

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 62 (1971)  
**Heft:** 22

**Artikel:** Simulation von Bildübertragungs-Systemen auf dem Digitalrechner  
**Autor:** Stucki, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915870>

### **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:** 03.04.2026

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

# Simulation von Bildübertragungs-Systemen auf dem Digitalrechner

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 22. Juni 1971 in Zürich,  
von P. Stucki, Rüschnikon

621.32.001.57

## 1. Einleitung

Nebst physikalisch messbaren Grössen spielen subjektive Faktoren eine wichtige Rolle bei der Bewertung des Leistungsvermögens eines neu entwickelten Bildübertragungssystems. Tatsächlich gilt die vom Nachrichtempfänger empfundene

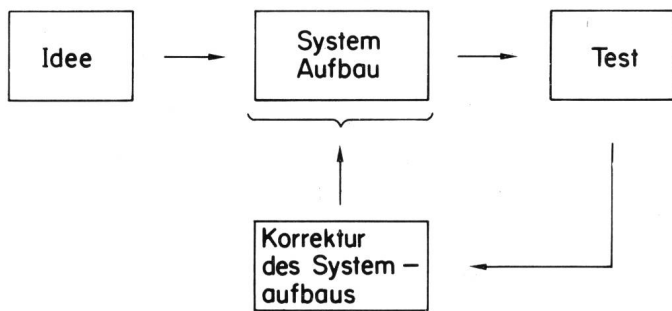


Fig. 1  
Verschiedene Phasen bei einer herkömmlichen Systementwicklung

Bildqualität als direktes Mass der Übertragungsgüte. Der Weg bis zu einer möglichen Bewertung der Bildqualität führt traditionsgemäss über verschiedene Phasen. Zunächst wird der Nachrichteningenieur auf dem Papier einen ersten Entwurf konzipieren, welcher den Anforderungen des zu entwickelnden Bildübertragungssystems entspricht. Da es in der Regel selten ein Entwurfs- oder Berechnungsverfahren gibt, welches zwangsläufig aus den gestellten Systemanforderungen zu einer perfekten Entwicklung führt, lässt er sich ausschliesslich von seinen Ideen, Kenntnissen und Erfahrungen leiten. Dieser Entwurfsphase folgt die Phase der Realisierung, bei welcher die einzelnen Systemkomponenten angefertigt und zu einem laboratoriumsmässigen Systemaufbau verbunden werden. Schliesslich wird in einer Testphase die Leistungsfähigkeit des Bildübertragungssystems durch Messung und subjektive Bewertung ermittelt. Nur in den seltensten Fällen wird gleich

der erste Entwurf alle an das System gestellten Anforderungen erfüllen. Vielmehr folgt eine Phase des Korrigierens, bei welcher die einzelnen Parameter des aufgebauten Bildübertragungssystems in geeigneter Weise verändert werden können. Die einzelnen Phasen einer herkömmlichen Systementwicklung zeigt Fig. 1.

In der Regel wiederholen sich Test- und Korrekturphasen abwechslungsweise und so lange, bis das aufgebaute Bildübertragungssystem allen gestellten Anforderungen genügt. Oft zeigt sich, dass ein solches Vorgehen nicht nur zeit- und arbeitsintensiv ist, sondern auch mit wesentlichen Realisierungskosten verbunden sein kann. Ein rationelleres Verfahren besteht darin, die Ideen des Nachrichteningenieurs zunächst durch Simulation auf einem Digitalrechner weiterzuentwickeln. Dieses Vorgehen ist besonders dann zweckmässig, wenn der Einfluss einzelner Systemparameter und insbesondere das psychophysiologische Verhalten des Nachrichtempfängers nicht bekannt oder nur beschränkt durchschaubar sind. Da sich programmgesteuerte Modelle leichter als Versuchsaufbauten ändern lassen und die Rechnerergebnisse zuver-

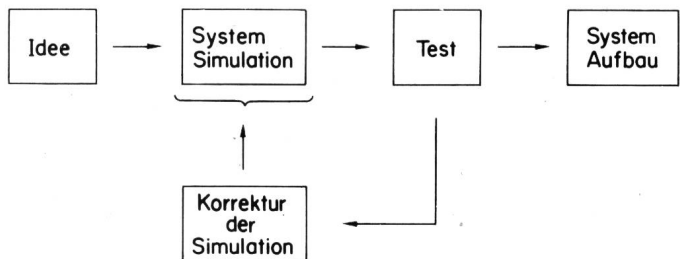


Fig. 2  
Verschiedene Phasen bei einer Systementwicklung mit Simulationshilfe

lässig reproduziert werden können, kann dieses Vorgehen zu einer wesentlichen Beschleunigung einer Systementwicklung führen. Zum eigentlichen Systemaufbau wird erst dann geschritten, wenn die Simulation eine befriedigende Lösung gezeigt hat (Fig. 2).

## 2. System Simulation

In Fig. 3 ist ein Blockschaltbild dargestellt, von welchem bei der Simulation eines Bildübertragungssystems auf dem Digitalrechner ausgegangen wird. Das

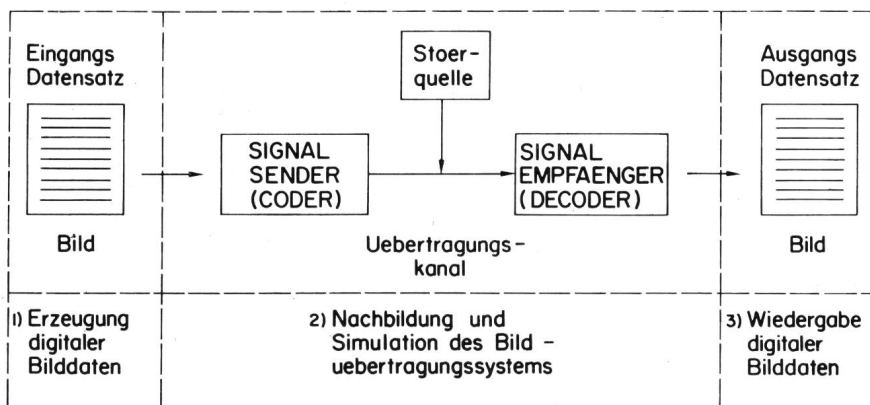


Fig. 3  
Simulation eines Bildübertragungssystems auf dem Digitalrechner

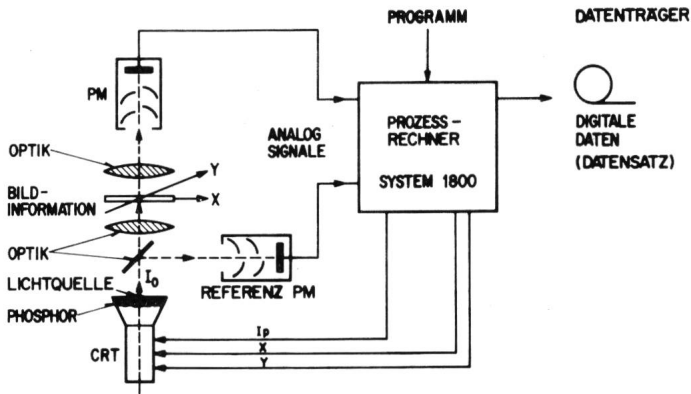


Fig. 4  
Prinzip einer Bildabtastvorrichtung

Blockschaltbild besteht im wesentlichen aus drei in sich abgeschlossenen Organisationsbereichen, die im folgenden eingehend behandelt werden sollen.

