Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 86 (1995)

Heft: 25

Artikel: Ein Bild ist mehr als tausend Wörter : zum Informationsgehalt von Bildern

Autor: Schläpfer, Kurt

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902519

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: 16.07.2025

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

Bilder vermitteln bekanntlich Informationen. Dies berechtigt zur Frage, wie gross eigentlich der Informationsgehalt von Bildern ist. Sind Druckbilder bezüglich des Informationsgehaltes Fernsehbildern überlegen? Wie kann der Informationsgehalt von bewegten Bildern und Tonsignalen quantifiziert werden? Wo ist die Farbfotografie bezüglich des Informationsgehaltes? Der nachfolgende Beitrag soll auf diese Fragen eine Antwort geben.

Ein Bild ist mehr als tausend Wörter

Zum Informationsgehalt von Bildern

■ Kurt Schläpfer

Der Informationsgehalt von Bildern hängt von drei Grössen ab:

- der Anzahl Bildpunkte
- der Anzahl Stufen (Grauwerte), die zwischen der hellsten und der dunkelsten Bildstelle unterscheidbar sind
- der Anzahl Grundfarben, aus denen das Bild aufgebaut ist

Bei Farbbildern muss die Anzahl Grauwerte für jede Grundfarbe einzeln berücksichtigt werden. In vielen Fällen ist dieser Wert für jede Grundfarbe gleich, so zum Beispiel in der Fotografie, wo mit drei Grundfarben gearbeitet wird. Gedruckte Bilder sind aus vier Grundfarben aufgebaut (Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz), wobei aber das Schwarz nicht zur Erhöhung des Informationsgehaltes beiträgt, da es durch die Anteile der drei anderen Grundfarben bestimmt wird. (Falls durch Schwarz der Kontrast erhöht wird, wirkt sich dies in einer grösseren Zahl von unterscheidbaren Grauwerten aus.) Vom Informationsgehalt her betrachtet, kann man daher Druckbilder wie dreifarbige Bilder behandeln.

Gemälde und Aquarelle können zwar aus einer grösseren Anzahl von einzelnen Farbstoffen hergestellt sein, doch ist nicht jeder Farbstoff an jeder Bildstelle vertreten. Man kann sogar zeigen, dass für jede Bildstelle drei Farbstoffe genügen, um jede beliebige Mischfarbe herzustellen. Gemälde und Aquarelle können somit vom Informationsgehalt her gesehen gleich behandelt werden, wie wenn sie nur aus drei Grundfarben aufgebaut wären.

Farbige Fernsehbilder sind stets aus drei Grundfarben aufgebaut, wobei aber – wie noch gezeigt wird – zwischen dem Informationsgehalt des Helligkeitssignals und jenem des Farbsignals unterschieden werden muss.

Anzahl der unterscheidbaren Grauwerte in Bildern

Die Zahl der in einem Bild unterscheidbaren Grauwerte ist keine einfach zu bestimmende Grösse. An sich ist man geneigt anzunehmen, dass beispielsweise in einem fotografischen Bild fast eine beliebige Zahl von Grauwerten unterscheidbar ist und dass die Zahl nur davon abhängt, welchen Abstand man zwischen zwei Grauwerten definiert (klassische Analogtechnik). Dem ist aber entgegenzuhalten, dass der unterscheidbare Grautonabstand nicht kleiner sein kann als die Schwankung (statistisch Streuung) in einem einzelnen Grauwert (Rauschen). Wenn man daher die Streuung bei jedem Grauwert kennt, kann die Zahl der unterscheidbaren Graustufen ermittelt werden, die zwischen dem hellsten und dem dunkelsten Ton liegen. Ist die Streuung über den ganzen Bereich gleich, so ergibt sich die Zahl der unterscheidbaren Grauwerte, indem man den Kontrastumfang durch die Streuung dividiert. Messtechnisch hat sich eingebürgert, als Mass für die Streuung die Standardabweichung zu ermitteln. Als Messinstrument wird hierfür zweckmässigerweise ein Bildanalysesystem verwendet.

Bei fotografischen Halbtonbildern (Schwarzweissbilder) kann man bei dieser Definition einen Wert von 120 unterscheidbaren Grauwerten ermitteln. Für den Offsetdruck auf gestrichenen Papieren lässt sich ein Bereich von 80 bis 90 unterscheidbaren Tonwerten bestimmen. Für den Zei-

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *Kurt Schläpfer*, Empa, Unterstrasse 11, 9001 St. Gallen.

tungsdruck reduziert sich diese Zahl massgeblich, da zur Streuung noch Verluste in den Lichtern und in den Tiefen dazukommen. Die Zahl der unterscheidbaren Tonwerte im Zeitungsdruck beträgt daher nur 40 bis 50.

