

**Zeitschrift:** Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art  
**Band:** 56 (1969)  
**Heft:** 12: Einfamilienhäuser

**Vereinsnachrichten:** SWB-Kommentare 13

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 15.01.2026

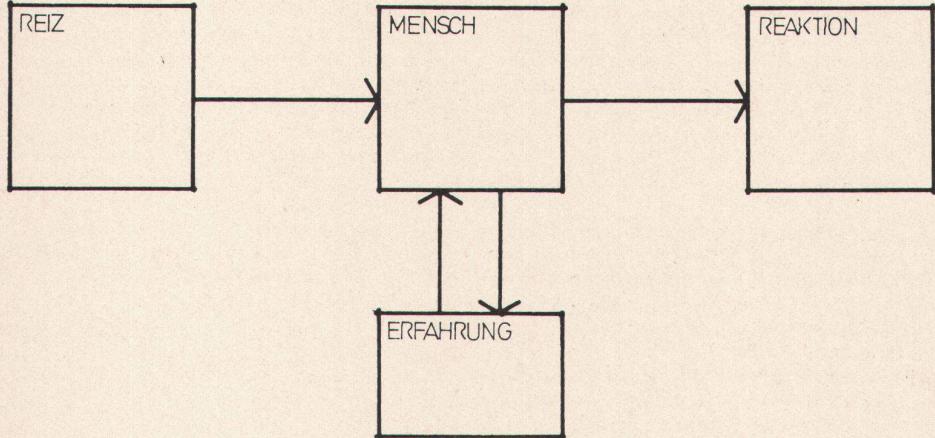
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# SWB-Kommentare 13

Herausgegeben vom  
Schweizerischen Werkbund  
Nr. 13  
Dezember 1969  
Redaktion:  
Dr. Antonio Hernandez  
Leimenstraße 7  
4000 Basel

Inhalt:  
PD Dr. techn. Dipl.-Ing. Franz Heigl:  
Kunst als Information – Information als Kunst  
(Schluß)

Paul Hulliger zum Gedenken



## Kunst als Information – Information als Kunst...

von Franz Heigl, Graz  
Schluß aus Nr. 12 werk (10/1969)

Die Informationstheorie kann, wie wir sehen, als Korrektiv herangezogen werden, mit dem Ziel, das menschliche Verhalten in bestimmten Situationen zu optimieren.

Sie hatte bisher in unserer Betrachtung nur eine interpretierende Funktion. Es drängen sich jedoch fast automatisch die Fragen auf:

V Kann die Informationstheorie den Schaffensprozeß befürworten?  
und

VI Bis zu welchem Grad kann die Informationstheorie die Basis eines Schaffensprozesses bilden?  
Diese beiden Fragen seien noch abschließend zu beantworten versucht.

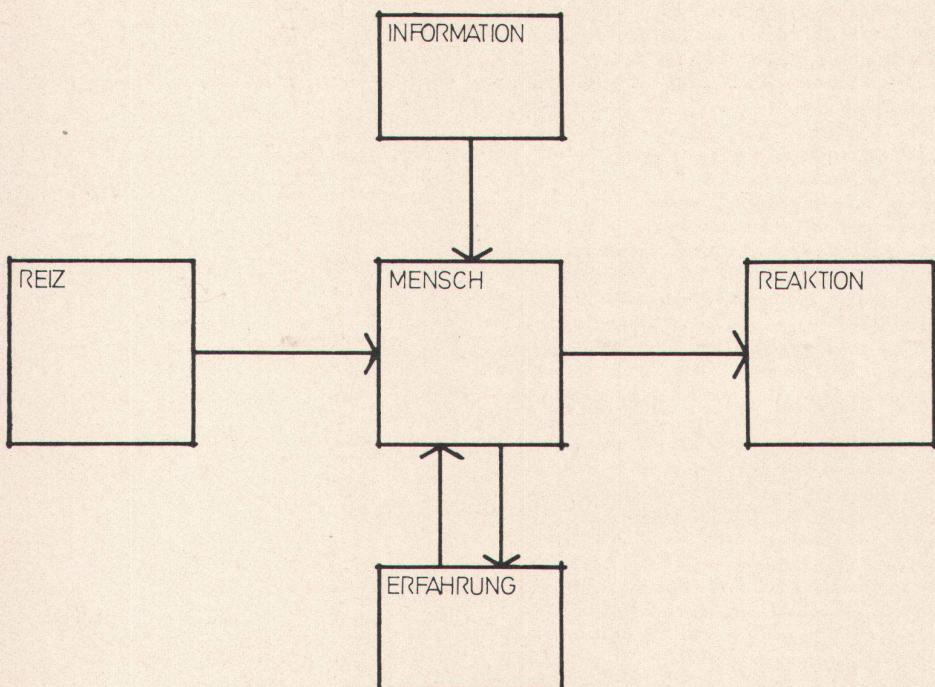
Informationstheorie wurde in den ursächlichen künstlerischen Schaffensprozeß eingeschaltet, als man zufallsgesteuerte Prozesse unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit ablaufen ließ und so eine maschinell gefertigte, jedoch von Zufälligkeiten beeinflußte Kunst entwickelte, deren Formalcharakteristiken durch unterschiedliche Randbedingungen gesteuert werden können.

Durch diese Randbedingungen werden die im Rahmen des Programmes noch zulässigen Variationsmöglichkeiten abgesteckt oder, exakter ausgedrückt, die Menge aller zulässigen Möglichkeiten definiert.

In einer Datenverarbeitungsanlage können diese vorgegebenen Möglichkeiten unter Verwendung eines Algorithmus kombiniert werden. Die Zahl der Kombinationsmöglichkeiten und damit der «Varianten über ein Thema» ist in der Regel sehr groß. Die Maschine permutiert alle möglichen Kombinationen und entwickelt auf diesem Weg von sich aus immer neue Lösungen. Diese werden nach bestimmten, objektiven oder subjektiven Kriterien gefiltert, so daß man im Sinne dieser Kriterien gute und schlechte Lösungen unterscheiden beziehungsweise auswählen oder ausscheiden kann.

So hat sich die ursprünglich rein physikalisch orientierte Informationstheorie zu einer Informationsästhetik weiterentwickelt, die, zum Unterschied von der traditionellen Ästhetik, formal-mathematisch orientiert ist.

Darüber hinaus wird heute bereits die formale Lerntheorie zur Klärung ästhetischer Prozesse herangezogen. Sie deutet die Anpassung an ein



Kunstwerk oder eine Kunstentwicklung als Lernprozeß und kann in diesem Sinne als rückkoppelndes System zu einer zielgerichteten, maschinensteuerten Entwicklung ästhetischer Objekte unter Optimierung vorgegebener Tendenzen führen.

All diese neuen Entwicklungen umreißt Max Bense<sup>2</sup> mit folgenden Worten:

«Die jüngste Entwicklungsstufe innerhalb der modernen Ästhetik wird nun durch die generative Ästhetik bezeichnet. Ihr Ziel ist die Zerlegung des kunsterzeugenden Prozesses in unendlich viele konstruktive Schritte. Es handelt sich also um eine 'definite' Ästhetik. Sie führt im Idealfall zur Aufstellung von 'Programmen', die der Herstellung von ästhetischen Zuständen mit Hilfe programmgesteuerter Rechenanlagen dienen.»

Dieser Produktionsprozeß verläuft nach dem Schema

Programm → Computer + Zufallsgenerator → Realisator.

