

Die Fernseh-Bildübertragung

FS 02

2 Blätter

1 Das Zerlegen des Bildes

Zum Übertragen eines Bildes vom Aufnahmeort zur Empfangsstelle ist es notwendig, das Bild punktweise nacheinander abzutasten und die Helligkeitswerte, z. B. mit einer Fotozelle, in elektrische Werte umzuwandeln (Bild 1). Die Abtastung – in der genormten Form – erfolgt zeilenmäßig und von links nach rechts mit einer Zeilenfolge von oben nach unten, wie beim Lesen einer Seite.

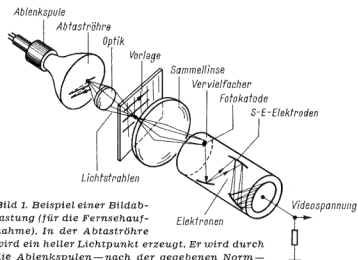


Bild 1. Beispiel einer Bildabtastung (für die Fernsehaufnahme). In der Abstrahlröhre wird ein heller Lichtpunkt erzeugt. Er wird durch die Ablenkspulen – nach der gegebenen Norm – in horizontaler und vertikaler Richtung über die Schirmfläche geführt. Dieser Lichtpunkt wird auf die Vorlage (z. B. ein Diabid) projiziert. Das durchtretende Licht wird von der Fotokatode eines Sekundär-Elektronen-Vervielfachers aufgenommen. Am Ausgang kann die Video-Spannung abgenommen werden.

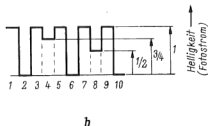
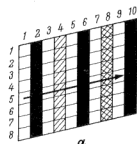
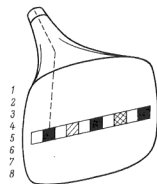


Bild 2. Beispiel eines zu übertragenden Bildes (a) und der Helligkeitsverlauf längs einer Zeile des Bildes (b)

Bild 3. Am Ende des Übertragungsweges muß auf der Bildröhre die gleiche Helligkeitsverteilung wieder entstehen



In Bild 2a wandert der Abtaststrahl über die Zeile 5, dabei haben die Bildelemente von links nach rechts die Helligkeitswerte 1, 0, 1, $\frac{3}{4}$, 1, 0, 1, $\frac{1}{2}$, 1, 0. Während dieses Abtastvorganges muß sich also der Fotostrom in der Bildaufnahme röhre ändern, wie in Bild 2b gezeigt. Die am Arbeitswider-

stand dieser Bildaufnahme röhre auftretende Spannung wird als Video-Spannung bezeichnet und zur Modulation des HF-Trägers verwendet. Das modulierte HF-Signal wird über die Antenne ausgestrahlt. Der Empfänger demoduliert dieses Signal und erzeugt wieder die Video-Spannung. Sie wird an die Steuerstrecke der Bildwiedergaberöhre (Wehneltzylinder/Katode) gelegt (s. a. Funktechnische Arbeitsblätter [FTA] RÖ 61) und steuert so deren Helligkeit. Wird der Elektronenstrahl synchron mit dem Abtaststrahl über den Bildschirm dieser Fernseh röhre geführt, so wird der gesendete Helligkeitswert (Bild 3) genau auf die gleiche Stelle des Empfangsbildes übertragen, bei der im Sendebild die Abtastung erfolgte.

2 Das Entstehen des Bildes im Fernsehempfänger

Der Fernsehempfänger hat, um das Bild auf dem Schirm der Bildröhre entstehen zu lassen, drei Funktionen zu erfüllen (Bild 4).

Er muß die modulierte Hochfrequenz aufnehmen, verstärken und durch Gleichrichten aus ihr das Videosignal gewinnen.

Er muß in der Bildröhre den Strom des Schreibstrahls so steuern, daß auf ihrem Schirm die richtigen Helligkeitswerte erzeugt werden. Das bedeutet: Vergleicht man ein Punktepaar im gesendeten Bild mit dem gleichen im Empfangsbild, so muß die zwischen den beiden Punkten bestehende Helligkeitsabstufung in beiden Fällen gleich sein.

Im Empfänger müssen Ablenkströme erzeugt werden, die den Schreibstrahl in horizontaler und vertikaler Richtung über den Bildschirm führen. Sie müssen mit dem Abtastvorgang im Sender synchronisiert sein. Die Linearität der Ablenkung, die u. a. auch von der Auslegung der Bildröhre abhängt, wird durch Zusatzmittel im Empfänger eingestellt.