Bei digitalen Aufzeichnungssystemen, wie beispielsweise bei Laserprintern, findet man oft eine Angabe für die Zahl der Grauwerte, die aber nicht mit der hier diskutierten Zahl der unterscheidbaren Grauwerte gleichgesetzt werden darf. Der angegebene Wert bei digitalen Systemen kennzeichnet nämlich die Zahl der Input-Tonwerte, das heisst die Zahl jener Grauwerte, die im Datenspeicher des Systems unterschieden werden. Ob diese Zahl der Input-Grauwerte auch im Output unterscheidbar ist, ist eine andere Frage. Sofern die Zahl der Input-Werte sehr klein ist, wie bei gewissen grobauflösenden Printern, kann sie ohne weiteres mit der Zahl der unterscheidbaren Grauwerte gleichgesetzt werden. Ein häufiger Wert, der bei digitalen Kopierern und Printern angetroffen wird, sind 64 Grauwerte. Bei diesen kann man aber bereits nicht mehr davon ausgehen, dass sie auf dem Papier unterscheidbar sind. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei digitalen Kopierern auf der Basis der Elektrofotografie die Grenze bei 50 Grauwerten liegt.

Eine noch grössere Diskrepanz zwischen der Zahl der Input- und der Zahl der Output-Tonwerte ergibt sich, wenn die Quantisierungswerte bei der Bildabtastung mit Scannern oder Digitalkameras betrachtet werden. Die Halbtonquantisierung liegt hier zwischen 8 und 14 Bit, was 256 bzw. 14 384 Graustufen entspricht.

Werden Halbtondatenbestände, die mit 8 bis 14 Bit quantisiert sind, gerastert, beträgt die Quantisierung immer noch 144 bis 256 Grauwerte, also weit mehr, als was man auf dem Papier unterscheiden kann.

Die Bestimmung der Anzahl Bildpunkte

Die Zahl der Bildpunkte lässt sich ermitteln, wenn man das sogenannte Auflösungsvermögen kennt. Darunter versteht man die Zahl der Bildelemente (z. B. Linien), die auf einer bestimmten Länge unterscheidbar wiedergegeben werden können. Zahlenmässig definiert man das Auflösungsvermögen mit der Angabe einer Linienzahl pro Zentimeter oder Millimeter (Bild 1). Korrekterweise sollte man von Linienpaaren anstatt von Linien sprechen, da zwei Linien nur unterscheidbar sind, wenn noch ein Abstand dazwischen ist, weshalb zu jeder Linie (die schwarz ist) noch eine weisse Linie in Form des Zwischenraumes gehört.

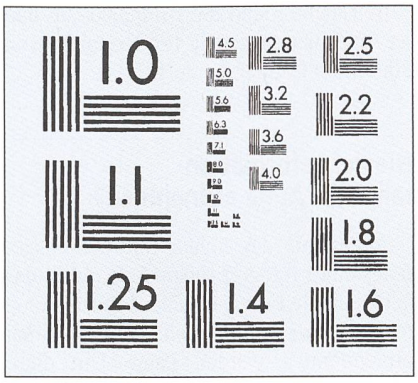


Bild 1 Linienelement zur Bewertung der Auflösung: Die angegebene Zahl gibt die Anzahl Linienpaare, bestehend aus einer schwarzen und einer weissen Linie, pro Millimeter an.

Je mehr Linienpaare pro Millimeter wiedergegeben werden, um so kleiner ist aber der Kontrast zwischen der schwarzen Linie und dem weissen Zwischenraum. Zur Vollständigkeit müsste man daher noch angeben, bei welchem Kontrast die Zahl der unterscheidbaren Linien abgelesen wird. Ist der Kontrast klein, so ist nämlich auch die Zahl der wiedergebbaren Grauwerte klein. Bei sehr kleinem Kontrast ist im Extremfall nur noch ein einziger Grauwert unterscheidbar. Wird das Auflösungsvermögen in Abhängigkeit des Kontrasts bewertet, spricht man von der sogenannten Modulationsübertragungsfunktion.

In der Silbersalzfotografie erreicht man bei gutem Kontrast ein Auflösungsvermögen von 150 Linienpaaren/cm auf farbigen Papierbildern, in Diapositiven von 500 Linienpaaren/cm. Da das Auflösungsvermögen in der Silbersalzfotografie von der Grösse der Silberkristalle abhängt und durch dieses Merkmal wiederum die Lichtempfindlichkeit bestimmt wird, muss bei Angaben über das Auflösungsvermögen von Silbersalzsystemen eine bestimmte Lichtempfindlichkeit zugrunde gelegt werden. Bei Diapositiven wird hier ein Wert von 100 ASA gewählt. Bei gedruckten Bildern wird das Auflösungsvermögen durch die gewählte Rasterweite bestimmt. Bei einer Rasterweite von 60 L/cm (Linien pro Zentimeter) ergeben sich beispielsweise 30 unterscheidbare Linienpaare, womit deutlich wird, dass der Rasterdruck das Auflösungsvermögen sehr stark beschränkt. Im Zeitungsdruck mit 34 L/cm beträgt das Auflösungsvermögen sogar nur noch 17 Linienpaare/cm.