Hiebei enthält das Programm die ästhetischen Daten und verfahrensorientierten Randbedingungen; so leiteten Hiller und seine Mitarbeiter ästhetische Kriterien, die sie zur Programmerstellung benutzten, aus statistischen Merkmalen vorhandener Kompositionen ab.

Wiewohl komplexe Zusammenhänge zwischen den einzelnen Merkmalen zu erwarten sind, so können doch schon recht einfache Merkmalsgliederungen zu rahmenbildenden Aussagen führen. So konnte Fucks durch Analyse der Wort- und Satzlängen gegebener Texte feststellen, ob diese ganz allgemein in den Rahmen «Literatur» einzuordnen sind oder nicht. Bei dieser Untersuchung wurde die Wortlänge nach Silbenzahl, die Satzlänge in der Wortzahl ausgedrückt. Der Vollständigkeit halber muß ich hinzufügen, daß es sich bei dieser Untersuchung ausschließlich um deutschsprachige Texte handelte.

Computer und Zufallsgenerator (eine Anlage, die Befehle unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit aktiviert) steuern den Verarbeitungsprozeß.

Aus dem Blickwinkel der Informationstheorie hat der Zufall eine große Bedeutung, um hohen Informationsgehalt zu erzielen. Im Rahmen einer künstlerischen Tätigkeit kann das Informationsoptimum durch Leistungen der Phantasie oder durch Zufallsoperationen erreicht werden. Die Phantasie, der spontane Einfall, scheint bereits von sich aus das Ergebnis eines Zufallsgenerators, einer Zufallsverbindung im Gehirn, zu sein (neue Erkenntnisse entstehen, wenn bewußt gesucht, durch provozierte Denkfehler – gewisse Erkenntnisse oder anscheinend logische Verbindungen werden künstlich gelöscht, so daß bisher unmögliche Verbindungen realisierbar werden).

Diese Annahme scheint wahrscheinlich, da komplizierte Aufgaben durch Anwendung einer in bestimmten Grenzen gehaltenen Zufallsstreuung leichter erfassbar und lösbar scheinen.

All dies entspricht auch den Ergebnissen kybernetischer Untersuchungen.

Sollen Maschinen einen Kunstdarstellungsprozeß simulieren, so benötigen sie einen Zufallsgenerator, da keines der klassischen Kunstgesetze die auf ihm basierenden Strukturen vollständig festlegt. Die verbleibenden Freiheitsgrade können willkürlich genutzt werden, sofern man die im Programm gespeicherten Bedingungen nicht verletzt.

Dies kann zur Entdeckung bestimmter Kom-

<sup>2</sup> Max Bense: *Ästhetik und Programmierung*, in «Kunst aus dem Computer», Verlag Nadolski, Stuttgart 1968, S. 13.

positions- oder Arbeitsregeln durch einzelne Künstlerpersönlichkeiten führen, die charakteristische Abweichungen von allgemein anerkannten Kriterien zeigen.

Automaten, die diesen Forderungen gerecht werden sollen, können nach den verschiedensten Systemen konstruiert werden, müssen jedoch immer auf einer vorgegebenen Kombination von Gesetzmäßigkeit und Zufall beruhen.

Der Realisator produziert das Ergebnis von Programm und Datenverarbeitung.

Der «Ausdruck» erfolgt mit den verschiedensten Hilfsmitteln, mit Zeichenmaschinen (plotter), Lichtpunktbewegungen, mechanischen Verschiebungen von Gegenständen usw.

Grundsätzlich wird die Auffassung vertreten, daß jeder kunsterzeugende Prozeß gleichwahrscheinliche Verteilungen (physische Verteilungen) in nichtgleichwahrscheinliche Verteilungen (ästhetische Verteilungen) verwandelt. Er arbeitet mit Zufallsverbindungen, mit Überraschungen, die letztlich die Rolle der bereits früher erwähnten subjektiven Verzerrungen übernehmen.

Die Maschinen können derart gesteuert werden, daß die gerade noch tragbaren Verzerrungen nicht überschritten und die unterschiedlichen Möglichkeiten bestimmter Kompositionskriterien eingehalten werden.

R. Gunzenhäuser hat experimentelle Gedichte unter Anwendung von EDV-Anlagen hergestellt und die Textzusammenstellung aus einem bestimmten, definierten Wortvorrat, teils nach einem Zufallsmuster, teils nach vorgegebenen Regeln, vornehmen lassen.

Am deutlichsten hat sich diese Arbeitsmethode bisher im musikalischen Schaffen durchgesetzt, wobei zwei prinzipiell unterschiedliche Arbeitsvorgänge angewandt werden können:

- Als Stilmittel auf Grund einer statistischen Analyse des Vorbildes und den Einsatz von Notenfolgen in der Wahrscheinlichkeit des Vorbildes.
- Auf Grund programmierte Kompositionsregeln, wobei die einzelnen Noten vom Zufallsgenerator ausgewählt und auf ihre Einsatzmöglichkeit in dem durch die Programmierung vorgegebenen System geprüft werden.

Ähnlich entwickelt sich heute auch die sogenannte Computergraphik, die auf einem Zeichenrepertoire, einem Manipulationsrepertoire und der sogenannten Intuition beruht.

Das Zeichenrepertoire enthält Elementarzeichen: Gerade der Längeneinheit 1, Kurvensabschnitte zweiter Ordnung usw.

Das Manipulationsrepertoire enthält die Möglichkeit, Gerade und Kurven zu dehnen, aneinanderzufügen und unter bestimmten Winkeln zu verdrehen.

Die sogenannte Intuition bestimmt Anfang und Ende der Graphik sowie die Länge der Strecken und das Ausmaß der Winkelverdrehung.

Das Finden, Auswählen sowie Aufstellen der vorerwähnten ästhetischen Programme erfolgt auf der Grundlage der Informationstheorie. In diesem Sinne und zur näheren Erläuterung des vorstehenden sei für den an der Materie Interessierten auch ein kurzer Abriss der grundlegenden Überlegungen der Informationstheorie gebracht:

Unter Informationstheorie versteht man ganz allgemein die mathematische Theorie der Nachrichtenübertragung.

Eine gewisse Schwierigkeit bei Anwendung der Informationstheorie liegt im Umstand, daß es

sich bei der Nachrichtenverbindung von Mensch zu Mensch nicht nur um das rein technische Problem der Übertragung bestimmter Nachrichten (Zeichen, Wörter, Symbole, Buchstaben, Signale) handelt, sondern daß der Mensch mit gewissen Symbolen auch eine Meinung verbündet, die ja auch übermittelt werden soll. So spricht man von einer guten oder einer schlechten Nachricht.

Die Informationstheorie beschäftigt sich jedoch ausschließlich mit der technischen Übertragung von Nachrichten.

Eine Nachricht im technischen Sinn kommt zustande, indem aus einer Zusammenstellung von Zeichen ein bestimmtes ausgewählt wird (zum Beispiel ein Buchstabe). Es ist ein Element aus einer vereinbarten Menge von Elementen. Diese Menge wird Zeichenvorrat (*character set*) genannt. Ein Alphabet zum Beispiel ist ein geordneter Zeichenvorrat.

Der Auswahlprozeß eines Zeichens aus einem Zeichenvorrat besteht in der Auswahl eines Zeichens aus einem Vorrat von zwei gleichwahrscheinlichen Zeichen, die durch Binärzeichen (*binary character*) dargestellt werden.