### 2.1 Erzeugung digitaler Bilddaten

Die zur Simulation auf dem Digitalrechner benutzten Bilddaten stammen in der Regel von zeilenweise abgetasteten und digitalisierten Bildvorlagen. Als Beispiel sei das Prinzip einer Bildabtastvorrichtung kurz beschrieben (Fig. 4).

Die punktförmige Lichtquelle wird mittels einer magnetisch ablenkbaren Kathodenstrahlröhre erzeugt. Der daraus resultierende optisch gebündelte Strahl wird durch die in lichtdurchlässiger Form vorliegende Bildinformation moduliert und von einem Photomultiplier aufgefangen. Das am Ausgang dieses photo-elektrischen Wandlers abgegebene Analogsignal wird im Prozessrechner quantisiert und der entsprechende Digitalwert auf einem geeigneten Datenträger gespeichert. Für die Bestimmung des nächsten Messwertes wird der Prozessrechner die punktförmige Lichtquelle in der  $x$ - respektive  $y$ -Richtung verschieben und gleichzeitig, über die aus Strahlenteiler und Referenzphotomultiplier bestehende Regelstrecke, die Bezugslichtintensität  $I_0$  neu einstellen. Die beschriebene Bildabtastvorrichtung erlaubt eine Rasterung von 40 Linien/mm bei einem Amplitudenaufhebungsvermögen von 6...7 bit/Abtastwert.

### 2.2 Nachbildung und Simulation des Bildübertragungssystems

Das Programm zur Nachbildung des Bildübertragungssystems muss alle logischen Abläufe und Funktionen enthal-

a

M	4	#							
3	W	*	=						
2	M	X	X	X	+				
1	O	O	X	X	+	=	-		
		1	2	3	4	5	6	7	8
		N							



Fig. 5  
Erzeugung von Grautönen auf dem Drucker  
a Zeichenkombination  
b Grautonkeil (photographische Reproduktion)  
N Anzahl Grautonstufen  
M Anzahl übereinandergedruckter Zeichen

ten, die zur Simulation des Systemverhaltens notwendig sind. Es ist im allgemeinen in einen Dateneingabe-, einen Datenverarbeitungs- und einen Datenausgabeteil gegliedert. Als Programmiersprache wird PL/I verwendet. Diese höhere Programmiersprache verfügt über eine Reihe von Vorteilen, die sie zu einer geeigneten Simulationssprache macht. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang die Effizienz der PL/I-Strukturen für den Datentransport, das reichhaltige Spektrum von Ein- und Ausgabemöglichkeiten sowie das Vorhandensein von String-Operatoren mit deren Hilfe digitale Operationen direkt nachgebildet werden können. Zur Ausführung oft auftretender Bildverarbeitungsoperationen wie  $\gamma$ -Korrektur, statistische Untersuchungen, Erzeugung bestimmter Störsignale usw. stehen permanent abgespeicherte Unterprogramme zur Verfügung.

### 2.3 Wiedergabe digitaler Bilddaten

Der Erfolg einer Simulation eines Bildübertragungssystems auf dem Digitalrechner ist in entscheidendem Masse von der

f time and ba  
orage. Since  
y, code com  
e time-bandw  
one hundred  
s is much low

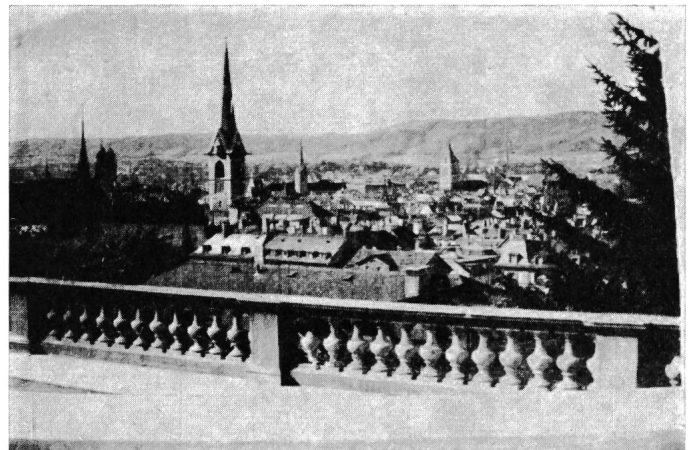


Fig. 6  
Auf dem Drucker wiedergegebene Bilder  
a maschinengeschriebener Dokumentausschnitt; 120 x 120 Bildpunkte, 1 bit/Abtastwert  
b Grautonbild; 600 x 500 Bildpunkte, 3 bit/Abtastwert

Wiedergabe der digitalen Bilddaten zur subjektiven Begutachtung der Bildqualität abhängig. Bei der Benützung eines handelsüblichen Rechnersystems stehen zur Wiedergabe der Bildinformation der Drucker und das Bildsichtgerät zur Verfügung. Beide Peripheriegeräte erlauben grundsätzlich nur die Darstellung von Schwarz-weiß-Bildern. Doch ist es möglich, durch spezielle Verfahren auch Grautöne wiederzugeben.

Die Erzeugung von Grautonstufen auf dem Drucker geschieht durch mehrmaliges Übereinanderdrucken bestimmter alphanumerischer Zeichenkombinationen (Fig. 5). Auf dem Drucker wiedergegebene Bilder sind in Fig. 6 dargestellt.

Die Erzeugung von Grautonstufen auf dem Bildsichtgerät geschieht durch Änderung der Leuchtpunktdichte (Fig. 7).

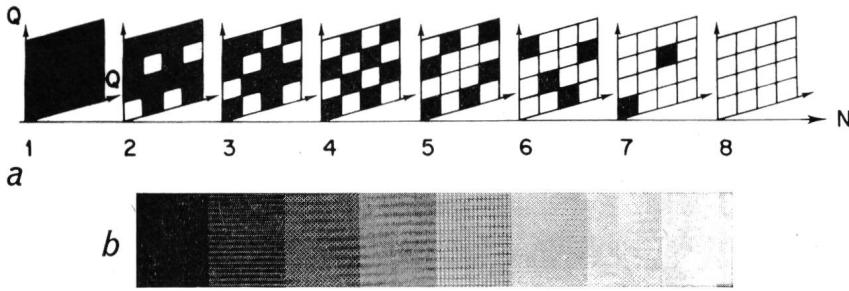


Fig. 7  
 Erzeugung von Grautönen auf dem Bildsichtgerät  
 a Leuchtpunkt-Kombination  
 b Grautonkeil (photographische Reproduktion)  
 N Anzahl Grautonstufen  
 $Q^2$  Anzahl der benötigten Leuchtpunkte zur Erzeugung von N Grautonstufen

Auf dem Bildsichtgerät wiedergegebene Bilder sind in Fig. 8 dargestellt.

Im Mittel ist demzufolge auch die Zahl der pro Zeiteinheit und SW-Bild zur Übertragung angebotenen Information klein. Diese Tatsache erweist sich als günstige Voraussetzung für eine Vielfachübermittlung von SW-Bildern über einen gemeinsamen Übertragungskanal, wobei zur Kennzeichnung der einzelnen Informationen jedem Schwarzpunkt ein Adressencodewort zugeordnet wird.