In digitalen Systemen ist zwischen der sogenannten Aufzeichnungsfeinheit als Input-Grösse und der Zahl der unterscheidbaren Linienpaare als Output-Grösse zu unterscheiden. Ein Laserprinter, der mit einer Aufzeichnungsfeinheit von 300 dpi (Punkte pro Zoll) arbeitet, liefert im Output nicht notwendigerweise 150 Linienpaare/Zoll (was gleichbedeutend mit 60 Linienpaaren/cm ist), sondern nach Untersuchungen der Empa höchstens 50 Linienpaare/cm.

Die Berechnung des Informationsgehaltes von Bildern

Aus dem Auflösungsvermögen und aus der Anzahl der unterscheidbaren Tonwerte lässt sich angeben, welcher Informationsgehalt ein Bild bei einem gegebenen Format besitzen kann. Als Informationseinheit wird dabei die Grösse Bit verwendet. Einem einzelnen Bildpunkt, der entweder schwarz oder weiss sein kann, kann ein Informationsgehalt von 1 Bit zugeordnet werden. Wenn der Bildpunkt verschiedene Grauwerte besitzen kann, so erhöht sich der Informationsgehalt mit dem binären Logarithmus der Graustufenzahl. Bei 4 Grauwerten erhöht sich der Informationsgehalt um den Faktor 2, bei 16 Grauwerten um den Faktor 4 usw.

Allgemein gilt, dass bei n Grauwerten der Informationsgehalt pro Bildpunkt $\log_2 n$ beträgt.

Bei Farbbildern ergibt sich die Zahl der unterscheidbaren Farbtöne N aus der Zahl

Verfahren	Anzahl Bildpunkte*	Anzahl unterscheidbarer Graustufen	Informationsgehalt (MBit*)
Offsetdruck 60 L/cm	2,16 Mio.	85	41,5
Zeitungsdruck 34 L/cm	694 000	45	11,4
Farbfotografie (Papierbild ab Kleinbilddia)	8,64 Mio.	120	179,0
Fernsehen, Europanorm	213 000	50	1,35
Hochzeiliges Fernsehen (HDTV)	921 600	50	11,5
«Kanalkapazität» des Auges**	2,02 Mio.	125	42,2

* bezogen auf ein Bildschirmbild bzw. ein A4-Bild auf Papier
** bezogen auf ein A4-Bild, betrachtet in einem Abstand von 40 cm

Tabelle I Vergleich von gedruckten Bildern und Fernsehbildern

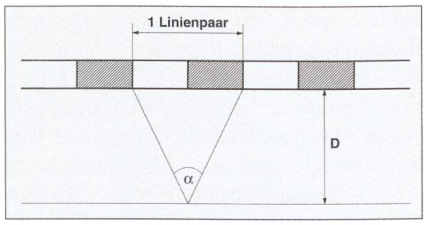


Bild 2 Auflösungsvermögen des Auges

α Öffnungswinkel (Winkel des Gesichtsfeldes)
D Betrachtungsabstand (cm)
d Breite eines Linienpaares (cm)
R Auflösungsvermögen (Linienpaare/cm)
$R = 1/d = (2D \cdot \tan(\alpha/2))^{-1}$

n der unterscheidbaren Grauwerte wie folgt:

$$N = (n-1)^3 \qquad (1)$$

Wenn n genügend gross ist, kann vereinfacht mit der Beziehung $N = n^3$ gerechnet werden. Der Informationsgehalt I_o eines farbigen Bildpunktes beträgt dann

$$I_o = \log_2 (n^3) = 3 \cdot \log_2 n \qquad (2)$$

Für ein farbiges Druckbild vom Format $B \cdot H$ (in cm), welches mit einer Rasterweite von L (in cm^{-1}) gedruckt ist, beträgt der Informationsgehalt

$$I = L^2 \cdot B \cdot H \cdot 3 \cdot \log_2 n \qquad (3)$$

Der Informationsgehalt eines Druckbildes könnte aber noch erheblich gesteigert werden, wenn an Stelle der konventionellen Rasterung eine andere Form der Halbtoncodierung vorgenommen würde, beispielsweise die frequenzmodulierte Rasterung.

Unter günstigen Bedingungen können im Offsetdruck auf gestrichenen Papieren Linien oder Punkte von 10 µm Durchmesser gedruckt werden. Dies bedeutet, dass bis 1000 Bildpunkte pro Zentimeter wiedergegeben werden können. Diese Bildpunkte sind allerdings nicht mehr in der Helligkeit abstufbar, so dass deren Informationsgehalt nur 1 Bit beträgt. Immerhin würde man aber mit 1000 Bildpunkte/cm in einem farbigen A4-Bild einen Informationsgehalt von

$$I = 600 \cdot 1000^2 \cdot 3 = 1800 \text{ MBit} = 1{,}8 \text{ GBit} \qquad (4)$$

erreichen. Dies setzt jedoch voraus, dass das zu druckende Bild auch mit der entsprechenden Auflösung abgetastet wird.

