKO, DAS ELEND, DIE HÖLLE, DIE JUNGFRAU, DIE WELT und DER TEUFEL.

Ein anderes Beispiel wäre das Erzeugen von Texten, die, vorwärts und rückwärts gelesen, den gleichen Wortlaut ergeben, wie z. B. die Wörter:

Anna, Otto, Ehe

Weiter gibt es Wörter, die rückwärts und vorwärts unterschiedlichen Sinn besitzen, wie:

REGEN-NEGER, ein-nie

Ein bekannter symmetrischer Satz stammt von Spoerl[27]:

Ein Neger mit Gazelle zagt im Regen nie.

Auch Schüttelreime verlangen gerade nach Rechnergenerierung. Oder: Eine Kinder-»Geheim«sprache ergänzt alle Selbstlaute durch eine Silbe, z. B. o durch olefo. Als letztes Beispiel sei noch ein bekanntes Lied erwähnt:

Drei Chinesen mit dem Kontrabaß gingen auf der Straße
und erzählten sich was
Da kam die Polizei und fragte, was ist denn das?
Drei Chinesen mit 'nem Kontrabaß.

Dieser Text wird im weiteren so gesprochen oder gesungen, daß alle Selbstlaute durch einen vorgegebenen ersetzt werden, also z. B.:

Dra Chanasan mat nam Kantrabaß
gangan af dar Straßa and...

Alles dies und vieles andere mehr schreit geradezu nach Rechneranwendung, und viel Neues wird darüber hinaus durch die jetzt vorhandenen Möglichkeiten noch entstehen.

Ein anderes Prinzip ist die Adaption. Sie begann vor einigen Jahren in der Musik Mode zu werden. Klassische Melodien wurde ins Pop-Genre übernommen. Ähnliches ist auch bei Gedichten möglich. Diese Idee nutzten H. Bilz und W. Dietrich[28], um Mörikes Gedicht »Er ist's« durch ein Programm modifizieren zu lassen. Es grenzt zwar an Klassikerfledderei, wirkt vielleicht aber gerade dadurch besonders erheiternd. Man sollte so etwas nicht zu ernst nehmen! Hier sind vier der vorhandenen zwanzig Variationen abgedruckt.

Auch dieses Beispiel zeigt, daß die Phantasie des Programmierers viel wichtiger als der Rechner ist. Nur über sie kann man etwas Neues erreichen.

Hier fügt sich gut ein Hinweis an, der die Problematik

DAS IST ES:
FRUEHLING LAESST SEIN GRAUES BAND
WIEDER SCHLEIFEN DURCH DIE LUEFTE
SCHARFE, WOHLVERBORGENE DUEFTE
DRAENGEN UNBEQUEM EIN LIEBESPFAND.
REGENWOLKEN DAMPFEN SCHON,
AENGSTLICH UND BEKLOMMEN
- STILL, BESCHWINGT EIN IRRES HELIKON!
FRUEHLING, JA DU BISTS!
DICH HAB ICH VERNOMMEN!

OPA LAESST SEIN GRAUES BAND
WIEDER LEUCHTEN DURCH DIE LUEFTE
DUNKLE, UNERLAUBTE LUEFTE
STREIFEN RICHTUNGSLOS DEN WELTENRAND.
NACHTGESCHIRRE SCHRUMPFEN SCHON,
AENGSTLICH UND BEKLOMMEN
- OH NEIN, VON FERN EIN SCHWERER HARFENTON!
OPA, JA DU BISTS!
DICH HAB ICH VERNOMMEN!

JOSEPH LAESST SEIN BRUECHIG BAND
WIEDER HEULEN DURCH DIE DUEFTE
EDLE, FREIGELASSENE LUEFTE
FOLTERN HIMMELHOCH DEN KUNSTVERSTAND.
NACHTGESCHIRRE WELKEN SCHON,
AENGSTLICH UND BEKLOMMEN
- VERFLUCHT, WIE GROSS EIN HEIL'GES
KARZINOM!
JOSEPH, JA DU BISTS!
DICH HAB ICH VERNOMMEN!

WAHNSINN LAESST SEIN LOECHRIG BAND
WIEDER SINGEN DURCH DIE DUEFTE
SELT'NE, UNERLAUBTE LUESTE
SCHWELLEN WAHNSINNSVOLL EIN LIEBESPFAND.
BLUMENSCHALEN TRAENEN SCHON.
SELIG UND BENOMMEN
- HORCH, GEDAEMPFT EIN DICKES ELEKTRON!
WAHNSINN, JA DU BISTS!
DICH HAB ICH VERNOMMEN!

CABIS MC RANDOM

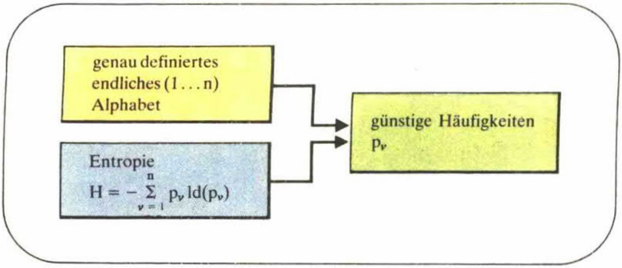
Er ist's
Frühling läßt sein blaues Band
Wieder flattern durch die Lüfte;
Süße, wohlbekannte Düfte
Streifen ahnungsvoll das Land.
Veilchen träumen schon,
Wollen balde kommen.
– Horch, von fern ein leiser Harfenton!
Frühling, ja du bist's!
Dich hab' ich vernommen!

Eduard Mörike

---

von anderer Seite beleuchtet. Bei der Analyse wird aus einem gewählten festen Alphabet und den abgezählten Häufigkeiten die Entropie je Zeichen berechnet (siehe S. 24). Will man dies umkehren, um daraus eine Synthese, d. h. die Erzeugung von Neuem, zu gestalten, so gilt das Schema der Abbildung.

Bei der Analyse gibt es einen genau festgelegten Weg und eindeutige Formeln. Aus dem Alphabet mit seinen Wahrscheinlichkeiten läßt sich die Entropie berechnen. Bei der Synthese sind dagegen das Alphabet und das Ziel, z. B. die Optimierung der Entropie oder die Generierung des Textes, vorhanden. Gesucht werden also beispielsweise die richtigen Wahrscheinlichkeiten. Hierfür existiert jedoch nicht einmal eine Methode.



Inverse Problematik zur Berechnung der Entropie. Hier sind Alphabet und Entropie gegeben, und es sollen die dazugehörigen Häufigkeiten berechnet werden. Für diesen Fall ist z. Z. kein Lösungsansatz bekannt.

Damit liegt, wie man es in der Physik bezeichnet, ein inverses Problem vor. Solche Probleme sind bekannt dafür, daß sie meist sehr schwierig zu lösen sind. In diesem konkreten Fall gibt es zur Zeit noch nicht einmal einen Lösungsansatz.

Erzeugung von Musik

In der Musik gibt es schon sehr lange Versuche zur automatisierten Erzeugung von Klängen oder gar zum automatisierten Komponieren. Die Tabelle gibt hierzu einen gewissen Überblick. Die älteste Methode zum Komponieren mit Würfeln stammt wohl von Kirnberger[29]. Besonders bedeutsam erscheint mir Mozarts Versuch in KV 294d. Er verwendet zwei Würfel, zwei Tabellen und 176 Takte in Noten. Zunächst wird eine Zahl gewürfelt.

Eingangsmenü des Programms von A. Zierott zu Mozarts KV 294d.

– 420	Pythagorer, Monochord und Quintensystem
– 63	Didymos, diatonische Stimmung
1482	B. Ramos, wohltemporierte Stimmung
1660	Kircher beschreibt eine Komponiermaschine
1738	Vaucanson entzückt Paris mit zwei Musikautomaten
1739	Euler beschreibt eine Theorie der Musik
1757	Kirnberger beschreibt das Würfeln von Musik
1772	Haydn schreibt Stücke für eine Flötenuhr
1774	Droz & Droz bauen die »Klavierspielerin«
1781	Stadler, Würfeln von Menuetts und Trios
1790	Mozart schreibt für Flötenuhr
1790	Menuettanleitung von Haydn
1790	C. Ph. E. Bach schreibt Stücke für Spielwalzen
1792	Beethoven schreibt für Flötenuhr
1793	Mozart schreibt KV 294 d
1805	Mälzel erbaut das Panharmonium
1813	Beethoven, Wellingtons Sieg (stereophones Stück)
1821	Mälzel baut Komponiermaschine Componium
1875	erste Edison-Schallaufzeichnung
1903	Welte-Mignon Reproduktionsflügel wird patentiert
1928	Trautwein erfindet Trautonium
1944	Magnetbandaufzeichnung
1949	Informationstheorie von Shannon
1949	Kybernetik von Wiener
1954	Küpfmüller generiert Texte
1955	Synthesizer von RCA
1956	ILLIAC-Suite von Hiller auf Computer
1957	W. Fucks macht Analysen von Literatur und Musik
1957	Mandelbrot-Zipf-Gesetz
1960	H. Franck entdeckt Auffälligkeit
1962	Analyse des menschlichen Gedächtnisses
1967	G. Stichel generiert Zufallsgedichte
1972	Mikroprozessor
1982	Definition des Midi-Interfaces

Damit geht man in die Tabelle des ersten Walzerteiles und gelangt so zu acht Notentakten. Danach wird wieder gewürfelt und nochmals die erste Tabelle für die Taktteile verwendet. Beim dritten Würfeln geht man in die Tabelle des zweiten Walzerteiles und erreicht das Ende. Dieses Spiel kann man beliebig oft wiederholen. Insgesamt gibt es rund 46 Billiarden Variationen ($4{,}595 \cdot 10^{16}$).

Notentext, etwa ein Viertel, von Mozarts KV 294 d mit dem Titel »Musikalisches Würfelspiel. Eine Anleitung Walzer oder Schleifer mit zwei Würfeln zu komponieren, ohne musikalisch zu sein, noch von Komponieren etwas zu verstehen.«

Diese Kompositionsmethode ist also von Mozart geradezu so verfaßt, als hätte er unsere heutige Rechentechnik gekannt. Für Rechner mit Musikausgang fordert sie unmittelbar zur Programmierung heraus. Für den KC 85/3 schrieb Andreas Zierott als Facharbeiter im ersten Lehrjahr ein leistungsfähiges Maschinenprogramm. Die Abbildung zeigt das Hauptmenü.