Besteht eine Zeichenmenge aus  $n$  verschiedenen Zeichen, so liegt offenbar der einfachste Fall der binären Entscheidung dann vor, wenn alle Zeichen gleich wahrscheinlich sind.

## 12

Aus: William E. Simmat, «Kunst aus dem Computer», «Exakte Ästhetik», Nr. 5, Stuttgart

### 13

Frieder Nake: «Rechteckschraffuren mit Geradenscharn», 1965, Bildgröße 50×50 cm, zweifarbig. Eine senkrechte Geradenschar mit in geringen Grenzen verändertem Strichabstand und veränderter Geradenlänge bildet das Grundmuster. Darüber befinden sich Rechteckschraffuren; für diese gelten: zufällige Elemente:

- Gesamtzahl der Rechtecke
- Ort der Rechtecke
- Größe der Rechtecke
- Dichte der Schraffur
- Strichrichtung der Schraffur (horizontal oder vertikal)
- Auswahl der Zeichenstifte

Aus: «Kunst aus dem Computer», «Exakte Ästhetik», Nr. 5, S. 30

### 14

Frieder Nake: «Klee», 1965, Bildgröße 40×40 cm. Zufällige Elemente

- Breitenänderung von Knick zu Knick der horizontalen Bänder
- Knickung der horizontalen Bänder

3 Auswahl in jedem Viereck eines Bandes, ob kein Zeichen oder senkrechte Striche oder Dreiecke

- Anzahl der Zeichen pro Viereck
- Ort dieser Zeichen pro Viereck

6 Anzahl der Kreise

- Ort der Kreise
- Halbmesser der Kreise

Aus: «Kunst aus dem Computer», «Exakte Ästhetik», Nr. 5, S. 28

### 15

Permutation von quadratischen Elementen in einem quadratischen Raster von Klaus Basset. Aus: Herbert W. Franke, «Phänomen Kunst», München 1967, S. 92

### 16

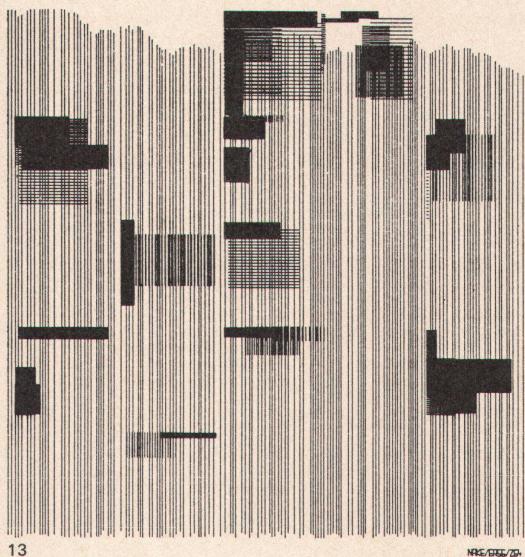
Frieder Nake: «Felder mit Quadratverteilungen, überlagert von zwei Dreiecksverteilungen», 1965, Bildgröße 30×30 cm, zweifarbig. Die drei Arten von Zeichen sind unverändert und vorgegeben. Bei jeder Verteilung gilt:

- Zufällige Elemente:
- Anzahl der zu füllenden Felder
  - Auswahl dieser Felder
  - Anzahl der Zeichen in jedem Feld
  - Ort und Zeichen in jedem Feld

Aus: «Kunst aus dem Computer», «Exakte Ästhetik», Nr. 5, S. 26

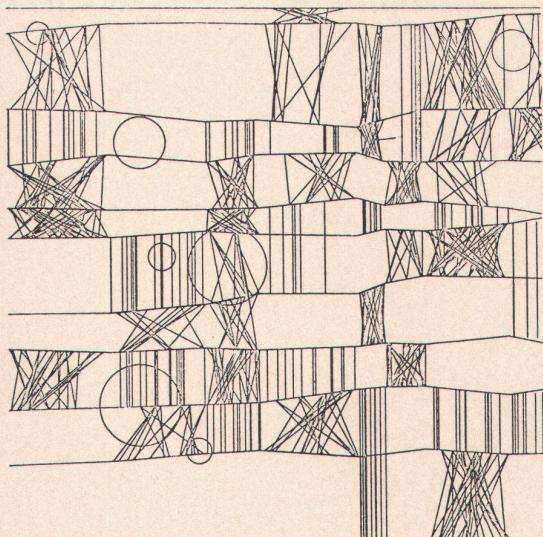
### 17

Aus: Herbert W. Franke, «Phänomen Kunst», München 1967, S. 127



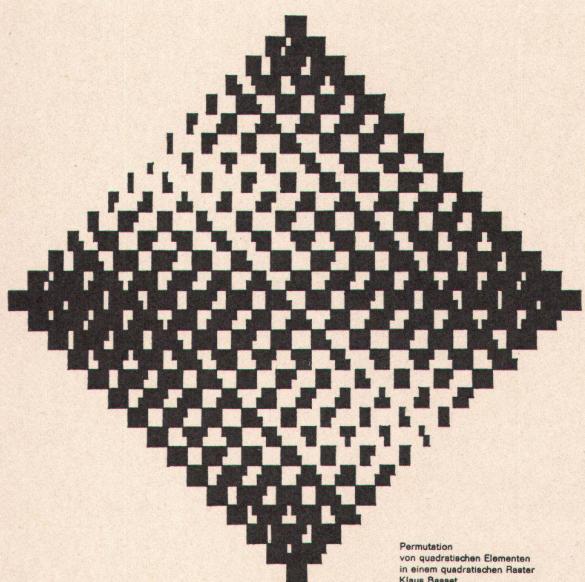
13

NR. 12/1969



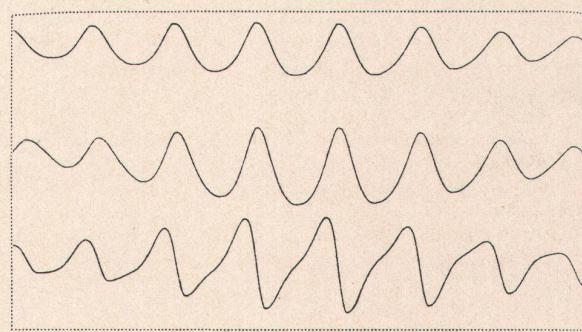
14

NR. 12/1969



Permutation  
von quadratischen Elementen  
in einem quadratischen Raster  
Klaus Bassett

15

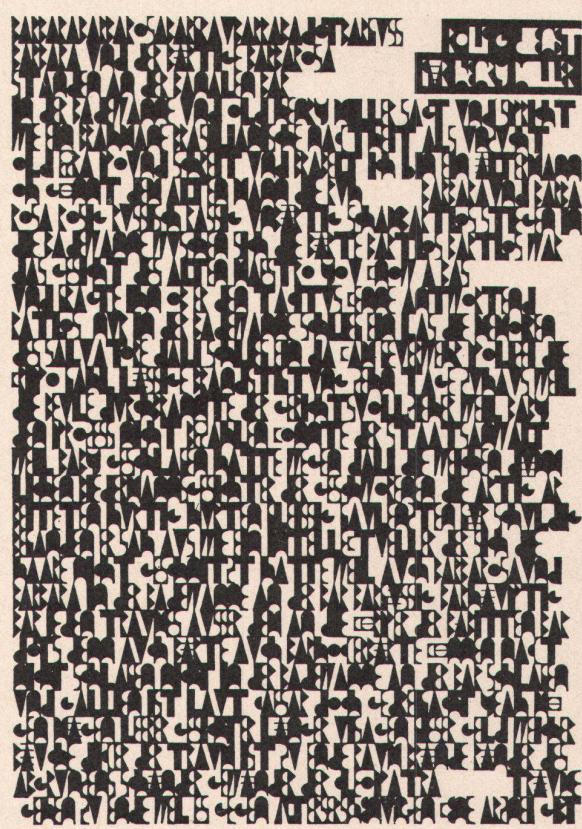


12



16

NR. 12/1969



17

## 1 Entscheidungsgehalt

Unter der Annahme von  $n = 8$  ( $8 = 2^3$ ) Zeichen, läßt sich jedes dieser Zeichen durch  $3 = \log_2 8$  binäre Entscheidungen (bit) auszählen.