Für ein fotografisches Halbtonbild muss an Stelle der Rasterweite L die Zahl k der unterscheidbaren Linienpaare/cm eingesetzt werden, die aber noch mit 2 multipliziert werden muss, da ein Linienpaar aus zwei Bildpunkten besteht. Daraus resultiert dann:

$$I = 4\, k^2 \cdot B \cdot H \cdot 3 \cdot \log_2 n \qquad (5)$$

In Tabelle I sind die Bildpunktzahl und der Informationsgehalt für Beispiele von Bildern im Format A4 aufgeführt.

Wieviel Information kann das Auge aufnehmen?

Angesichts des hohen Informationsgehaltes eines fotografischen Aufsichtsbildes stellt sich die Frage, welcher Informationsgehalt vom menschlichen Auge maximal aufgenommen werden kann. Um diese Frage zu beantworten, muss eine Annahme bezüglich des Betrachtungsabstandes gemacht werden, denn die Auflösung des menschlichen Auges ist abhängig von der Distanz des zu betrachtenden Bildes. Der Auflösungswinkel, unter welchem zwei nebeneinanderliegende Bildpunkte gerade verschmelzen, beträgt 1,5 Winkelminuten. Dieser Wert ist im wesentlichen durch den Abstand der lichtempfindlichen Rezeptoren auf der Netzhaut bestimmt.

Als gebräuchlicher Abstand für die Betrachtung von Bildern, die sich auf einer Tischplatte befinden, kann 40 cm gelten. Für diese Distanz errechnet sich als Auflösungsgrenze ein Wert von 29 Linienpaaren pro cm (Bild 2). Daraus lässt sich die Bildpunktzahl errechnen, die in einem A4-Bild vom menschlichen Auge gerade noch aufgelöst wird. Dies sind ziemlich genau 2 Mio. Bildpunkte. Die Anzahl der unterscheidbaren Grauwerte kann mit ungefähr 125 angenommen werden. Da das Auge drei verschiedene Farbrezeptoren besitzt, beträgt die Zahl der unterscheidbaren Farben dann ungefähr 2 Millionen. (In der Literatur wird gelegentlich auch ein Wert von 10 Millionen unterscheidbaren Farben angegeben. Dieser Wert gilt aber nur unter sehr idealisierten Betrachtungsbedingungen, wie sie in der Praxis nie auftreten.)

Der vom Auge verarbeitete Informationsgehalt in einem A4-Bild, betrachtet in einem Abstand von 40 cm, beträgt somit

$$I = 4 \cdot 29^2 \cdot 600 \cdot 3 \cdot \log_2 125 = 42{,}2 \text{ MBit} \qquad (6)$$

Wie man aus Tabelle I erkennt, entspricht die vom Auge verarbeitbare Informationsmenge gerade etwa dem Informationsgehalt eines Druckbildes, gedruckt mit 60 L/cm.

Der Informationsgehalt von Fernsehbildern

Die Bildwiedergabe auf einem Bildschirm erfolgt bekanntlich so, dass drei Elektronenstrahlen zeilenweise auf fluoreszierende Farbpunkte (oder Farbstreifen), genannt Phosphore, fokussiert werden, welche auf diese Weise zum Leuchten gebracht werden (Bild 3). Im Gegensatz zu gedruckten Bildern ist der Informationsgehalt eines Fernsehbildes nicht eine Frage des Formates, sondern unabhängig vom Bildschirmformat immer gleich. Der Informationsgehalt wird nämlich durch die Zahl der Signale bestimmt, die dem Bildschirm zugeführt werden, und diese Signalmenge ist für einen grossen Bildschirm genau gleich gross wie für einen kleinen. Deshalb gilt auch für die Betrachtung von Fernsehbildern die Gesetzmässigkeit, dass der Betrachtungsabstand in einem bestimmten Verhältnis zur Bildhöhe sein soll. Für das heutige europäische Fernsehen wird ein Betrachtungsabstand als optimal betrachtet, der das Vierfache der Bildhöhe beträgt.

Da beim Fernsehen die Bilder zeilenweise aufgezeichnet werden, kann zur Ermittlung des Informationsgehaltes zunächst nach der Zeilenzahl gefragt werden. Bei der heutigen europäischen Fernsehnorm wurde als Ausgangsgrösse festgelegt,

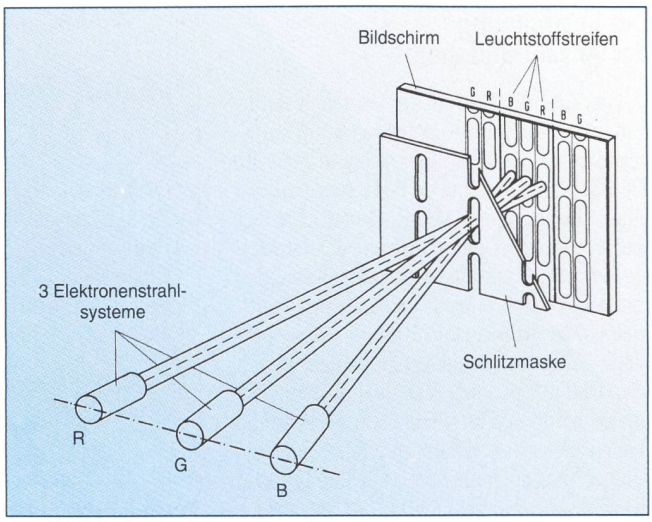


Bild 3 Prinzip der Bildaufzeichnung auf CRT-Bildschirmen: Mit drei Elektronenstrahlen werden rote, grüne und blaue Leuchtstoffe zum Leuchten gebracht.