Tabellen in Mozarts KV 294 d

1. Walzerteil

Würfel Augen-zahl	Takte 1	2	3	4	5	6	7	8
2	96	22	141	41	105	122	11	30
3	32	6	128	63	146	46	134	81
4	69	95	158	13	153	55	110	24
5	40	17	113	85	161	2	159	100
6	148	74	163	45	80	97	36	107
7	104	157	27	167	154	68	118	91
8	152	60	171	53	99	133	21	127
9	119	84	114	50	140	86	169	94
10	98	142	42	156	75	129	62	123
11	3	87	165	61	135	47	147	33
12	54	130	10	103	28	37	106	5

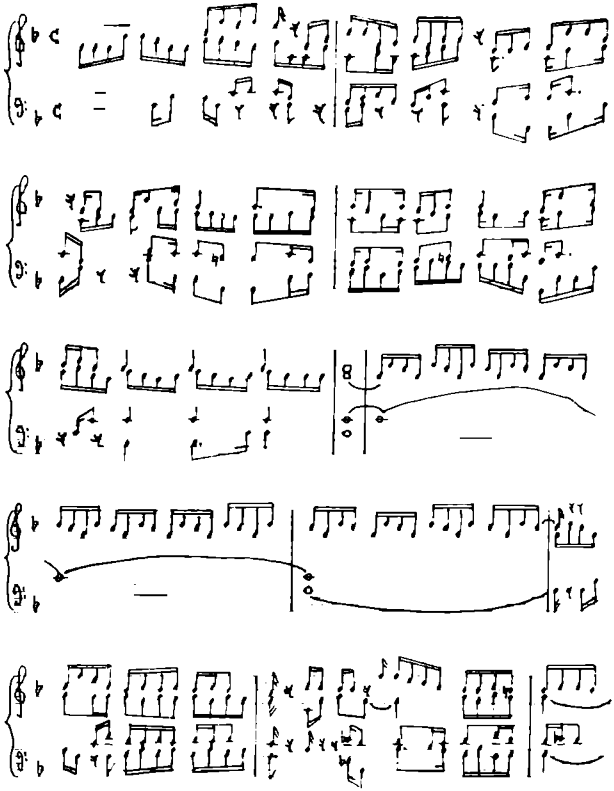
2. Walzerteil

Würfel Augen-zahl	Takte 1	2	3	4	5	6	7	8
2	70	121	26	9	112	49	109	14
3	117	39	126	56	174	18	116	83
4	66	139	15	132	73	58	145	79
5	90	176	7	34	67	116	52	170
6	25	143	64	125	76	136	1	93
7	138	71	150	29	101	162	23	151
8	16	155	57	175	43	168	89	172
9	120	88	48	166	51	115	72	111
10	65	77	19	82	137	38	149	8
11	102	4	31	164	144	59	173	78
12	35	20	108	92	12	124	44	131

Seitdem leistungsfähige Rechner verfügbar sind, wurde immer wieder versucht, auch ohne Notenvorgaben, d. h. unmittelbar nach Zufall und Regeln, Musik zu komponieren. Der erste größere Erfolg ist hier wohl die ILLIAC-Suite für Streichquartett. Einen Notenauszug zeigt das Bild. Später wurden dann immer mehr die Analysen von Werken, wie z. B. die J. S. Bachs, oder von Madrigalen, Schlagern usw. einbezogen, um dann mittels der dabei gewonnenen Regeln ähnliche Werke zu komponieren. Ein recht leistungsfähiges Programmsystem, das sogar die schwierige Schlußphase erfolgreich bewältigt, stammt u. a. von Kupper[30]. Abgebildet ist ein Beispiel aus Madrigalen.

Es wird berichtet, daß mit einem ähnlichen Programm um 1960 Tausende von Schlagern komponiert wurden. Davon wählten Kenner zehn aus, ließen sie von den besten Arrangeuren bearbeiten und von bekannten Orchestern spielen. Es sollen alle erfolgreich in den Hitparaden gelaufen sein. Doch was zeigt gerade dieses Beispiel? Der Rechner produziert – nach Vorgaben von Spezialisten und nach Analysen von bekannten Werken – eine Überfülle ähnlicher Musikstücke. Experten suchen dann die besten aus. Wenn dazu noch günstige Randbedingungen existieren, kann sogar etwas relativ Gutes entstehen.

Einige Takte aus der ILLIAC-Suite für Streichorchester von L. A. Hiller jr. und L. M. Isaacson von der Universität Illinois (USA) 1956.



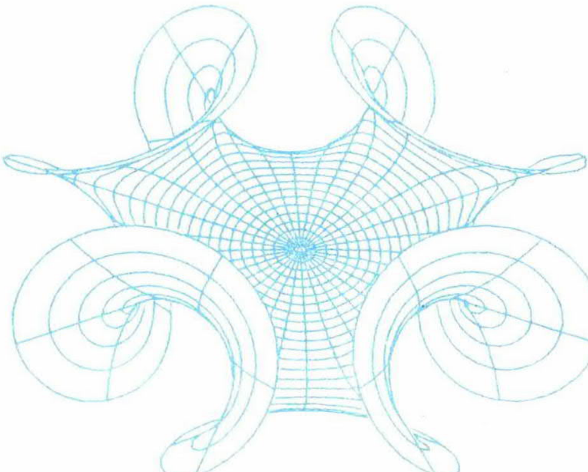
Asymptotisches Experiment Nr. 1 von Herbert Kupper. Die verwendeten Muster bei dieser ausschnittsweise abgebildeten vierstimmigen Komposition sind mittelalterliche Madrigale von Haßler, Orlando di Lasso und andere. Als Überlagerungsfunktion diente eine Ellipse. Die Asymptote ist etwa bei Takt 5 erreicht.

Allein die Aufzählung dieses Ablaufs zeigt, wie bestimmend bei derartigen Methoden heute und wahrscheinlich auch künftig der vielfältige Eingriff des Menschen ist. Nichtsdestoweniger ist der Computer ein wichtiger und nützlicher Partner des Menschen bei den Schaffensprozessen.

Wissenschaftliche Anwendung, CAD, Animation, Tanz und Film

Die Hauptanwendungen der Rechner liegen im Bereich der Wissenschaft, Technik und Produktion. Aber auch hierbei fallen viele Ergebnisse an, die unmittelbar ästhetische Wirkungen auslösen können. Das Apfelmännchen ist fast ein Musterbeispiel. Das Prinzip entstand bei der Analyse von stochastischen Gleichungen. Auch die 3D-Graphik, mit der zunächst nur komplizierte Funktionen veranschaulicht werden sollten, führt zu interessanten Bildern. Ein Beispiel aus der Differentialgeometrie zeigt das Bild. Zuweilen lassen sich dabei sogar Effekte erreichen, wie sie in den Bildern von Escher bewußt gestaltet wurden.

Nicht anders ist es bei dem computergestützten Entwurf (CAD). Dabei ist oft eine schnelle Variation des Bildes, unter anderem bezüglich verschiedener Ansichten und Ausschnitte, notwendig. Deshalb werden hier häufig ähnliche Programme wie bei der Animation verwendet.



Minimalfläche aus der Differentialgeometrie. Sie ist ein Beispiel, wie in der Mathematik komplexe Gebilde veranschaulicht werden können, die dabei zugleich einen ästhetischen Reiz ausstrahlen.

Bei hohen Leistungen sind dann aber große und vor allem sehr schnelle Rechner notwendig. Ihrer bedienen sich immer mehr auch der Film und das Fernsehen. Es werden auf diese Weise sogar immaterielle Lebewesen auf dem Bildschirm generiert. Sie erscheinen zuweilen so echt, daß es selbst Experten schwerfällt zu entscheiden, ob ein konkretes Objekt gefilmt wurde oder aber nur eine Manipulation per Rechner vorliegt.

Eine der erfolgreichsten Anwendungen betrifft den Tanz. Für ihn gibt es im Gegensatz zu allen anderen Künsten keine Schrift, um z. B. ein Ballett zu fixieren. Mit dem Computer ist es gelungen, das Wesentliche aus Filmaufzeichnungen verdichtet herauszuziehen. Damit gelingt es dann, diese spezielle Choreographie auf andere Varianten zu übertragen.

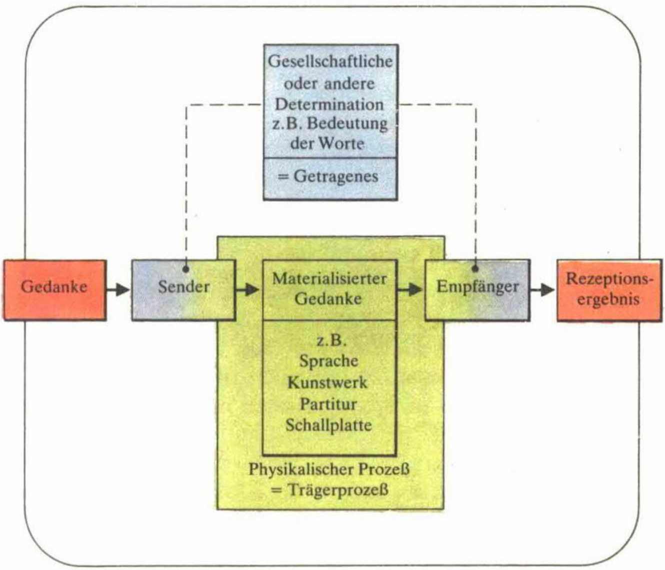
Was ist Information?