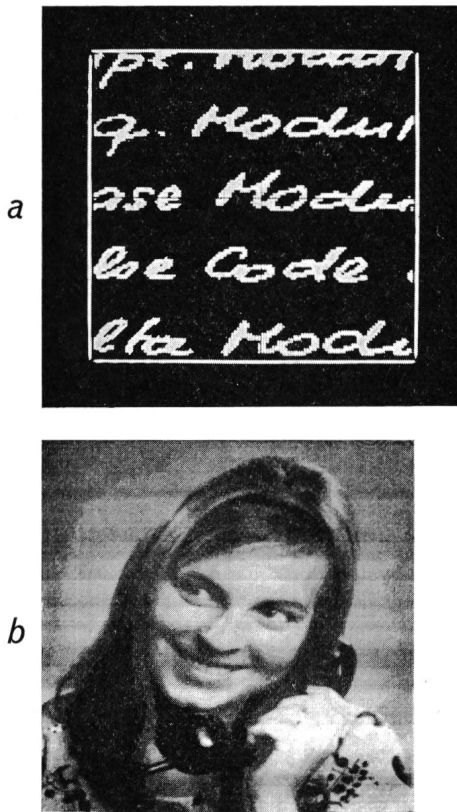


Fig. 8

Auf dem Bildsichtgerät wiedergegebene Bilder

- a handgeschriebener Dokumentausschnitt;  $120 \times 120$  Bildpunkte, 1 bit/Abtastwert,  $Q^2 = 1$  Leuchtpunkt
- b Grautonbild;  $250 \times 250$  Bildpunkte, 3 bit/Abtastwert,  $Q^2 = 16$  Leuchtpunkte

### 3. Simulationsbeispiele

Die folgenden Beispiele dienen der Erläuterung der Simulation von Bildübertragungssystemen auf dem Digitalrechner. Ohne auf Einzelheiten der Programmierung einzugehen soll gezeigt werden, welche Simulationsmöglichkeiten sich dem Nachrichteningenieur durch zweckmässigen Einsatz eines Digitalrechners eröffnen.

#### 3.1 Adressencodiertes Multiplexverfahren zur Übertragung von Schwarz-weiß-Bildern

Die meisten bildtelegraphisch zu verarbeitenden Schwarz-weiß-Bilder (SW-Bilder) weisen im Mittel nur ca. 12% schwarze, die eigentliche Information darstellende Bildpunkte auf. Dieser Wert der Auftretswahrscheinlichkeit eines Schwarzpunktes  $s$  wurde aufgrund vieler Messungen ermittelt (Fig. 9).

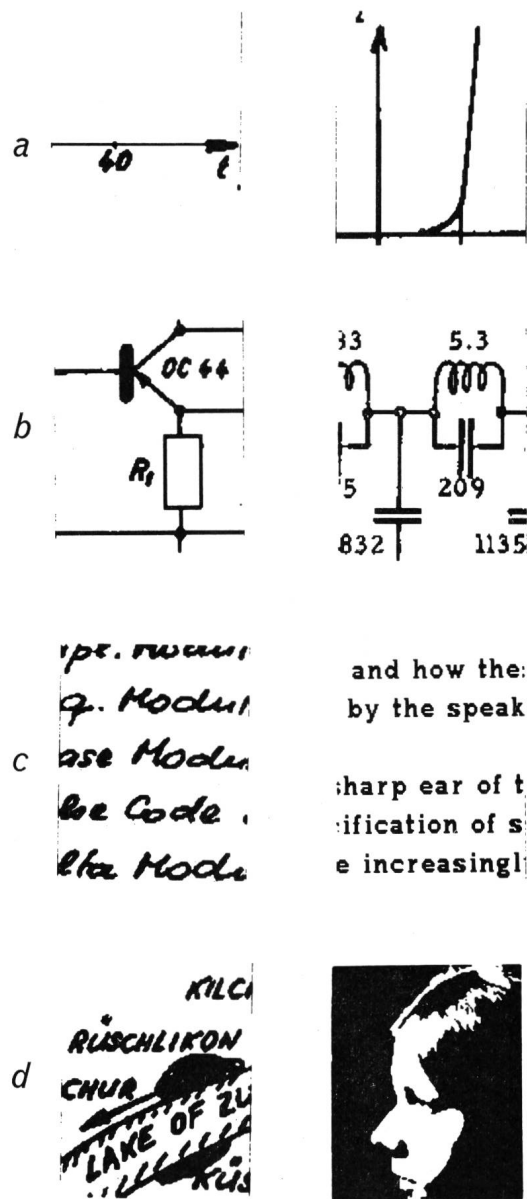
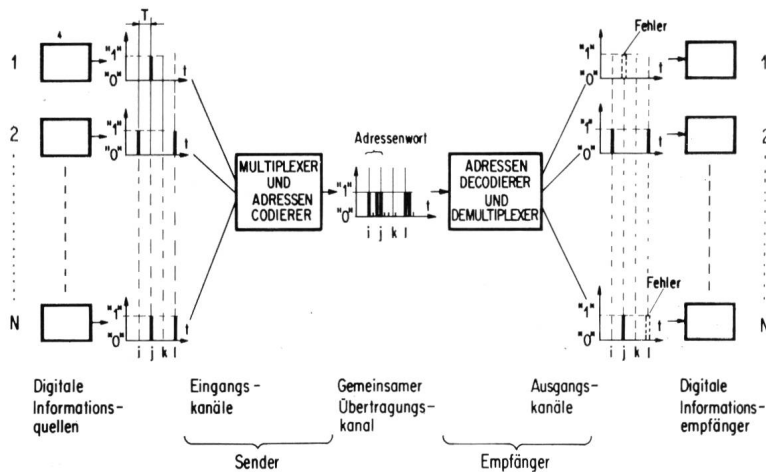


Fig. 9

Einteilung von SW-Bildern in verschiedene Bildklassen

- a Strichzeichnungen;  $s = 0,06$
- b Schemata;  $s = 0,12$
- c Hand- und maschinengeschriebene Dokumente;  $s = 0,12$
- d Bildskizzen;  $s = 0,24$



### 3.1.1 Systembeschreibung

Das vereinfachte Blockschaltbild einer adressencodierten Multiplexübertragung von  $N$  SW-Bildern ist in Fig. 10 wiedergegeben.

Der Sender besteht im wesentlichen aus dem Multiplexer und einem Adressencodierer. Der Multiplexer ist durch die Eingangskanäle an  $N$  synchronisierte, digitale, pro Abtastwert Codewörter der Länge 1 bit erzeugende Informationsquellen angeschlossen. Kündigt einer der  $N$  Eingangskanäle dem Multiplexer einen «1»-Wert an, wird dieser unverzüglich mit dem ihm zugeordneten Adressencode identifiziert und dessen gleichzeitig den «1»-Wert darstellende Bitfolge zur Übertragung über den gemeinsamen Kanal freigegeben (Abtastwert  $i$ ).