	Europanorm	USA-Norm	HDTV*
Spezifikationen			
– abgetastete Zeilen	625	525	1125
– Format (Höhe/Breite)	3:4	3:4	16:9
– Bilder/s	25	30	30
– Betrachtungsabstand (zu Bildhöhe)	4:1	4:1	2:1
– Zwischenzeilenverhältnis	1:2	1:2	1:2
Aufgelöste Anzahl Linienpaare			
– Helligkeitssignal	200	170	360
– Farbsignal	50	40	280

* hochzeiliges Fernsehen (noch nicht definitiv festgelegt)

Tabelle II Leistungsmerkmale des heutigen und des zukünftigen Fernsehens

mit welcher Zeilenzahl die Fernsehkamera eine Szene oder ein Bild abtastet. Diese Zeilenzahl ist jedoch nicht identisch mit der auf dem Bildschirm unterscheidbaren Linienzahl. Konkret beträgt die Zahl der abgetasteten Zeilen 625. Davon werden 50 Zeilen nicht aufgezeichnet, da diese zur Steuerung und Synchronisierung der Bildaufzeichnung und zur Übertragung von codierten Signalen, wie beispielsweise Teletext, verwendet werden. Somit verbleiben noch 575 sichtbare Zeilen. An sich würde man nun erwarten, dass mit 575 Zeilen mindestens 285 Linienpaare auflösbar sind. Wie jedoch gezeigt werden kann, ist die tatsächliche Linienzahl deutlich kleiner, nämlich nur etwa 200 Linienpaare. (Dieses Verhältnis zwischen abgetasteter und aufgelöster Zeilenzahl wird als Kell-Faktor bezeichnet.) Man kann diese Zahl leicht experimentell ermitteln, wenn man unterschiedliche Linienzahlen auf dem Bildschirm abbildet und jene Linienzahl sucht, die noch voll aufgelöst wiedergegeben wird.

Beim amerikanischen Fernsehen beträgt die Abtastnorm 525 Zeilen, was bedeutet, dass ungefähr 170 horizontale Linienpaare unterscheidbar sind.

Dabei ist zu beachten, dass die angegebene Bildlinienzahl nur für das Helligkeitssignal gilt, während das Farbsignal mit einer wesentlich geringeren Linienzahl übertragen wird. Dies hat historische Hintergründe; das Fernsehen war ursprünglich nur für die Übertragung von Schwarzweissbildern konzipiert. Da ein Schwarzweissbild gegenüber einem Farbbild einen dreimal geringeren Informationsgehalt besitzt, konnten die Kanalkapazitäten des Fernsehens bei der Einführung des Farbfernsehens nicht um den Faktor 3 erweitert werden. Mittels einer signaltechnisch eleganten Lösung gelang es aber, das Helligkeitssignal und das Farbsignal bei gleicher Kanalkapazität zu kombinieren. Dabei wird das Farbsignal mit stark verringerter Auflösung übertragen. Beim europäischen Fernsehen können mit dem Farbsignal etwa 50 Linienpaare, beim amerikanischen Fernsehen nur etwa 40 Linienpaare wiedergegeben werden (Tabelle II).

Die erwähnten Sachzwänge, die den Informationsgehalt von Fernsehbildern limitieren, müssen theoretisch nicht für alle Bildschirmmedien gelten, da beispielsweise bei Videokassetten und Bildplatten die Signale nicht immateriell übertragen werden. Tatsächlich basieren aber auch solche Bewegtbilder auf dem Signalinhalt der Fernsehnorm. Bildschirmmedien mit höherer Bildpunktzahl als beim Programmfernsehen sind nur theoretisch möglich, da in der Praxis die gleichen Produktionsstandards (Kameras, Videorecorder) und Wiedergabeformate wie beim Fernsehen verwendet werden.

Ein weiteres Merkmal der Bilderzeugung auf dem Bildschirm ist die Tatsache, dass auch stehende Bilder mit einer bestimmten Bildwiederholfrequenz fortlaufend neu aufgebaut werden. Diese Bildwechselfrequenz beträgt in der europäischen Fernsehnorm 25 Bilder pro Sekunde. Da jedoch bei 25 Bildern ein störendes Flimmern auftritt, zerlegt man das Bild in zwei Halbbilder mit je der halben Zeilenzahl, welche dann 50mal pro Sekunde aufgezeichnet werden. Weil in einem Teilbild jeweils eine Zeile übersprungen wird, nennt man dieses Verfahren Zeilensprungverfahren. Diese Bildwiederholung ist für das Auge immer noch nicht genügend schnell, um ein Flimmern völlig zu vermeiden. Dies hat zur Folge, dass die Zahl der unterscheidbaren Grauwerte und damit die Zahl der unterscheidbaren Farben limitiert wird.