Diese Überschrift verlangt eine Definition dafür, was Information ist. Meist werden Definitionen wie folgt gegeben: Man nennt den Oberbegriff und dazu spezifische Eigenschaften. Wenn wir z. B. eine Birke definieren wollen, so gilt: Die Birke ist ein Baum mit Blättern und weißer Rinde. Bei der Information versagen derartige Versuche. Sie gelingen zur Not noch bei einer speziellen Information, wie beispielsweise für die Nachrichtentechnik. Generell gesehen, ist dagegen Information ein so allgemeiner Begriff, daß dieses Schema zur Definition ungeeignet ist. Es lassen sich aber fünf Eigenschaften benennen, die unbedingt gegeben sein müssen, damit von Information gesprochen werden kann:

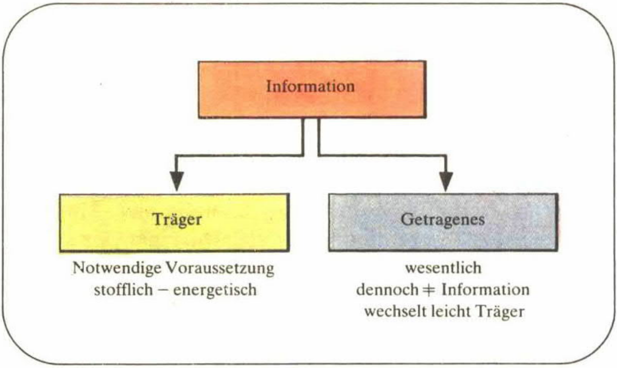
1. Träger und Getragenes
2. Objekt spezieller Wechselwirkungen
3. Quantität ↔ Qualität
4. Große Komplexität
5. Prozeßhaftigkeit

Natürlich müssen diese Eigenschaften noch genauer erklärt werden. Doch zuvor ist jedoch eine Bemerkung wichtig, sie betrifft die Notwendigkeit zur Verwendung eines Begriffes Information. Hiermit ist es ähnlich wie z. B. mit dem Begriff der Kraft in der Physik. Da Heinrich Hertz[31] die Kraft als völlig unanschaulich empfand, eliminierte er ihren Begriff und schrieb sogar ein vollständiges Lehrbuch der Physik, in dem die Kraft nicht vorkommt. Analoges ist bestimmt auch bezüglich der Information möglich. Sie ist eine allgemeine Eigenschaft der objektiven Welt. Ob wir sie verwenden, hängt von unserem Anliegen und unseren Kenntnissen ab. So ist erklärbar, daß es den Begriff z. B. bei den Klassikern des Marxismus-Leninismus nicht gibt, obwohl sie informationelle Prozesse zum Teil sehr genau beschreiben. Doch diese Aussage gilt teilweise auch noch heute für verschiedene Fachgebiete, während andere den Informationsbegriff sogar über Gebühr strapazieren.

In der Fachliteratur sind überwiegend folgende Aussagen zu finden:
1) Information besitzt einen Träger.
2) Information kann den Träger relativ leicht wechseln.
Hierbei fällt zunächst gar nicht auf, daß in beiden Sätzen Information etwas anderes bedeutet. Im ersten Satz wird ausgesagt, daß der Träger ein Teil der Information ist, während der zweite Satz ihn nicht enthält. Es müssen somit zwei Arten von »Informationen« unterschieden werden: eine mit und eine ohne Träger. Der Eindeutigkeit halber sind folglich beide getrennt zu bezeichnen. Üblich



Künstlerische Prozesse unter Beachtung von Träger und Getragenem



Zusammenhang von Informationen, Träger und Getragenem

ist es, die »Information« ohne Träger, also das vom Informationsträger Getragene der Information, als das Getragene zu kennzeichnen. Dann ergibt sich die Relation des Bildes. Dabei ist zu beachten, daß die Addition hier nicht mathematisch gemeint ist. Vielmehr gilt der Anspruch, daß ein Ganzes mehr als die Summe seiner Teile ist.

Kunstprozesse

Wir besitzen eine Schallplatte. Nicht irgendeine, sondern eine ganz bestimmte, nämlich die mit einer Aufzeichnung der Neunten Sinfonie von Ludwig van Beethoven. Und auch hier wieder eine ausgewählte, und zwar die mit der Aufzeichnung, welche der Jahrhundertdirigent Wilhelm Furtwängler[32] 1950 im Admiralspalast aufführte. Sie gilt bei den meisten Musikkennern als eine besonders authentische Interpretation dieses Werkes. Weiter existieren vielfältige andere Kontexte, wie V als Vergeltung, Pausenzeichen des Londoner Rundfunks, Beginn des neuen demokratischen Lebens in Deutschland usw.

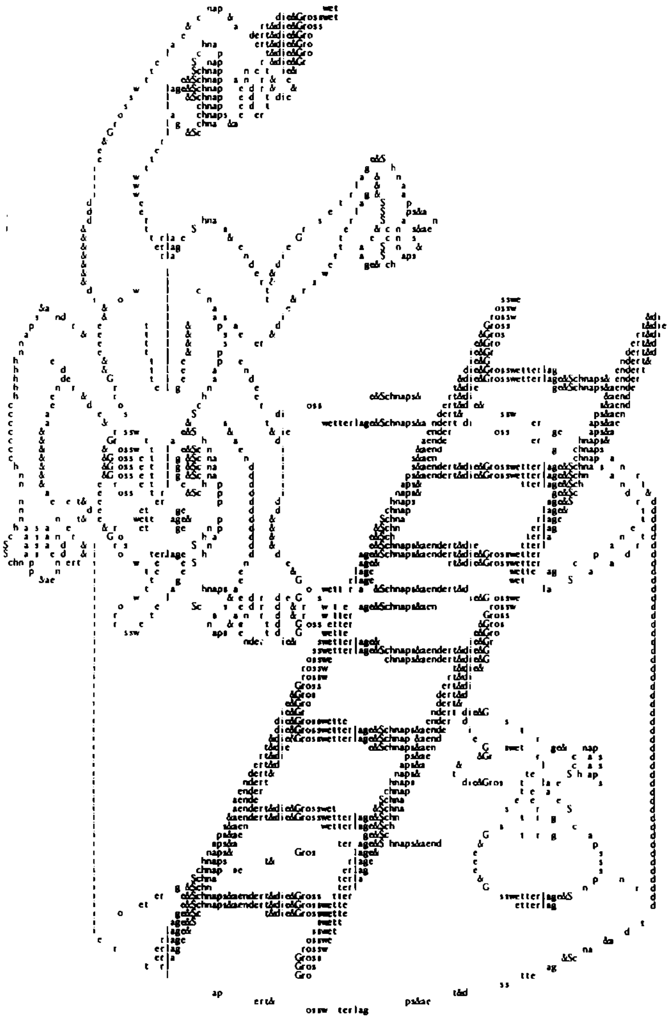
Was ist mit dieser Schallplatte? Sie ist genaugenommen doch nur ein Stück Kunststoff mit einer vielfältig verbogenen langen spiralförmigen Rille. Sie ist also nur ein Informationsträger. Damit besteht die Frage, wo ist die Information, genauer das Getragene, das mit dem Träger der Aufzeichnung die komplexe Information ausmacht?

Stellen wir uns vor, ein Künstler hat einen Gedanken, genauer, er möchte ihn mit seinen Mitteln ausdrücken. In der Literatur ist vielfach das komplizierte Ringen in diesem Prozeß beschrieben. Es scheint einer der schwierigsten Prozesse überhaupt zu sein. Der Künstler muß nämlich seine Ideen, auf den Träger zugeschnitten, verknappen, aber so, daß der Rezipient dennoch deutlich sein Anliegen wahrnimmt. Dies sei hier an einem bewußt sehr einfachen Beispiel beschrieben.

Nehmen wir einmal an, jemand, der Grafiken anfertigt, ärgert sich über den Mißbrauch von Alkohol. Nun will er dies mit seinen Mitteln karikieren. Doch wie ist dies zu realisieren? Die konkrete Lösung entsteht schrittweise: Ausgangspunkt sind ein Laubfrosch und ein Weckglas mit einer Leiter. Das ergibt einen Wetterfrosch. Was macht der nun aber, wenn er über Gebühr Alkohol getrunken hat? Er erfüllt natürlich nicht mehr seine Pflicht und zeigt je nach seiner Höhe auf der Leiter die Wetterlage an. Nein, er wird unvernünftig und macht einen Handstand auf dem Rande des Weckglases. Doch wie den Alkoholgenuß andeuten? In der einen Hinterpfote hat er die Flasche. Im Weckglas steht zudem ein gefülltes Gläschen, an dem eine Fliege nippt. Und der Frosch steckt natürlich seine Zunge heraus, jedoch nicht zur Fliege, um sie zu fangen. Nein entgegengesetzt! Soweit die bildliche Ausführung. Unterstreichend wirkt dann noch die Textkette:

Schnaps ändert die Großwetterlage.

Damit ist das Getragene erklärbar. Es ist der Teil einer Information, der über den Trägerprozeß hinaus existiert. Bei menschlichen Kommunikationsprozessen ist er in erster Linie gesellschaftlich bestimmt. Sender und Empfänger verfügen über ein gemeinsames Wissen, das sie im Laufe ihrer komplexen Entwicklung gemeinsam erworben haben. Beim Menschen ist hierbei sowohl seine biologische als auch die individuelle und gesellschaftliche Ent-



Schnaps&aendert&die&Grosswetterlage&

Textgrafik von Ruth Völz »Schnaps ändert die Großwetterlage«

wicklung gefragt. Damit wird sofort verständlich, warum wir Schwierigkeiten bei der Musikrezeption aus einem anderen Kulturkreis haben, wie sie z. B. im Abschnitt über den Rezeptionsprozeß beschrieben sind.

Kurz und allgemein ausgedrückt, müssen im Sender und Empfänger gleiche bis ähnliche Speicherstrukturen existieren, an die der Träger anknüpfen und damit sein Getragenes realisieren kann. Wie Klix[33] es ausdrückt, triggert der Träger die komplexen Bewußtseinsstrukturen. Erst dadurch entsteht die vollständige Information. Bei der Schallplatte bildet sich so das künstlerische Ergebnis aus. Und die spezielle Schallplatte bewirkt die Einmaligkeit des Kunsterlebisses im Bewußtsein des Hörers.

Der Inhalt der Kunst liegt folglich nicht im Träger, sondern wird durch ihn nur indirekt transportiert. Es wird weiter deutlich, daß das Anliegen der Kunst vor allem das Vermitteln von allgemeinen und bedeutsamen menschlichen Aussagen sein sollte.

Problem der Wechselwirkungen

Norbert Wiener[34] sagte »information is information, nor matter or energy«. Es geht hier nicht um die schlechten Übersetzungen und die dann folgenden ideologischen Fehldeutungen in der Vergangenheit. Inhaltlich richtig lautet der Satz etwa, daß Information Information ist und nicht Stoff oder Energie. In diesem Sinne können wir diese Aussage voll akzeptieren. Wir unterscheiden heute drei Objektklassen, wie sie auf der folgenden Seite in der Tabelle dargestellt sind.