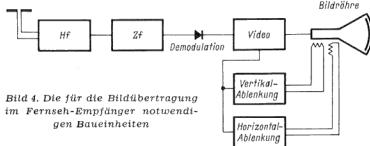


Bild 4. Die für die Bildübertragung im Fernseh-Empfänger notwendigen Baueinheiten

3 Das Synchronisieren

Die im Empfänger eingebauten Ablenkgeneratoren für Zeile und Bild müssen also synchronisiert werden. Zu diesem Zweck werden vom Sender Synchronimpulse (Gleichlaufzeichen) ausgestrahlt (s. a. FTA Fs 01/1a Abschnitt 7). Dabei markiert der Zeilensynchronimpuls das Ende des Zeilenhinlaufs, der Vertikalsynchronimpuls das Ende eines Halbbildes (eines Rasters, s. a. FTA Fs 01/2, Abschnitt 8). Diese Gleichlaufzeichen fallen demnach in die Zeiträume, in denen Abtast- und Schreibstrahl an den Anfang einer neuen Zeile zurückgeführt und die Bildinformationen unterdrückt werden. Die Zeichen werden mit einem Helligkeitswert übertragen, der unter „schwarz“ liegt (ultraschwarz), s. a. FTA Fs 01, Bild 3.

Dabei sei erwähnt, daß noch andere Verfahren der Bildübertragung möglich sind. Diese können in der Art der Abtastung (z. B. Spiralabtastung), der Helligkeitsübertragung (z. B. Geschwindigkeitssteuerung) und der Synchronisierung (z. B.

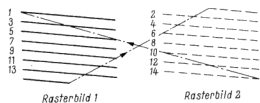
Übertragung der im Abtastgerät auf der Sendeseite notwendigen Ablenkspannungen, zusätzlich zu den Helligkeitswerten) von dem genormten Verfahren abweichen. Da sie aber stör anfälliger und aufwendiger sind, wurden sie nicht eingeführt. Z. B. wären bei der getrennten Übertragung der Ablenkspannungen drei Sender (A, B, C) notwendig.

Sender A müßte mit der Ablenkspannung die Lage des Bildpunktes in horizontaler, Sender B die Lage des Bildpunktes in vertikaler Richtung übertragen und Sender C die Helligkeit des Bildpunktes geben. Ein schwerwiegender Nachteil wäre ferner, daß jede Störspannung bei Empfang von Sender A oder B den Bildpunkt an die falsche Stelle rückt.

Bei dem genormten Verfahren dagegen erzeugt sich der Empfänger mit großer Genauigkeit seine Ablenkspannungen selbst. Sie werden durch die vom Sender ausgestrahlten Gleichlaufzeichen in Frequenz und Phasenlage nachkorrigiert.

4 Der Zeilensprung

Um das Flimmern bei der Bildwiedergabe zu verhindern, wird auf dem Bildschirm nicht Zeile für Zeile hintereinander geschrieben, sondern es werden zwei Raster gezeichnet, das eine bestehend aus den ungeradzahigen Zeilen 1, 3, 5, ..., das andere aus den geradzahigen Zeilen 2, 4, 6, ... (Bild 5), d. h. der Strahl springt nach Durchlaufen der Zeile Nr. 5 nicht auf Nr. 6, sondern auf Nr. 7, daher der Ausdruck Zeilensprung.



Oben: Bild 5. Das Bild am Schirm der Fernseh-Bildröhre setzt sich aus zwei nacheinandergeschriebenen Rasterbildern zusammen



Links: Bild 6. Die richtige Lage der beiden Rasterbilder zueinander

Der Vorteil des Verfahrens liegt in folgendem: Man überträgt in der gleichen Zeit statt eines vollen 625-Zeilen-Bildes zwei Rasterbilder zu 312½ Zeilen. Man erhält also beim Zeilensprung in einer Sekunde statt 25 Bilder 50 Rasterbilder. Auf diese Weise wird das Flimmern vermindert, das stark von der Bildwechselfrequenz abhängt.