Dort wo Bildschirmbilder an einem Arbeitsplatz mehrstündig betrachtet werden müssen, vermeidet man das Zeilensprungverfahren und erhöht auch die Bildfrequenz, zum Beispiel im Informatikbereich oder in der Computergrafik. Beim Programmfernsehen ist eine Erhöhung der Bildwechselfrequenz wegen der damit verbundenen Erhöhung der Signalmenge nicht möglich. Hingegen kann man die Signale vor der Bilderzeugung in einen Speicher einlesen und zwei Halbbilder gleichzeitig und in höherer Frequenz zur Darstellung bringen. So gibt es die 100-Hz-Fernsehempfänger, bei denen 100 Vollbilder pro Sekunde anstatt 50 Halbbilder pro Sekunde wiedergegeben werden.

In der USA-Norm beträgt die Bildwiederholungsfrequenz 30 Hz bzw. 60 Hz für das Halbbild. Bei Videokassetten wird mit der gleichen Bildfrequenz wie beim Programmfernsehen gearbeitet.

Der Informationsgehalt von Fernsehbildern kann grundsätzlich ähnlich berechnet werden wie jener von gedruckten Bildern. Als weitere Grösse ist hier noch das Verhältnis zwischen Bildhöhe und -breite einzubeziehen. In der europäischen und amerikanischen Fernsehnorm ist dieses Verhältnis mit 3:4 festgelegt. Damit ist ein Fernsehbild etwa mit einem gedruckten A4-Bild im Querformat vergleichbar.

Zur Berechnung des Informationsgehaltes muss neben der Anzahl der Bildpunkte noch die Zahl der unterscheidbaren Helligkeitsstufen bekannt sein. Angesichts der nicht allzu hohen Bildfrequenz und des damit verbleibenden Flimmereffektes beträgt diese Zahl nur etwa 50. Da für das Helligkeitssignal die Anzahl der aufgelösten Bildlinien in der Bildhöhe 400 beträgt, errechnet sich unter Berücksichtigung des Seitenverhältnisses der Informationsgehalt des Schwarzweissbildes wie folgt:

$$I_{s/w} = 400^2 \cdot {}^4/_3 \cdot \log_2 50 = 1{,}20 \text{ MBit} \qquad (7)$$

Zu diesem Wert muss nun noch der Informationsgehalt des Farbsignals addiert werden. Bei 100 auflösbaren Bildlinien beträgt dieser:

$$I_f = 100^2 \cdot {}^4/_3 \cdot 2 \cdot \log_2 50 = 0{,}15 \text{ MBit} \qquad (8)$$

In der Summe ergibt dies 1,35 MBit.

Auf analoge Weise erhält man für das amerikanische Fernsehen einen Informationsgehalt von 0,97 MBit (Tabelle I).

Wenn man die Spezifikationen für das digitale Fernsehen vergleicht, weisen diese bedeutend höhere Werte aus. Diese sind jedoch nur als Input-Werte zu verstehen. Nach der bestehenden Europanorm werden pro Zeile 864 Bildpunkte unterschieden, die mit 8 Bit für die Helligkeit und je 4 Bit für Farbton und Sättigung codiert werden. Ferner geht man von 625 Aufzeichnungszeilen aus, was dann folgenden Informationsgehalt ergibt:

$$I = 864 \cdot 625 \cdot (8 + 4 + 4) = 8{,}64 \text{ MBit} \qquad (9)$$

Wie erwähnt, sagt diese Zahl nur aus, welche Informationsmenge dem Bildschirm pro Fernsehbild zugeführt wird, und nicht, wieviel Information auf dem Bildschirm wahrgenommen werden kann.

Für die drahtlose Übertragung von Fernsehbildern sind aber diese Datenmen-

gen in Anbetracht der verfügbaren Bandbreiten der Übertragungskanäle zu gross. Digitales Fernsehen wird daher auch in Zukunft nur möglich sein, wenn die Datenmengen massiv komprimiert werden, was nicht verlustfrei möglich ist.

Das hochzeilige Fernsehen

Schon seit mehreren Jahren diskutiert man über einen zukünftigen Fernsehstandard, der ungefähr eine Verdoppelung der heutigen Zeilenzahl und eine Verbreiterung des Bildformates bringen soll. Dafür wurde der Begriff High Definition Television (HDTV) gewählt. Grundsätzlich wäre es vorteilhaft, wenn dieses hochzeilige Fernsehen mit den heutigen Fernsehnormen kompatibel wäre. Da aber sowohl die Zeilenzahl als auch die Bildfrequenz des amerikanischen und des europäischen Fernsehens unterschiedlich sind, ist es nicht einfach, eine zukünftige Norm so zu definieren, dass sie zu den beiden heute bestehenden Normen gleichermassen kompatibel ist.