Damit wird erneut der Trägerprozeß unterstrichen. Er ist nämlich der stofflich-energetische Teil der informationellen Prozesse. Dies betont noch einmal zusätzlich die schon bei der Energie vorhandene Teilung. Energie wird nämlich aus einem stofflichen Träger, dem Energieträger, mittels spezieller Techniken gewonnen. Der Motor eines Autos gewinnt aus dem Energieträger Benzin mittels Verbrennung die mechanische Energie. Der Gasherd wandelt aus dem Energieträger Gas die Wärmeenergie zum Kochen und Braten. Eine Besonderheit bei den stofflich-

Arten der Wechselwirkung bei Systemen

Objekte	Austausch erfolgt wie?	Speicherung
Stoff	unmittelbar	
Material	eventuell verpackt	Lagerhaltung
Metaboliten	(Container)	Fettzelle
Wasser	auf speziellen Wegen (Wasserleitung, Schienen)	Wasserturm
Energie	mittels Energieträger,	Akkumulator
Gas, Benzin	die verbraucht werden	Stausee
		Benzintank
Information	mittels Informationsträger	Schallplatte
technische	· Es gibt keinen Erhaltungssatz für Information.	Buch
genetische		DNS
neuronale	· ist vervielfältigbar	Bild

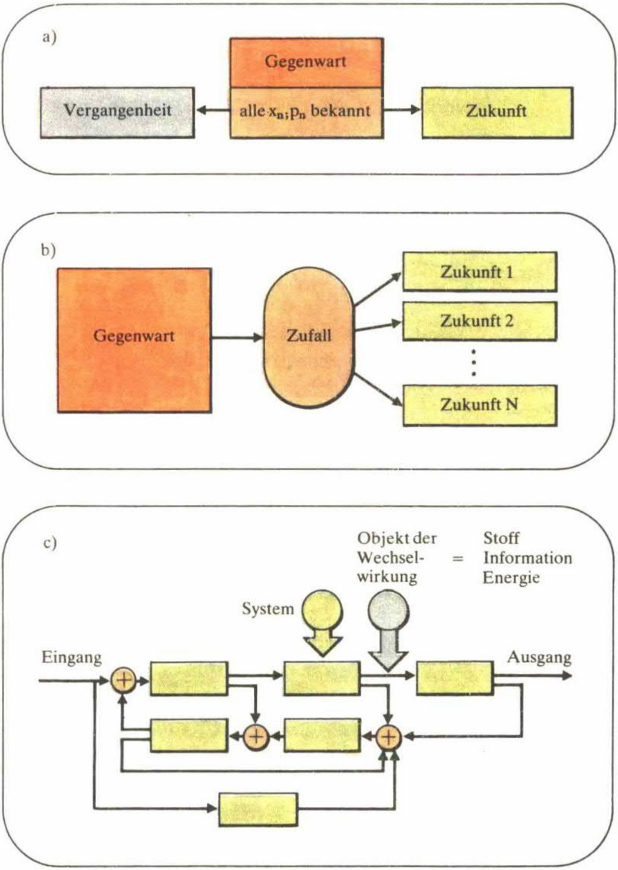
energetischen Informationsträgern besteht darin, daß sie bei informationellen Prozessen nicht unbedingt verbraucht werden. Weitere Besonderheiten enthält die Tabelle.

Nun zur Wechselwirkung. Hier ist eine geschichtliche Entwicklung zu verzeichnen. Zu Laplace'[35] Zeiten war man vom klassischen Determinismus überzeugt: Wenn man alle Orte und Geschwindigkeiten aller Teilchen in nur einem Zeitpunkt kennen würde, dann wäre die gesamte Vergangenheit und Zukunft vollständig und eindeutig bestimmt. Ein fiktives Wesen, dem dies möglich sei, wird als Laplacescher Dämon bezeichnet.

Seit der Jahrhundertwende erkannte man über die Quantenphysik den großen Einfluß des Zufalls: Selbst in einer vollständig bekannten Gegenwart existieren viele Möglichkeiten zur Fortsetzung. Der Zufall wählt eine aus. Von den vielen Möglichkeiten wird also nur eine zur Wirklichkeit.

Die Kybernetik betrachtet das ganze Geschehen inklusive des Zufalls als einen komplexen Wechselwirkungsprozeß:

Mehrere Ursachen bedingen eine Wirkung, und mehrere Wirkungen verknüpfen sich wieder zu einer Ursache.



Zu den geschichtlichen Beziehungen von Vergangenheit und Zukunft bzw. Ursache und Wirkung: Oben die klassische Betrachtung vor der Quantentheorie (a). Die Mitte (b) zeigt die ab 1900 gültige Vorstellung. Unten (c) ist die Problematik aus der Sicht der Kybernetik dargestellt.

Für die Information sind die Wechselwirkungsprozesse typisch, bei denen die stofflich-energetischen Anteile von untergeordneter Bedeutung sind.

Quantität und Qualität

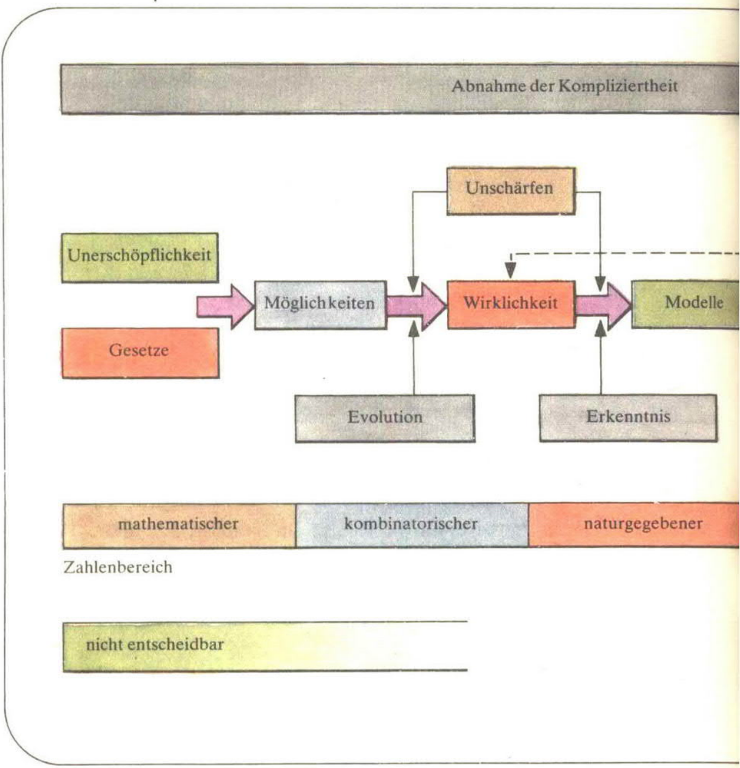
Wenn wir etwas messen, so sind zwei Aussagen wesentlich: die Art des Gemessenen und die gemessene Größe. Mit dem System International ist deutlich geworden, daß die Art des Gemessenen durch die Maßeinheit, z. B. bei einer Geschwindigkeit km/h, und ihre Größe durch einen Zahlenwert, z. B. 50, ausgedrückt werden kann. Die Maßeinheiten lassen sich darüber hinaus auf wenige Basiseinheiten ableiten (m, kg, s, A, K, mol, cd). Etwas Ähnliches dürfte für die Information gelten. Nur wissen wir hierüber heute noch nicht ausreichend Bescheid.

Gewiß messen wir Information, z. B. die Kapazität eines Informationsspeichers, in Bit. Es steht aber heute schon fest, daß diese eine Maßeinheit der Information nicht adäquat ist. Sie entspricht in etwa dem Stand, als wir in der Physik noch alles in Längen maßen: die Zeit mittels der Schattenlänge an der Sonnenuhr; später Induktivitäten und Kapazitäten in Zentimeter usw. Waren in der Physik rund 300 Jahre bis zum heutigen Stand der Maßeinheiten notwendig, so wird dies bei dem heutigen Stand der Informationstechnik gewiß auch noch beachtliche Zeit dauern.

Um die obigen Aussagen zu verallgemeinern, kann man sagen, daß die Maßeinheit der Qualität und der Zahlenwert der Quantität entspricht. Damit wird deutlich, daß wir bei der Information auch solche Differenzierungen, insbesondere bezüglich verschiedener Maßeinheiten (Qualitäten), noch erarbeiten müssen. Sie dürften in erster Linie durch spezifische Eigenschaften des Empfangs- bzw. Sendesystems bestimmt sein.

Komplexität

Komplexität hängt unter anderem mit der Vielzahl der in einem System vorhandenen Teilsysteme und deren Verknüpfungen, also der Wechselwirkungsvielfalt, zusammen. Es hat den Anschein, als ob hier unterschiedliche Zahlenbereiche mit eigenen Gesetzen gemäß der Tabelle gültig sind.

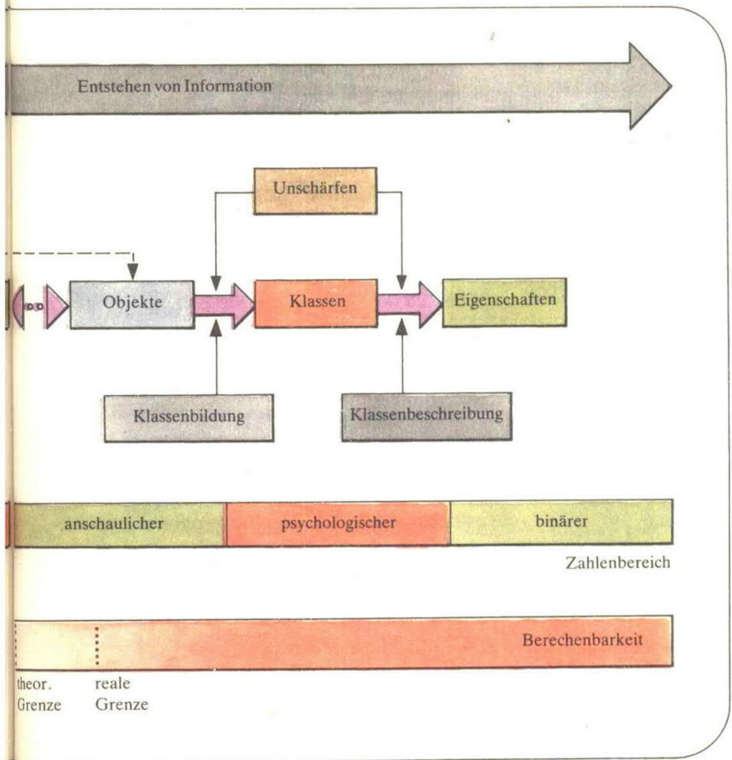


Zum Zusammenhang von Komplexität und Information

Die binären Zahlen gehören zu den Ja/Nein-Entscheidungen.

Den psychologischen Zahlenbereich haben wir bereits bei der Lerntheorie und im Zusammenhang mit der Zahl Sieben behandelt.