Man erkennt, daß jedes einzelne dieser Zeichen durch drei Binärzeichen (bit) symbolisiert wird. Ganz allgemein entsprechen  $n$  Zeichen  $\log_2 n$  Binärenentscheidungen.

Dieser Ausdruck wird als Entscheidungsgehalt (*decision content*) des Zeichenvorrates von  $n$  Zeichen bezeichnet:

$$H_0 = \log_2 n = \text{Id} n \quad (\text{Id} = \text{logarithmus dualis})$$

Im allgemeinen ist die Wahrscheinlichkeit von Zeichen eines Zeichenvorrates unterschiedlich. So haben zum Beispiel die Buchstaben der deutschen Sprache verschiedene Häufigkeit.

## 2 Informationsgehalt

Der Informationsgehalt / eines Ereignisses hängt von der Wahrscheinlichkeit des jeweils präsentierten Zeichens ab. Ein Zeichen, das mit absoluter Gewißheit (der Wahrscheinlichkeit 1) auftritt, enthält praktisch keine neue Information.

Man wird jedoch über das Auftreten eines Zeichens um so mehr überrascht sein (oder, anders ausgedrückt, der Informationsgehalt eines Zeichens ist um so größer), je seltener es in einem Zeichenvorrat auftritt, somit, je geringer die Wahrscheinlichkeit für sein Auftreten ist.

Man kann daher folgern, daß der Informationsgehalt / als Funktion von  $p$  ( $p$  = Wahrscheinlichkeit)

für  $p = 1$  Null ist und

für  $p < 1$  um so größer wird, je mehr sich  $p$  dem Wert Null nähert.

Es sei nun die Anzahl jener Binärschritte ermittelt, die notwendig sind, um ein Zeichen  $Z_n$  mit der Wahrscheinlichkeit  $p_n$  aus einer Menge nicht-gleichwahrscheinlicher Ereignisse auszuwählen.

Um die nötigen Binärschritte zu ermitteln, werden die Zeichen und die mit ihnen verbundenen Wahrscheinlichkeiten in zwei Gruppen geteilt:

$$\begin{aligned} Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_i & \quad Z_{i+1}, Z_{i+2}, \dots, Z_n \\ p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_i & \quad p_{i+1} + p_{i+2} + \dots + p_n = \frac{1}{2} \\ + p_i & = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Jene Gruppe, in der das auszuwählende Zeichen liegt, teilt man wiederum in zwei Gruppen mit gleicher Wahrscheinlichkeit usw. ein. Auf diese Weise gelangt man nach einer bestimmten Zahl von  $n$  Schritten zum gesuchten Zeichen. Man hat daher die Binärenentscheidungen der eingangs wiedergegebenen Schemagliederung nachvollzogen.

Unter der Annahme von  $m$  Schritten ist die Wahrscheinlichkeit des Zeichens

$$p_i = \frac{1}{2^m}$$

Zum Auffinden eines Zeichens mit der Wahrscheinlichkeit  $p_i$  benötigt man daher

$$m = -\log_2 p_i = -\text{Id} p_i \quad \text{Binärschritte}$$

Da die funktionelle Abhängigkeit zwischen der zur Auswahl eines Zeichens notwendigen Anzahl von Binärschritten und der Zeichenwahrscheinlichkeit auch der Abhängigkeit zwischen dem Informationsgehalt und der Wahrscheinlichkeit des

Zeichens voll entspricht, kann man den Informationsgehalt (*information content*) eines Zeichens wie folgt ausdrücken:

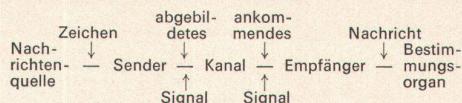
$$I = -\text{Id} p_i \quad (\text{bit})$$

Die Definition hat Shannon<sup>3</sup> seiner Informationstheorie zugrunde gelegt.

Die Verwendung des Begriffes Wahrscheinlichkeit zeigt, daß es sich hierbei um eine statistische Theorie der Nachrichtenübertragung handelt.

## 3 Nachrichtenübertragung

Jede Nachrichtenverbindung erfolgt letztlich nach folgendem Schema:



Unter Nachrichtenquelle versteht man jenen Teil des Nachrichtensystems, von dem die Nachricht ausgeht (zum Beispiel Sprecher, Text).

Das Organ, das die von der Quelle emittierten Zeichen in Signale verwandelt, wird Sender genannt. Ein Sender hat außer der Umwandlung auch noch eine eindeutige Zuordnung des Zeichenvorrates zum Signalvorrat, die sogenannte Codierung, vorzunehmen.

Folgende Annahmen werden hierbei getroffen:  
a) Die Emission von Zeichen aus einer Quelle erfolgt statistisch (es können nur jene Zeichen informationstheoretisch behandelt werden, deren Auftreten statistischen Regeln unterliegt).  
b) Dieser Vorgang ist stationär, die Wahrscheinlichkeit seiner Grundelemente ist nicht Funktion der Zeit.

Am Ausgang des Kanals liegt der sogenannte Empfänger. Dieser hat die Aufgabe, die am Kanalende ankommenden Signale wieder in Zeichen zu verwandeln und diese dem Bestimmungsorgan zuzuführen, von dem sie nachrichtentechnisch ausgewertet werden.

## 4 Entropie

Die Ergiebigkeit einer Nachrichtenquelle wird durch den mittleren Informationsgehalt / der von ihr emittierten Zeichen bestimmt. Werden die  $n$  verschiedenen Zeichen unabhängig voneinander emittiert, so ist

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \text{Id} p_i \left[ \frac{\text{bit}}{\text{Zeichen}} \right] = H$$

Diese Funktion  $H$  wird Entropie einer Quelle genannt.

Sie besitzt folgende charakteristische Eigenschaften:

- 1 Sie wird 0, wenn eine der Wahrscheinlichkeiten den Wert 1 annimmt (die Quelle sendet dann stets die gleiche Meldung mit dem Nachrichteninhalt 0 aus).
- 2 Sie erreicht im Maximum, wenn alle  $p_i$  einander gleich, also gleich  $1/n$ , sind.

Sind alle  $p_i$  gleich groß, so nimmt der Ausdruck die Form an:

$$H = -n \frac{1}{n} \text{Id} \frac{1}{n} = \text{Id} n = H_0$$

<sup>3</sup> A Mathematical Theory of Communication BSTJ. 27 1948, 379–424 und 623–657.

und wird somit gleich dem Entscheidungsgehalt der Quelle.