Der Empfänger besteht aus dem Adressendecodierer und einem Demultiplexer, welcher an  $N$  gemeinsam synchronisierte digitale Informationsempfänger angeschlossen ist. Der Adressencodierer erkennt die ankommende Bitfolge und steuert den Demultiplexer auf den entsprechenden Ausgangskanal zur Wiedergabe eines «1»-Wertes. Kündigen gleichzeitig mehrere der  $N$  Eingangskanäle dem Multiplexer einen «1»-Wert an, wird aus dieser Koinzidenzsituation ein Eingangskanal ausgewählt, mit dem ihm zugeordneten Adressencode identifiziert und dessen Bitfolge übertragen (Abtastwerte  $j, l$ ). Die «1»-Werte nichtberücksichtigter Eingangskanäle gehen verloren und an ihrer Stelle erscheinen in den Ausgangskanälen als Fehler aufzufassende «0»-Werte. Der nach besonderen Prioritätsregeln ablaufende Auswahlvorgang wird vom Multiplexer für jeden Abtastwert neu vorgenommen. Er soll so organisiert sein, dass die gegebenenfalls entstehenden Fehler über alle  $N$  gemeinsam übertragenen digitalen Informationen möglichst gleichverteilt sind. Das Ereignis, dass keiner der  $N$  Eingangskanäle einen «1»-Wert ankündigt, wird durch ein aus einer Bitfolge von lauter Nullen bestehendes Adressenwort beschrieben. Zur Unterscheidung von  $N$  Eingangskanälen beträgt demnach die minimale Adressenwortlänge  $\text{ld}(N + 1)$  bit/Abtastwert.

Verglichen mit dem zur Zeitvielfachübertragung von  $N$  amplitudencodierten PCM-Eingangskanälen benötigten Aufwand von  $N$  bit/Abtastwert, resultiert ein Bitraten- bzw. ein Frequenzbandbreiten-Kompressionsfaktor:

$$K = \frac{N}{\text{ld}(N + 1)}$$

Fig. 10  
Adressencodierte Multiplexübertragung von  $N$  SW-Bildern  
 $f = 1/T = \text{Abtastfrequenz}$

Die wesentlichen Eigenschaften dieses Übertragungsverfahrens sind:

- a) Im gemeinsamen Übertragungskanal wird kein fester Platz für die  $N$  Einzelkanäle reserviert. Diese Tatsache ermöglicht eine wirksame Ausnutzung des Übertragungskanals.
- b) Die Einordnung von Signalen verschiedener Bandbreite in ein periodisches Zeitraster wird überflüssig, was sich als willkommene Eigenschaft zum Aufbau eines «Integrierten Fernmeldesystems» zeigt (Bit-synchron, Wort-asynchron).
- c) Durch das Erkennen, Verändern und Wiederaussenden codierter Adressen ergeben sich interessante Möglichkeiten zur Gestaltung neuer Nachrichtenvermittlungsstellen.
- d) Es enthält keinen Informations-Pufferspeicher. (Dadurch niedrige Gesteungskosten.)
- e) Die durch das Auftreten von Koinzidenzen entstehenden Fehler begrenzen die Einsatzmöglichkeiten dieses adressencodierten Multiplexverfahrens.

### 3.1.2 Mathematische Beschreibung

Die allgemeine mathematische Beschreibung der Zusammenhänge zwischen der Anzahl gleichzeitig übertragener SW-Bildinformationen und der Fehlerwahrscheinlichkeitsverteilung ist relativ aufwendig [1]<sup>1)</sup>. Die wesentlichen Resultate dieser Untersuchungen seien an dieser Stelle kurz zusammengefasst. Das zur mathematischen Beschreibung des Multiplexers benützte Modell zeigt Fig. 11.

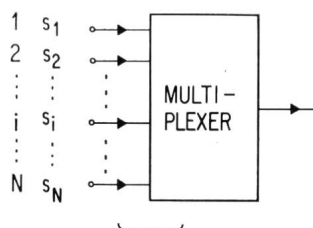


Fig. 11  
Multiplexer

- $N$  Anzahl gleichzeitig übertragener SW-Bilder ( $N$  unabhängige Bildpunkteensembles)
- $s_i$  Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schwarzpunktes im  $i$ -ten SW-Bild
- $P(n)$  Wahrscheinlichkeitsverteilung des Auftretens von  $n$  Schwarzpunkten in einem Stichprobenensemble von  $N$  gleichzeitig übertragenen SW-Bildern
- $0 \leq n \leq N$

Unter der Voraussetzung, dass alle  $N$  gleichzeitig übertragenen SW-Bilder die gleiche Auftretswahrscheinlichkeit eines Schwarzpunktes  $s$  aufweisen, gilt:

$$P(n) = \binom{N}{n} s^n (1 - s)^{N-n}$$

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $P(n)$  des Auftretens von  $n$  Schwarzpunkten in einem Stichprobenensemble von  $N$  gleichzeitig übertragenen SW-Bildern ist identisch mit einer Binomialverteilung. Daraus lässt sich die als das Verhältnis der Anzahl nicht übertragener Schwarzpunkte zur Anzahl Bildpunkte definierte Fehlerwahrscheinlichkeit  $P_f(N)$  ermitteln.

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

$$P_f(N) = s \sum_{n=1}^{N-1} \frac{n}{(n+1)} \cdot \binom{N-1}{n} \cdot s^n (1-s)^{N-n-1}$$

Die Kurvenschar der Fehlerwahrscheinlichkeitsverteilung  $P_f(N)$  als Funktion der Anzahl  $N$  gleichzeitig übertragener und die gleiche Auftretswahrscheinlichkeit eines Schwarzpunktes  $s$  aufweisenden SW-Bilder ist in Fig. 12 aufgezeichnet.

Leider gibt die Fehlerwahrscheinlichkeitsverteilung  $P_f(N)$  keine hinreichende Auskunft über die vom Nachrichtenempfänger empfundene Lästigkeit der durch das adressencodierte Multiplexverfahren entstehenden Bildfehler. Zur Bestimmung der Grenze zwischen annehmbarer und fraglicher Wiedergabequalität, bzw. der Anzahl gleichzeitig übertragbarer SW-Bilder ist eine Simulation dieses Übertragungssystems auf dem Digitalrechner unumgänglich.

### 3.1.3 Simulation

Die Bestimmung der maximalen Anzahl gleichzeitig übertragbarer SW-Bilder wurde für alle vier in Fig. 9 erwähnten Bildklassen durchgeführt. Die Erläuterung der Simulation erfolgt am Beispiel maschinengeschriebener Dokumente. Die

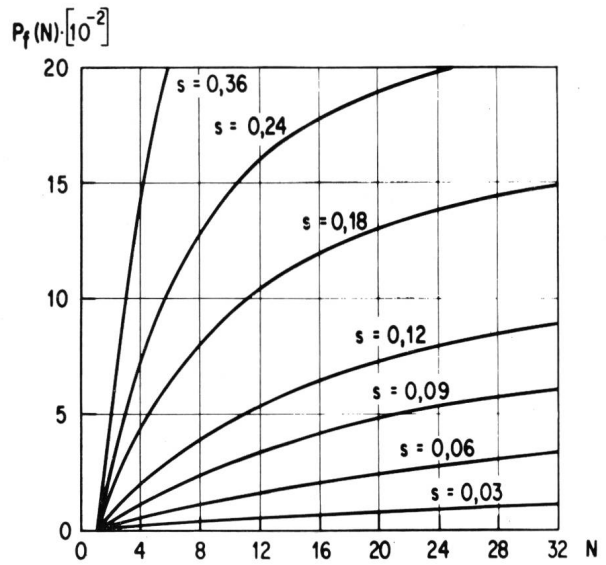


Fig. 12 Fehlerwahrscheinlichkeitsverteilung  $P_f(N)$  in Funktion der Anzahl gleichzeitig übertragener und die gleiche Auftretswahrscheinlichkeit eines Schwarzpunktes  $s$  aufweisenden SW-Bilder  $N$