Nennen wir das ungeradzahige Rasterbild das obere, das geradzahige, um eine Zeile tiefer liegende, das untere, so sieht das Auge zunächst das obere, dann 1/50 sec später das untere und wieder 1/50 sec später das obere usw. Mit der Frequenz 25 Hz wandert also für das Auge das Bild scheinbar um eine Zeilenbreite hin und her. Das wird aber bei dem normalen Betrachtungsabstand nicht wahrgenommen.

Bedingung ist, daß die beiden Rasterbilder so geschrieben werden, daß jeweils die Zeilen des einen genau in der Mitte zwischen den Zeilen des anderen liegen (Bild 6). Andernfalls wird die Auflösung verschlechtert, da man, bei starker Unsymmetrie, praktisch ein Bild mit nur 312 Zeilen erhält.

5 Die Einseitenband-Übertragung

5.1 Zahl der zu übertragenden Bildpunkte

Nach der in FTA Fs 01 angegebenen Übertragungsnorm werden in der Sekunde 25 Bilder = 50 Raster geschrieben. Also:

$$1 \text{ Bild} = \frac{1}{25} \text{ sec} = 40 \text{ m sec}$$

Auf jedes Bild entfallen 625 Zeilen.

Also:

$$1 \text{ Zeile} = \frac{1}{25 \cdot 625} \text{ sec} = \frac{1}{15625} \text{ sec} = 64 \mu \text{ sec}$$

Damit beträgt:

die Bildwechselfrequenz	25 Hz
die Rasterwechselfrequenz	50 Hz
die Zeilenwechselfrequenz	15 625 Hz.

Durch die genormten Austastzeiten während des Rücklaufs (s. a. FTA Fs 01, Abschnitt 7) sind maximal 585 der 625 Zeilen und 52 der 64 µsec mit Bildinhalt belegt.

Rechnet man horizontal wie vertikal mit der gleichen Auflösung, so heißt das, daß die Bildpunktweite so groß wie der Zeilenabstand ist (Bild 7; b = a).

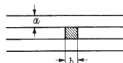


Bild 7. a = Zeilenabstand, Bildpunktweite b = Bildpunktöhe

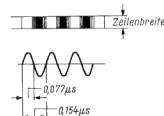


Bild 8. Bestimmung der höchsten Video-Frequenz aus der höchstmöglichen Folge von hellen und dunklen Bildpunkten

Nun ist nach der Norm das Seitenverhältnis horizontal : vertikal = 4 : 3, d. h. die Zahl der möglichen Bildpunkte je Zeile ist $625 \cdot \frac{4}{3} = 830$.

Man kann demnach auf der Länge einer Zeile 4/3 mal mehr Bildpunkte unterbringen als in der Bildhöhe.

Also: die Zeit zum Durchlaufen einer Bildpunktweite

$$= \frac{1}{25 \cdot 625 \cdot 830} = 0,077 \mu \text{ sec.}$$

Die höchste Video-Frequenz liegt offensichtlich dann vor, wenn schwarze und helle Bildpunkte am Sender miteinander abwechseln (Bild 8). In diesem Fall ist $2 \cdot 0,077 \mu \text{ sec} =$ kürzeste Periodendauer der Video-Frequenz oder

$$\frac{1}{2 \cdot 0,077 \mu \text{ sec}} = \text{höchste Video-Frequenz} = 6,5 \text{ MHz.}$$

Die praktische Erfahrung hat gezeigt, daß man statt mit einer oberen Frequenzgrenze von 6,5 MHz schon mit 5 MHz ein qualitativ einwandfreies Bild bekommt.

5.2 Gründe für die Einseitenband-Übertragung

Würde man wie beim AM-Rundfunk verfahren, dann müßte für den Bildinhalt ein Frequenzband von 10 MHz (Trägerfrequenz ± Modulationsfrequenz) übertragen werden. Um einigermaßen genügend Sender in den verfügbaren Frequenzbereichen unterzubringen, arbeitet man im Fernsehen mit einem vollen und einem teilweise unterdrückten Seitenband (s. FTA Fs 01, Bild 2).