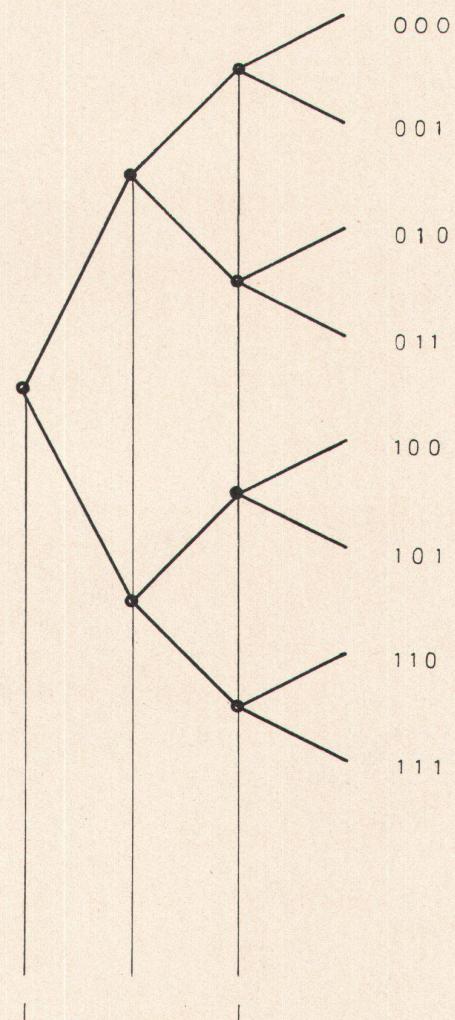
Der Quotient  $H/H_0$ , die sogenannte relative Entropie, ist ein Maß für die relative Wahlfreiheit, die einer Quelle auf Grund ihrer statistischen Gebundenheit bleibt.

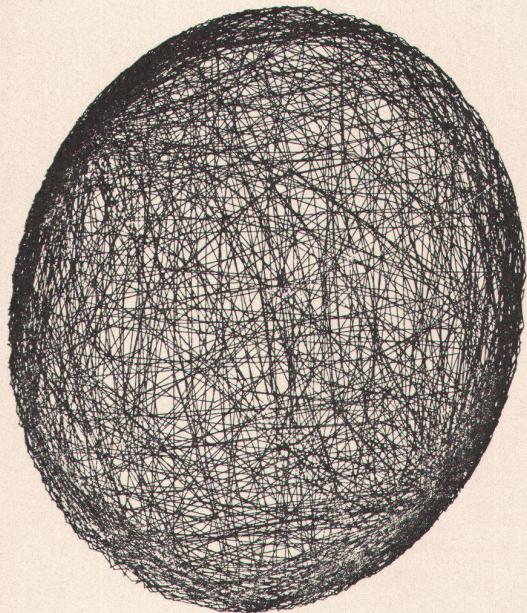
Der Ausdruck  $r = 1 - H/H_0$ , die relative Redundanz, ist ein Maß der statistischen Gebundenheit einer Quelle. Ist die Redundanz einer Quelle größer als 0, so beinhaltet ein Zeichen im Schnitt nicht soviel Information, wie es auf Grund des Entscheidungsgehaltes der Zeichenmenge tragen könnte:

$$r = \frac{H_0 - H}{H_0}$$

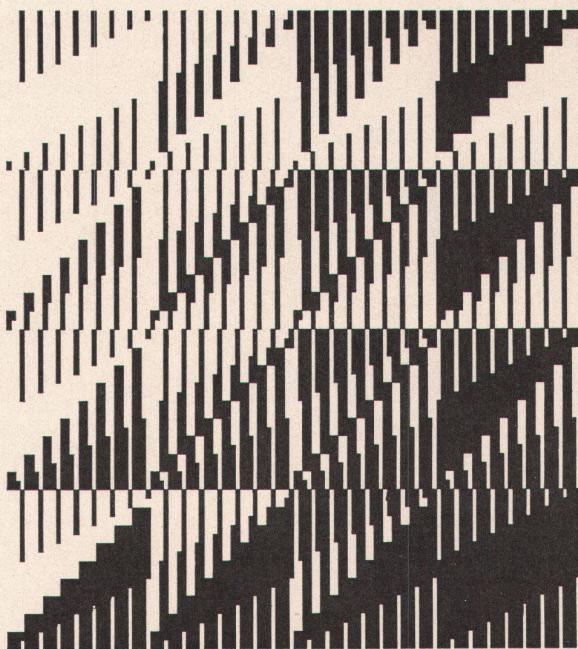
Der Anteil  $r$  des Zeichenvorrates wird zur Informationsübermittlung eigentlich nicht benötigt.

Eine um diesen Bruchteil verstümmelte Nachricht kann bei Kenntnis der statistischen Gesetzmäßigkeit der Quelle rekonstruiert werden. Sie ermöglicht eine Fehlerkorrektur.

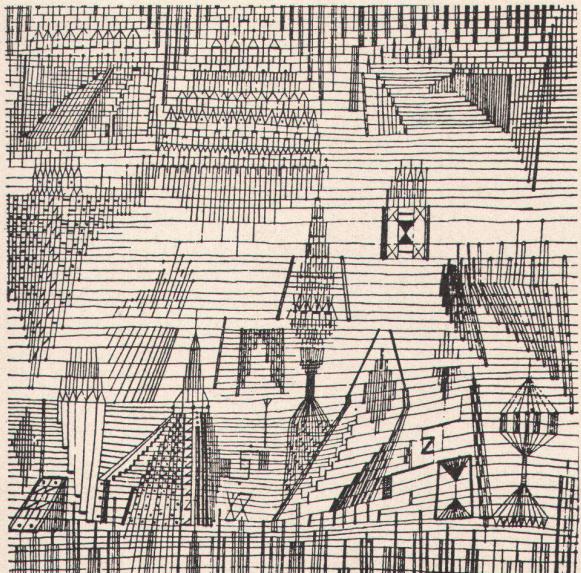




18



20



19

18

Georg Nees: Computer-Graphik, 1966, hergestellt mit Siemens 2002 und Zuse Graphomat  
Programm: Zeichne zufällige konsekutive Sekanten beschränkter Länge einer Kugelfläche; projiziere affin  
Aus: «Kunst aus dem Computer», «Exakte Ästhetik», Nr. 5 S. 24

19

Paul Klee: Air-Tsu-Dni. Federzeichnung  
Aus: Herbert W. Franke, «Phänomen Kunst», München 1967, S. 129