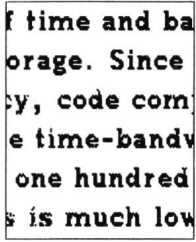
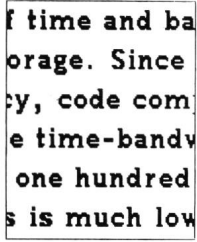
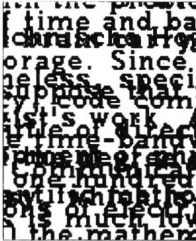
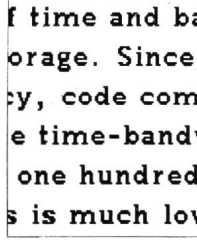

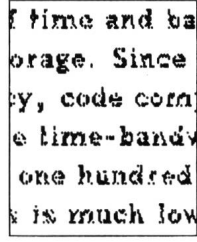
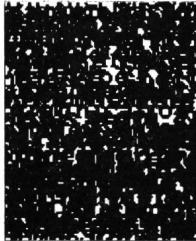
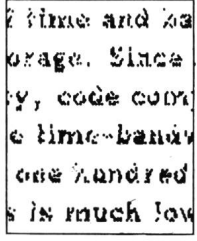
Anzahl $N$ gleichzeitig übertragener Dokumente	Belegungsdichte im gemeinsamen Übertragungskanal	Eines der $N$ gleichzeitig übertragenen Dokumente	Fehlerwahrscheinlichkeit $P_f(N) \cdot 10^{-2}$
1			0,00
4			2,05
8			4,20
12			5,81

Fig. 13

Diskrete Abstufung der Wiedergabequalität zur subjektiven Bestimmung der Grenze der «Lesbarkeit»

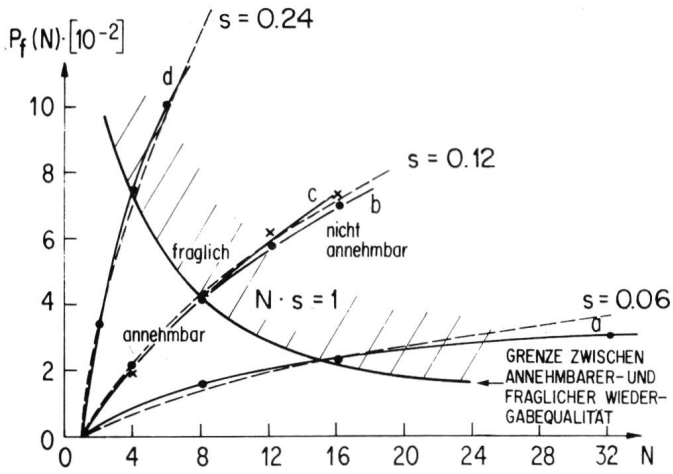


Fig. 14

Simulationsresultate für alle vier untersuchten Bildklassen

- a Strichzeichnungen;  $s = 0,06$
- b Schemata;  $s = 0,12$
- c Hand- oder maschinengeschriebene Dokumente;  $s = 0,12$
- d Bildskizzen;  $s = 0,24$

mittlere Auftretswahrscheinlichkeit eines Schwarzwertes beträgt in dieser Bildklasse  $s = 0,12$ . Um eine diskrete Abstufung der Wiedergabequalität zu erreichen, wurden Simulationen für  $N = 4, 8$  und  $12$  gleichzeitig übertragene Dokumente durchgeführt und daraus durch subjektive Begutachtung die Grenzen der «Lesbarkeit» bestimmt (Fig. 13). Gleichzeitig wird auch die wirkliche Fehlerwahrscheinlichkeit  $P_f(N)$  ermittelt. Sie ist definiert als:

$$P_f(N) = \frac{1}{N A} \sum_{i=1}^N \text{Anzahl Fehler im } i\text{-ten SW-Bild}$$

$N$  Anzahl gleichzeitig übertragener SW-Bilder

$A$  Anzahl Bildpunkte pro SW-Bild

Die Simulationsresultate für alle vier untersuchten Bildklassen sind in Fig. 14 wiedergegeben.

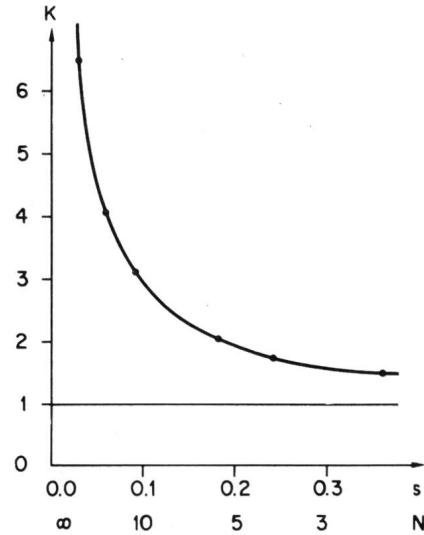


Fig. 15

Frequenzbandbreite-Kompressionsfaktor  $K$  für annehmbare Wiedergabequalität in Funktion der Anzahl gleichzeitig übertragener SW-Bilder ( $N = 1/s$ )

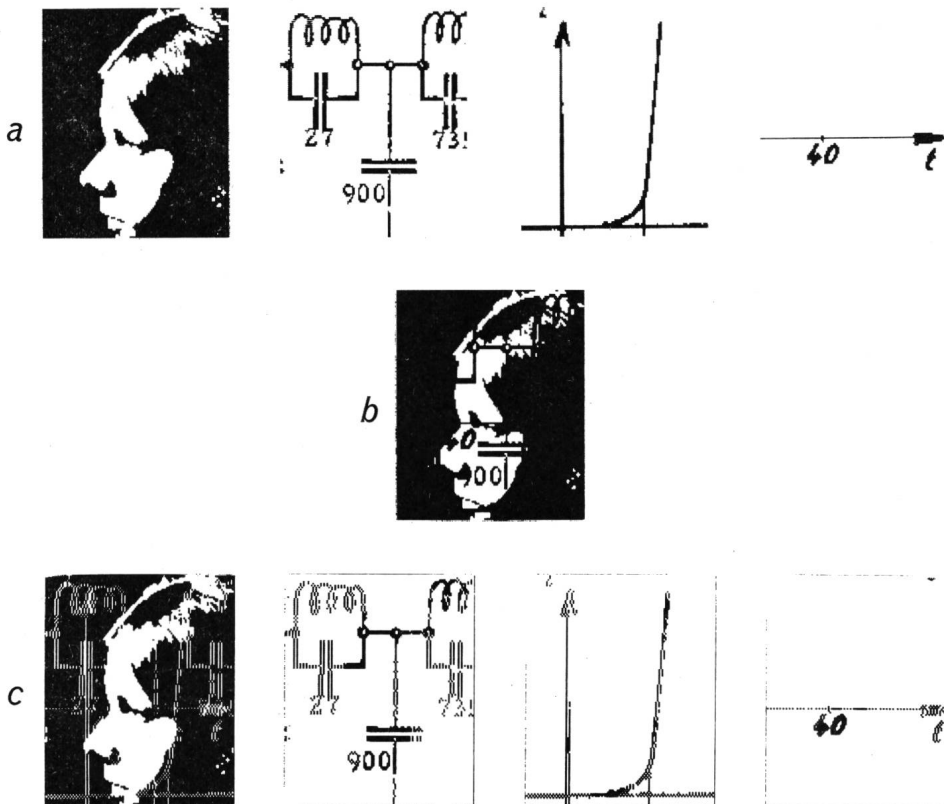


Fig. 16

Illustration des «bildlichen» Übersprech ( $N = 4$ )

