

SHANNON-Information

Dieses Material beruht u. a. auf

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Allgemeine Grundlagen für Naturwissenschaft, Technik und Medizin. Shaker Verlag, Aachen 2001

Es ist neben anderem vollständig auf der CD enthalten

Völz, H.: Wissen - Erkennen - Information. Datenspeicher von der Steinzeit bis ins 21. Jahrhundert. Digitale Bibliothek Bd. 159, Berlin 2007

Vertiefung ist auch durch folgende PDF-Dateien möglich:

www.aes.cs.tu-berlin.de/voelz/HU/3Shannon.pdf; ÄsthetikNetz.pdf; Zur Vielfalt der Entropien.pdf
www.aes.cs.tu-berlin.de/voelz//PDF/ComputerKunst.pdf

Bei Angabe der Quelle ist das Material zum privaten Gebrauch voll nutzbar

Bei kommerzieller Nutzung bzw. in Publikationen usw. ist eine Abstimmung mit mir notwendig
Bilder in höherer Qualität sind verfügbar als: ca. 2000×3000 Pixel oder *.cdr Version 12

Dieses Material wurde heruntergeladen von: www.aes.cs.tu-berlin.de/voelz/PDF

Email: [hvoelz\(at\)fpk.tu-berlin.de](mailto:hvoelz(at)fpk.tu-berlin.de) bzw. [h.voelz\(at\)online.de](mailto:h.voelz(at)online.de)
Prof. Dr. Horst Völz, Koppenstr. 59, 10243 Berlin, Tel./Fax 030 288 617 08

Zur SHANNON-Informations-Theorie

Eine allgemeingültige Beschreibung der Informationsprozesse erfolgte im Teil 1

Sie wird hier nur für spezielle Gebiete, vor allem der *Nachrichtentechnik* weiter geführt

Im Zentrum steht die 1945 von SHANNON (s. u.) entwickelte Theorie (Nachrichtentechnik)

Sie ist inzwischen sehr weit gediehen und gilt heute als eine der *vollständigsten Theorien*

Sie wird *stark vereinfacht* in den *wesentlichen Aussagen* betont anschaulich erklärt

Dabei werden weitgehend die mathematischen Aspekte vermieden

Ferner werden *anderweitige Anwendungen*, z. B. in der *Ästhetik* berücksichtigt

Außerdem werden die verschiedenen Varianten von *Entropie* behandelt

Wesentliche Inhalte

Beschreibung: *Quelle*= Output; *Kanal* mit Störung, *Empfänger* = Input

Messbare Größen: Quelle → *Entropie*; Durchlassfähigkeit Kanals → (Kanal-) *Kapazität*

(Technische) Ziele: *Redundanz* der Quelle sowie *Anpassung* Kanal ↔ Quelle

Konstruktive Daten: *Modulation*, *Codierung* von Signalen

Mittelbar: *Fehlererkennung*; -korrektur; *Kompression*, *Kryptographie*

Theorie nicht möglich: Berücksichtigung von *Inhalten*, z. B. *Semantik*, *Pragmatik*

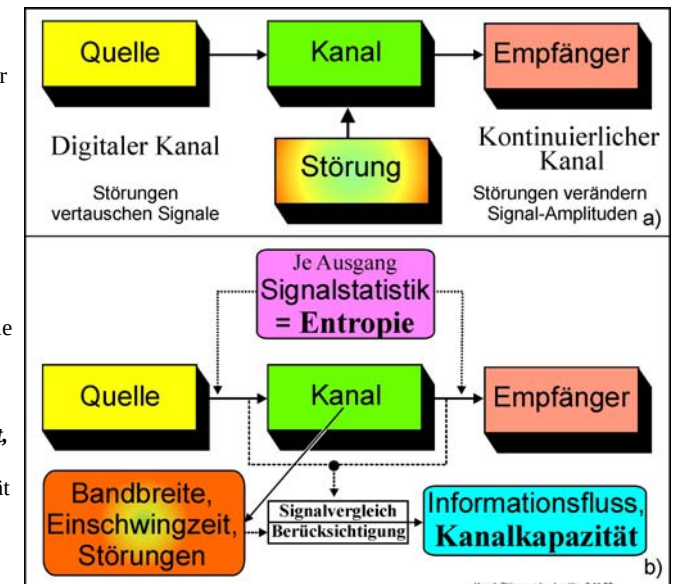
Dennoch gibt es nützliche *Aspekte für Kunst und Literatur*, *Sprache*, *Bilder*, *Gedächtnis* usw.

Achtung! Unterschied:
Kontinuierlicher ↔ digitaler Kanal

Hauptkenngrößen sind;

- **Entropie** = Maß für Quellen bzgl. der Statistik der Signale
- **Kanalkapazität** = Maß für die Informationsmenge, die einen Kanal maximal passieren kann

Bandbreite, Einschwingzeit, Störungen usw. sind Parameter für Kanalkapazität



Cloude Elwood SHANNON

30.04.1916 - 24.2.2001

Zählt zu den bedeutendsten Wissenschaftlern

Ohne seine Theorie würde die meiste heutige Informationstechnik nicht funktionieren

Kein Nobel-Preis weil für dieses Gebiet keiner ausgeschrieben ist

Keine fast äquivalente **Fields-Medaille** der Mathematiker, keine mathematischen Grundlagen

1936 - 1938 Magister (PhD) „Boole“sche Algebra bei Relais

1940 Dissertation „Algebra für theoretische Genetik“

1941 Fellow of the IAS, Princeton

1940 - 1945 Grundlagen zur **Kryptographie** (Geheimhaltung USA)

1941 - 1972 Mathematics Department der Bell-Laboratorien

1948 (1940?) A Mathematical Theory of Communication (Informationstheorie)

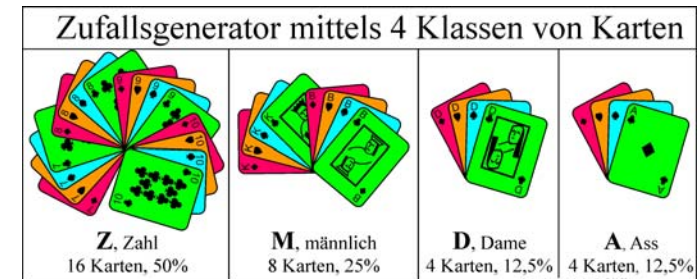
1958 Professor am MIT (Massachusetts Institute of Technology)

1960 Kybernetik, Shannon Maus, Labyrinth usw.

Nur wenige, aber dafür wissenschaftlich fundamentale Arbeiten in hoher Qualität (vollständige) Literatur am Ende

Karten-Ratespiel für die Entropie

Aus einem Skatblatt werden **vier** unterscheidbare **Klassen gebildet** (Zufallsgenerator)



Die Karten werden gemischt; eine Karte wird vom **Spielmeister verdeckt gezogen**

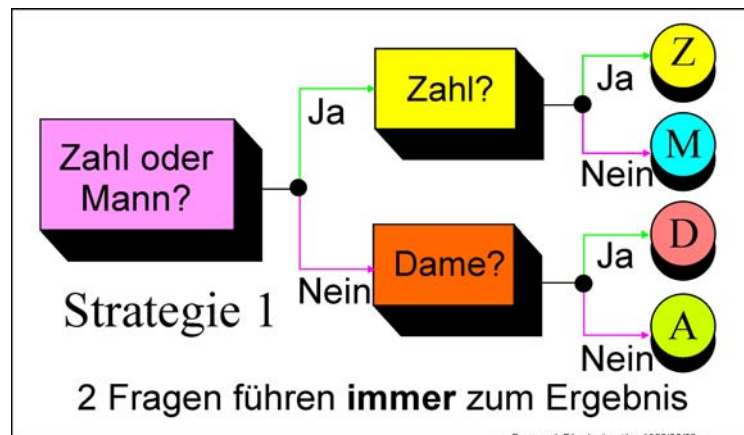
Der **Teilnehmer** muss ermitteln, erraten zu welcher Klasse Karte gehört

Er **stellt Fragen** an den Spielmeister, die dieser nur mit „ja“ oder „nein“ beantwortet

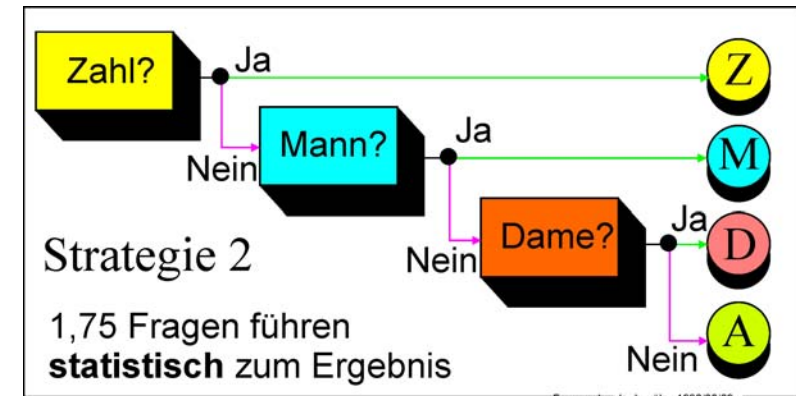
Das **Spiel** ist oft zu **wiederholen**

Es ist so zu verfahren, dass **im statistischen Mittel** je Karte möglichst **wenig Fragen notwendig** sind

Dafür muss er eine **Fragestrategie** entwickeln



Diese **Strategie** folgt der Vorstellung, immer alle jeweils **vorhandenen Möglichkeiten zu halbieren**. Wird beim „Begriffe-Raten“ benutzt, selbst bei sehr schwierigen Begriffen reichen dann **20 Fragen**. Sie ist jedoch statistisch nicht optimal. Im Beispiel genügen **theoretisch 1,75 Fragen** je Karte (s. u.)



Dies **ist eine optimale Strategie** (s. u.)

Es gibt **weitere**, darunter auch optimale, **aber keine bessere**

Weiter **probieren** ist also **nutzlos**

Berechnung der statistisch gemittelten Anzahl von Fragen

Klasse	Z = Zahlen	M = männliche	D = Damen	A = Asse
F = Anzahl der Fragen	1	2	3	3
P = Prozent vorhanden	50	25	12,5	12,5
Produkt = F·P/100	0,50	0,50	0,375	0,375
gemittelte Summe	1,75			

Doch **woher weiß ich**, dass 1,75 Fragen je Karte der kleinstmögliche Wert ist?
Dazu bedarf es der **Informationstheorie** von SHANNON
Doch zunächst ist der Zusammenhang **Spiel ⇔ Nachrichtenübertragung** herzustellen

Bezüge zur Informationstheorie

Spiel	Informationstheorie
Kartenklassen	Mögliche Signale , z. B. Bit, Ziffern, Buchstaben, Zeichen, Symbole usw.
Spielmeister	Sender, Signalquelle , wählt nacheinander ein Signal aus und sendet es
Ratender	Empfänger
Fragen	Decoder = Vergleich das empfangene Signal mit den zulässigen Signalen und entscheidet mittels Kriterien (Fragen) welches richtig ist
Fragestrategie	Codebaum ist im Decoder vorhanden, implementiert
Fragen-Anzahl	Codeaufwand ⇒ Entropie

In der Informationstheorie muss der **Codebaum nicht erraten werden**, er wird konstruiert (s. u.)
Sie ist sogar für die fast alle Anwendungen voll **konstruktiv**
Das bieten die meisten anderen Theorien nicht

Informationstheorie ⇔ Wahrscheinlichkeit

- Es sind **2 Voraussetzungen** für die Anwendung der Informationstheorie notwendig
- Die **n möglichen Signale** (Zeichen usw.) müssen **zuvor genau festgelegt** sein
 - Für **jedes Signal** (Zeichen) muss die **Wahrscheinlichkeit p_i** des Auftretens bekannt sein

Obiges Beispiel: Kartenraten
Kartenklassen $n = 4$, Wahrscheinlichkeiten $p_1 = 50\%$; $p_2 = 25\%$, $p_3 = p_4 = 12,5\%$
Andere Möglichkeiten: **Buchstaben** einer Sprache, **Farben** in einem Bild

Wenn die beiden Voraussetzungen erfüllt sind, dann gilt die SHANNON-**Entropie**-Formel

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \text{ld}(p_i)$$

Sie gibt die **minimal mögliche Anzahl** binärer **Ja/Nein-Fragen je Signal** (gezogene Karten) an.
Diese Ja/Nein-Fragen sind daher die **Definition des Bit**
Von **binary digit**, (englisch **digit** Zahl, Ziffer, Finger)

Inhalt der Entropie-Formel 1

Ableitung, Erklärung der Formel wird meist nicht gegeben, hier ein **anschaulicher Versuch**
Es seien 4 binäre Speicherplätze vorhanden, mittels **0/1** Belegung sind 2^4 Signale möglich:

binäre Speicherplatz	zulässige, herstellbare Zeichen, Zustände Symbol-Realisierungen, konkrete Signale
1	0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1
2	0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1
3	0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 1
4	0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1
m	n = 2 ^m

- Ein mögliches Signal (entspricht einer Kartenklasse) ist die Bit-Folge: **0101**
Folglich sind zu unterscheiden:
- Die **Informationsmenge (n)** entspricht der Anzahl von Speicherplätzen, z. B. *Stellen* einer Zahl
 - Die **möglichen, herstellbaren Signale (n)** sind **Varianten** der Information, z. B. *Zahlen*
- $m = \text{ld}(n)$

Es wird der binäre Logarithmus $\text{ld} = {}_2\log$ zur Basis 2 genutzt

Inhalt der Entropie-Formel 2

Es muss jetzt die **Wahrscheinlichkeit** p_i der **Signale** eingeführt werden

Einfachster Fall: **gleichwahrscheinlich**: z. B. Würfel je Wurf $1/6$, allgemein $p = 1/m$

$$m = \text{ld}(n) \Rightarrow = 1/\text{ld}(p) = -\text{ld}(p)$$

Negatives Vorzeichen wegen reziprok und nützlich, weil für $x < 1 \Rightarrow \log(x) < 0$ folgt

Verschiedene Signale treten meist mit **unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten** p_i auf,
daher ist eine **Bewertung** mit dem **Gewicht** p_i sinnvoll, ja notwendig $\Rightarrow$

$$h = -p_i \cdot \text{ld}(p_i)$$

Dieser Ausdruck wird **Auffälligkeit** eines Signals genannt (s. u.)