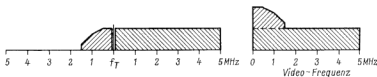


Bild 9. Wird bei Einseitenbandbetrieb das eine Seitenband unvollständig abgetrennt (links), dann ergeben sich nach der Demodulation lineare Verzerrungen (rechts) in der Frequenz/Amplituden-Charakteristik

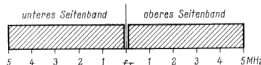


Bild 10: Die beiden Seitenbänder der Fernseh-Übertragung

5.3 Verfahren bei Einseitenbandbetrieb
(Bilder 9 und 10 siehe Blatt 1)

In FTA Mo 11, Bild 5, ist gezeigt, daß neben dem Träger beide Seitenbänder notwendig sind, um die volle Amplitudenmodulation zu erhalten. Nur ein Seitenband verringert die Amplitudenschwankungen auf die Hälfte. Nach der Demodulation bekommt man nur die halbe Spannung der Modulationsfrequenz.

Wenn man also reinen Einseitenbandbetrieb macht, so muß das eine Seitenband sehr sauber und vollständig abgetrennt werden. Tut man das nicht (Bild 9), so wirkt bei den hohen Modulationsfrequenzen nur ein Seitenband, bei den tiefen dagegen addieren sich beide. Das bedeutet, daß die Frequenz/Amplituden-Charakteristik verzerrt wird.

Nun ist aber bei der Video-Frequenz die saubere Abtrennung schwierig (Bild 10), da die Video-Frequenz praktisch bis Null heruntergeht. Erschwerend kommt folgendes hinzu. Der beim Abtasten entstehende Amplitudenverlauf ist natürlich nicht immer sinusförmig, sondern hat vorzugsweise Impulscharakter. Nach FTA Mth 31 kann man einen solchen Spannungsverlauf in Grund- und Oberwellen zerlegen (Mth 31/2, Absatz B 3). Es ist klar, daß diese Grund- und Oberwellen in festem Phasenverhältnis zueinander stehen müssen. Verändert sich die ursprüngliche Phasenlage auf dem Übertragungsweg, so hat das Video-Signal im Empfänger einen anderen Verlauf als im Sender (Bild 11). Es gilt also die zusätzliche Forderung, daß wesentliche Phasenfehler vermieden werden müssen.

Nun gilt bei den Empfangsverstärkern die Tatsache, daß der Phasengang um so größer ist, je stärker der Amplitudenabfall oder -anstieg ist (z. B. FTA Sk 01, Bild 8 im Vergleich zu Bild 6 und FTA FI 21/2a, Bild 9c im Vergleich zu Bild 9a).

Ein glattes Abschneiden des einen Seitenbandes ist also aus den beiden Gründen nicht möglich. Man muß einen allmählichen Übergang schaffen (Bild 12).

Der Sender strahlt, wie Bild 12a zeigt, aus:

- das obere Seitenband,
- die Trägerfrequenz f_T und
- einen Rest des unteren Seitenbandes (bis: $f_T - 1,25$ MHz).

Die Durchlaßkurve des Empfängers setzt sich zusammen aus einem linearen Anstieg (Nyquistflanke), dessen Mitte auf der Trägerfrequenz liegt, und einem waagerechten Teil.

Das auf den Anstieg entfallende Kurvenstück muß im Hinblick auf die Senderausstrahlung (Bild 12a) im Bereich $f_T \pm 1,25$ MHz liegen.

Auf diese Weise wird erreicht:

Der Amplitudenabfall geht allmählich vor sich. Es wird zwar nicht das ganze untere Seitenband eingespart, denn der Sender strahlt bis $f_T - 1,25$ MHz aus. Trotzdem entsteht eine merkliche Einsparung am benötigten Frequenzband.

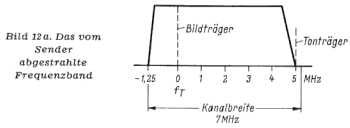
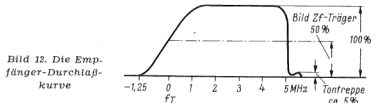
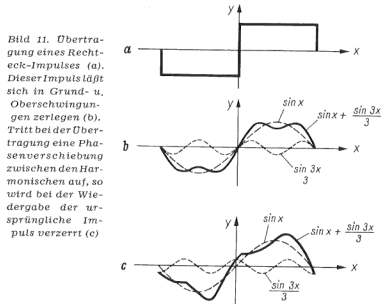
Amplitudenmodulation	Bandbreite
Normal	$2 \times 5,0 \text{ MHz} = 10 \text{ MHz}$
Einseitenband	$5,0 + 1,25 \text{ MHz} = 6,25 \text{ MHz}$
	Ersparnis = $3,75 \text{ MHz}$

Außerdem ist die Forderung erfüllt, daß alle Video-Frequenzen gleichmäßig wiedergegeben werden. Im oberen Seitenband sind zwar die tiefen Frequenzen maximal zwischen 0 und 1,25 MHz bepackt. Durch den zusätzlich mit übertragenen Teil des unteren Seitenbandes (0...1,25 MHz) wird jedoch dieser Verlust völlig ausgeglichen.