Anschaulich sind uns nur Zahlen bis etwa tausend bzw. bis ein Tausendstel. Dies wird auch durch die Staffelung großer Zahlen gemäß Million, Milliarde, Billion, Billiarde, Trillion usw. belegt. Auch die Vorsätze des SI, wie p, n, μ, m, k, M, G, T usw., zeugen davon.



Es war für die Physiker schon immer erstaunlich, daß es nicht möglich ist, bestimmte Zahlenwerte zu überschreiten. Das Verhältnis von Masse des Weltalls zu den Elektronen liegt bei 10^{85}. Alle anderen physikalischen Verhältnisse sind kleiner. So ist zu vermuten, daß ein natürlicher Zahlenbereich von 10^{-99} bis 10^{99} reicht. Hierauf ist ja auch der Zahlenbereich der Gleitkomma-Arithmetik vieler Rechner festgelegt.

Wesentlich größere Werte existieren aber in der Kombinatorik und erheblich kleinere als Wahrscheinlichkeiten. Hier liegt das schon zuvor besprochene Verhältnis von Möglichkeit zur Wirklichkeit begründet.

Die klassische Mathematik, nicht die Numerik, läßt

Klassifizierung von Zahlen

Nr.	Name	Bereich	Bemerkungen
1	binär	0 und 1	Ja/Nein, Boolesche Algebra wahr/falsch, formale Logik
2	psycho-logisch	0,1,2,...,7 7 ± 2	übliche Klassenbildung $2^7 = 128$ bit
3	anschau-lich	1/1000 bis 1000	unmittelbar wahrnehmbar SI-Vorsätze, alte Zahlen
4	natürlich	10^{-99} bis 10^{99}	physikalische Grenzverhältnisse
5	kombi-natorisch	ε bis $1/\varepsilon$ ε = kleine Zahl	Wahrscheinlichkeiten Permutationen, Variationen
6	mathema-tisch	enthält auch null, unendlich	Grenzwerte, Stetigkeit reelle und komplexe Zahlen
7	unent-scheidbar	?	Antinomien unentscheidbar
8	uner-schöpflich	?	Philosophie

darüber hinaus sogar Grenzwerte sowie null und unendlich zu.

Von Unerschöpflichkeit ist insbesondere dann zu sprechen, wenn bei vielen Möglichkeiten die Zeit nicht ausreicht, um sie durchzuprobieren. Die Sprache ist z. B. unerschöpflich. Bei nur 100 Wörtern und einer Satzlänge von 10 Wörtern existieren 10^{200} verschiedene Sätze. Um sie auszusprechen, würde nicht einmal die Zeit des Bestehens der Welt ausreichen. Ähnliches gilt auch für die Kunst, hier kommt noch die Einmaligkeit der großen Persönlichkeit des Künstlers vervielfachend hinzu.

Dem unentscheidbaren Zahlenbereich ist der nächste Abschnitt gewidmet. Aber zuvor sollten Sie sich noch an Hand der Abbildung die Zahlenbereiche veranschaulichen.

Bei der Klassenbildung geschieht der Prozeß, den wir bereits beim Lernen besprochen haben. Aus der Unüberschaubarkeit der vorhandenen Objekte werden Eigenschaften eliminiert, die dann die Klassenbildung realisieren. Die Objekte liegen dabei im anschaulichen Zahlenbereich, die Klassen im psychologischen und die Eigenschaften, die vorhanden oder nicht vorhanden sind, im binären.

Bei der Modellbildung wird die Wirklichkeit in ihrer Naturgegebenheit auf durchschaubare, möglichst anschauliche Relationen vereinfacht.

Bei all den Prozessen, die eine Reduzierung der zahlenmäßigen Komplexität bewirken, müssen Ungenauigkeiten und Unschärfen auftreten. Sie können aber zugleich als Prozesse betrachtet werden, die Information hervorbringen. Das entspricht vielleicht dem Übergang vom Träger zum Getragenen, der in den zugehörigen komplexen Systemen realisiert wird.

Grenzen und Möglichkeiten

Der Rechner arbeitet binär. Für seine Arbeit muß er in jedem Zeitpunkt die genaue Fortsetzung wissen. Seine Funktion ist also an die typischen Ja/Nein-Fragen gebunden. Um die Grenzen dieser Problematik besser verstehen zu können, soll uns eine kleine Geschichte hilfreich zur Seite stehen:

In einer Kompanie existiert ein Soldat, der von Beruf Friseur ist. Sein Hauptmann gibt ihm nun den Befehl:
Ab morgen rasieren Sie alle, die sich nicht selbst rasieren.

Die Kompanie tritt an, und per Befehl müssen die Selbstrasierer rechts, die anderen links raustreten. Der Friseur kennt also genau seine künftigen Kunden. Doch der Ärger beginnt am nächsten Morgen.
Was macht der Friseur mit sich selbst?
Er hat zwei Möglichkeiten:
1. Rasiert er sich, dann rasiert er einen, der sich selbst rasiert! Dies darf er nicht.
2. Er rasiert sich nicht, dann rasiert er einen nicht, der sich selbst nicht rasiert. Und auch das darf er nicht!

Es gibt hier keinen Ausweg. Es sei denn, der Friseur nimmt sich das Leben oder, humaner, der Befehl wird so geändert, daß für den Friseur eine Sonderregelung festgelegt wird.

In etwas anderer Weise war dieses Problem bereits den Griechen bekannt. In leichter Abweichung von der historischen Fassung kann man etwa wie folgt vorgehen: Zunächst soll unabänderlich gelten:
Alle Kreter lügen.
Nun begegnen wir einem Kreter, und dieser sagt:
»Ich lüge.«

Nehmen wir an, die erste Aussage sei gültig, dann müßte der Kreter uns die Wahrheit sagen, denn da er immer lügt, muß er auch die Aussage »ich lüge« lügen. Wir können auch umgekehrt mit der Aussage »ich lüge« bei der Analyse beginnen und kämen dann zum gleichen, widerspruchsvollen Ergebnis.

Fragetypen

Derartige Probleme lassen sich nun viele konstruieren. Sie sind unter dem Begriff der Antinomien[36] zusammengefaßt. Hier wollen wir die Problematik jedoch noch von einer anderen Seite vertiefen. Es gibt nämlich, wie die Tabelle zeigt, drei verschiedene Fragetypen.

Die Entscheidungsfragen sind »im Prinzip«[37] mit Ja/Nein zu beantworten. Natürlich ist England eine Insel, natürlich ist Schnee weiß. Aber bei den Viren war diese Frage noch vor etwa zehn Jahren ein wissenschaftliches Problem. Heute ist es wie folgt beantwortet:
Viren sind keine »selbständigen« Lebewesen.

Auch die Frage nach den Farben des Schnees ist nicht immer eindeutig zu beantworten. Denken Sie einmal an schon lange liegenden und deshalb schmutzigen Schnee im späten Frühjahr.

Eine neue Qualität stellen die Ergänzungsfragen dar. Betrachten wir dazu wieder den schmutzigen Schnee. Natürlich können wir uns eine Tabelle mit vielen Farben anlegen und bezüglich jeder mit der Ja/Nein-Frage zum Ziel streben. So ein Prinzip wird in der Entscheidungstabellentechnik genutzt. Doch wer sagt uns, wann die Tabelle vollständig ist? Hier liegt jetzt das Problem!

Von den Farben ist heute bekannt, daß sie durch ein Kontinuum von zwei Parametern x, y im Farbdreieck und durch einen Sättigungswert vollständig zu beschreiben sind. Aber genau dies gestattet keine Entscheidungstabelle. Es müssen dazu vielmehr physiologische Schwellen eingeführt werden.

Man sieht also, welche Probleme es bereitet, wenn man die notwendige Tabelle für die Entscheidungstabellentechnik vollständig aufstellen will – und es gibt nicht we-

Entscheidungsfragen Ist England eine Insel? Ist der Schnee weiß? Sind Viren Lebewesen?	Antwort ja/nein
Ergänzungsfragen Wo liegt England? Welche Farbe hat der Schnee? Wieviel Viren gibt es?	mittels Entscheidungstabellen in Entscheidungsfragen überführbar
Begründungs-Erklärungsfragen Was ist eine Insel? Warum ist Schnee weiß? Was ist Leben?	Es gibt keine Regeln zur Beantwortung

nig Fälle, wo keine Vollständigkeit erreicht werden kann. Deshalb gilt für die Ergänzungsfragen die folgende Aussage: »Im Prinzip« sind Ergänzungsfragen mittels einer Tabelle auf Entscheidungsfragen zurückführbar, und diese sind dann wieder »im Prinzip« mittels Ja/Nein entscheidbar.

Wie steht es nun aber mit den Begründungs- bzw. Erklärungsfragen? Sie verlangen eine Methodik, die nicht auf die ersten beiden Fragen zurückführbar ist. Ja es gibt wahrscheinlich überhaupt keine einheitliche Regel zu ihrer Beantwortung.

Am Beispiel des Schnees könnte die Antwort vielleicht wie folgendermaßen lauten: Die einzelnen Kristalle sind so dimensioniert, daß sie alles sichtbare Licht gleich stark reflektieren. Dies ist aber gerade die Erklärung für weiß. Die Antwort basiert also auf Vorkenntnisse aus der Physik.

Allgemein sind viele andere Wege denkbar, natürlich auch eine weitere Detaillierung der obigen Aussage. Aber offensichtlich ist dieses Prinzip wohl nicht auf einen Entscheidungsbaum reduzierbar. Daher werden derartige Fragen auch zuweilen die »verteufelten Fragen« der Kybernetik genannt.

Diese Problematik hängt nur z. T. mit den erwähnten Antinomien zusammen. Beide Fakten sollen uns hier zu einem Grundlagenproblem der Mathematik führen.

Hilbert[38] hatte 1900 26 Fragen bezüglich der Weiterent-

Extreme bezüglich der Möglichkeit des Rechnens

Algorithmus		Unentscheidbarkeit	
Turing-Automat	1936	Gödel	1932
Churchsche These	1940		
Berechenbarkeit		Antinomien	
		Metasprachen	

wicklung der Mathematik aufgestellt. Darunter auch jene nach der vollständigen Axiomatisierung. Dies bedeutet, daß man versucht, aus nur extrem wenigen, aber fundamentalen Aussagen das gesamte Gebäude eines Gebietes vollständig und widerspruchsfrei zu entwickeln. 1932 fand dann Gödel[39], daß es in der Zahlentheorie – also in der Mathematik mit den natürlichen Zahlen – zumindest eine Aussage gibt, die innerhalb dieser Theorie sowohl falsch als auch richtig ist. Dies entspricht einmal der Antinomie (Friseur, Kreter) und andererseits der Unmöglichkeit einer Ja/Nein-Entscheidung. Damit war eine Krise in der Mathematik eingeleitet.