Für die **Entropie** (minimale Fragezahl) muss der **Mittelwert über alle Signale** gebildet werden

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \text{ld}(p_i)$$

Merke! **Informationen** werden **addiert**

Abhängige **Wahrscheinlichkeiten** **multipliziert**

4 Hinweise, Möglichkeiten für p_i

- Wahrscheinlichkeit
- Häufigkeit
- Gleichverteilung
- Ergodensatz

Wahrscheinlichkeit p

Echt, richtig nur dann, wenn die Werte p bereits vor dem Experiment feststehen = **a priori**

Varianten dazu:

- **Zufall**: physikalische Gesetze: Quanten- und thermodynamische Prozessen (Rauschen)
- **sehr viele** (∞) **Parameter**: Würfel, Urne, Karten, Los ziehen, Münzwurf (Knobeln)
- **Im Rechner** z. B. $1/100$ -tel Sekunden der Uhr

Vielfach wird bei Rechnern auch **Pseudozufall** benutzt

Sie erzeugen **Algorithmen** so, dass sie sehr zufallsähnlich sind (s. Folien Zufall)

Sie stellen ein Zwischenglied zur Häufigkeit dar

Häufigkeit k

Sie wird bei **bereits feststehenden** Daten **gezählt** = **a posteori** = im Nachhinein!

Damit die Daten „brauchbar“ sind, müssen gewählte **Stichproben repräsentativ** sein
Festlegungen dazu sind z. T. sehr schwierig

Nützlich ist der **Grenzwertsatz**: für $n \rightarrow \infty$ gilt $k \rightarrow p$

Der erforderliche **Aufwand** ist meist zu **groß, bestenfalls** gilt daher $k \approx w$

Typisch für Häufigkeiten sind z. B. die **Buchstaben** eines (gegebenen) Textes,
die Noten eines Musikstückes oder die Farben eines Bildes

Eine **Näherung** für die Häufigkeiten ist durch **Abschätzungen** zu erreichen

Gleichverteilung

$p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n$ muss insbesondere dann benutzt werden,
wenn nichts über die Wahrscheinlichkeiten oder Häufigkeiten erfahbar ist

Bei m unterscheidbaren Signalen gilt dann für die Entropie

$$H \leq H_{\text{Gleich}} = \lg(n)$$

H_{Gleich} ist also die **Obergrenze** der Entropie bei n Signalen, Zeichen

In diesem Sinne ist eine angenommene Gleichverteilung **als Abschätzung nützlich**

Ergodensatz

Griechisch **erg** (Vorsilbe) Tat, Werk, Vorfall

Er gilt wenn, **serielle und parallele Ereignisse** zur gleichen statistischen Verteilung führen

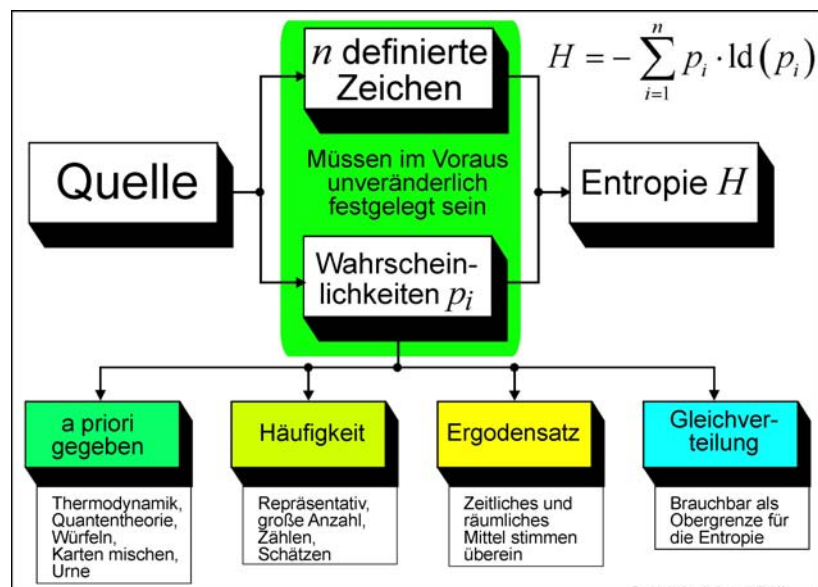
Allgemein ist er erfüllt, wenn räumliches und zeitliches Mittel gleich sind

Bei einer Urne ist es z. B. egal, ob man 7 Kugeln zusammen oder nacheinander entnimmt

Nicht ergodisch ist z. B. **aktuelle Sprache**

Ihre **Statistik ändert sich** im Laufe der Zeit durch Lernen und Vergessen

Außerdem hängt sie von Kontext ab, z. B. mit wem man worüber spricht



Codierung = Erzeugung des Codebaumes bei n Zeichen

Es gibt drei Varianten

- SHANNON-Codierung; ca. 1948
- FANO-SHANNON-Codierung; 1949
- HUFFMAN-Codierung; 1954

In den meisten Fällen, vor allem für $n > 5$, **steigt** dabei die erreichte **Qualität**

In allen drei Fällen werden benutzt

- binäre **Ja/Nein-Entscheidungen**
- nur **Endknoten**

Das führt zur **Prefix-Code**, bei dem kein Code-Wort der Anfang eines anderen ist
= irreduzibel = kommafrei = natürlich

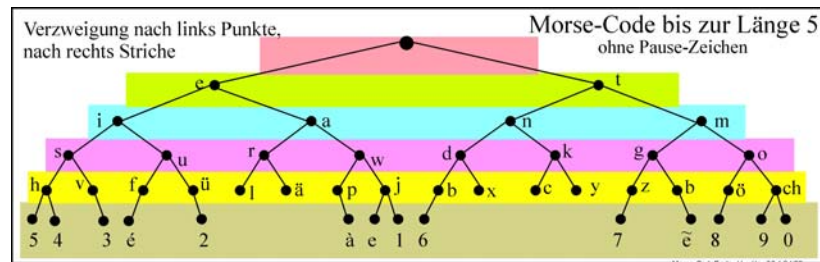
Ist z. B. „Haus“ ein Codewort, so dürfen u. a. nicht *Haustür*, *Haushalt* usw. auftreten
Dieser Code hat viele *technische* Vorteile (u. a. kein Trennzeichen); aber auch Nachteile

Der HUFFMAN-Code gilt zuweilen optimal, d. soll heißen: es kann keine bessere Lösung geben
Allgemein ist dies jedoch nicht beweisbar

Für Spezialfälle, wie Bilder, Texte usw. sind erheblich bessere Varianten bekannt, z. B. Zip und Arc

Nicht Präfix-Code

Sind meist **mehrdeutig**, benutzen **nicht nur Endknoten**, typisch ist der **MORSE-Code**



a	d	e	h	i	l	n	r	s	w
.-	-..	.		..	.-..	-.	.-.	...	.-.-

Zeichenfolge: ergibt u.a.:
seinen adel herr weil ies nah d

Er benötigt zusätzlich Pausen als **Sondertrennzeichen**

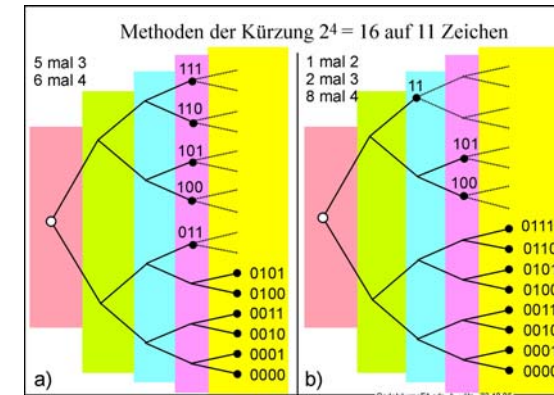
1. nach Punkt oder Strich (eventuell verschieden); 2. nach Zeichen; 3. nach Wort

Besitzt also mehr als 2 Symbole: Punkt und Strich: **zusätzlich** Hierarchie von Trennzeichen

SHANNON- Codierung

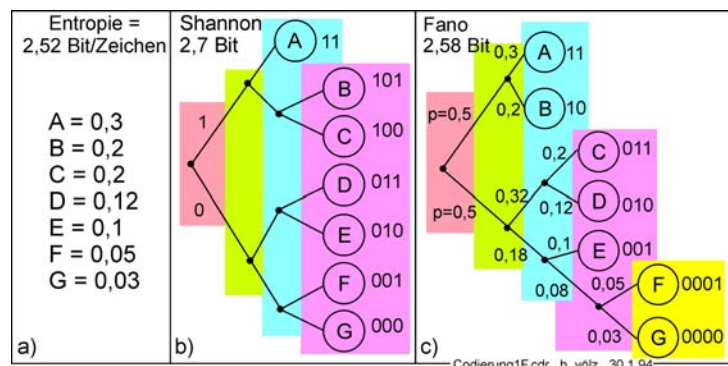
Sein Algorithmus lautet

1. **Codebaumtiefe** k so wählen, dass $2^k \geq n$
2. **Überzählige** Endknoten durch **Zusammenfassen** von je zwei Endknoten entfernen
3. Zusammengefasste Endknoten mit Symbolen der größten Wahrscheinlichkeit belegen



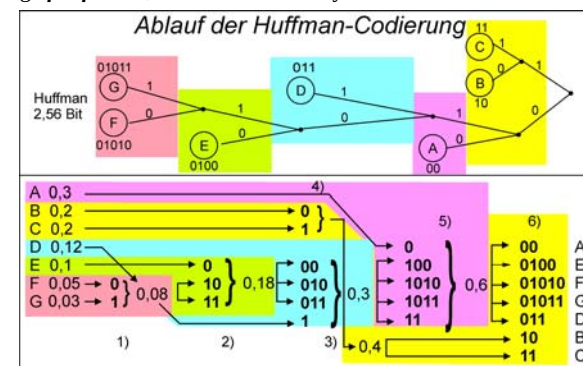
FANO-SHANNON-Codierung

1. Symbole nach **fallender Wahrscheinlichkeit** sortieren
2. Zwei **Gruppen mit möglichst gleicher** Wahrscheinlichkeit bilden
3. **Obere** Teilgruppe mit 1 codieren, **untere** mit 0 (*Code an vorhanden anfügen*)
4. Mit jeder Teilgruppe nach 2. **solange fortfahren, bis** jeweils einzelne Symbole erreicht



HUFFMAN-Codierung

1. Symbole nach **fallender Wahrscheinlichkeit** sortieren
2. Die beiden Symbole mit **kleinster Wahrscheinlichkeit** mit 0 bzw. 1 codieren (*Code vor vorhandenen einfügen*)
3. Beide Symbole aus dem Symbolvorrat entfernen und als ein **neues Hilfssymbol** zusammenfassen und mit der **addierten Wahrscheinlichkeiten** versehen
4. Bei 1. solange **fortfahren**, bis nur zwei Hilfssymbole existieren



Ergebnis der Codierung

Jede Codierung führt zum **Codeaufwand** $A \leq H$, sie ist nur sehr selten ideal
Für A muss Anzahl Ja/Nein-Entscheidungen = **Codelänge** l_i bis zum Endknoten erfasst werden

Theorie → Entropie H	Anwendung → Codeaufwand A
jedes Symbol liefert Anteil $-p_i \cdot \lg(p_i)$	zu jedem Symbol gehört Code-Länge l_i
$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \lg(p_i)$	$A = \sum_{i=1}^n p_i \cdot l_i$

Die Differenz: $R = A - H \geq 0$ heißt (Shannon-) **Redundanz**
Für eine ideale Codierung gilt $R = 0$, sie ist aber nicht immer möglich

In der Praxis wird meist die **relative Redundanz** benutzt

$$r = \frac{A - H}{H}$$

Bereits SHANNON zeigte, dass prinzipiell $R \rightarrow 0$ erreichbar ist,
dann gilt aber oft Decodierzeit (Verzögerung) $\rightarrow \infty$ und notwendige Speicherkapazität $\rightarrow \infty$

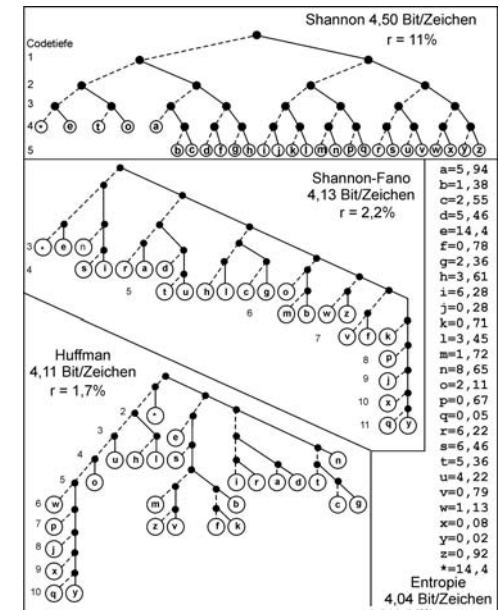
Codebäume

für ein typisches **Deutsches Alphabet**

Die **Tiefe** des Codebaumes nimmt
nicht immer in der Reihenfolge

SHANNON, SHANNON-FANO, HUFFMAN

Aber HUFFMAN nähert sich am meisten
der Entropie von 4,04 Bit/Zeichen



Homonym Entropie

Griechisch **homonymía** Gleichnamigkeit

Im Deutschen sind mehrere Hundert bekannt, z. B.:

Bauer = ländlicher Beruf; Käfig für einen Vogel

Bogen = Linie; gewölbtes Tragwerk; Waffe für Pfeilen; Schreib-/Packpapier; Noten-Zeichen

Als Kinder benutzten wir die Homonyme zum **Teekessel-Rate-Spiel**

Teekessel 1	Teekessel 2
Ich bin überwiegend aus Holz	Ich bin belebt
Ich mache Musik	Ich werde oft bewegt
Ich stehe auf einer Bühne	Ich enthalte viele Federn
Mich betätigt ein Künstler	Ich diene zum Fliegen

Auch der Begriff **Entropie** ist ein **Homonym** mit mehreren deutlich anderen Inhalten

Neben der SHANNON-Entropie existieren z. B. noch.