- a Gleichzeitig zur Übertragung angebotene SW-Bilder  $\sum_{i=1}^N s_i = 1$
- b Belegungsdichte im gemeinsamen Übertragungskanal
- c Übertragene SW-Bilder

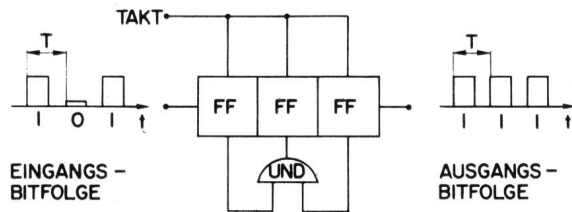
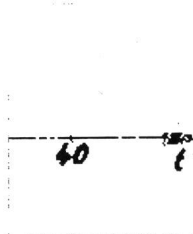
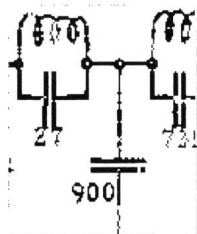


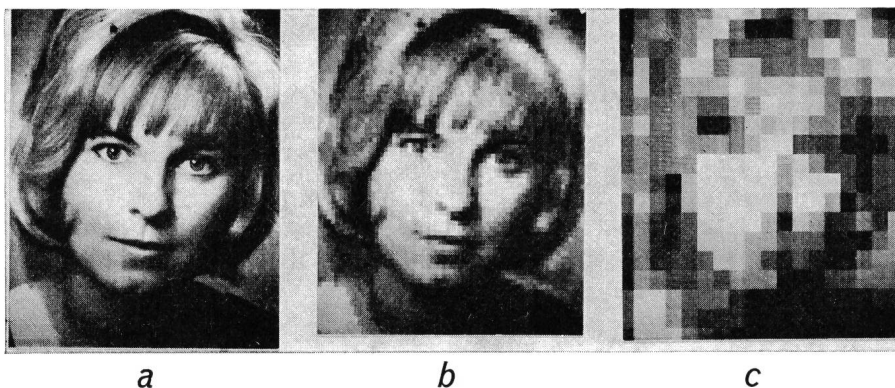
Fig. 17  
Reduktion des «bildlichen» Übersprechens mit Hilfe eines einfachen nichtlinearen Filters



### 3.1.4 Das «bildliche» Übersprechen

Kündigen gleichzeitig mehrere der  $N$  Eingangskanäle dem Multiplexer einen «1»-Wert an, wird aus dieser Koinzidenzsituation ein Eingangskanal ausgewählt, mit dem ihm zugeordneten Adressencode identifiziert und dessen Bitfolge übertragen. Die «1»-Werte nichtberücksichtigter Eingangskanäle gehen verloren und an ihrer Stelle er-

Fig. 18  
Bildqualität als Funktion der Anzahl Bildpunkte  $N$   
a  $N = 576 \times 576$   
b  $M = 144 \times 144$   
c  $N = 18 \times 18$



Aufgrund einer durchgeführten subjektiven Begutachtung folgt, dass die Grenzen zwischen annehmbarer und fraglicher Wiedergabequalität für alle vier Bildklassen durch das empirische Gesetz

$$N \cdot s = 1$$

beschrieben werden kann. Es ist interessant festzustellen, dass diese Grenze auch im informationstheoretischen Sinne den maximal möglichen Nachrichtenfluss darstellt.

Der erreichbare Kompressionsfaktor  $K$  beträgt demnach:

$$K = \frac{N}{\text{ld}(N+1)} \rightarrow \frac{1}{s \cdot \text{ld}(1/s+1)}$$

Dabei gilt

$$\lim_{(s \rightarrow 0)} s \cdot \text{ld}(1/s+1) = 0$$

Der entsprechende Kurvenverlauf ist in Fig. 15 aufgezeichnet.

Der Frequenzbandbreite-Kompressionsfaktor  $K$  variiert demzufolge zwischen 6 für Strichzeichnungen und 1,5 für sehr schwarze Bildskizzen. Dies ist eine beachtliche Leistung, wenn man bedenkt, dass diese Werte ohne Signalverzögerungen erreicht werden (kein Pufferspeicher).

Fig. 19  
Prinzip einer PCM Übertragung  
 $n = 4$  bit/Abtastwert

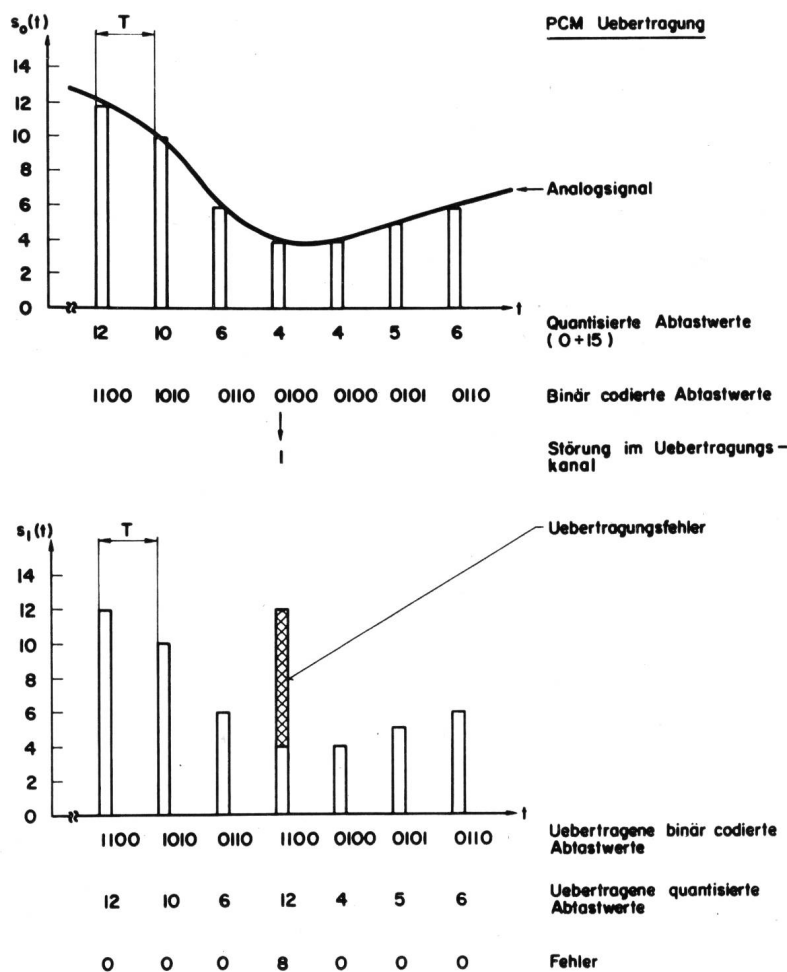
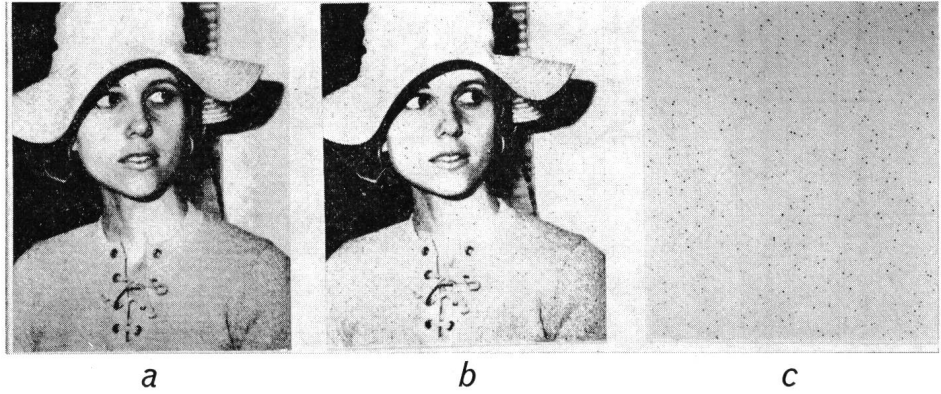