Heute werden die verschiedenen Zweige der Mathematik danach in drei Gruppen eingeteilt: und zwar 1., ob in ihnen solche Widersprüche auftreten, 2. nicht auftreten oder 3., ob hierüber z. Z. noch keine Entscheidung zu treffen ist.

Damit wissen wir nun auch, daß selbst in der exaktesten aller Wissenschaften das Problem existiert, daß nicht alles auf Ja/Nein-Fragen zurückführbar ist. Wieviel mehr sollte dies dann in anderen Gebieten der Fall sein! Wir können folglich nicht alles berechnen. Genauer: Das Berechenbare ist nur ein sehr kleiner Teil der bedeutsamen Probleme.

Algorithmen, Churchsche These

Es gibt verschiedene Methoden, etwas zu berechnen. Die einfachste Variante besteht in einer Gleichung bzw. unter Ausnutzung einer Formel. Wenn eine Kette frei zwischen zwei Punkten hängt, nimmt sie eine bestimmte Form, die

Kettenlinie, an. Die gilt z. B. bei einer Kettenbrücke oder, in guter Näherung, bei einer Freileitung. Hierfür gilt die Formel

$$H = \frac{EXP(X) + EXP(-X)}{2}$$

Ein anderes Prinzip wendet man bei der Fakultät an:

$$n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \ldots \cdot n$$

Zur Berechnung nutzt man hier die Iteration. Sie wurde auch schon beim Apfelmännchen verwendet.

$$0! = 1$$
$$1! = 1$$
$$n! = (n - 1)! \cdot n$$

Auf kompliziertere Möglichkeiten der Berechnung sei hier verzichtet. Entscheidend ist jedoch, daß eine Methode existieren muß, die sich auf die Möglichkeiten der Rechentechnik übertragen läßt.

Der Vorgang des Berechnens muß sich also mechanisieren, automatisieren lassen. Genau dann, wenn so etwas vorstellbar ist, spricht man von intuitiver Berechenbarkeit.

Das erste Rechenschema im Sinne eines allgemeinen Algorithmus schlug Turing[40] 1936 vor. Es ähnelt weitgehend der heutigen Vorstellung von Rechenautomaten und besteht im wesentlichen aus zwei Teilen: Erstens aus einem unendlich langen Speicherband, auf dem man »Notizen« schreibt, liest, löscht und wieder neu schreibt. Den zweiten Teil kann man heute recht gut mit einem extrem einfachen Taschenrechner vergleichen.

Ein Problem, das mit derartigen Mitteln erfolgreich zu behandeln ist, nennt man Turing-berechenbar.

In den folgenden Jahren wurde dann eine größere Anzahl ähnlicher Methoden bezüglich der Berechenbarkeit aufgestellt. Eine nicht beweisbare Zusammenfassung formulierte dann Church[41] 1940. Sie heißt daher heute die Churchsche These und wird von der überwiegenden Mehrzahl der Mathematiker für richtig gehalten. Vereinfacht lautet sie etwa:

Alle Methoden zur Berechnung, von denen der Turing-Automat nur eine ist, umfassen die gleiche Menge von Problemen. Sie entsprechen dem, was wir intuitiv berechenbar nennen.

Die verschiedenen Rechenverfahren sind somit eine

exakte Definition des Algorithmus. Damit ist auch der Begriff Algorithmus genauer zu beschreiben:
Ein Algorithmus ist eine mechanische Rechenvorschrift. Sie muß in endlicher Zeit zu einem Ergebnis führen.

Gefordert sind erstens die Konstruktivität und zweitens der Abbruch des Verfahrens nach einer »sinnvollen« Zeit.

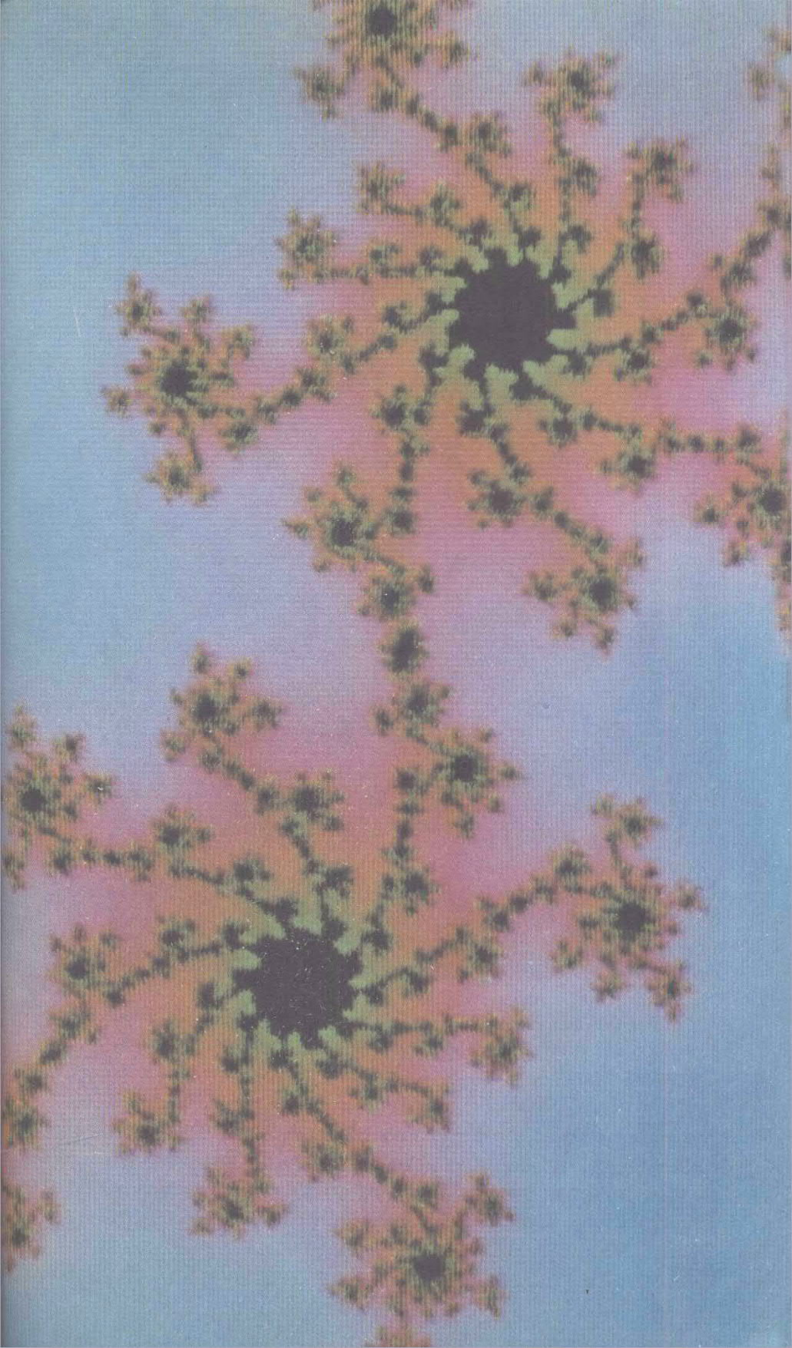
Er ist dies also das »Gegensätzliche« zur Unentscheidbarkeit von Gödel. Gemäß dem Schema auf Seite 106/107 besteht zwischen beiden aber eine Lücke. Hinzu kommt, daß es bei einem System nur »im Prinzip« entscheidbar ist, ob es Widersprüche enthält. Die Gödel-Grenze ist teilweise unscharf.

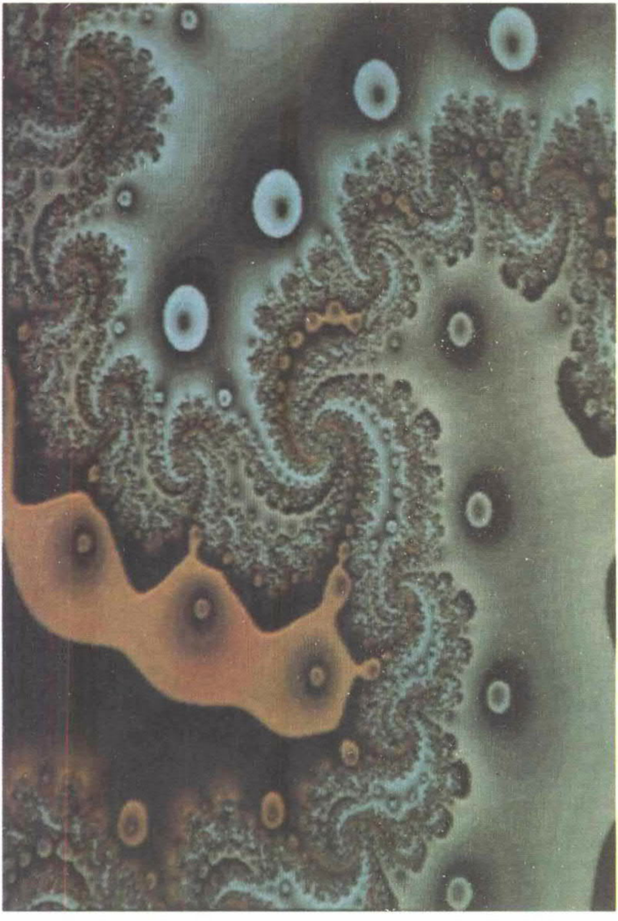
Anders ist es bei der Berechenbarkeit. Hier gibt es mehrere Grenzen, die sich zudem mit der Entwicklung der Rechentechnik ständig verschieben. Diese Grenzen sind unter anderem bestimmt durch:
- neuere, schnellere und größere Rechentechnik,
- neue Algorithmen für dieselben Probleme.

Während das erste vor allem die Hardware betrifft, ist das zweite betont auf die Software bezogen. Und hierbei gibt es, wie schon zu Anfang erwähnt (S. 19), z. Z. keine Methode, um die theoretische Effizienz eines Algorithmus, selbst in bezug auf einen konkreten Rechner, zu bestimmen. Es ist wahrscheinlich noch auf lange Sicht das intuitive Entwickeln neuer Algorithmen notwendig, die dann im nachhinein mit anderen Algorithmen auf konkreten Rechnern verglichen werden müssen. Auf diese Weise verschiebt sich die Grenze des praktisch Berechenbaren immer weiter nach links, wie im Bild gezeigt. Doch wie weit, ist z. Z. nicht anzugeben. Auf alle Fälle wird man sich bestenfalls in die Nähe der Grenze gemäß der Churchschen These bewegen können.