Thermodynamische, α -, BONGARD-WEIß-, KOLMOGOROFF-, HILBERG- und CARNAP-Entropie

Für Details s. „Zur Vielfalt der Entropien.pdf“

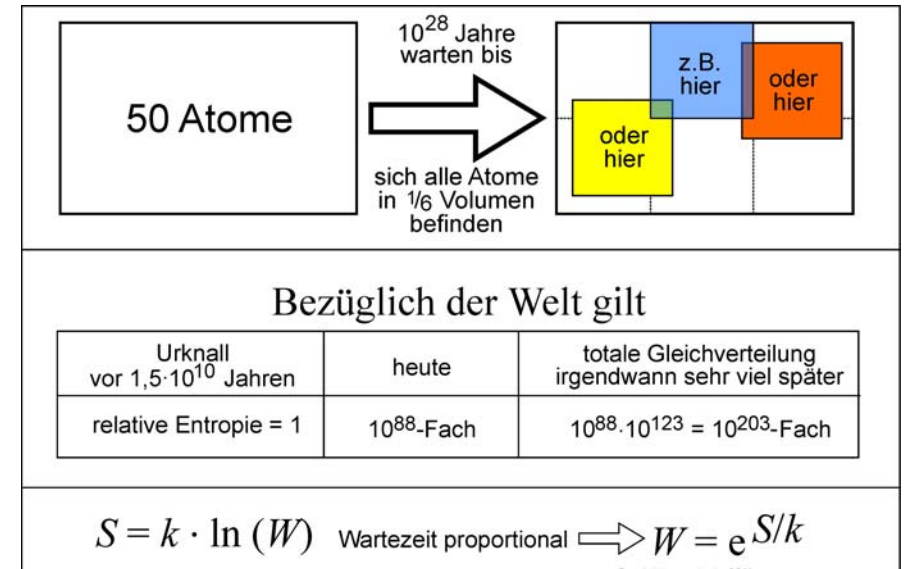
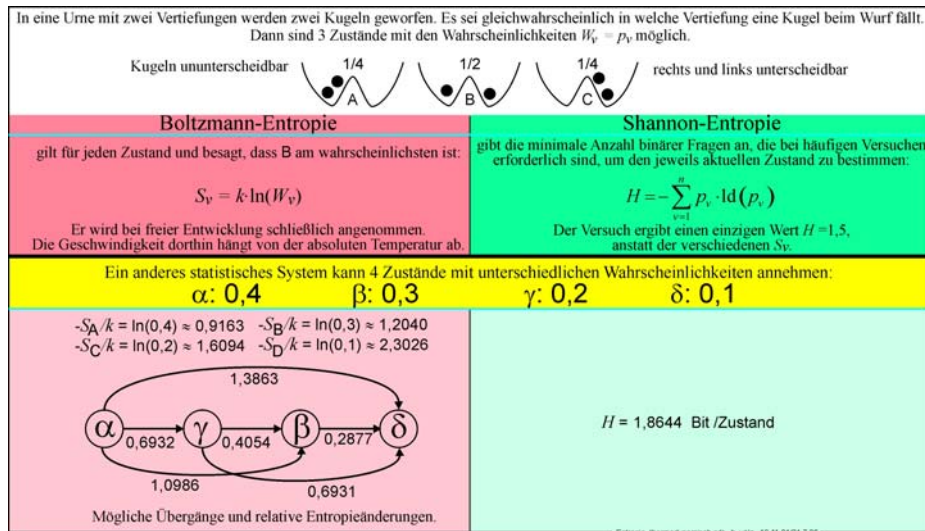
Es sei nur kurz die **thermodynamische** Entropie erklärt, weil oft ein völlig falscher Bezug
– vor allem in der Soziologie – zur SHANNON-Entropie hergestellt wird!

Entropien betreffen:

Physik und Chemie	Informations-, u. Nachrichtentechnik
Hauptsätze der Thermodynamik von BOLTZMANN 1857 eingeführt	Übertragung von Signalen, Information von SHANNON 1948 eingeführt
$S = k \ln(W)$ in J/K k = BOLTZMANN-Konstante W = Wahrscheinlichkeit	$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \lg(p_i)$ in Bit/Symbol p_i = Wahrscheinlichkeiten
Wandlung von Wärme in mechanische Energie CARNOT-scher Kreisprozess Dampfmaschine, OTTO-, DIESEL-Motor	Signalfluss, Kanalkapazität Codierung, Komprimierung, Fehlerkorrektur, Kryptographie

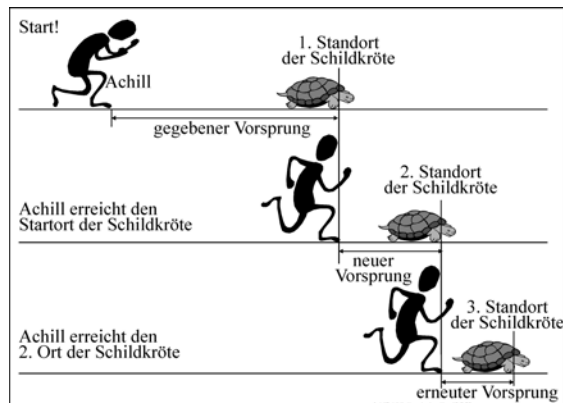
In beiden Fällen

kommt der Logarithmus vor, das war für WIENER Grund, den Namen vorzuschlagen
ist eine Messung mit Zahlenangaben möglich



Kontinuierlich $\Leftrightarrow$ diskret

Bisher wurden nur **diskrete Signale** betrachtet = einzelne Symbole, Zeichen
Es gibt aber auch **kontinuierliche** Signale, z. B. vom Mikrophon
Für sie gibt es wohl Spannungsbereiche, aber keine einzeln definierte Werte
Sie werden oft fälschlich **analog** bezeichnet, deshalb müssen **mehrere Begriffe erklärt** werden
Der Übergang ist aus dem Wettlauf von ACHILL mit der Schildkröte zu erkennen



Analog

Griechisch **logos** Vernunft + lateinisch **ana** auf, wieder, aufwärts, nach oben
Lateinisch **analogia** mit der Vernunft übereinstimmend, Gleichmäßigkeit
Analogie $\approx$ Entsprechung, Ähnlichkeit, Gleichwertigkeit, Übereinstimmung

Anwendungen u. a.:

- **Technik:** z. B. Analogrechner, elektromechanische Analogien; Analoguhr mit drehenden Zeigern
- **Kybernetik** technisch Systeme $\Leftrightarrow$ lebende Organismen
- **Biologie/Medizin:** analoge Organe bzgl. Morphologie/Struktur, z. B. Auge Wirbeltier, Tintenfisch und Insekt
- **Bionik**, z. B.: Haut von Delfinen zur Optimierung von Schiffsrümpfen, Lotos-Effekt usw.
- **Psychologie:** Denken, MAXWELL: Wasserströmung $\Leftrightarrow$ elektrische Felder; KEKULE: Affen $\Leftrightarrow$ Benzol-Ring
- **Logik:** induktive Beweisführung: Wenn Größen in einigen Punkten ähnlich sind $\Rightarrow$ auch in anderen ähnlich
- **Platon:** menschliche Seele dreigeteilt (Vernunft, Wille, Begierden)
Gerechter Mensch kontrolliert Begierden durch Vernunft, mit Unterstützung des Willens
Analogie zum Dreiständeaufbau des Staates: erleuchteter Philosoph | König regiert Gesellschaft mit Kriegeren
- **Rechtsprechung:** juristisch Tatbestand auf etwa wesensgleichen übertragen; in Deutschland unzulässig.
- **Literatur** $\approx$ Fabeln, Parabeln, Märchen, Gleichnis

Für den **Gegensatz** zu **analog** existiert kein eigenständiger Begriff $\Rightarrow$ **nicht-analog**

kontinuierlich

*Lateinisch **continens, continuus**:* zusammenhängend, angrenzend an, unmittelbar folgend, ununterbrochen, jemand zunächst stehend

Continuare: aneinanderfügen, verbinden, fortsetzen verlängern, gleich darauf, ohne weiteres

contingere: berühren, kosten, streuen, jemandem nahe sein, beeinflussen.

In der **Umgangssprache** nicht vorhanden

- **Mathematik:** Kontinuum der **reellen Zahlen** zwischen zwei Zahlen gibt es immer eine weitere
- **Physik: Kontinuumsmechanik** berücksichtigt nicht die Mikrostruktur der Materie.
- **Signale:** Möglichkeit beliebiger Zwischenwerte, bezüglich Zeit und Amplitude (Energie)

Verwandt mit stetig

Deutsch: von stehen verwandt mit stet, stets. das Gegenteil von unstet.

Mathematik: spezieller als Grenzwert $\lim f(x)$ für $x \rightarrow 0$

Umgangssprache: beharrlich, ununterbrochen, ständig

diskret

*lateinisch **discretio**:* Unterscheidungsvermögen, Urteil und Entscheid
discretus: abgesondert, getrennt

discernere: scheiden, trennen, unterscheiden, beurteilen, entscheiden

16. Jh. in deutsche Sprache

- **Physik** Größen, die sich nur in endlichen Schrittweiten ändern
- **Mathematik:** etwas zerfällt oder gliedert sich in einzelne Punkte oder Elemente
- **Signal:** nur endlich viele, meist genau definierte Werte
- **Umgangssprache:** taktvoll, rücksichtsvoll, zurückhaltend, unauffällig, unaufdringlich, vertrauensvoll, geheim, verschwiegen

Quant, quantisieren

*lateinisch **quantitas*** Größe, Anzahl

quantum wie viel, so viel wie, inwieweit, irgendwie

Etwa diskrete Werte erzeugen

- **Physik** Quant durch MAX PLANCK eingeführt. Gegenteil **Qualität** $\approx$ Güte
- **Philosophie:** Zusammenhang von Quantität ($\approx$ Menge) $\leftrightarrow$ Qualität ($\approx$ Güte)
- **Signal:** Erzeugen diskreter Amplituden und Zeitpunkte (Takte)

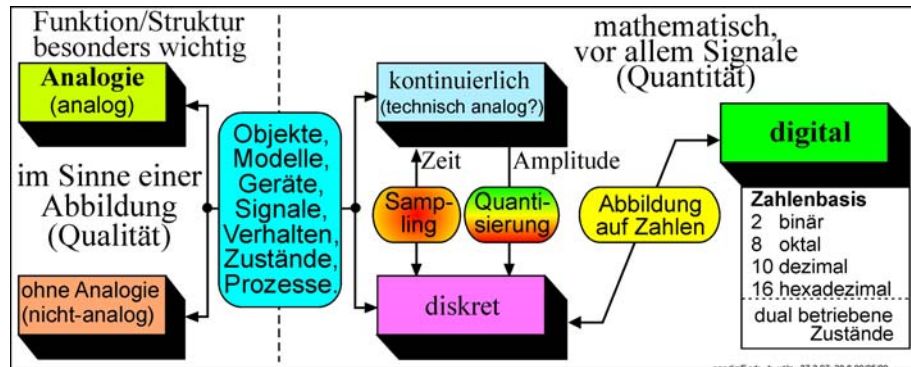
digital

*lateinisch **digitus**:* Finger

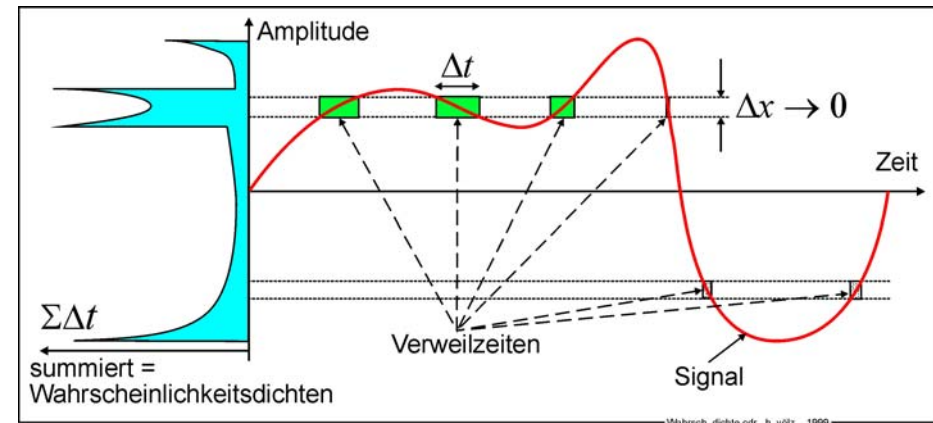
- **Inhaltlich:** zählen, ziffernmäßig, in Zahleneinheiten angeben.
- **Biologie:** digitalis = Pflanze Fingerhut
- **Englisch:** alte Maßeinheit Fingerbreite = 18,5 mm
- **Signal: Zahlenbasis** erforderlich: *binär* 2, *oktal* 8, *dezimal* 10, *hexadezimal* 16.
- **Zustände** können abweichen, zum Signal viele Codierungen möglich. z. B. dual bei zwei physikalische Zuständen

BCD =binär codierte Dezimalzahl.

Zusammenhang der Begriffe



Wahrscheinlichkeit $\Leftrightarrow$ Wahrscheinlichkeits-Dichte



Entropie kontinuierlicher Signale

Ableitung stammt von HEINZ ZEMANEK (*1920) mit ;-) (s. Lit.)

n Intervalle Δx mit Wahrscheinlichkeit $p_n(\Delta x)$:

$$H(n, \Delta x) = - \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \sum_{i=0}^n p_i(\Delta x) \cdot \Delta x \cdot \log(p_i(\Delta x) \cdot \Delta x)$$

Grenzübergang zum Integral (Produkt unter dem Logarithmus in die Summe zerlegen)

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot \log(p(x)) \cdot dx = - \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \sum_{i=0}^n p_i(\Delta x) \cdot \log(p_i(\Delta x)) \cdot \Delta x$$

Der zweite Teil **divergiert** wegen

$$\lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \log(\Delta x) \rightarrow -\infty$$

Daher wird der erste Term als **relative Entropie** bezeichnet

$$h(x) = - \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) \cdot \log(p(x)) \cdot dx$$

In der Praxis gibt es neben Nutzsignal immer eine **Störung**

Für sie gilt ebenfalls der Grenzübergang

Differenzbildung unterdrückt dann die **2 divergierenden Terme** (!!?)

$$H(x) = h_{\text{Nutz}}(x) - h_{\text{Stör}}(x)$$

GAUßsche Verteilungen bei **Signal-** P_N und **Stör-Leistung** P_S ergibt dann

$$H = \log\left(\frac{P_N + P_S}{P_S}\right)$$

Mögliche Interpretation: Es gibt m Pegel mit unterscheidbaren „**Amplitudenstufen**“

$$m = \frac{P_N + P_S}{P_S}$$

Aus der obigen Formel kann auch die **Kanalkapazität** bestimmt werden

Es ist nur noch die Bandbreite B des Kanals hinzuzufügen

$$C = B \cdot \log\left(\frac{P_N + P_S}{P_S}\right)$$

SHANNON hat Ergebnis exakt abgeleitet, erfordert aber Berechnungen im **hochdimensionalen Raum**