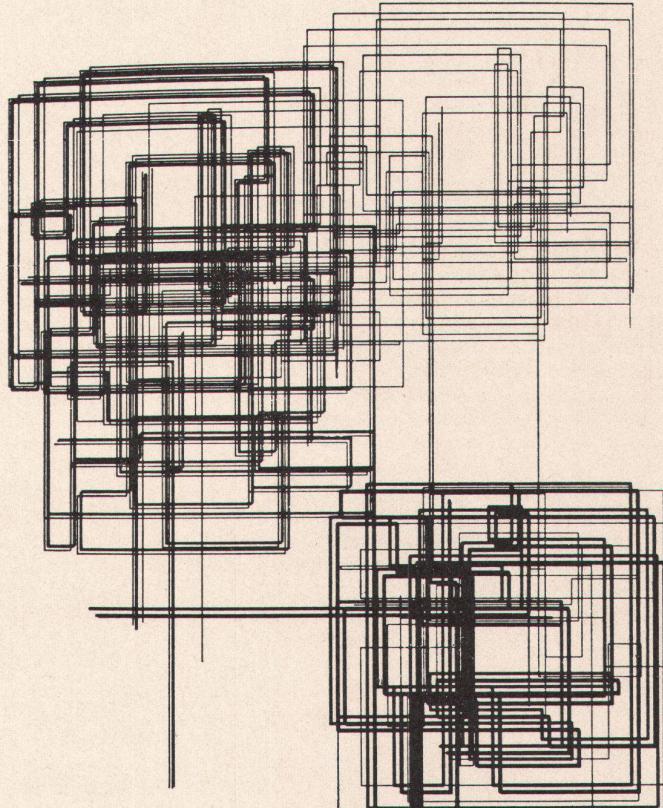
20

Permutation – eine Serie einfacher Elemente wird mit Phasenverschiebung in Felder eingebaut (Klaus Basset)  
Aus: Herbert W. Franke, «Phänomen Kunst», München 1967 S. 27

21

Zeichnung, die bei IBM Deutschland (Dr. R. Hartwig und Mitarbeiter) entstand: gezeichnet auf dem Zeichentisch Aristomat, Steuereinheit GEAMAT (AEG) und Rechner IBM 1620 bzw. 1130/1800  
IBM-Photo

Aus: «Kunst aus dem Computer», «Exakte Ästhetik», Nr. 5, S. 9



21

Emittiert eine Quelle  $n$  Zeichen/sec, so besitzt sie einen Nachrichtenfluß:

$$H' = m H \left[ \frac{\text{bit}}{\text{sec}} \right]$$

Ein Ausdruck, der auch die auf die Zeiteinheit bezogene Entropie der Quelle genannt wird.

Signale benötigen in der Regel mehr bit als Zeichen.

Der Signalfluß eines Senders ist dann

$$H'_S \geq H_S$$

eine optimale Codierung wird erreicht, wenn

$$H'_S = H_S$$

und somit jedes Zeichen einem Signal entspricht.

## 5 Kapazität

Die Kapazität eines Nachrichtenkanals ist definiert als der maximal mögliche Wert des mittleren Informationsflusses, den er transportieren kann.

Sie besitzt eine obere Grenze für den noch möglichen Nachrichtenfluß:

$$C = \max H' \\ = \max m H$$

Bei gegebenem  $H$  verändert sich dieser Ausdruck in

$$C = H \max m$$

$$\max m = \frac{C}{H} \left[ \frac{\text{bit}}{\text{bit}} \frac{\text{Zeichen}}{\text{Zeichen}} \right] = \frac{C}{H} \left[ \frac{\text{Zeichen}}{\text{sec}} \right]$$

Wenn somit eine Quelle mit der Entropie  $H$  (bit/Zeichen) und ein Kanal  $C$  (bit/sec) gegeben ist, so kann man diese Zeichen theoretisch so codieren, daß im Mittel  $C/H$  Zeichen/sec von dem Kanal übertragen werden.

Treten jedoch Übertragungsstörungen auf, so ist ein zusätzlicher Informationsfluß  $E'$  nötig, um diese Unsicherheit zu beheben.

Dieser Informationsfluß, der ein Maß für die Mehrdeutigkeit des Kanals ist, muß also von dem über den Kanal einfließenden Informationsfluß abgezogen werden, um den tatsächlich transportierten mittleren Fluß an Information zu erhalten:  $E' < H'$

$$H' - E' > 0$$

Die Kapazität eines gestörten Kanals wird definiert als der maximal mögliche Wert des mittleren Informationsflusses ( $H' - E' > 0$ ):

$$C = \max (H' - E')$$

## 6 Nichtoptimale Codierungen

Treten bei einer Übertragung unkontrollierbare Störungen auf, so wird es notwendig, nichtoptimale Codierung zu benutzen. Dies sei an einem Beispiel demonstriert:

Gegeben seien die Buchstaben  $A, B$ , jeder besitze die Wahrscheinlichkeit  $p = \frac{1}{2}$ ; bei optimaler Codierung wäre somit 1 bit/Buchstabe hinreichend:

$$A (\frac{1}{2}) \rightarrow 0$$

$$B (\frac{1}{2}) \rightarrow 1$$

Die Zahl der möglichen Codezeichen ist gleich der Zahl der benutzten Codezeichen. Die Redun-

danz wird 0, das Extrem eines Fehlers wird möglich.

Eine Redundanz erhält man erst bei Verwendung von mindestens 2 bit/Buchstaben:

$$A (\frac{1}{2}) \rightarrow 0,0 \\ B (\frac{1}{2}) \rightarrow 1,1$$

Hiedurch wird wohl eine Fehlererkennung, nicht jedoch eine Fehlerkorrektur möglich, da jedes benutzte Codezeichen durch ein fehlerhaftes Binärzeichen in ein unbunutztes Codezeichen verwandelt werden kann. (Beide benutzten Codezeichen haben die gleichen unbunutzten Codezeichen zu Nachbarn.)

Man führt daher den Ausdruck  $\eta$  (Wirkungsgrad einer Codierung) mit folgender Definition ein:

$$\eta = \frac{\text{Entscheidungsgehalt der Buchstabenmenge (Zeichenmenge)}}{\text{Entscheidungsgehalt der möglichen Codezeichen}}$$

$$\eta = \left[ \frac{1/d \text{ (Anzahl der benutzten Codezeichen)}}{1/d \text{ (Anzahl der möglichen Codezeichen)}} \right]$$

Da nun alle benutzten Codezeichen die gleiche Wahrscheinlichkeit besitzen, die unbunutzten Codezeichen jedoch die Wahrscheinlichkeit 0, ist

$$\eta = \left[ \frac{\text{Entropie } H \text{ der Codezeichen}}{\text{Entscheidungsgehalt } H_0 \text{ der Codezeichen}} \right] = 1-r$$

Bei optimaler Codierung ist  $\eta = 1$ , also  $r = 1 - \eta = 0$

Bei der zuletzt betrachteten redundanten Codierung ist die Anzahl der möglichen Codezeichen  $4 = 2^{H_0}$  und die Anzahl der benutzten Codezeichen  $2 = 2^{H_0}$ .

Dies ergibt

$$H_0 = 2 H = 1$$

$$\eta = \frac{1}{2} r = \frac{1}{2}$$

so daß man auch schreiben kann

$$\eta = \left[ \frac{\text{wahrer Nachrichtenfluß}}{\text{Signalfluß}} \right]$$

Im zweiten Ansatz ist somit der Nachrichtenfluß nur 50% des Signalflusses, ein Aufwand, mit dem die Fehlererkennung bezahlt wird.