Versuch eines Ausblickes

Wie jetzt im Rückblick zu erkennen ist, bietet der Rechner für die Kunst beachtlich viele nützliche Aspekte. Sie überstreichen das Gebiet der künstlerischen Selbstbetätigung auf Kleinstrechnern, die Möglichkeiten des schon effizienten Einsatzes der Text-, Ton- und Bildbearbei-





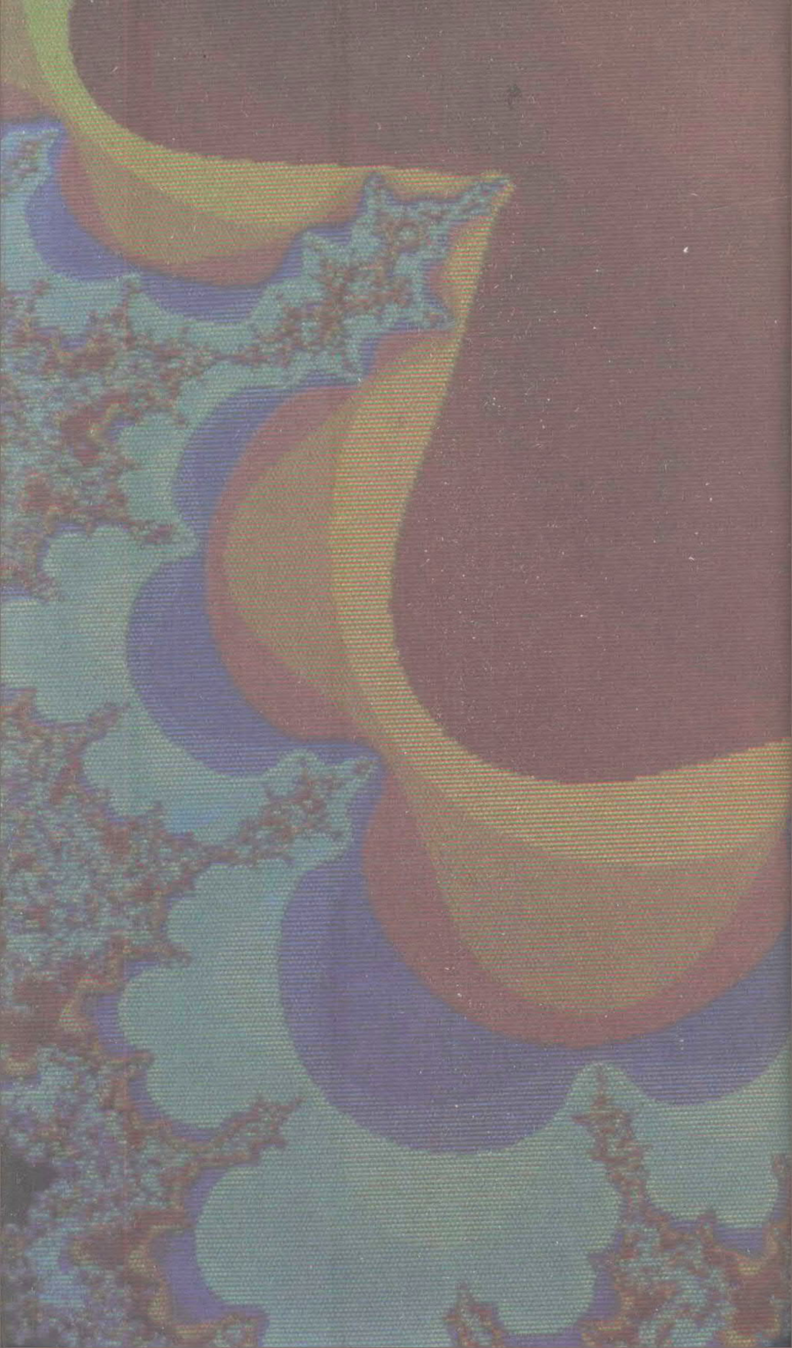
Die Bilder auf den Seiten 117 und 118 wurden von F. Kriegel und G. Jansen mit einem Großrechner auf der Basis spezieller Iterationsfunktionen erzeugt.

tung bis zu den kommerziellen Methoden des Großrechnereinsatzes. In den nächsten Jahren und Jahrzehnten werden wir über immer leistungsfähigere Rechner auf allen Gebieten verfügen. Dadurch eröffnen sich schrittweise immer neue Möglichkeiten. Was heute erst die Großrechentechnik kann, vermögen morgen die Kleinstrechner. An der Hardware wird es also kaum fehlen. Eher wird die Software begrenzend wirken. Doch bei allen Methoden bleibt der Rechner – und ich hoffe, das konnte ich ausreichend deutlich zeigen – nicht mehr als ein, wenn auch sehr leistungsstarkes Hilfsmittel. In der Analyse von Kunstwerken werden wir immer tieferen Einblick in spezifische oder universelle Eigenschaften gewinnen. Bei der Produktion von kunstähnlichen Werken oder künftig vielleicht neuen Kunstwerken stellt der Rechner nicht mehr als einen modernen »Pinsel« dar, dessen Handhabung z. Z. noch relativ schwer zu erlernen ist. Dies wird sich mit der weiteren Entwicklung der Rechentechnik sicher ändern.

Letztlich bleibt aber in beiden Fällen die von der individuellen Persönlichkeit entwickelte und kreierte neue Idee das Entscheidende. Alle entstehenden Werke sollen ja Werke für Menschen mit ihren typischen Bedürfnissen sein und keineswegs Werke für eine sich eventuell entwickelnde Computer- oder Robotergemeinschaft. Deshalb noch mal einmal meine Behauptung, daß

ethische und ästhetische Fragen typisch menschliche Fragen sind und damit jedem technischen »Wesen« schon vom Prinzip her fremd sind und bleiben.

Sorgen wir dafür, daß die Rechner mit ihren großen Möglichkeiten auch für die Kultur wirksam werden, d. h. in die menschliche Kultur eingehen und sie bereichern, wie es bisher insbesondere vom technischen Standpunkt vor allem Fotografie und Film taten.



Anmerkungen

1 Gedicht auf S. 8: Gerhard Stichel (1937): Autopoem Nr. 312. Texte dieser Art wurden auf einer IBM 7090 um 1966 nach Eingabe von etwa 1200 Wörtern generiert. Stichel hat Germanistik, Anglistik und Allgemeine Sprachwissenschaft studiert.
2 Abb. auf S. 9 oben: Paul Klee (1899–1940), schweizerischer Maler und Grafiker: Die Federzeichnung trägt den Titel »Haupt- und Nebenwege«.
3 Abb. auf S. 9 unten: Frieder Nake (1927): Computergrafik in bezug zu Klee, Komposition 13/9/1965 Nr. 2, 40 × 40 cm. Nake promovierte mit einem Thema aus der theoretischen Physik. Grundlegendes Buch im Springer-Verlag: »Ästhetik als Informationsverarbeitung« (1974). Wesentlicher Initiator der Computergrafik. Hauptarbeitsgebiet: Satz-, Bildherstellung, Umbruch. Universität Kiel.
4 Coppelia: Ballettpantomime von Léo Delibes nach E. T. A. Hoffmanns Erzählung »Der Sandmann«. Vgl. auch J. Offenbach »Hoffmanns Erzählungen«. Hier heißt die künstlich geschaffene »Puppe« Olympia.
5 P. J. Droz (1721–1790) und sein Sohn H. L. J. Droz, Uhrmacher aus La Chaux-de-Fonds, bauten automatische Puppen, auch Androiden genannt (Schreiber, Zeichner und Klavierspieler).
6 Max Bense (1910), Philosoph aus der BRD, der aus idealistischer Sicht unter anderem mit seiner Ästhetica versucht hat, eine »Exakte Ästhetik« zu begründen. Während dieser Versuch fehlschlagen mußte, hat er wesentlich die westeuropäische Schule der Informationsästhetik gefördert.
7 Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796–1832), französischer Physiker und Ingenieur
8 Claude Elwood Shannon (1916), amerikanischer Mathematiker, Begründer der Informationstheorie und Autor weiterer wichtiger Arbeiten zur Nachrichtentechnik

9 Bit ist abgeleitet von binary digit (engl.), etwa Schritt oder Zahl zur Basis zwei (binär).

10 Entropie (griech.): vom Physiker Rudolf Clausius (1822–1888) eingeführte Maßzahl der Thermodynamik. Da in der zugehörigen Formel der Logarithmus vorkommt, schlug der Begründer der Kybernetik, Norbert Wiener[34], vor, diese Bezeichnung auf den Grundterm der Informationstheorie zu übernehmen. Erst sehr viel später stellte sich eine echte Querbeziehung heraus.

11 Gustav Theodor Fechner (1801–1887), Naturforscher und Philosoph, Vorläufer der experimentellen Psychologie. Bekannt ist das nach ihm benannte Fechnersche Gesetz.

12 Helmar Frank, Westberliner Pädagoge und Kybernetiker, der große Verdienste bei der Anwendung der Informationstheorie in der Kunst und Pädagogik erworben hat. Seine Hauptwerke betreffen kybernetische Grundlagen der Pädagogik und Untersuchungen zur reinen Mime.

13 W. Fucks hat sich große Verdienste bei statistischen Analysen von Literatur und Musik erworben.

14 Bei statistischen Untersuchungen unterscheidet man zunächst Mittelwert und Streuung. Die Streuung ist dabei die quadratische Abweichung vom Mittelwert. Momente höherer Ordnung bilden höhere Potenzen bezüglich der Abweichung. Der Exzeß ist das Moment 4. Ordnung minus 3.

15 Theodor W. Adorno (eigentlich Wiesengrund) (1903), westdeutscher Philosoph, Soziologe und Musiktheoretiker. Auf seine Arbeiten zur Musik nimmt unter anderem Thomas Mann im »Doktor Faustus« Bezug.

16 H. Weitner, westdeutscher Kybernetiker

17 Andrej Andrejewitsch Markow (1856–1922), russischer Mathematiker, große Verdienste auf den Gebieten der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Zahlentheorie

18 Sigmund Freud (1856–1939), österreichischer Psychiater und Neurologe. Vertreter der Tiefenpsychologie, Begründer der Psychoanalyse

19 Ruth Völz, Sängerin, hat die Methode der dargestellten Textgrafiken entwickelt und auf mehreren Ausstellungen vorgestellt.