Bandbreite $B \Rightarrow$ Einschwingzeit T

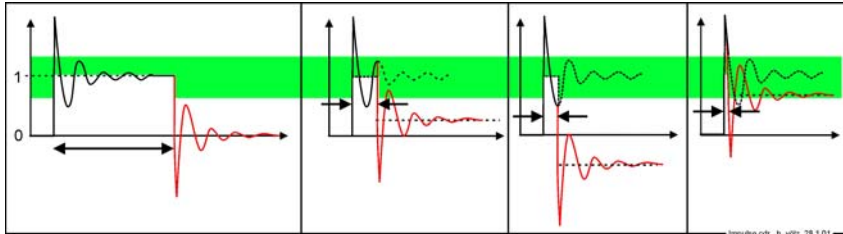
$$\Delta T \leq \frac{1}{2 \cdot B}$$

Mit h = Planck-Konstante entspricht sie der HEISENBERG-Unbestimmtheit bzgl. Zeit t und Energie E

$$\Delta t \cdot \Delta E = h/2$$

Der Zusammenhang wird über die Energie ΔE und Frequenz ν (f) eines Photos deutlich

$$\Delta E = h \cdot \nu.$$



Energie je Bit

Aus der Kanalkapazität lässt sich die notwendige Energie/Bit ableiten

Die Störungen sollen durch rein thermischen Rauschen verursacht sein: $P_S = k \cdot B \cdot T$

$k = 1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K = BOLTZMANN-Konstante; T = absolute Temperatur

Die Nutzleistung sei das z -fache der Störleistung: $P_N = z \cdot P_S \rightarrow C = B \cdot \ln(1+z)$

Für Verhältnis von Nutzleistung zur Kanalkapazität gilt deshalb

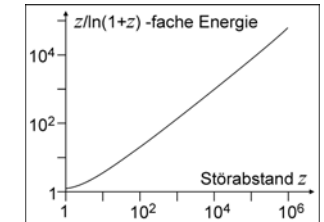
$$\frac{P_N}{C} = k \cdot T \cdot \frac{z}{\ln(1+z)} \ln \frac{\text{J}}{\text{Bit}} \text{ bzw. } \frac{\text{W}}{\text{Bit/s}}$$

Der Ausdruck mit z kann in eine Reihe entwickelt werden:

$$\frac{z}{\ln(1+z)} = \frac{1}{1 - \frac{z}{2} + \frac{z^2}{3} - \frac{z^3}{4} \pm \dots} \text{ mit } 1 < \frac{z}{\ln(1+z)} \rightarrow 1 \text{ für } z \rightarrow 0$$

Also gilt

$$\frac{E}{\text{Bit}} \geq k \cdot T \cdot \ln(2)$$



Bei 300 K ($\approx$ Zimmertemperatur) folgt $E/\text{Bit} = 3 \cdot 10^{-21} \text{ J} \approx 5 \cdot 10^{11} \text{ Hz} \approx 5 \cdot 10^{-22} \text{ cal} \approx 26 \text{ mV}$

Energie/Bit aus thermodynamischer Entropie

Mit Wahrscheinlichkeit W für die Zustände und k = Boltzmann-Konstante gilt (s. o.)

$$S = k \cdot \ln(W)$$

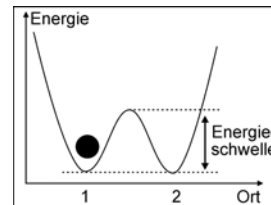
Annahme: 2-fach entartetes System

= 2 Energiemulden in denen eine Kugel liegen kann

Vor einer Messung unbekannt, in welcher Mulde die Kugel liegt

$$\Rightarrow W(\text{je Mulde}) = \frac{1}{2}$$

Nach Messung Mulde bekannt $\Rightarrow W = 1$



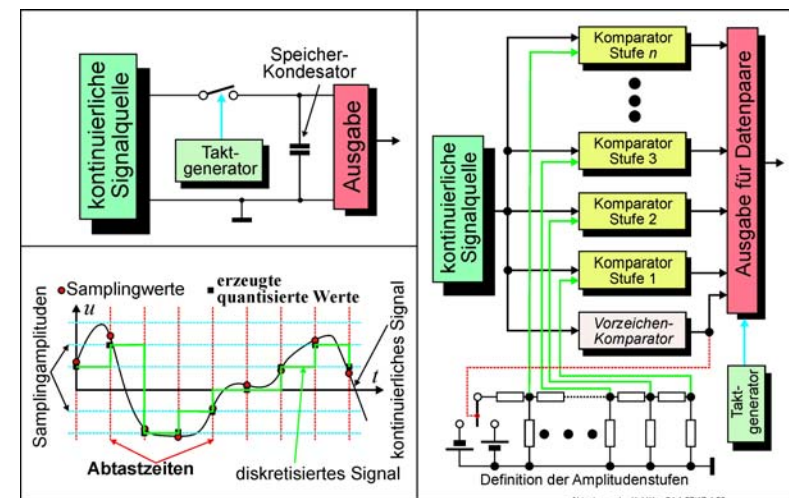
Für die Messung ist Energie erforderlich $\Rightarrow$ Differenz ΔS beider Entropien
Multiplikation mit der absoluten Temperatur

$$\Delta E / \text{Entscheidung} = \Delta S \cdot T = k \cdot T \cdot \{\ln(1) - \ln(\frac{1}{2})\} = k \cdot T \cdot \ln(2)$$

Achtung!

Thermodynamik (Quantentheorie) und **SHANNON-Theorie** liefern zwar das gleiche Ergebnis
Betrifft aber **nicht die beiden Entropien**, sondern die notwendige Energie/binärer Entscheidung

Erzeugung digitaler Signale



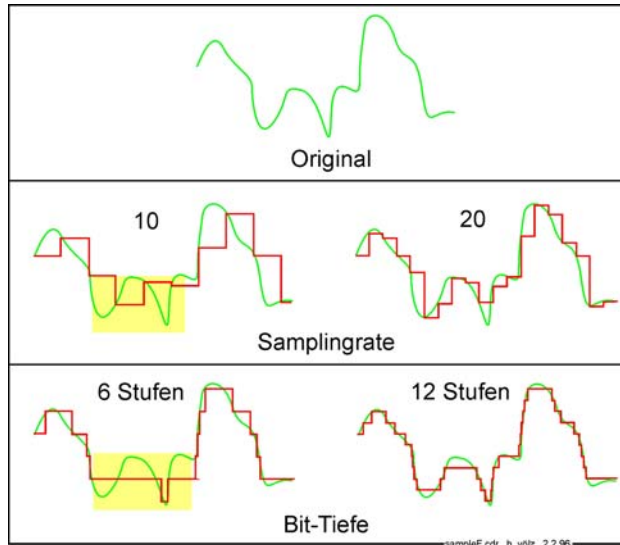
Qualität der Abtastung

Je **höher**

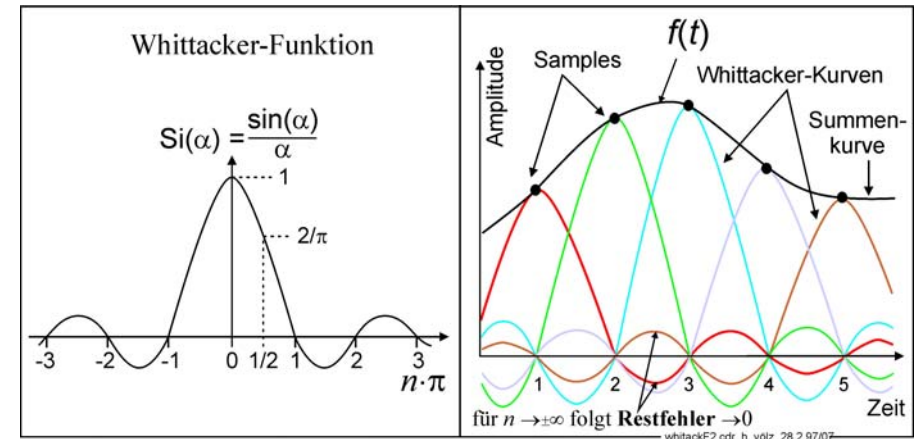
- **Samplingrate** = Taktrate
 - **Amplitudenstufenzahl** = Bit-Tiefe
- desto besser nähert
das digitale
das kontinuierliche Signal

Damit keine Teil-Schwingung
verloren geht,
muss das Sampling-Theorem
erfüllt sein

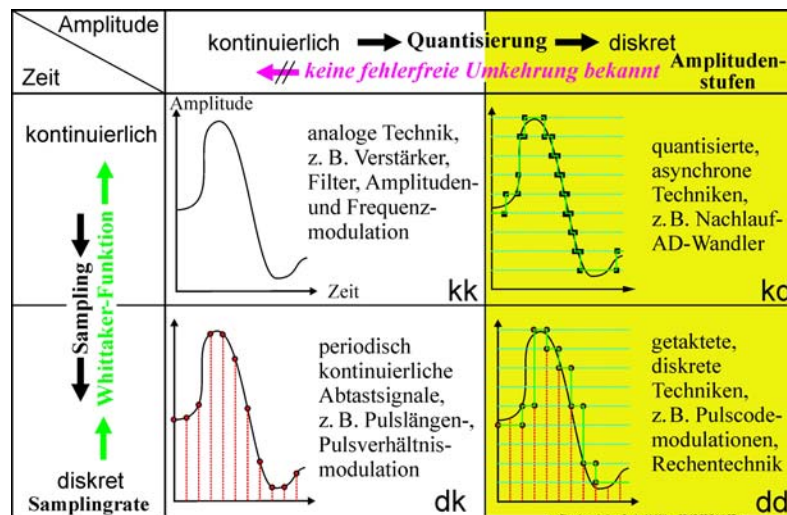
$$\Delta T \leq \frac{1}{2 \cdot B}$$



Sampling-Theorem $\Rightarrow$ WHITTAKER-Funktion



Amplituden- und Zeit-Quantisierung



diskret $\Leftrightarrow$ kontinuierlich

Zum Verhältnis kontinuierlich und diskret				
Beispiele	Gerade	Kreis	System	Signal
Unendlich viele Werte sind notwendig			Frequenz- und Phasengang $f(\omega), \varphi(\omega)$	Zeitverlauf $y = f(t)$
Es genügen wenige Werte, die aber nicht unmittelbar das Objekt bestimmen			Resonanz-, Grenzfrequenz, Güte, Stabilität, Pole, Nullstellen	Bandbreite, Spektrum, Korrelation $n = 2T/B$ Werte Samplingtheorem
Zusätzlich ist eine kontinuierliche Funktion erforderlich			Übertragungsfunktion	Whittaker-Funktion $\sin(x)/x$

Warum keine Amplituden-Rekonstruktion?

Amplitude U entspricht der Energie $E = R \cdot U^2$

Zwischen Energie ΔE und Zeit Δt gilt aber die Heisenberg-Unbestimmtheit

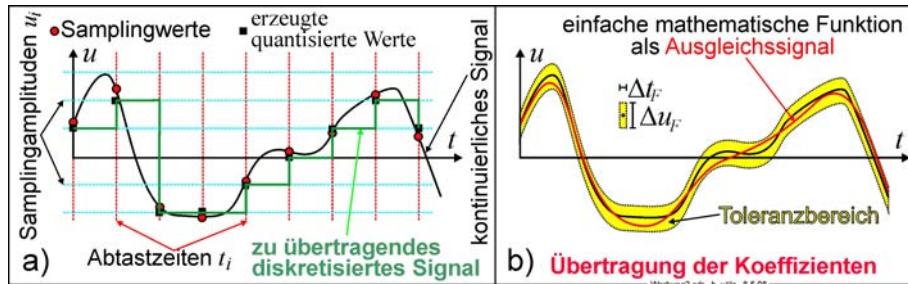
$$\Delta t \cdot \Delta E = h/2$$

Deshalb sind beide nur mit gewisser – wenn auch sehr geringer – Genauigkeit zu rekonstruieren

Das ermöglicht **Kontinuierliche Digitaltechnik** $\Rightarrow$ **Toleranzbereich: Δt , ΔU**

Dann genügt es, die **wenigen Koeffizienten** der **Aproximation-Funktion** zu übertragen

Mit denen wird ein gut genähertes **kontinuierliches Signal ohne Sampling-Rauschen** erzeugt

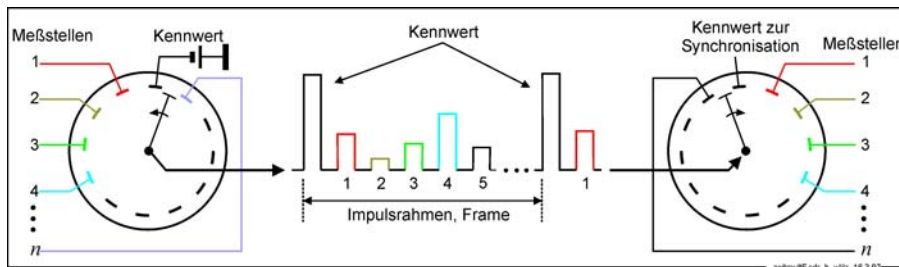


kontinuierliche $\Leftrightarrow$ digitale Signale

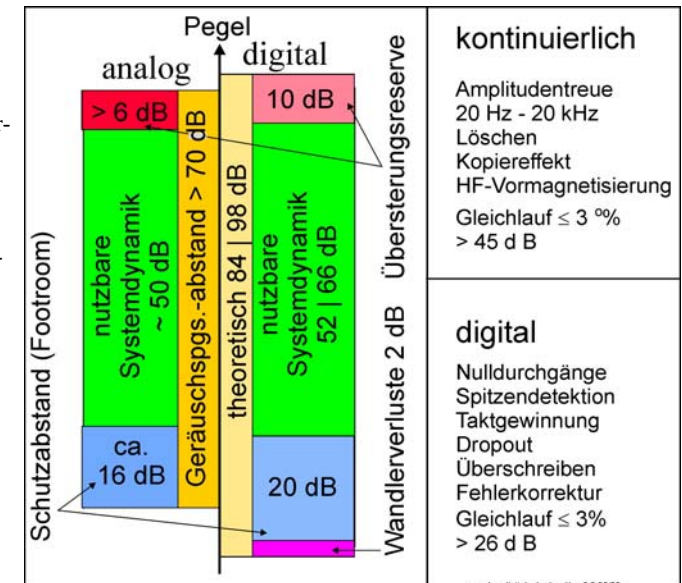
kontinuierlich	diskret - digital
Stärken, Vorteile	
- beliebig kleine und große Signale sind möglich - Verstärkung ist möglich - Benutzt von technischen Sensoren, Aktoren und menschlichen Sinnen - Bei Übersteuerung setzen Verzerrungen weichen ein	- Signale leicht fehlerfrei zu regenerieren - Verlustfreies Übertragen, Kopieren, Vervielfältigen - Verschachtelung mehrerer, auch recht unterschiedlicher Signale - Fehlererkennung und -korrektur - Verlustfreie Komprimierung - Datenschutz (Verschlüsselung, Kryptographie)
Schwächen, Nachteile	
Bei jeder Übertragung, Speicherung und Vervielfältigung kommen Störungen, zumindest Rauschen hinzu	- Signale müssen eng begrenzte Pegel besitzen, insbesondere hinreichend, aber nicht zu groß sein - Sampling-Rauschen unvermeidlich * - Der Takt darf nicht verloren gehen *