Fig. 20

**Simulation einer PCM Bildübertragung**

- 300 × 300 Bildpunkte,  $n = 4$  bit/Abtastwert
- a ungestörte PCM Übertragung
- b durch gleichverteiltes Rauschen gestörte PCM Übertragung (Fehlerrate =  $10^{-3}$ )
- c Differenz zwischen a und b

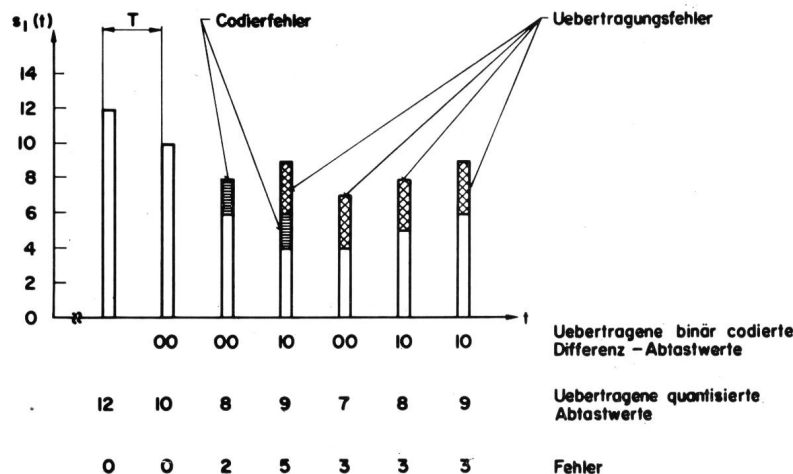
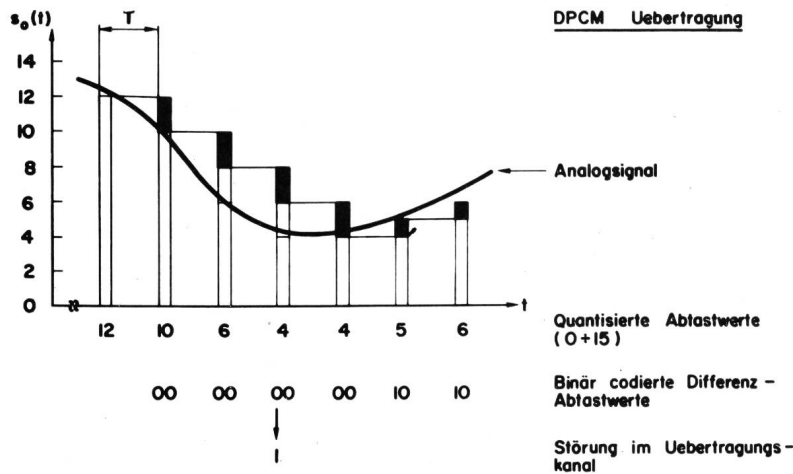


scheinen in den Ausgangskanälen als Fehler aufzufassende «0»-Werte. Bei SW-Bildern mit Schwarzwerten  $s > 0,2$  besteht die Gefahr, dass die durch Koinzidenzen entstehenden Fehler miteinander stark korrelieren und als informationstragende Muster erkennbar sind. Das Auftreten solcher quantitativ als «bildliches» Übersprechen bezeichnete Störungen begrenzt die Einsatzmöglichkeit adressencodierter Multiplexverfahren (Fig. 16).

Die von jedem Fernmeldesystem geforderte «privacy»-Garantie sowie Bemühungen zur Hebung der Übertragungsqualität im allgemeinen sind die Gründe, um durch zusätzliche schaltungstechnische Aufwendungen die Fehlerwahrscheinlichkeit in geeigneter Weise zu reduzieren. Eine Möglichkeit besteht darin, senderseitig einen Pufferspeicher einzubauen. Dieser hätte die Aufgabe, im Falle einer  $n$ -fachen Koinzidenz die Informationen der nichtberücksichtigten  $n-1$  Eingangskanäle zu speichern und in einem späteren Zeitpunkt zu übertragen. Die dabei entstehende Verzögerung muss dem

Empfänger durch eine entsprechende Zusatzinformation mitgeteilt werden. Neben erheblichem technischem Aufwand zu deren Realisierung weist diese Lösung den schwerwiegenden Nachteil auf, dass die bereits erreichte Reduktion der Frequenzbandbreite weitgehend preisgegeben werden muss. Aus diesem Grunde ist man bereit, die systembedingten senderseitigen Fehler zu akzeptieren und zur Reduktion der Fehlerwahrscheinlichkeit empfängerseitige Massnahmen zu ergreifen. Letztere bestehen im wesentlichen darin, die infolge nichtübertragener Schwarzpunkte entstehenden Leerstellen aufzufüllen.

Am Beispiel eines einfachen nichtlinearen Filters, welches jeweils die Eingangs-Bitfolge «101» in die Ausgangs-Bitfolge «111» verwandelt, wird gezeigt, wie erfolgreich das «bildliche» Übersprechen reduziert werden kann (Fig. 17).



**3.2 Flächenquantisierungs-Experiment**

Dieses Experiment dient zur Bestimmung der Bildqualität als Funktion der Anzahl Bildpunkte  $N$  (Fig. 18).

Die grobquantisierten Bilder (Fig. 18b, c) wurden durch Mittelwertbildung aus dem Originalbild (Fig. 18a) abgeleitet.

**3.3 PCM- und DPCM-Bildübertragung**

Untersuchungen zur Ermittlung des Quantisierungsgeräusches, des Übertragungsaufwandes, der subjektiven Bildqualität sowie der Störempfindlichkeit amplitudendiskreter Modulationsverfahren lassen sich in erster Näherung elegant auf dem Digitalrechner durchführen.