6 Der Begleitton

6.1 Senderseite

Zusätzlich zum Bild ist der Begleitton zu übertragen. Man verwendet einen getrennten Sender. Seine Trägerfrequenz liegt 5,5 MHz über der des Bildsenders. Diese Trägerfrequenz wird durch den Begleitton frequenzmoduliert (s. a. FTA Fs 01/1, Abschnitt 3).



6.2 Empfängerseite

6.2.1 Parallelton-Verfahren

Das Verfahren beruht einfach auf der Erweiterung des in jedem Rundfunkempfänger angewendeten Überlagerungs-Prinzips. Die Empfangsfrequenz wird mit der des eingebauten Oszillators überlagert und die entstehende Zwischenfrequenz dem Zf-Verstärker zugeführt.

Im Fernsehen haben wir es mit zwei Signalträgerfrequenzen (Bildträger und Tonträger) zu tun. Durch Überlagerung mit der Oszillatorfrequenz entstehen deshalb auch zwei Zwischenfrequenzen (Bild 13), dabei wird die Oszillatorfrequenz so gewählt, daß sich für die Bild-Zf-Trägerfrequenz der genormte Wert 38,9 MHz ergibt.

Beim Parallelton-Verfahren schaltet man also hinter die Mischstufe zwei Zf-Verstärker (Bild 14).

Bild-Zf-Verstärker

- 40,15...33,9 MHz Durchlaßbreite
- Trägerfrequenz bei 38,9 MHz
- Nyquistflanke 40,15...37,65 MHz

Ton-Zf-Verstärker

33,4 MHz \pm ca. 100 kHz.

Bild 13: Lage der Oszillator-, Bildträger- u. Tonträger-Frequenzen zueinander, dargestellt für Kanal 8

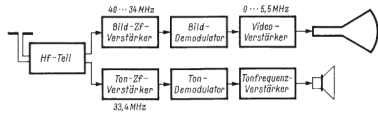
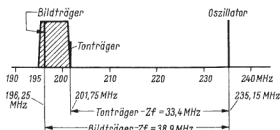


Bild 14. Das Parallelton-Verfahren

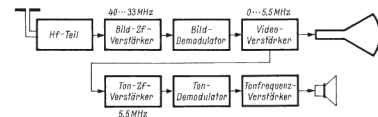


Bild 15. Das Intercarrier-, Zwischenträger- o. Differenzton-Verfahren

6.2.2 Zwischenträger-, Intercarrier-Verfahren (Differenzträgerverfahren) (Bild 15)

In diesem Fall führt man über den Bild-Zf-Verstärker sowohl die Bild- als auch die Ton-Zwischenfrequenz. Beide gelangen an die Video-Gleichrichterdiode. Sie dient dann sowohl zur Demodulation der Video-Spannung als auch zum Mischen der beiden Zf-Trägerfrequenzen 38,9 MHz und 33,4 MHz. Damit bildet sich eine zweite Zwischenfrequenz von 5,5 MHz. Diese ist sowohl amplituden- als auch frequenzmoduliert. In einer oder in zwei Begrenzerstufen wird die Amplitudenmodulation unterdrückt und die mit dem Ton-signal frequenzmodulierte 5,5-MHz-Spannung anschließend einem Frequenz-Demodulator, z. B. einem Ratiodetektor zugeführt.

Für den Begleitton liegt also eine doppelte Frequenzumsetzung vor:

1. in der Mischstufe
Oszillator – Empfangs-Tonträger = Ton-Zf (33,4 MHz)
2. in der Demodulationsdiode
Bild-Zf-Trägerfrequenz – Ton-Zf-Trägerfrequenz = 2 · Ton-Zf
38,9 MHz – 33,4 MHz = 5,5 MHz.