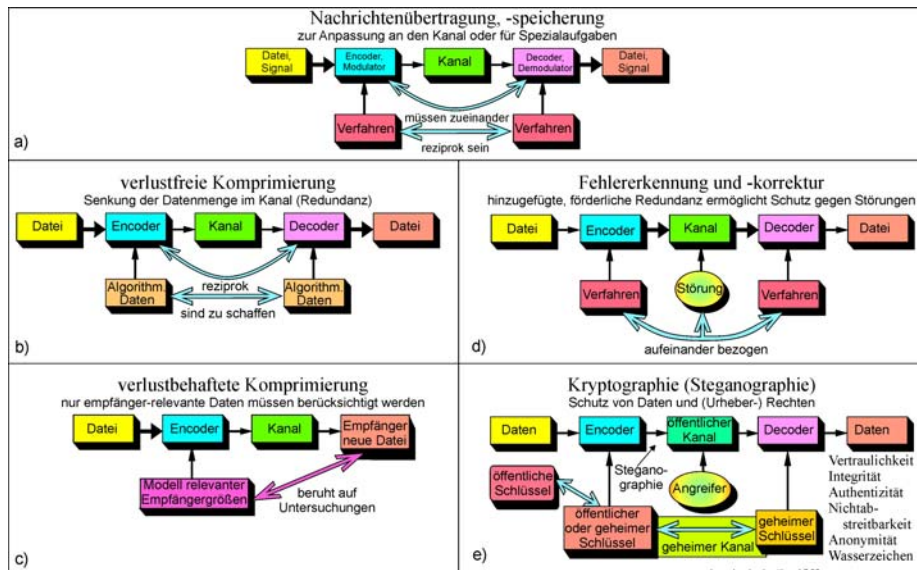
Kontinuierliche Digitaltechnik ermöglicht u. a. diese Nachteile * auszuschalten

Digitaler Zeitmultiplex



Wegen des geringen Unterschieds in der Dynamik beider Verfahren werden heute oft kontinuierliche Urbänder für die SA-CD (Super-Audio-CD) umgewandelt





Beschreibungen von Welt

Typ	kontinuierlich	diskret
Griechen	ARISTOTELES	DEMOKRIT
Mathematik	unendlich	endlich
Antinomien Paradoxien	HILBERT-Hotel grot = jetzt grün → 2020 rot Alle Raben sind schwarz	XENON: Pfeil, Wettlauf Kretaer Lügner GÖDEL- Unentscheidbarkeit
Methoden	Limes, Differential	Zählen, Messen
Beschreibung	Differentialgleichungen	Algorithmen
Geräte	Analogrechner	Digital-Computer
Entsprechung	Welle	Korpuskel, Quant
Übergang	BOHR'sches Korrespondenz -Prinzip HEISENBERG-Unbestimmtheit	

Weitere Entropien

Es gibt viele, hier nur einige, die mit der Shannon-Entropie verwandt sind
Nur erwähnt: KOLMOGOROFF- (1959), HILBERG-, CARNAP-Entropie

α -Entropie von RENYI

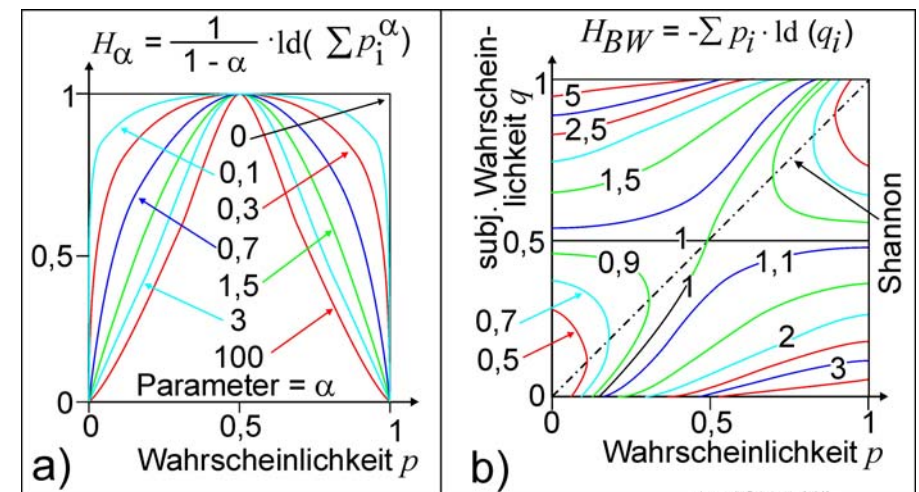
$$H_{\alpha} = \frac{1}{1-\alpha} \cdot \text{ld} \left(\sum_{i=1}^n p_i^{\alpha} \right)$$

Verallgemeinerung der Shannon-Entropie: für $\alpha \rightarrow 1 \Rightarrow$ SHANNON-Entropie

BONGARD-WEIB-Entropie

benutzt Zusätzlich **subjektive Wahrscheinlichkeit** q_i

$$H_{BW} = - \sum_{i=1}^n q_i \cdot \text{ld}(p_i)$$

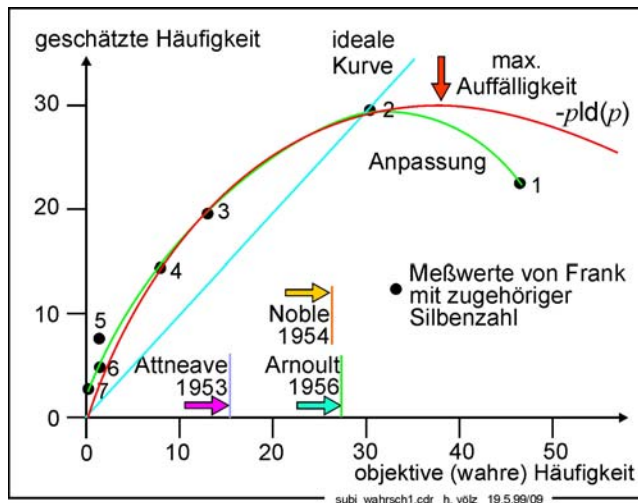


Geschätzte Häufigkeit $\approx$
Subjektive Wahrscheinlichkeit

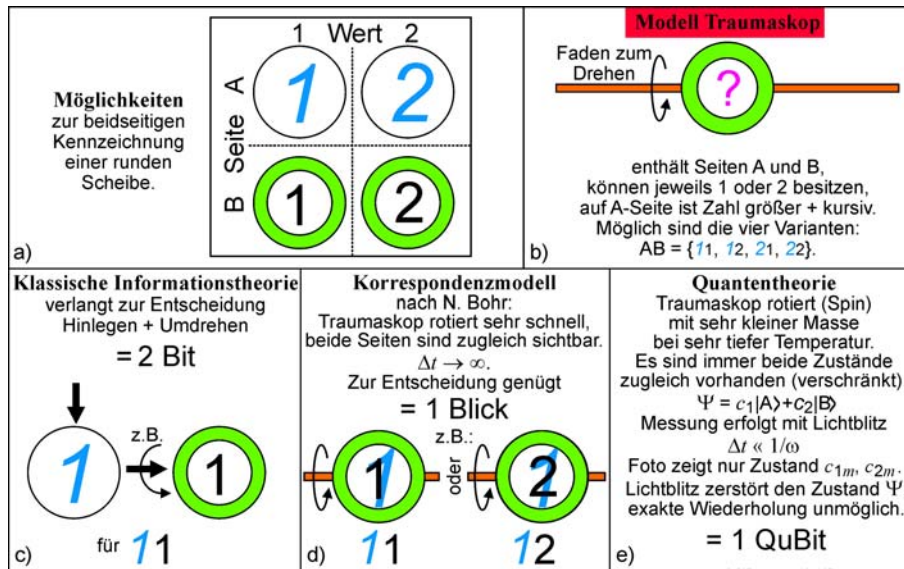
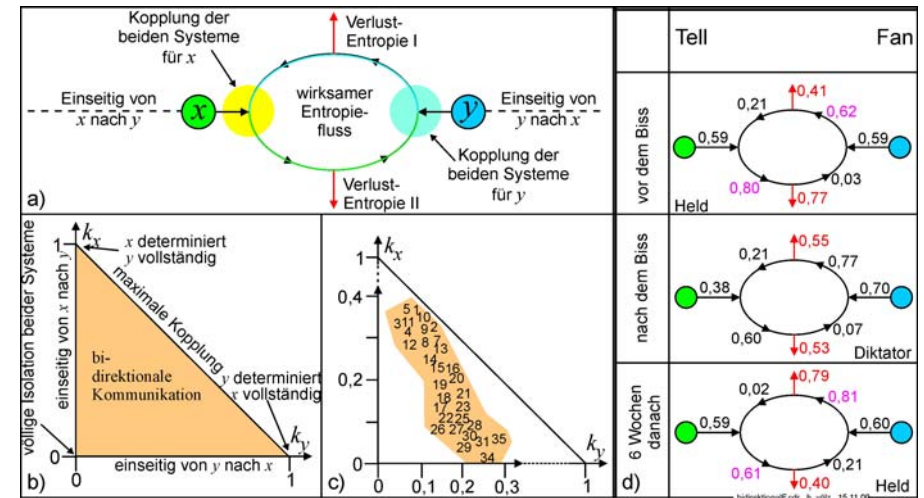
Objektive Häufigkeit $\approx$
A priori Wahrscheinlichkeit

Kleine Häufigkeiten werden
immer zu groß geschätzt;
große zu klein

Deshalb wird
u. a. Lotterie gespielt,
geringe Angst bei großer
Gefahr gezeigt



Bidirektionale Information



Anwendung außerhalb der Nachrichtentechnik

Es gibt heute viele Beispiele, im Folgenden nur eine kleine Auswahl

- **Superzeichen**
- **Auffälligkeits-Maximum** mit vielen Beispielen
- Informations-**Gehalt von Theorien**
- **Konstruktive** Anwendungen in der Ästhetik

Weitere Details u. a.:

Vözl, H.: Computer und Kunst. Reihe akzent 87. 2. Aufl. Urania - Verlag Leipzig Jena - Berlin 1990
 $\approx$ www.aes.cs.tu-berlin.de/voelzl/PDF/ComputerKunst.pdf

Superzeichen

Idee stammt von FELIX CUBE

Text enthält k Wörter zu je n Zeichen, total $m = k \cdot n$ Zeichen

Jedes Wort besitzt Entropie (gleichverteilt angenommen) $H_1 \approx \text{ld}(n)$

Alle Wörter liefern folglich $H_2 \approx k \cdot \text{ld}(n)$

Wörter können zu einem Text zusammengefügt werden

$$H_3 \approx k \cdot \text{ld}(k)$$

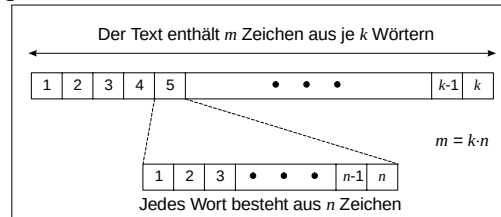
Beides zusammen ergibt wegen $k = m/n$

$$H_{\text{total}} \approx m \cdot \text{ld}(n) + \frac{m}{n} \cdot \text{ld}\left(\frac{m}{n}\right)$$

Dieser Ausdruck besitzt ein Minimum für

$$m = n \cdot e^{n-1}$$

Hieraus folgt eine optimale Gruppenbildung



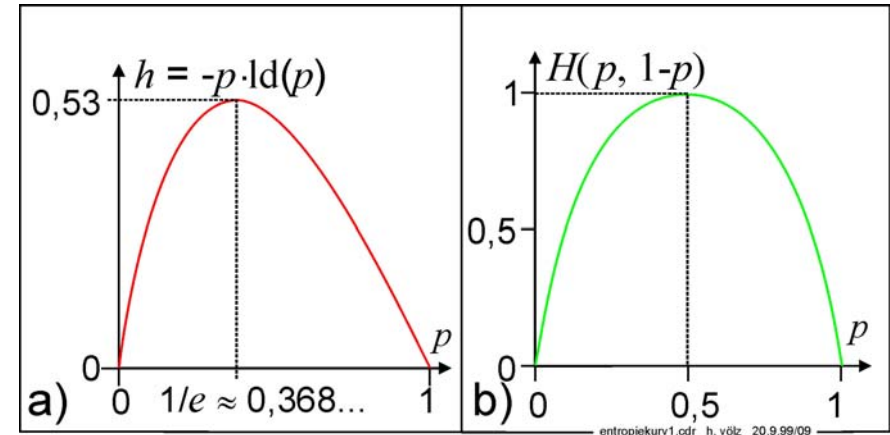
Wortlänge	5,44≈6	22,2≈23	80,3≈81	273	891	2824	8773	26829	81031
Gruppengröße	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Anwendung z. B. bei Gruppierung von langen Zahlen 288 617 08

Erst über 80 Ziffern sind 4-Gruppen vorteilhaft

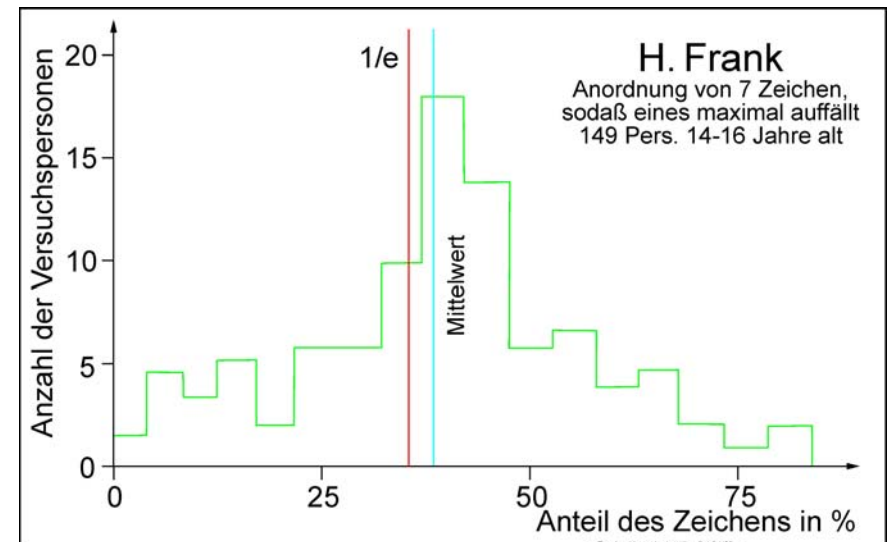
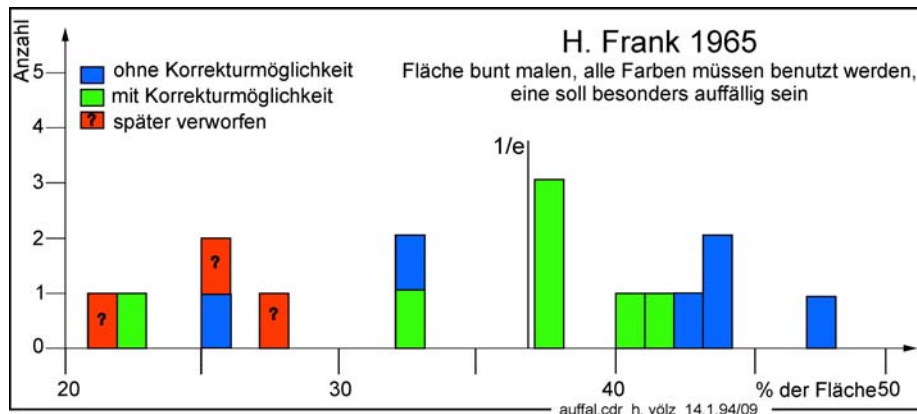
Auffälligkeits-Maximum

Eingeführt von 1965 von HELMAR FRANK (*1931)



Eines der ersten Experimente

Alle Farben müssen benutzt werden, eine soll besonders auffallend sein



Diskussionen: Goldener Schnitt $\Leftrightarrow$ Auffälligkeitsmaximum

Es entstand eine polemische Diskussion:

Problem, Prinzip ist doch lange bekannt!