20 Blaise Pascal (1623–1662), französischer Mathematiker. Beiträge zur projektiven Geometrie, Kombinatorik, Differential- und Integralrechnung, Mitbegründer der Wahrscheinlichkeitsrechnung, konstruierte 1642 eine Rechenmaschine.

21 G. Jansen und F. Kriegel sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR.

22 M. C. Escher (1898–1972), niederländischer Maler, der einen speziellen Stil entwickelte, in dem vor allem Symmetrie, Unendlichkeit sowie bewußt falsch dargestellte Räume einen besonderen Reiz ausmachen

23 Jonathan Swift (1667–1745), irischer Schriftsteller und Publizist, schrieb 1727 die utopische Satire »Reisen in verschiedene fern gelegene Länder der Erde des Capitains Lemuel Gulliver«, allgemein als »Gullivers Reisen« bekannt.

24 Karl Küpfmüller, deutscher Nachrichtentechniker, Arbeiten zur System- und Informationstheorie

25 Josef Weizenbaum (1923, Berlin), emigrierte 1936. Computerwissenschaftler, langfristig am Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) tätig. Mitbegründer der Künstlichen Intelligenz, bekannt durch sein Programm »ELIZA«, auch Doktor genannt, das einen Psychiater simuliert. Progressiv war sein Buch »Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft«. In den letzten Jahren wandte er sich gegen alle Computeranwendungen.

26 Carl August Reinhardt (1818–1877), Karikaturist, Illustrator, Landschaftsmaler und Schriftsteller

27 Heinrich Spoerl (1887–1955), deutscher Schriftsteller, bekannt vor allem durch seine »Feuerzangenbowle« und »Der Gasmann«

28 H. Bilz und W. Dietrich entwickelten auf der Basis eines BASIC-Programms die Gedichtparodie zu Mörikes »Frühling«.

29 Johann Philipp Kirnberger (1721–1783), deutscher Musiktheoretiker, unter anderem Versuche zum Komponieren mit Würfeln

30 Hubert Kupper, westdeutscher Informatiker, hat sich bei der automatisierten Komposition Verdienste erworben. Sein Programm GEASCOP ist besonders leistungsfähig. Damit wurden mehrfach Werke generiert, die dem Schaffen von J. S. Bach bzw. Madrigalen entsprechen.

31 Heinrich Hertz (1857–1894), deutscher Physiker, dem 1886 der Nachweis der elektromagnetischen Wellen gelang. Nach ihm ist die Maßeinheit Hz benannt.

32 Wilhelm Furtwängler (1886–1954), hervorragender deutscher Dirigent. Durch sein Eintreten für P. Hindemith (1934) in seiner künstlerischen Tätigkeit in der Zeit des Faschismus behindert, abgelöst durch Karajan

33 Friedhardt Klix (1927), führender Psychologe und Vertreter der Künstlichen Intelligenz in der DDR. Besonders zu nennen ist sein Werk »Information und Verhalten«.

34 Norbert Wiener (1894–1964), amerikanischer Mathematiker, Begründer der Kybernetik

35 Pierre Simon Laplace (1749–1827), französischer Mathematiker. 1799 Innenminister. Vor allem sind seine Himmelsmechanik und Arbeiten zur Wahrscheinlichkeitstheorie sowie der nach ihm benannte Laplaceoperator, die Laplace-Differentialgleichung und -Transformation bekannt.

36 Antinomie, Bezeichnung für unlösbare Widersprüche, zunächst nur im sprachlichen Bereich

37 Nimmt Bezug auf die dem Sender Jerewan zugeschriebenen skurrilen Witze, z. B. Anfrage an den Sender Jerewan: »Stimmt es, daß der Genosse Iwan Iwanowitsch Koslow aus Moskau im Lotto ein Auto gewonnen hat?« Antwort des Senders: »Im Prinzip ja, aber es war nicht Genosse Iwan Iwanowitsch Koslow, sondern Maxim Maximowitsch Budnikow. Außerdem war es nicht in Moskau, sondern in Kiew. Auch war es kein Auto, sondern ein Fahrrad, und schließlich hat er es nicht gewonnen, sondern es wurde ihm gestohlen.«

38 David Hilbert (1862–1943), deutscher Mathematiker, bahnbrechende Arbeiten auf allen Gebieten der Mathematik

39 Kurt Gödel (1906–1978), österreichischer Mathematiker, grundlegende Arbeiten zur Mathematischen Logik, Unvollständigkeitssatz

40 Alan Mathison Turing (1912–1954), englischer Mathematiker, Arbeiten zur Numerischen Mathematik, beteiligt am Bau elektronischer Rechenmaschinen

41 Alonza Church (1903), amerikanischer Logiker und Mathematiker

»akzent«-Reihe (1974–1988)

1. Brosin, Vorstoß ins Ungewisse
2. Kobrinski, Achtung – Roboter!
3. Kirchberg, Oldtimer – Autos von einst
4. Lindner, Der Sternhimmel
5. Dorschner, Sind wir allein im Weltall?
6. Rast, Aus dem Tagebuch der Erde
7. Lindner, Kraftquell Kernenergie
8. Raths, Tiere im Winterschlaf
9. Lehmann, Mathe mit Pfiff
10. Peters, Mensch und Tierwelt
11. Brentjes, Die Erfindung des Haustieres
12. Mothes, Tiere am Fließband
13. Eyermann, Sojus – Apollo 1975
14. Thomas/Thomas, Milliarden Jahre Leben
15. Schönknecht, Schneller – aber wie?
16. Freytag, Vom Wasser- zum Landleben
17. Raubach, Rätsel um das Molekül
18. Rudolph, Olympische Spiele in der Antike
19. Krause, Gehirn contra Computer?
20. Friedemann, Leben wir unter kosmischen Einflüssen?
21. Mohrig, Wieviel Menschen trägt die Erde?
22. Günther, Gebaute Umwelt
23. Kéki, 5000 Jahre Schrift
24. Krumbiegel, Tiere und Pflanzen der Vorzeit
25. Windelband, Woher der Mensch kam
26. Winde/Knoll, Schlagadern des Seeverkehrs
27. Dorschner, Planeten – Geschwister der Erde?
28. Becher, Ist das Eigentum ewig?
29. Kurze, Leichter als Luft

30. Ritzhaupt u. a., Nahrung aus dem Meer
31. Kehnscherper, Auf der Suche nach Atlantis
32. Gränz/Kirchberg, Klassiker auf vier Rädern
33. Lange, Die Farben der Tiere
34. Wille, Sibirien – Erschließung eines Kontinents
35. Zimmermann, Nur eine Münze ...
36. Kolb, Lebensvorgänge unter der Lupe
37. Rührdanz, Bagdad – Hauptstadt der Kalifen
38. Lewantowski, Raumtransporter
39. Szécsényi-Nagy, Jenseits der Milchstraße
40. Odening, Parasiten – Geißel der Menschheit?
41. Brentjes, Vom Stamm zum Staat
42. Conrad, Vom Jakobsstab zur Satellitennavigation
43. Wassilewski, Vulkane – Feuer des Pluto
44. Petrik, Kurioses aus der Technik
45. Knoll/Winde, Windjammer
46. Mohrig, Wie kam der Mensch zur Familie?
47. Brentjes, Rätsel aus dem Altertum
48. Rehbein, Oldtimer auf Schienen
49. Marquart, Raumstationen
50. Herrmann, Besiedelt die Menschheit das Weltall?
51. Farkas, Veränderliche Tierwelt
52. Oppermann, Tarnovo – Zarenstadt des Balkan
53. Rook, Oldtimer der Flüsse und Meere
54. Günther, Straßen, Brücken, Türme
55. Mothes, Durch Sonnenenergie mehr Nahrung
56. Katona, Interessantes aus der Medizintechnik
57. Marcinek, Droht eine nächste Kaltzeit?
58. Nichelmann, Licht und Leben
59. Lányi, Erstaunliches über Tiere
60. Brentjes, Libyens Weg durch die Jahrtausende
61. Scheikov, Leben und Symmetrie
62. Mletzko/Mletzko, Die Uhr des Lebens
63. Brentjes, Bauern, Mullas, Schahinschahs
64. Müller/Pötsch, Vom Königspurpur zum Jeansblau
65. Conrad, Kommunikation 2000
66. Naumann, Wo steckt noch Energie?
67. Farkas, Wandernde Tierwelt
68. Vahlen, Weltwunder der Antike
69. Scharff, Der Garten im Wandel der Zeiten
70. Mohrig, Böse wie Tiere?

71. Oppermann, Plovdiv – antike Dreihügelstadt
72. Göttner/Seydewitz, Roboter heute und morgen
73. Lange, Gestaltwandel im Tierleben
74. Illini/Bernstein, Elektronik im Alltag
75. Hohl, Wandernde Kontinente
76. Müller, Vom Ringwall zur Festung
77. Rehbein, Klassiker des Schienenstranges
78. Kokoschko, Mittelasien, gestern, heute, morgen
79. Conrad, Chips – Sensoren – Computer
80. Stoof, Das hunderttorige Theben
81. Rook, Riesen der Ozeane
82. Bürger, Geschützte heimische Tiere
83. Hahn, Sonnentage – Mondjahre
84. Lange, Inseltiere
85. Hamel, Astrologie – Tochter der Astronomie?
86. Tietze, Megalopolis
87. Völz, Computer und Kunst

»akzent« – die Taschenbuchreihe mit vielseitiger Thematik: Mensch und Gesellschaft, Leben und Umwelt, Naturwissenschaft und Technik. – Lebendiges Wissen für jedermann, anregend und aktuell, konkret und bildhaft.

Gibt es eine Beziehung zwischen Rechentechnik, Informationstheorie und Kunst? Die rechnergestützte Erzeugung von ästhetisch wirkenden Konfigurationen hat bereits praktische Bedeutung erlangt! Computergrafik, Computermusik und sogar Computerdichtung sind im Gespräch. Ethik, Moral und Ästhetik können jedoch nicht durch die Technik »bearbeitet« oder »verbessert« werden. Hierfür bleibt allein der Mensch zuständig. Trotz dieser grundsätzlichen Verschiedenheit bietet der Rechner bisher völlig ungeahnte Möglichkeiten.

ISBN 3-332-00220-1