Dieses Verfahren ist insbesondere dann ohne weiteres einzusehen, wenn man den Bild-Zf-Träger sich unmoduliert vorstellt. Dann ist der Vergleich zur ersten Frequenzumsetzung einfach, d. h. die Bild-Zf-Trägerfrequenz fungiert als Oszillatorfrequenz. – Die zweite Zwischenfrequenz von 5,5 MHz wird vielfach auch mit $Df = \text{Differenzfrequenz}$ abgekürzt.

Bedingungen für das Zwischenträger-Verfahren

Die Oszillator-Amplitude (Bild-Zf-Träger) muß stets größer als die des umzusetzenden Trägers sein. Das ist bei der Durchlaßkurve des Zf-Verstärkers (Bild 12) zu berücksichtigen. Die bei 33,4 MHz liegende Treppe ($\approx 5\%$ des Bild-Zf-Trägers) schafft dieses notwendige Amplitudenverhältnis zwischen Bild-Zf- und Ton-Zf-Träger.

Im Sender darf der Bildträger minimal nur auf 10 % abfallen, denn für die zweite Umsetzung muß stets eine Mindestträgerspannung, also ein Restträger vorhanden sein.

Bei der Modulation des Bildträgers soll nach Möglichkeit nur eine Amplitudenmodulation, aber keine Frequenzmodulation entstehen, denn die für den Begleitton unerwünschte Amplitudenmodulation des Bildträgers ist zwar durch Begrenzung wegzubringen, nicht aber eine gleichzeitig mit vorhandene Frequenzmodulation. Beim Sender muß darauf geachtet werden, daß der genormte Frequenzabstand 5,5 MHz zwischen Bild- und Ton-Sender eingehalten wird.

Vorteil des Zwischenträger-Verfahrens

Ersparnis im Empfänger, ferner eine im Verhältnis zum Parallelton-Verfahren breite Abstimmung. Bei dem letzteren Verfahren muß die Oszillatorfrequenz so genau eingestellt werden, daß die Ton-Zwischenfrequenz in der Mitte der Durchlaßkurve liegt. Nun beträgt jedoch der Frequenzhub für den Begleitton nur ± 50 kHz. Es wird also eine hohe Einstellungsgenauigkeit und Oszillatorstabilität, vor allem in den Bändern IV und V verlangt (Abweichung maximal etwa 20 kHz), oder es sind breitbandige und damit aufwendige Zf-Stufen vorzusehen.

Dagegen ist es beim Zwischenträger-Verfahren nur notwendig, so abzustimmen, daß der Bild-Zf-Träger in der Mitte der Nyquistflanke liegt (Abweichung maximal etwa 300 kHz).

7 Die Negativ-Modulation

Der Sender wird durch das Video-Signal so moduliert, wie es Bild 16 zeigt. Die größte Hochfrequenzamplitude wird in den Impulspitzen der Gleichlaufzeichen, die kleinste bei einem Weißpunkt ausgestrahlt.

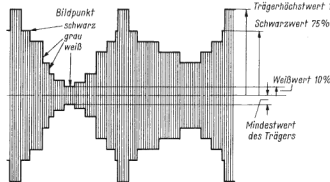


Bild 16. Negativ-Modulation

Die Hochfrequenzamplitude ist also bei einem dunklen Bildpunkt größer als bei einem hellen. Deshalb spricht man von Negativ-Modulation.

Das Verfahren wurde gewählt, weil es verschiedene Vorteile bietet:

Man kann zum Regeln der Verstärkung des Empfängers als Bezugspunkt die Impulspitzen der Gleichlaufzeichen nehmen, denn in diesen Zeiten wird der Sender immer voll ausgelastet, die aus ihnen abgeleitete Spannung ist also völlig unabhängig von der unterschiedlichen Modulation durch die Bildhelligkeitswerte (helles Bild \rightarrow kleine Senderaussteuerung, dunkles Bild \rightarrow starke Senderaussteuerung).

Störimpulse machen sich bei Positiv-Modulation als helle, weiße Punkte, bei Negativ-Modulation als dunkle Punkte bemerkbar, stören also im letzteren Fall weniger. In den seltenen Fällen der Trägerlöschung werden die Punkte dann höchstens 10 % heller als der Weißwert.

Literatur

- Marcus, P.: Kleine Fernsehempfangs-Praxis. Radio-Praktiker-Bücherei Band 52/54, Franzis-Verlag München.
- Bergtold, F.: Die große Fernseh-Fibel, Teil I. Jakob Schneider Verlag, Berlin-Tempelhof.