Warum nun neu mittels Informationstheorie?

1. Altes Griechenland + Babylonier: **Pentatonik**
2. Mittelalter: **Goldener Schnitt**
3. **FIBONACCI-Zahlen** (1202) + **Kettenbrüche** führen auch zu ähnlichen Werten (s. Literatur)
4. Von FECHNER bereits 1875 an **Bilderrahmen** untersucht
5. Bei Gemälden Malerei und in der Fotografie schon lange **2/3-Regel**

Lösung s. u.

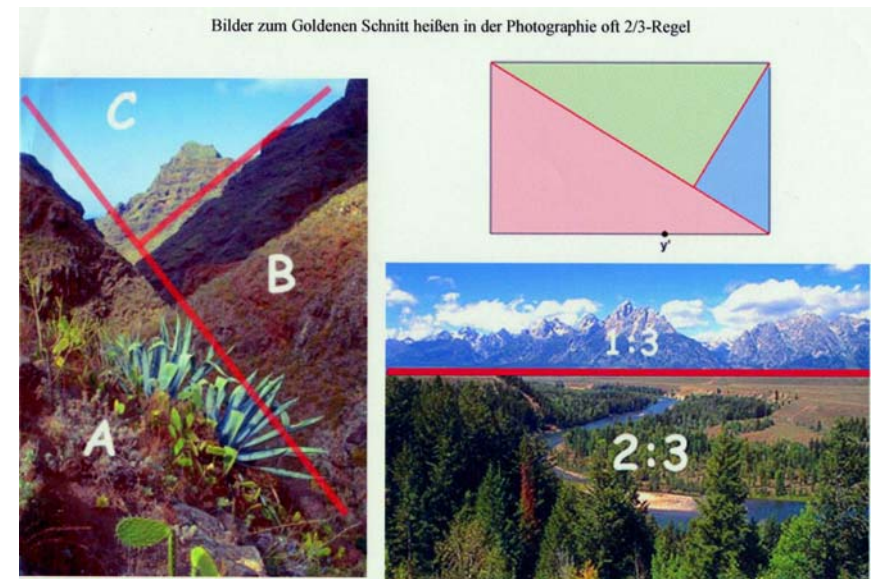
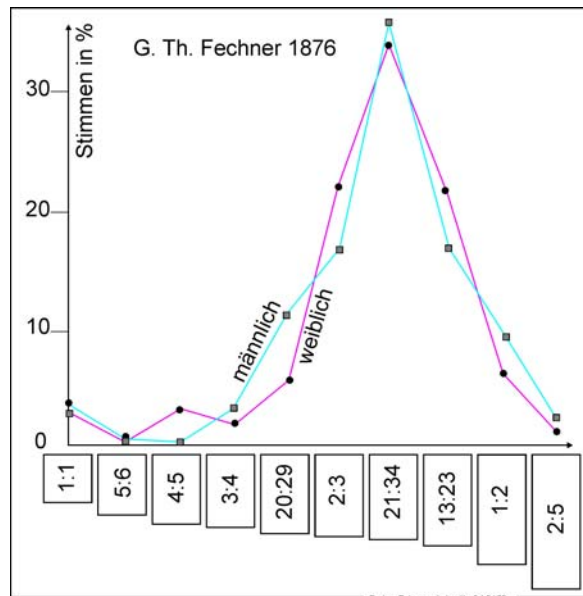
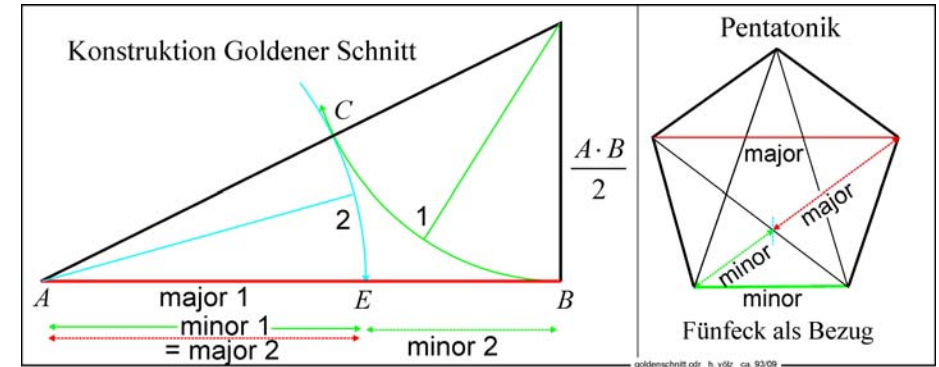
Konstruktion

Grundlinie; halbe Länge rechts nach oben; von dort zum Dreieck verbinden

Kreisbogen (1) mit halber Länge; von A Kreisbogen (2) durch den Punkt auf der Diagonalen

Schnittpunkt auf Grundlinie = Major₁ teilt sie in Major₂ = Minor₁ und Minor₂

→ = Major : Minor = $(\sqrt{5} - 1)/2 = 0,618033988... (\approx 1-1/e)$



Auffällig auch ohne Goldnen Schnitt

EDGAR ELLEN POE: von 24 Vokalen 8-mal das **e** in:

Hear the **sledges** with the **bells**, silver **bells**!
What a world of **merriment** their **melody** foretells!

Synkopen bei Jazz, so häufig, dass sie kaum auffallen

Maximal dagegen: BACH 5. Brandenburgisches Konzert, 3. Satz: 310 Takte $\Rightarrow$ 124 Synkopen

Iphigenie: FEUERBACH, gelbe Pferde: MARC: weiß bzw. blau $\approx$ 36 % der Fläche

MOLES, FRANK: Kaufhaus $\Rightarrow$ 36 % der Waren zum Einkaufspreis, anderen deutlich verteuert
Galt nach einem Monat als besonders preiswert: Achtung! heute Schnäppchen



Franz Marc: Turn der blauen Pferde 1913, 2007 130 cm

Anselm Feuerbach: Iphigenie II, 1871, 2007 132 cm

Schönheit des Hauses

1986 untersuchte ich die Auffälligkeit bei Häusern (Lit. 1988 Entropie...)

Fragt man ein Kind, was ein Haus sei, so dürften die Antworten lauten:

- Ein Haus ist ein Dach über dem Kopf
- Ein Haus hat Türen und Fenster

In Zusammenarbeit mit Architekten usw. wurde zufällig **24 Fotografien von Häusern** ausgewählt

Im Mittel betrug die sichtbare Dachfläche sowie die für Türen und Fenster bei je $\approx$ 37 %

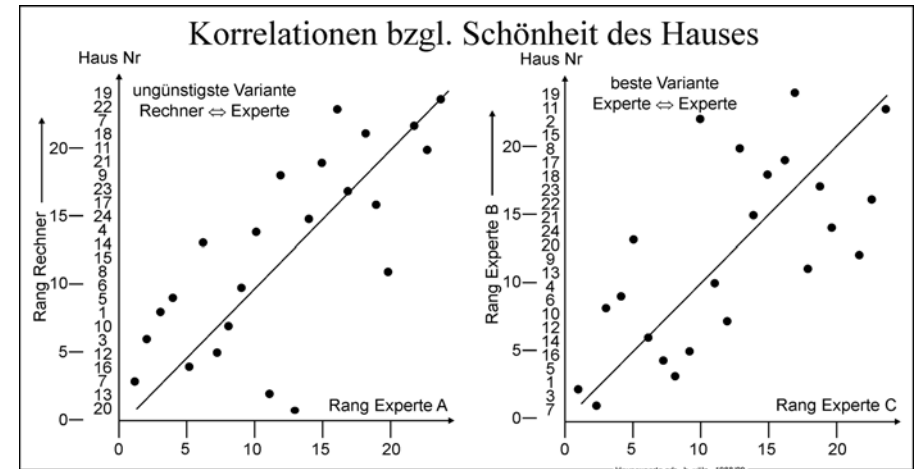
Gemäß $-p\text{-}Id(p)$ als Summe aus beiden wurde eine **Rangfolge der „Schönheit“** bestimmt

Erregte Widerspruch $\Rightarrow$ **10 Experten** (Professoren) bestimmten eine Rangfolge aus ihrer Sicht

Um den Einfluss von Strohdach usw. auszuschalten, wurden dazu Skizzen angefertigt

Die schlechteste Übereinstimmung von Rechnerergebnis und Experten war besser,
als die zwischen den am besten übereinstimmenden Experten





Die Erklärung

Infolge der vielen Ergebnisse (mehr als hier dargestellt) kam ich zu den Feststellungen

- Auffälligkeit gilt für alle **Sinneseindrücke**
- Goldener Schnitt gilt nur für **geometrische Verhältnisse**

Daraus zog ich die Schlussfolgerung (s. Computer und Kunst):

- Das Auffälligkeitsmaximum gilt **universell**
- Der Goldene Schnitt ist eine spezielle **Näherung mit Zirkel und Lineal**

Das löste **erneut** umfangreiche und harte **Diskussionen** aus
Schließlich gab mir ein **Psychologe die Antwort**

WEBER-FECHNER-Gesetz

1834 ERNST HEINRICH WEBER (1795 - 1878) Erforschung der Sinnesorgane

1860 GUSTAV THEODOR FECHNER (1801 - 1887) „Elemente der Psychophysik“

Aus beiden folgt

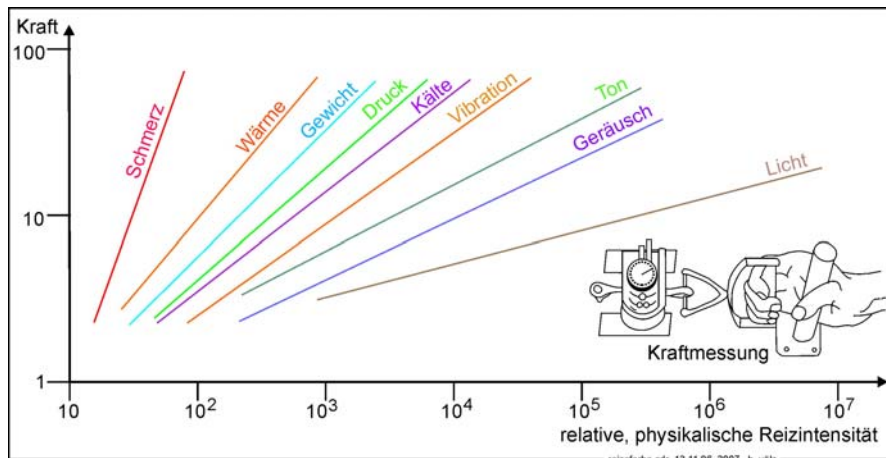
Subjektive Wahrnehmung Y folgt mit guter Näherung dem Logarithmus der physikalischen Reize R

$$Y = a + b \cdot \log(R)$$

Etwa äquivalent ist das STEVEN'sches Gesetz $Y = c \cdot R^k$

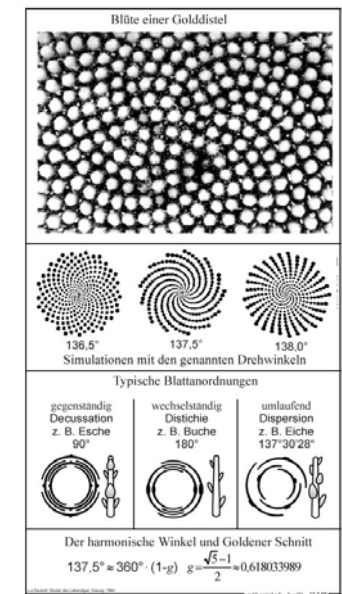
Art	k	Dynamik
Schmerz	2,13	15 dB
Wärme	0,96	33 dB
Vibration	0,56	50 dB
Schall	0,32	100 dB
Licht	0,21	130 dB