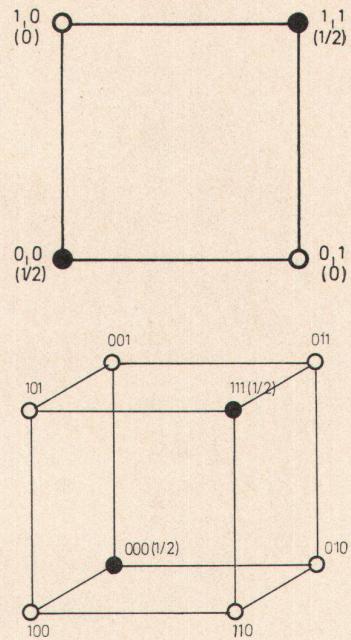
Soll jedoch auch eine Fehlerkorrektur möglich sein (unter der Annahme, daß lediglich 1 bit fehlerhaft übertragen wird), so benötigt man 3 bit/Buchstaben:

$$A (\frac{1}{2}) \rightarrow 0,0,0$$

$$B (\frac{1}{2}) \rightarrow 1,1,1$$

Die Zahl der möglichen Wörter ist 8, die Zahl der benutzten lediglich 2:

$$H_0 = 3 \quad H = 1 \\ \eta = 1/3 \quad r = 2/3$$

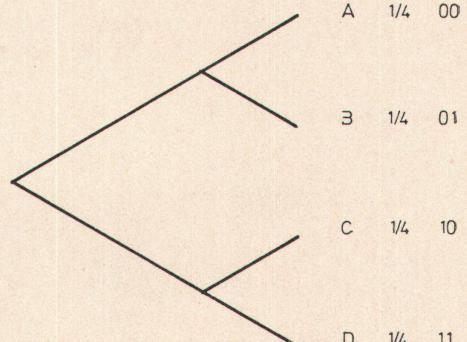


A 1/4 00

B 1/4 01

C 1/4 10

D 1/4 11



A 1/8 0

B 1/8 01

C 1/4 110

D 1/2 111

## 7 Optimale Codierungen

Die Zahl der wahrscheinlichsten Wörter, die aus jeweils  $N$  Buchstaben eines Buchstabenvorrates mit der Entropie  $H$  gebildet werden können, ergibt sich aus der Beziehung

$$W(N) = 2^{NH}$$

Die Zahl der möglichen Wörter, die sich aus  $NH$  Binärzeichen bilden lassen, ist aber ebenfalls  $2^{NH}$ .

Dies läßt vermuten, daß eine Codierung existiert, die jedem Buchstaben im Mittel  $H$  Binärzeichen zuordnet, und dies ist wiederum das Minimum an Binärzeichen, das benötigt wird, um

alle wahrscheinlichen Wörter aus  $N$  Buchstaben zu schaffen.

Man kann unterscheiden:

a) eine Codierung ohne Berücksichtigung der gegebenen Wahrscheinlichkeiten. Man benötigt bei vier Ergebnissen 2 bit/Buchstaben:

$$H = \frac{1}{2} \text{Id } \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \text{Id } \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \text{Id } \frac{1}{8} - \frac{1}{16} \text{Id } \frac{1}{16} =$$

$$= \frac{7}{4} \left[ \frac{\text{bit}}{\text{Buchstabe}} \right]$$

Bei dieser Codierung benutzt man im Mittel

$$\frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{4} \cdot 2 + \frac{1}{8} \cdot 3 + \frac{1}{16} \cdot 3 = \frac{7}{4} \text{ bit/Buchstabe}$$

Dies ist die günstigste Codierung, da auch  $H = 7/4$  ergibt. Kann man nun nicht sofort zwei Teilmengen gleicher Wahrscheinlichkeit bilden, so muß man folglich mehrere bit/Buchstaben codieren.

b) Eine Codierung mit Berücksichtigung der gegebenen Wahrscheinlichkeiten:  
Gegeben seien  $A$  und  $B$ ,

$$\text{mit den Wahrscheinlichkeiten } \frac{5}{6} \quad \frac{1}{6};$$

ohne Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit würde sich als Code ergeben:

$$\begin{array}{l} A \longrightarrow 0 \\ B \longrightarrow 1 \end{array}$$

Da jedoch  $H = 0,65$ , muß es einen Code geben, der im Mittel nur 0,65 bit/Buchstabe benötigt.

Nebenstehender Code benötigt 0,753 bit/Buchstabe, ist somit immer noch nicht optimal, da die Unterteilung in gleichwahrscheinliche Teilmengen nicht vollständig gelingt.

Der letzte Code benötigt nur 0,663 bit/Buchstabe und kommt somit dem Optimum schon recht nahe.

Die Annäherung an dieses Optimum wird in der nebenstehenden Bildtafel wiedergegeben.

Ich habe versucht, mathematische Gedankengänge in eine allgemeingehaltene Betrachtung einzubauen, und bin mir der Mängel solch flüchtiger Skizzen bewußt, die im wesentlichen nur die wichtigsten Ausdrücke der Informationstheorie Vokabeln gleich behandelt. Sie sollte auch nur durch Stimulieren des Interesses den Zugang erleichtern.

Ich will daher abschließend zusammenfassen:

Die Übermittlung von Information, von Nachricht und in ihrer Folge von Erkenntnis, wird durch die Informationstheorie beschrieben – somit erhebt sich nun die Frage, wann dieser Wissenszweig endlich auch jenen präsentiert wird, die ihn benötigen. Hier zeigt sich der vielleicht tiefgreifendste Spalt zwischen Kunst und Wissenschaft.

Letztere hat, zumindest in ihren technisch orientierten Disziplinen, die Informationsübertra-

AA 25/36 0

A3 5/36 10

3A 5/36 110

33 1/36 111

AAA 125/216 0

AAB 25/216 100

A3A 25/216 101

3AA 25/216 110

A3B 5/216 1100

3AB 5/216 1101

3BA 5/216 1110

33B 1/216 1111

22

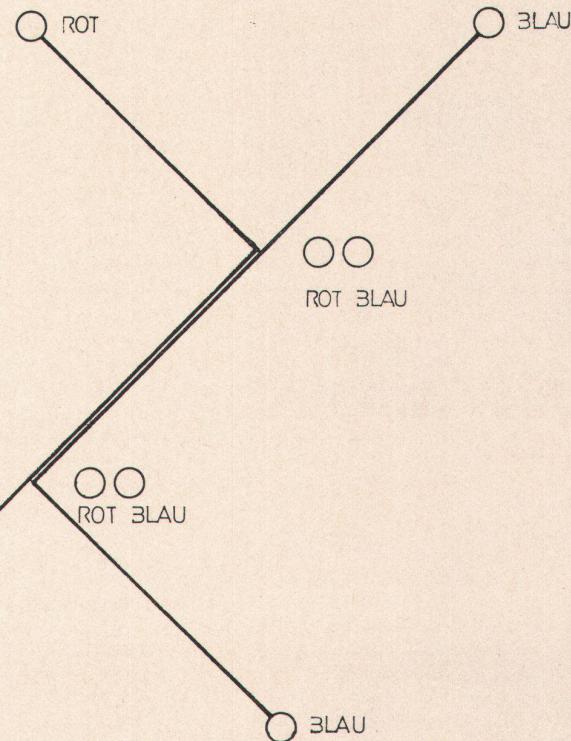
Codierung 1

Benötigte bit-Zahl/Buchstabe = 0,735

23

Codierung 2

Benötigte bit-Zahl/Buchstabe = 0,663



PRIMITIVE ORIENTIERUNG DURCH MARKIERUNGSSYSTEME WIE SIE IM HOCHGEBIRGE VERWENDET WERDEN. VON AUSGANGSPUNKT ZU ZIELPUNKT VERLÄUFT GLEICHSAM EIN DURCHGEHENDES FARBBAND DAS BEI ZUSAMMENTREFFEN MIT ANDEREN MARKIERUNGEN MIT DIESEN KOMBINIERT WIRD.

gung zu beherrschen gelernt; erstere hat, wenige Ausnahmen abgesehen, nicht einmal den Versuch gemacht, dieses Neuland zu erfassen.