Bei der Pulsmodulation (PCM) wird zur Übertragung jeder einzelne Abtastwert quantisiert und in ein  $n$ -Bit-Wort codiert. Unter idealen Übertragungsverhältnissen beschränkt sich der Fehler eines PCM-Systems auf das Quantisierungsgeräusch, welches durch Rundung der abgetasteten Signalamplituden auf die nächsten Stufenwerte entsteht. Die bei der gestörten Übertragung entstehenden Fehler verursachen eine Verfälschung der einzelnen Codewörter, bzw. der daraus ge-

Fig. 21  
Prinzip einer DPCM Übertragung  
 $m = 2$  bit/Abtastwert

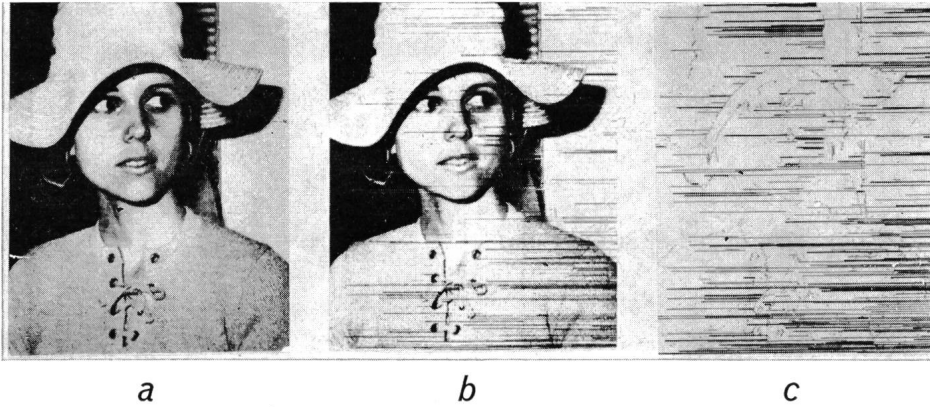


Fig. 22

**Simulation einer DPCM Bildübertragung**  
 $300 \times 300$  Bildpunkte,  $m=2$  bit/Abtastwert  
 a ungestörte DPCM Übertragung  
 b durch gleichverteiltes Rauschen gestörte  
 DPCM Übertragung (Fehlerrate =  $10^{-3}$ )  
 c Differenz zwischen a und b

Man beachte nebst den eigentlichen Übertragungsfehlern (Striche) auch die sog. Codierfehler (Konturen)

wonnenen quantisierten Abtastwerte, was eine Verminderung der Bildqualität zur Folge hat (Fig. 19).

Die Simulationsresultate einer gestörten PCM-Bildübertragung sind in Fig. 20 wiedergegeben.

Bei der differentiellen Pulsmodulation (DPCM) wird zur Übertragung die Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abtastwerten quantisiert, in ein  $m$ -Bit-Wort codiert und im Empfänger der quantisierte Abtastwert durch Aufsummierung rekonstruiert. Signalstatistische Untersuchungen zeigen, dass zur Übertragung von Bildern  $m < n$  gewählt werden darf. Die dabei erreichte Reduktion der Bitrate verursacht unter idealen Übertragungsverhältnissen und abgesehen vom Quantisierungsgeräusch keine wesentliche Verschlechterung der Bildqualität. Eine Ausnahme bildet einzig und allein die Übertragung steiler Signalfanken, bei welchen beim rekonstruierten Signal mit gewissen Abweichungen zu rechnen ist. Wesentlich störender als diese Codierfehler erweisen sich die durch gestörte Übertragungsverhältnisse entstehenden Fehler auf die Bildqualität, da sich die verursachten Verfälschungen der betroffenen Differenz-Abtastwerte durch den Aufsummierungsprozess bis zum nächsten Zeilenende auswirken können (Fig. 21).

Die Simulationsresultate einer gestörten DPCM-Bildübertragung sind in Fig. 22 wiedergegeben.

#### 4. Schlussbetrachtungen

Anhand einiger Beispiele wurde die Simulation von Bildübertragungssystemen auf dem Digitalrechner erläutert und gezeigt, wie mit geringem Aufwand und in relativ kurzer Zeit umfassende Systemuntersuchungen vorgenommen werden können. Schliesslich soll dieser Beitrag dem nicht unmittelbar mit diesem Sachgebiet vertrauten Leser demonstrieren, wie durch geeigneten Einsatz eines Digitalrechners rationelle Systementwicklungsarbeit geleistet werden kann.

#### Literatur

- [1] P. Stucki: Adressencodierte synchrone Multiplexverfahren zur wirksamen Übertragung digitaler Bildsignale. Dissertation Nr. 4516 ETH Zürich, 1970.

#### Adresse des Autors:

Dr. P. Stucki, dipl. Elektroingenieur ETHZ, IBM-Forschungslaboratorium, 8803 Rüschlikon.

### Kurzberichte — Nouvelles brèves

**Teflon** wurde vom National Bureau of Standards der USA als Norm für Dielektrizitätskonstante, Verlustfaktor und Dicke amtlich klassifiziert. Scheiben aus diesem Material ersetzen damit die bisher gültigen Glas- und Silikonscheiben. Dieser Entscheid wurde nach langen Untersuchungen der Eigenschaften verschiedener Dielektrika getroffen. Besonderer Wert wurde dabei auf niedriges Wasseraufnahmevermögen und hohe Stabilität der Materialeigenschaften über einen grossen Frequenz- und Temperaturbereich gelegt.

**Wertanalyse** war eines der Themen der diesjährigen Ingenieurtagung des Vereins Deutscher Ingenieure in Mainz. Das Ziel der Wertanalyse besteht darin, Forderungen auf allen möglichen Gebieten funktionsorientiert zu erfüllen. Eine dieser Forderungen ist, dass ein Produkt, ein Beleuchtungskörper oder ein Kranmotor, funktionsgerichtet und funktionsgerecht seine Aufgabe leiste. Ein Produkt muss nicht unbedingt so gut wie möglich sein; es muss so gut wie nötig fabriziert sein. In diesem Sinne hilft die Wertanalyse, den Gewinn zu optimieren und die Wettbewerbsfähigkeit zu heben. Die

Wertanalyse gehört auch zu den Führungs- und Rationalisierungsmethoden auf dem Personalsektor.

**Mit einem Prüfgerät für die Datenübertragung** aus England lassen sich Telegraphie- und Datensysteme testen. Das Gerät entspricht den Normen des CCITT. Es eignet sich für die Kontrolle von langsamen und schnellen Endstellen mit Leistungen bis zu 9600 bit/s. Für das Prüfen von Telegraphiesystemen erzeugt das Gerät genormte Prüfbotschaften. Für die Kontrolle von Telephonikanälen können kompliziertere Signalgruppen gewählt werden. Das Prüfgerät steht in transportabler Ausführung und für den Gestelleinbau zur Verfügung.

**Neue Maschinen aus den USA zur Herstellung von Spiralfedern** erlauben die Fabrikation von Spiralfedern ohne Wärmebehandlung des Materials. Die Federn können aus Drähten, die mit dem endgültigen Oberflächenbelag versehen sind, Lack, Kunststoff oder einem anderen Schutzüberzug, fabriziert werden. Sie lassen sich so wickeln, dass sie im fertigen Zustand eine Vorspannung von 100 % aufweisen.