Damit ist indirekt Auffälligkeit $h = p \cdot \log(p)$ erklärt

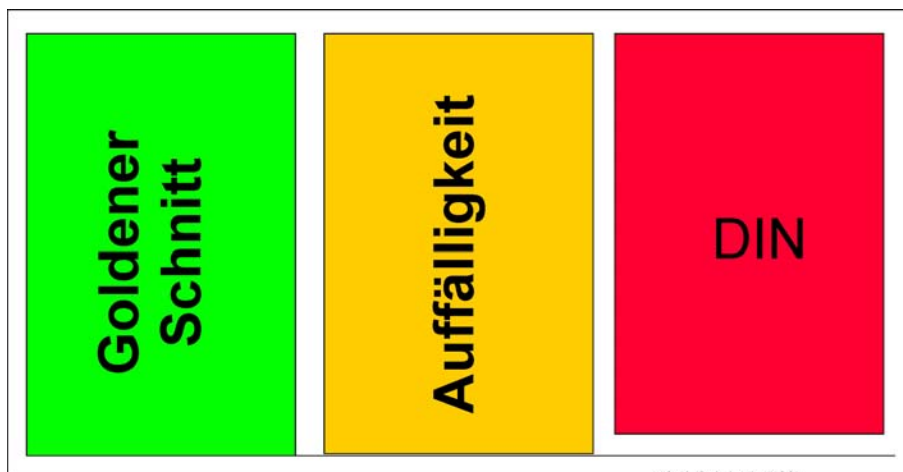


Auswirkung bei Pflanzen

Bisher keine richtige Erklärung bekannt



Auffälligkeit ⇔ Goldener Schnitt ⇔ DIN-Format



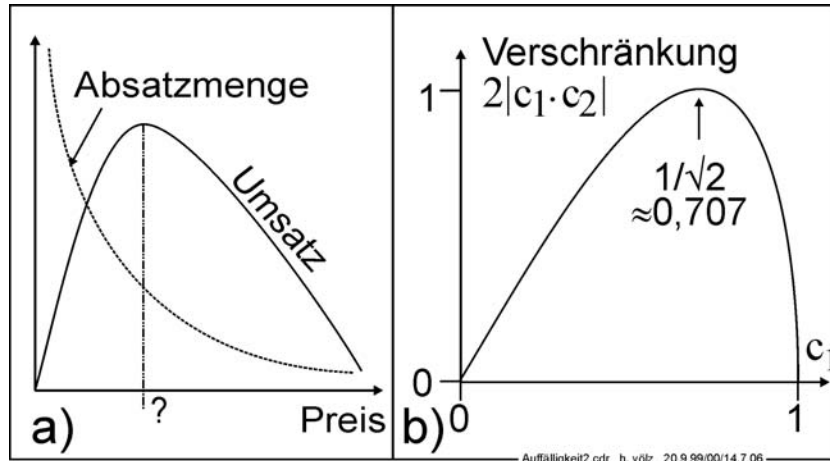
Rationale Näherungen

	Wert	Verhältnis
Goldener Schnitt	0,618033988...	1 = Bezug = Zähler
Auffälligkeit	0,632120558...	0,9777
DIN-Format	0,707106781...	0,8740

Rationale Näherungen mit Abweichungen gegenüber dem Goldenen Schnitt

Verhältnis	Goldener Schnitt	Auffälligkeit
2:3	+4,9 %	+3,5 %
3:5	-1,8 %	nicht
5:8	+0,7 %	-0,7 %
7:11		+0,4%
8:13	-0,3 %	
12:19	nicht	-0,05 %
13:21	+0,1 %	
21:34	-0,04 %	
34:55	+0,01 %	
55:87		+0,006 %
55:89	-0,005 %	
67:106		-0,005 %
89:144	+0,0002 %	
122:193		+0,0003 %

Ähnliche Kurven

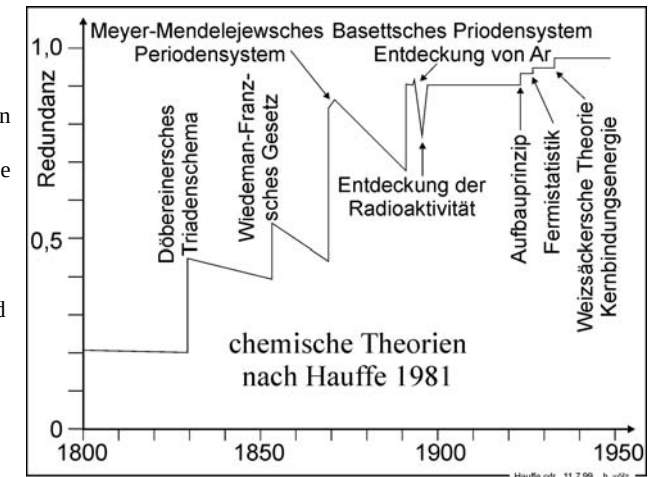


Informationsgehalt von Theorien

Untersuchungen von HAUFFE

Güte einer Theorie bzgl. Fakten
gewählte Eigenschaften bzgl.
der jeweils bekannten Elemente

schwer ↔ leicht
tief ↔ hochschmelzend
wärmeleitend ↔ -isolierend
elektrisch leitend ↔ isolierend
leicht ↔ schwer ionisierbar
stabil ↔ instabil



Analytische und konstruktive Ästhetik

Beide nutzen nicht die Informationstheorie, sondern ihre statistischen Gesetze und Ergebnisse

Die Analyse

untersucht u.a. Häufigkeiten von Buchstaben, Silben je Wort, Wörter je Satz analytische

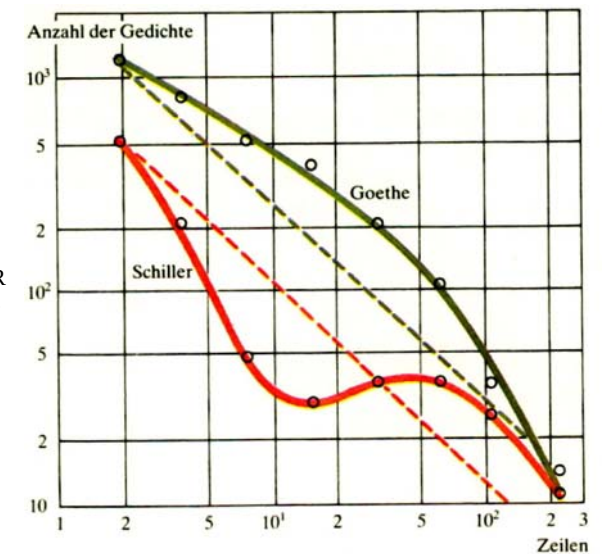
Die Synthese

konstruiert aus ermittelten Häufigkeiten „Werke“ auf, die gewisse ästhetische Wirkungen zeigen

Im Folgenden werden nur ganz wenige Ergebnisse vorgestellt
Mehr enthält u. a. „Computer und Kunst“ + FUCKS

Länge von Gedichten

Prof. ERNST LAU vermutete, dass wegen der Abweichung von der Linearität (= ZIPF'sches Gesetz) Schiller wegen Geldmangel sein Gedichte „verlängert“ hat. Dies führte zu herber Kritik in der DDR
Lau + Völz: Information I, S. 233



Orte Für Schriftsteller und Dichte

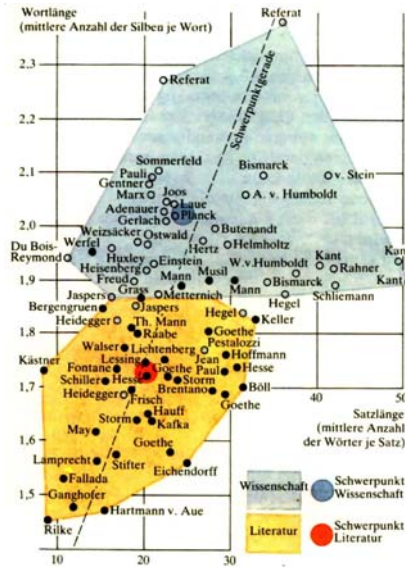
Die meisten Autoren befinden sich an einem einzigen Ort im Diagramm, sie benutzen **lebenslang eine gleich bleibende Statistik**

Daher ist eine Zuordnung unsicherer Werke möglich.
U. a. geschah die bei der **Apokalypse** und dem **Johannes-Evangelium**

Nur wenige wie GOETHE und TH. MANN durchlaufen im Laufe ihres Lebens Orte in der Fläche

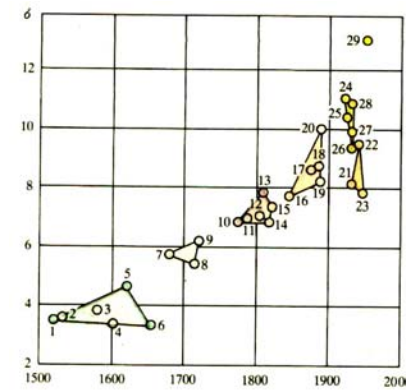
So lassen sich spätere Änderungen erkennen und zeitlich zuordnen

s. [Fucks] 1968



Für Musik

Hier war es notwendig, einen statistischen Parameter 3. Ordnung, die Krümmung δ zu benutzen
Mit ihm ergab sich eine gute Zuordnung zur Entstehungszeit des Werkes (s. Fucks)



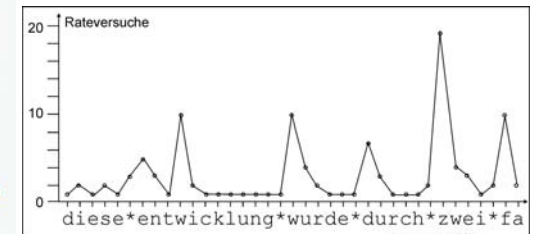
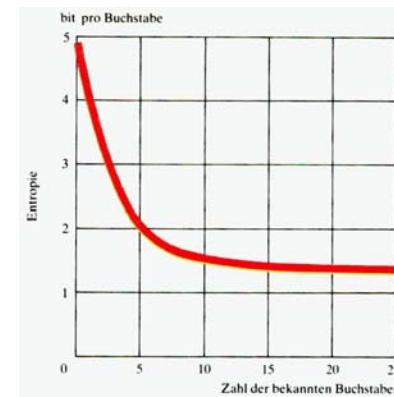
Auswertung von 29 Musikwerken hinsichtlich der Tönhöhenstreuung der 1. Violine (gemäß der vorhergehenden Abbildung auf Seite 41), wobei allerdings umfangreiche Zwischenrechnungen notwendig sind. Vgl. hierzu Text und Anhang.¹⁴

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

Bedingte Wahrscheinlichkeiten

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	+	SUM
A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	538
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	769
C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	230
D	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	397
E	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1552
F	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	155
G	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	214
H	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	366
I	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	679
J	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	12
K	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	119
L	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	307
M	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	135
N	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	350
O	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	213
P	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	70
Q	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2
R	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	656
S	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	555
T	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	521
U	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	375
V	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	80
W	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	116
X	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4
Y	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7
Z	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	110
+	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1342
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	76

Folge-Wahrscheinlichkeiten



Zur Synthese

Erste Untersuchungen versuchte bereits SHANNON für die Konstruktion englischer Sätze
In Deutsch realisierte es wenig später KARL KÜPFMÜLLER (1897 - 1977)

Gleichwahrscheinlich ohne Trennzeichen

ITVWDGAKNAJTSQOSRMOIAQVFWTKHXD

Häufigkeit der Zeichen

EME GKNEET ERS TITBL VTZENFNDGBD EAI E LASZ BETEATR IASMIRCH EGEOM

1. Markow-Kette

AUSZ KEINU WONDINGLIN DUFRN ISAR STEISBERER ITEHM ANORER

2. Markow-Kette

PLAZEUNDGES PHIN INE UNDEN ÜBBEICHT GES AUF ES SO UNG GAN WANDERSO

3. Markow-Kette

ICH FOLGEMÄSZIG BIS STEHEN DISPONIN SEELE NAMEN

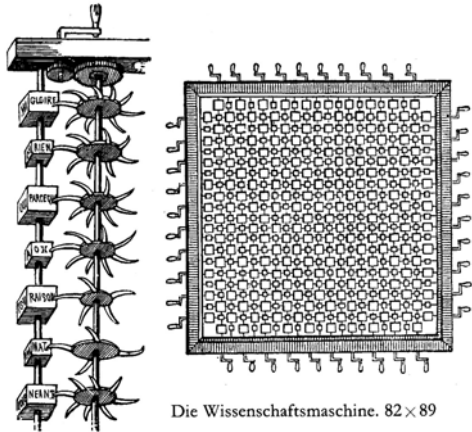
Gullivers Reisen

JONATHAN SWIFT (1667 - 1745) Buch von 1726
Reisen in verschiedene fern gelegene Länder der Erde des Capitains Lemuel Gulliver"
Die Wissenschaftsmaschine wird vorgestellt:

Der erste Professor, den ich sah, befand sich in einem großen Zimmer, und war von vierzig Schülern umgeben. Nach einer gewöhnlichen Begrüßung bemerkte er, daß ich ernstlich einen Rahmen betrachtete, welcher den größten Teil des Zimmers in Länge und Breite ausfüllte, und sagte: Ich wundere mich vielleicht, daß er sich mit einem Projekt beschäftigte, die spekulativen Wissenschaften durch praktische und mechanische Operationen zu verbessern. Die Welt werde aber bald die Nützlichkeit dieses Verfahrens bemerken. Er schmeichle sich mit dem Gedanken, daß eine höhere und edlere Idee noch nie aus dem Gehirn eines Menschen entsprungen sei. Ein jeder wisse, wieviel Mühe die gewöhnliche Erlernung der Künste und Wissenschaften bei den Menschen erfordere, er sei überzeugt, durch seine Erfindung werde die ungebildetste Person bei mäßigen Kosten und einiger körperlicher Anstrengung Bücher über Philosophie, Poesie, Mathematik und Theologie ohne die geringste Hilfe des Genies oder der Studien schreiben können. Er führte mich an einen Rahmen, wo alle seine Schüler in Reihen aufgestellt waren. Der Rahmen enthielt zwanzig Quadratfuß und befand sich in der Mitte des Zimmers. Die Oberfläche bestand aus einzelnen Holzstückchen von der Dicke eines Würfels, von denen jedoch einzelne größer als andere waren. Sie waren sämtlich durch leichte Drähte miteinander verknüpft. Diese Holzstücke waren an jedem Viereck mit überklebtem Papier bedeckt, und auf diesen Papieren waren alle Wörter der Landessprache in Konjugationen und Deklination, jedoch ohne alle Ordnung aufgeschrieben. Der Professor bat mich, acht zu geben, da er seine Maschine in Bewegung setzten wollte. Jeder Zögling nahm auf seinem Befehl einen eisernen Griff zur Hand, von denen vierzig am Rand befestigt waren. Durch eine plötzliche Umwendung wurde die ganze Anordnung verändert. Alsdann befahl er sechzehn Knaben, die verschiedenen Zeilen langsam zu lesen, und wenn sie drei oder vier Wörter aufgefunden hatten, die einen Satz bilden konnten, diktierten sie dieselben vier anderen Knaben, welche dieselben niederschrieben. Die Arbeit wurde drei oder viermal wiederholt. Die Maschine war aber so eingerichtet, daß die Wörter bei jeder Umdrehung einen neuen Platz einnahmen, so wie das ganze Viereck sich von oben nach unten drehte. Sechs Stunden mußten die Schüler täglich bei der Arbeit zubringen. Der Professor zeigte mir mehrere Folianten, welche auf diese Weise aus abgebrochenen Sätzen gebildet waren, und die er zusammenstellen wollte. Aus diesem reichen Material werde er einen vollständigen Inbegriff aller Künste und Wissenschaften bilden; Ein Verfahren, daß er jedoch verbessern und schneller beenden würde, wenn das Publikum ein Kapital zusammenbringen wollte, um fünfhundert solcher Rahmen in Lagado zu errichten, und wenn man die Unternehmer zwingen werde, in ihren verschiedenen Kollektiven die gehörige Summe beizusteuern. Er gab mir die Versicherung, diese Erfindung habe schon von Jugend auf alle seine Gedanken in Anspruch genommen; er habe seinen Rahmen so eingerichtet, daß er den ganzen Sprachreichtum umfasse, und sogar das allgemeine Verhältnis berechne, welches in Büchern hinsichtlich der Anzahl von Partikeln, Haupt- und Zeitwörtern und anderen Redeteilen stattfindet.