Neben ihrer interpretierenden Rolle hat die Informationstheorie jedoch die Informationsästhetik als neue, schöpferische Kunstform hervorgebracht, deren Möglichkeiten noch kaum erahnt werden können.

Die Bedeutung der Informationstheorie im Rahmen künstlerischen Schaffens nimmt ständig zu, ebenso die Diskrepanz zwischen gebotener und notwendiger Ausbildung.

Vielleicht wird das Beispiel der Studenten an der T.U. Berlin einmal Schule machen ...

(Schluß)

24

Marcel Wyss: Spirale – aus einem einzigen Element aufgebaut, das schrittweise um 90 Grad gedreht und verkleinert wird

Aus: Herbert W. Franke, «Phänomen Kunst», München 1967, S. 91

Spirale – aus einem einzigen Element aufgebaut, das schrittweise um 90° gedreht und verkleinert wird  
Marcel Wyss

24

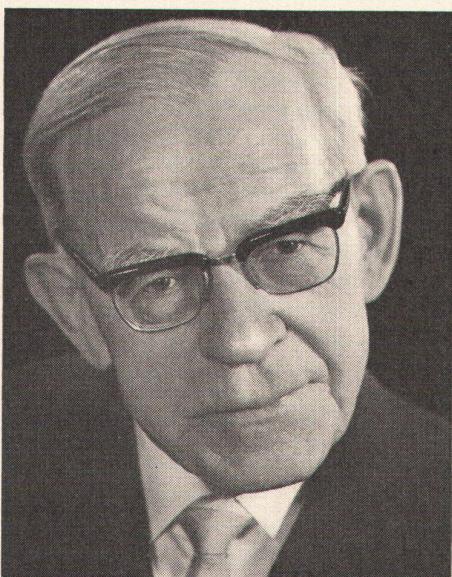


Photo: Gerd Pinsker, Riehen

#### Paul Hulliger zum Gedenken

Am 24. August dieses Jahres starb Paul Hulliger in seinem Riehener Heim nach einem langen, an vielseitiger Tätigkeit reichen Leben. Die Basler unter uns kennen ihn wohl am besten, hat doch der in Grafenrheinfeld 1887 geborene Berner seit 1916 ununterbrochen in Basel gelebt und ist durch sein Wirken zu einer Persönlichkeit dieser Stadt geworden.

Wenn wir uns hier – aus redaktionellen Gründen mit einiger Verspätung – den zahlreichen Nachrufen auf den Verstorbenen anschließen, dann geschieht es deswegen, weil Paul Hulligers Denken und Arbeit auf exemplarische Weise auch Werkbund-Arbeit gewesen ist.

Er war Lehrer, genauer, Zeichenlehrer. Nach

mehrjährigem Schuldienst als Primarlehrer in Zollikofen studierte er 1912/13 auf der Universität Bern an der Philosophisch-Historischen Fakultät und erwarb das Diplom als Sekundarlehrer, um sich anschließend für den Beruf des Zeichenlehrers zu entscheiden. Nach Studien in München, Zürich, Basel und Bern erwarb er auch das Zeichenlehrerdiplom; 1916 tritt er in den Basler Schuldienst ein.

Vorher, noch während der Seminarzeit, war dem jungen Lehrer eines Tages die Ausdruckskraft und Schönheit der alten bernischen Wirtschaftsschilder aufgegangen: so unternahm er es, per Velo diesen Sinnzeichen überall im Bernbiet nachzuspüren und sie zeichnerisch aufzunehmen. Eine stattliche Anzahl Blätter entstanden, deren Quellenwert bisher noch unerschlossen blieb.

Für die meisten ist indessen Hulligers Name mit der von ihm geschaffenen, zwanzig Jahre lang geltenden Basler Schulschrift verbunden. Ihr hat er seine größte Energie gewidmet, ihrerwegen ist er auf viel Mißverständnisse und Gegnerschaft gestoßen. Als 1926 die «Hulliger-Schrift» vom Erziehungsdepartement an den Schulen des Kantons Basel-Stadt eingeführt wurde, war eine etwa zehnjährige Arbeit an einer Schrift vorausgegangen, die der Verwahrlosung vieler Handschriften und der Überlebtheit der traditionellen Antiqua-Spitzfederschrift einen neuen, die Eckwenden der Fraktur und die Rundungen der Antiqua vereinenden Formtyp entgegengesetzte. Diese Schrift war nicht auf bloße Geläufigkeit angelegt; das wußte ihr Schöpfer sehr wohl, dem es um die Förderung disziplinierender Schreibens als Voraussetzung persönlicher Ausdrucksgestaltung ging. Dieses Prinzip stieß auf viel Opposition. 1936 wurde die «Hulliger-Schrift», zur «Schweizer Schulschrift» umgewandelt, in zehn Kantonen eingeführt. Einige Jahre später befaßten sich eine schweizerische und eine baselstädtische Kommission (denen beiden Hulliger angehörte) wiederum mit Schriftreformen, deren Vorstellungen sich schließlich so weit von Hulligers ursprünglichem Konzept entfernten, daß er sich nicht mehr mit ihnen identifizieren konnte.

1947, nach über zwanzig Jahren, wurde die Hulliger-Schrift an den Basler Schulen wieder abgeschafft. Als Lehrer am Kantonalen Lehrerseminar konnte er aber sein pädagogisches Können bei der Ausbildung einer guten Schreibschrift weitervermitteln.

In diesen Jahren wuchs sein Interesse für die Kinderzeichnung als Ausdruck der psychischen und intellektuellen Entwicklung. In zahlreichen Publikationen vermittelte er seine Beobachtungen und Erkenntnisse der pädagogischen Fachwelt. Wie dem jungen Seminaristen schon die Wirtschaftsschilder, galten erfahrenen Zeichenlehrer die kindlichen Bildvorstellungen mehr als bloß ästhetisches Phänomen, wie es sonst so häufig Mode geworden ist. Er verstand das «Gestaltete» in seinem kulturellen, gesellschaftlichen oder individualpsychologischen Kontext. Mit einem Wort: er war ein Antiformalist. Womit sich Hulliger auch befaßte – in den letzten Jahren gehörte seine Liebe vor allem den übriggebliebenen Zeugen bürgerlicher und handwerklicher Lebensformen in seiner näheren Umgebung – im schlichten Gerät wie im kunstvoll verzierten Schaustück sah er nicht nur isolierte «Form», wie es heute bei uns so beliebt geworden ist (weil so bequem), sondern das durch materielle, technische, funktionelle und durch soziale, ökonomische und religiöse Faktoren bestimmte Objekt in seinem Feld. Und weil er solche Zusammenhänge im bescheidensten Gebrauchsgegenstand nicht weniger eindringlich zu erkennen suchte als im großen Kunsterwerk, gehörte der Werkbund zu seinem natürlichen Wirkungskreis. Paul Hulliger gehörte viele Jahre zu den aktivsten und ernsthaftesten Mitgliedern des SWB. An den Anlässen der Basler Ortsgruppe trafen wir ihn als lebhaften Diskussionspartner, wenn andere – Jüngere – zu träge waren, Probleme zu erörtern. Dem Schreibenden aber bleibt er auch in Erinnerung als aufmerksamer und kritischer Besucher mancher Ausstellung im Basler Gewerbemuseum, wo er im freundlichen Gespräch spüren ließ, wie ernst er den heute so oft strapazierten Begriff der «Umweltgestaltung» nahm.

A. H.