Aus europäischer Sicht wäre eine Zeilenzahl von 1250 und eine Bildwechselfrequenz von 25 Vollbildern pro Sekunde ideal. Ein japanischer Vorschlag, der schon seit einigen Jahren vorliegt, basiert auf 1125 Zeilen und 30 Bildern pro Sekunde und lehnt sich damit an das amerikanische Fernsehen an. Das Bildseitenverhältnis hingegen ist bereits einheitlich und definitiv mit 16:9 festgelegt. Aufgrund der noch ungewissen Ausgestaltung der hochzeiligen Fernsehnorm ist es schwierig, den Informationsgehalt solcher Fernsehbilder exakt zu berechnen. Nimmt man 1125 Zeilen als Basis, so bedeutet dies, dass 720 horizontale Linien aufgelöst wiedergegeben werden können. (Diese Zahl errechnet sich wiederum aus dem sogenannten Kell-Faktor, wonach pro 100 Fernsehzeilen nur 64 Bildlinien bzw. 32 Linienpaare wiedergegeben werden können.) Dies bedeutet, dass bei einem 16:9-Seitenverhältnis 921 600 Bildpunkte wiedergegeben werden können. Da die Zahl der unterscheidbaren Halbtonstufen bei der gleichen Bildwechselfrequenz nicht höher sein wird als im heutigen Fernsehen, ergeben sich wiederum nur etwa 50 unterscheidbare Stufen. Der Informationsgehalt des Schwarzweissbildes errechnet sich somit zu 5,2 MBit. Beim Farbsignal ist die Zahl der wiedergebbaren Bildlinien geringer, da dieses auch beim hochzeiligen Fernsehen mit weniger Information übertragen wird. Aufgrund der Bandbreite des Farbsignals von 7 MHz lässt sich errechnen, dass etwa 560 Bildlinien wiedergegeben werden können. Für das Farbsignal ergeben sich somit 557 500 Bildpunkte, die je 50 unterscheidbare Farbton- und Sättigungsstufen enthalten. Für den Informationsgehalt des Farbbildes (ohne Helligkeitssignal) errechnet sich damit ein Wert von 6,3 MBit, was zusammengezählt einen Informationsgehalt von 11,5 MBit ergibt (Tabelle I).

Zu betonen ist, dass das hochzeilige Fernsehen auch eine Verkürzung des Betrachtungsabstandes bringen soll. Der Betrachtungsabstand in bezug auf die Bildhöhe soll aber nicht mehr 4:1 wie beim europäischen Fernsehen, sondern nur noch 2:1 sein. Dies bedeutet aber auch, dass das Auge dann eine viermal grössere Bildpunktzahl auflösen kann, was den Informationsgewinn in bezug auf die «Kanalkapazität» des Auges wiederum schmälert.

Vergleich von Bildschirmbildern und gedruckten Bildern

Aus den bisherigen Betrachtungen ergibt sich, dass Bilder, die mit dem Programmfernsehen erzeugt werden, einem gedruckten Bild bezüglich des Informationsgehaltes deutlich unterlegen sind. Nur die Tatsache, dass Fernsehbilder Bewegtbilder mit Ton sein können, verleiht diesen eine zusätzliche Attraktivität. Der Gewinn an Information durch Ton ist – ausgedrückt in Bit – allerdings relativ gering. Nimmt man die Datenmenge als Massstab, die pro Sekunde auf einer Compact Disk gespeichert ist, ergibt dies 1,41 MBit (wobei in diesem Fall Zweikanal-Ton vorausgesetzt wird). Die Bewegtbildübertragung ergibt pro Sekunde eine Vervielfachung des Informationsgehaltes um den Faktor 25, da dies die Bildwiederholfrequenz ist. Der Informationsgehalt des Fernsehens beträgt somit pro Sekunde 25×1,3 MBit + 1,4 MBit = 33,9 MBit, was immer noch weniger ist als der Informationsgehalt eines im Offsetdruck mit 60 L/cm hergestellten Farbbildes im Format A4.

Es ist aber auch zulässig, Bildschirmbilder in Form von einzelnen Bildern mit gedruckten Bildern zu vergleichen, da es Bildschirmmedien gibt, wie beispielsweise die CD-ROM oder die Foto-CD, die für die Wiedergabe stehender Farbbilder bestimmt sind.

Auf einer Foto-CD sind 100 Bilder mit einer Auflösung von 2048×3072 Bildpunkten gespeichert. Diese Auflösung kann allerdings auch auf hochauflösenden Bildschirmen nicht sichtbar gemacht werden, da die meisten Bildschirme nur eine Auflösung von 1280×1600 Bildpunkten erreichen. Der Informationsgehalt eines Foto-CD-Bildes auf dem Bildschirm entspricht somit etwa jenem des zukünftigen hochzeiligen Fernsehens.