Bild von Grandville

eigentlich JEAN-IGNACE-ISIDORE GÉRARD (1803 - 1847)



"Das gesamte Werk" Henschelverlag Berlin 1970 Band 1, S. 668.

Computergedichte

Weihnacht

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

GUNZENHÄUSER ca. 1960

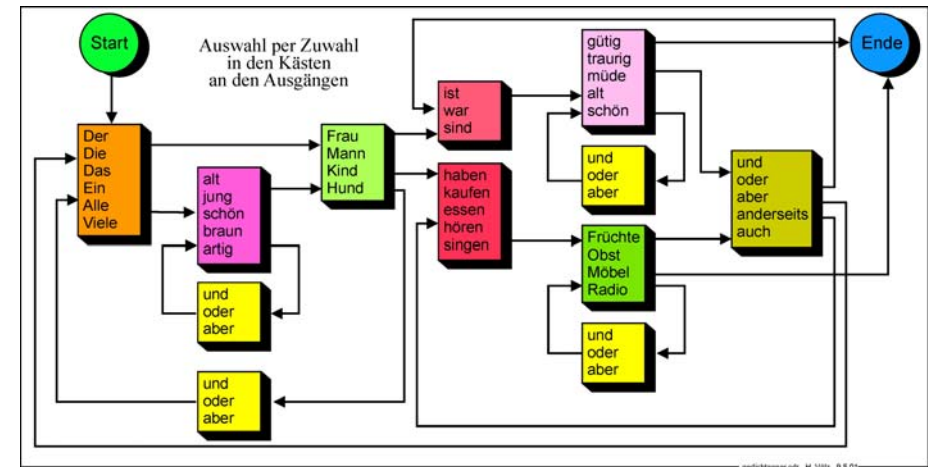
Autopoem 312

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 die Erde
 Anmut friert, wo dieses Leuchten tändelt
 Magisch tanzt der schwache Hirte

STICKEL ca. 1967 auf IBIM 7090 aus knapp 1200 Wörtern; je Gedicht .25 Sekunden

Typischer Gedicht-Generator

Es müssen 1. die einzelnen Kästchen individuell belegt, 2 Wahrscheinlichkeiten festgelegt werden
 Programm: Gedichte.exe + Gedichte.pdf von: aes.cs.tu-berlin.de/voelz/programme/



Verrücktes Ergebnis

„Das rote Grün leuchtet blau“

Interpretation Graf Bobby:

B: Was sind das für Beeren?

A: Blaubeeren!

B: Die sind doch aber ganz rot!

A: Ja, weil sie noch grün sind



Andere „Erklärungen“

Grüne Wiese am blauen Meer bei Sonnenuntergang
 Leuchtend rot sind deine Lippen, laden ein zum Kusse
 Strahlendblau deine Augen, leuchten zum Glücke
 Grün ist dein Kleid, viel Hoffnung weckend in mir

Rotkäppchen ging in den damals noch grünen Wald. Am blauen Himmel hing strahlend die rote Abendsonne. Blaue Veilchen pflückte sie am Waldrand. Damit wollte sie Großmutter eine Freude bereiten.

Fleddern und Parodien

Erfreuen am Blödsinn

Text 1850 von CARL REINHARDT

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

Dann viele Permutationen der Substantive Mops, Wurst, Spucknapf, Storch, Luft, Frosch,
 Ich schrieb für Rundfunksenden das Programm MOPS mit 3 Zeilen
 Neu entwickelt: Mops.exe + Mops.pdf; downlod s. o.

Wenn der Gott mit der Unschuld über das Elend springt
 und die Hölle in dem Geld die Jungfrau verschlingt
 dann der Teufel aus der Disko als Welt erklingt

Wenn die Hölle mit dem Gott über den Teufel springt
 Und die Jungfrau in der Unschuld die Disko verschlingt
 dann das Geld aus der Welt als Elend erklingt

usw. 9! = 362 880 Variationen

Autoren mir bekannt, wollen nicht genannt sein!

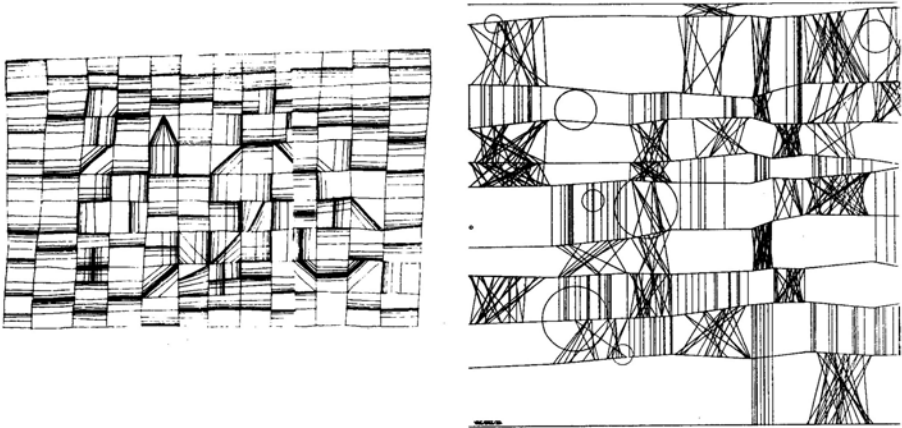
Original

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!

Eine der 50 Parodien

Frühling läßt sein graues Band
Wieder schleifen durch die Lüfte;
Scharfe, wohlverborgene Düfte
Drängen unbequem ein Liebespfand.
Regenwolken dampfen schon,
Ängstlich und bekommen.
- Still, beschwingt ein irres Helikon!
Frühling, ja du bist’s!
Dich hab‘ ich vernommen!

FRIEDER NAKE Grafik nach PAUL KLEE



W. A. Mozart KV 294d

„Musikalisches Würfelspiel. Eine Anleitung Walzer und Schleifer mit zwei Würfeln zu komponieren, ohne musikalisch zu sein, noch vom Komponieren etwas zu verstehen“

benutzt zwei Würfel,
wählt nach Ergebnis Takt-Nr. aus
und spielt in nach Notentabelle

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

Die ist etwa ein Viertel des Notenteils



Zur Geschichte

1824 CARNOT: Kreisprozess
1854 Entropie-Begriff; 2. Thermodynamischer Hauptsatz
1857 BOLTZMANN: $S = k \cdot \ln(W)$
1924 KARL KÜPFMÜLLER: (1897- 1977) Systemtheorie
1928 R. V. L. HARTLEY: Logarithmus zwischen Symbolen und Information
1929 LEO SZILARD: Physik Zusammenhang von Information und Entropie
1930 HARRY NYQUIST (1889 - 1976) Pulsmodulation
1933 VLADIMIR ALEXANDROWITSCH KOTELNIKOW, (1908 - 2005) Informationstheorie + Abtasttheorem
1940 24.3. Eingangsdatum der *Shannon*-Arbeit im JIRE
1948 J. W. TUKEY benennt kleinste Nachrichteneinheit „bit“ (binary digit)
1949 SHANNON: „Communication in the Presence of Noise“
1954 CARNAP-Entropie
1951 SHANNON Ratestrategie für Texte
1959 KOLMOGROFF-Entropie
1957 FUCKS: Analysen zu Musik, Literatur usw.
1960 LANDAUER: IBM nicht Messen sondern Löschen von Information benötigt Energie
1962 RENYI: α -Entropie
1963 BONGARD-WEIß-Entropie
1965 MARKO: bidirektionale Information
1987 HILBERG deterministische Informationstheorie

Literatur

1. Zu SHANNON
A Mathematical Theory of Communication) Bell Systems Technical Journal 27 (Juli 1948) S. 379-423 und (Oktober 1948) S.623 - 656. (eingereicht 24.3.1940). (Ebenfalls in: University Illonois Press 1949). Teil 2 auch: Communication in the Presence of Noise. Proc. IRE 37 (1949) pp. 10 - 20, (eingereicht am 24.3.1940), Übersetzt in: Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. R. Oldenbourg, München - Wien, 1976; ISBN 3-486-39851-2 (WEAVER sollte nicht erwähnt werden, völlig unwissenschaftlich u. z. T. sogar falsch)
Prediction and Entropie of printed English Bell Sys. Techn. J. 30 (1951) 1, 50f
A symbolic analysis of relay and switsching circuits (Eine symbolische Analyse von Relaisschaltkreisen), Transactions Amercan Institute of Electrical Engineers 57; 1938, S. 713 - 723 (Eingang 1.3.38, revidiert 27.5.38; entspricht seiner Master Thesis v. 10.8.37)
Die mathematische Kommunikationstheorie der Chiffriersysteme. Bell Systems Technical Journal 28 (1949) S. 656 - 715 (Ursprünglich 1.9.45)
Datenglättung und Vorhersage in Feuerleitsystemen (mit) Technical Report Bd. 1; Gunfire Control (1946) S. 71 - 159, 166f. (Nur Auszug vorhanden)
Die Philosophie der PCM Proc. IRE 36 (1948) S. 1324 - 1331 (Eingang 24.5.48)
Vorführung einer Maschine zur Lösung des Labyrinthproblems. Transactions 8th Cybernetics Conference 15. - 16.3.1951 in New York. Josiah Macy Jr. Foundation, (1952) S. 169 - 181
Eine Maschine, die beim Entwurf von Schaltkreisen behilflich ist (Proc. IRE 41 (1953) S. 1348 - 1351, (Eingang 28.5.53, revidiert 29.6.53)
Eine gedankenlesende (?) Maschine. Bell Systems Memorandum 18.3.53 (Typoskript 4 Seiten)
Vorhersage und Entropie der gedruckten englischen Sprache. (Prediction and Entropie of printed English) Bell Systems Technical Journal 30 (1951) S. 50 - 64 (Eingang 15.9.1950)

Ein/Aus, Ausgewählte Schriften zur Kommunikations- und Nachrichtentheorie. Verlag Brinkmann + Bose, Berlin 2000.

2. Zur Informationstheorie

Bar-Hillel, Y., R. Carnap (1953): Semantic information. Brit.J.Sci. Vol. 4, S. 147-157
Carnap, R.: Einführung in die symbolische Logik. Springer-Verlag, Wien - New York 1954
Frank, H.: Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. 2. Aufl. Bd. 1 + 2. Agis - Verlag Baden-Baden 1969
Hauffe, H.: Der Informationsgehalt von Theorien. Springer - Verlag, Wien - New York, 1981
Kronthaler, E.: Syntaktische, semantische und pragmatische Information. Grundlagen aus Kybernetik und Geisteswissenschaften 10 (1969) 4, 99 - 109
Marko, H.: Die Theorie der bidirektionalen Kommunikation und ihre Anwendung auf die Nachrichtenübermittlung zwischen Menschen. Kybernetik 3 (1966) 3, 128 - 136
Marko, H.: Informationstheorie und Kybernetik. In: Fortschritte der Kybernetik. R. Oldenbourg-Verlag, München - Wien 1967. S.9-28.
Mayer, W.: Grundverhalten von Totenkopffaffen unter besonderer Berücksichtigung der Kommunikationstheorie. Kybernetik 8 (1970) 2, 59-68
Neuberger, E.: Kommunikation in der Gruppe. R. Oldenbourg-Verlag, München - Wien 1969
Neuberger, E.: Zwei Fundamentalgesetze der bidirektionalen Information. AEÜ 24 (1970) 5, 209 ff.
Renyi, A.: Tagebuch über die Informationstheorie. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1982
Renyi, A.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mit einem Anhang über Informationstheorie. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1962
Völz, H.: Information I - Studie zur Vielfalt und Einheit der Information. Akademie Verlag, Berlin 1982.
Völz, H.: Information II, Theorie und Anwendung vor allem in der Biologie, Medizin und Semiotik. Akademie - Verlag Berlin 1983. 365 S., 184 Abb., 60 Tab.
Völz, H.: Grundlagen der Information. Akademie-Verlag Berlin 1991

Weiss, P.: Subjektive Unsicherheit und subjektive Information. Kybernetik 5 (1968) 77 - 82
Zeh, H., D.: Entropie. Fischer Kompakt. Frankfurt/M 2005
Zemanek, H.: Elementare Informationstheorie. R. Oldenbourg Verlag, München - Wien 1975

3. Zur Ästhetik

Beutelspacher, A. u. Petri, B.: Der Goldene Schnitt. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim - Wien – Zürich 1989
Bischoff, E.: Mystik und Magie der Zahlen. Fourier, Wiesbaden 1992
Fucks, W.: Nach allen Regeln der Kunst. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1968
Fucks, W.: Über mathematische Musikanalyse. In: NTF, Band 28: Informationstheorie II. Vieweg Verlag, Braunschweig 1964, S. 67 - 73
Hagenmaier, O.: Der Goldene Schnitt. Impuls-Verlag. Heidelberg - Berlin 1958
Nake, F.: Ästhetik der Informationsverarbeitung, Springer - Verlag, Wien - New York 1974
Lau, E.: Intensionale Keime verschiedener Programmlänge. Forschungen und Fortschritte 28 (1954) 1, 6 - 10
Löwenberg, H. L. v.: Handbuch der Zahlen und Symbole. Orbis-Verlag, München 1993
Tucholski, H.: Bildfläche und Maß. Verlag der Kunst, Dresden o. J.
Völz, H.: Beitrag zur formalen Musikanalyse und -synthese. Beiträge zur Musikwissenschaft 17 (1975) 2/3, 127 - 154
Völz, H.: Computer und Kunst. Urania-Verlag, Leipzig - Jena - Berlin 1990.
Völz, H.: Entropie und Auffälligkeit. Wissenschaft und Fortschritt 38 (1988) 10, 272-275 (betr.: Schönheit Haus)
Worobjow, N. N.: Die Fibonaccischen Zahlen. Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1977