Der Informationsgehalt eines einzelnen Fernsehbildes ist jedoch nach dem europäischen Standard noch über 20mal kleiner als der eines A4-Bildes, das im Offsetdruck mit 60 L/cm gedruckt wurde. Auch gegenüber einem A4-Bild, das mit 34 L/cm im Zeitungsdruck erstellt wurde, ist der Informationsgehalt eines Fernsehbildes fast 10mal kleiner. Mit dem zukünftigen hochzeiligen Fernsehen erhöht sich der Informationsgehalt um ungefähr einen Faktor 10 und wird dann ungefähr vergleichbar sein mit einem im Zeitungsdruck hergestellten A4-Bild.

Mit höchstauflösenden Bildschirmen können zurzeit bis 3,2 Mio. Bildpunkte zur Darstellung gebracht werden, was erlaubt, ein Druckbild in guter Auflösung zu simulieren. Die Verfügbarkeit solcher höchstauflösender Bildschirme hat aber auf die Qualitätsverbesserung von Fernsehbildern keinen Einfluss, da die Fernsehkameras diese Auflösung noch lange nicht erreichen werden und dann die anfallenden Signalmengen an der Kapazität der Übertragungskanäle scheitern. Es bedarf allein schon grosser Anstrengungen, um Anfang des nächsten Jahrzehnts das hochzeilige Fernsehen einzuführen.

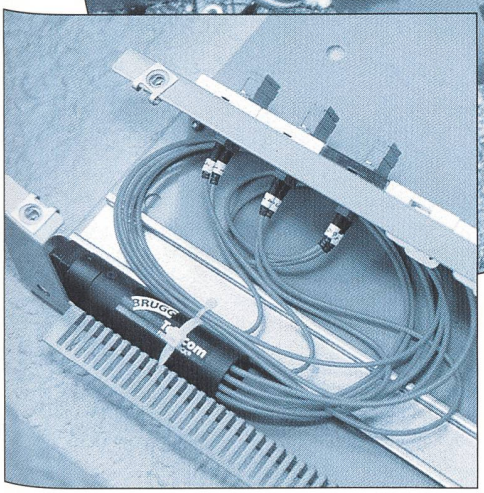
Bildschirmbilder werden also gleichsam systembedingt die Aufnahmekapazität des Auges bezüglich Auflösung und Tonwertumfang noch lange unterfordern, ganz im Gegensatz zu gedruckten Bildern.

Le contenu d'information des images

Comme on le sait, les images dispensent des informations. Cela donne le droit de poser la question quant au volume d'information proprement dit des images. Les images imprimées ont-elles un contenu d'information supérieur à celui de la télévision? Comment peut-on quantifier le contenu d'information des images mouvantes et des signaux audio? Où se situe la photographie en couleurs quant au contenu d'information? L'article veut répondre à ces questions.

Spitzenleistungen in der Übertragungstechnik

«Auf»Schalten zur Zielfahrt



Wer in der Formel 1 schon beim Training schnell ist, startet aus der Pole Position. Immer kürzere Zeiten werden auch beim Bau und Betrieb von Kommunikationsnetzen gefordert. Früher standen bei der Installation und Messung von Glasfaserkabeln nicht der Faktor Zeit als vielmehr Spezialkenntnisse und teure Geräte zur Diskussion. Mit FIBER-QUICK® liefern wir Ihnen Kabelverbindungen mit bis zu 48 Glasfasern und fixfertig montierten Steckern an. Sie bestellen einfach die Kabellänge mit der gewünschten Stekkerzahl und erhalten von uns eine fertige FIBER-QUICK®-Verbindung. Diese ist nach der Montage sofort betriebsbereit. Zeitaufwendige Spleissarbeiten und Messungen entfallen. Mit FIBER-QUICK® schicken wir Ihnen modernste Technik anschlussfertig franko Domizil. Über kürzere und günstigere Montagezeiten freuen sich nicht nur Ihre Monteure, sondern auch Ihre Kunden. Mit FIBER-QUICK® starten Sie aus der Pole Position und stehen schon kurz nach dem «Auf»-Schalten auf einem guten Podestplatz.

BRUGG Telecom

Brugg Telecom AG · Nachrichtenkabel und Systeme · 5200 Brugg
Telefon 056 460 31 00 · Fax 056 460 35 31

Leistung, die verbindet

Rundsteuersysteme sind unsere Spezialität.
Mit bald 50 Jahren Erfahrung gehören wir
weltweit zu den drei grössten Herstellern
in diesem Bereich.

Dank dem Know-how von Enermet auf dem Gebiet der
Energieerfassung und Zweiweg-Kommunikation
ermöglicht dies zusammen mit der **zellweger** -Rundsteuerung
zukunftsweisende Entwicklungen
für ein umfassendes und
systemorientiertes
Energie-Management.

ENERMET

ENERMET-ZELLWEGER ENERGIETECHNIK AG

UNDERMÜLISTRASSE 28 ■ 8320 FEHRALTORF ■ TELEFON 01 954 81 11 ■ TELEFAX 01 954 82 01