



**Heinrich-Hertz-Institut
für Nachrichtentechnik
Berlin GmbH**

TECHNISCHER BERICHT NR. 217

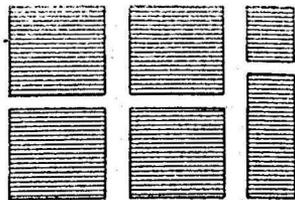
MESSUNGEN

AN EINER ANALOGEN, OPTISCHEN
BREITBAND-ÜBERTRAGUNGSSTRECKE

von

Dipl.-Ing. Helmut Bünning

Oktober 1982



TECHNISCHER BERICHT NR. 217
MESSUNGEN
AN EINER ANALOGEN, OPTISCHEN
BREITBAND-ÜBERTRAGUNGSSTRECKE
von

Dipl.-Ing. Helmut Bünning
Oktober 1982



Messungen an einer analogen, optischen
Breitband-Übertragungsstrecke

Inhaltsangabe:

Im Heinrich-Hertz-Institut in Berlin wurde ein komplexes Experimentalsystem ("Breitbandkommunikation mit optischen Kanälen") aufgebaut, an dem u.a. Fragen im Hinblick auf die optische Teilnehmeranschlußleitung in einem diensteintegrierten Breitbandnetz untersucht werden sollten.

Hierzu wurde neben digitalen, optischen Teilnehmeranschlüssen auch ein analoger, optischer Teilnehmeranschluß realisiert, der schwerpunktmäßig untersucht wurde.

Um eine Aussage über die Qualität einer solchen analogen, breitbandigen, optischen Teilnehmeranschlußleitung machen zu können, wurden umfangreiche Messungen der Störspannungsabstände im Bild- und Tonkanal, des Kreuzmodulationsabstandes im Frequenzbereich der Bildkanäle und der Klirr- und Übersprechdämpfung im UKW-Tonkanal durchgeführt, die Gegenstand dieses Berichtes sind.

Bearbeiter



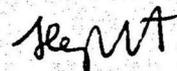
(Dipl.-Ing. Helmut Bünning)

Wiss.-techn. Geschäftsführer



(Prof. Dr. C. Baack)

Abteilungsleiter



(G. Heydt)

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
1. Ziel der Untersuchungen	4
2. Beschreibung des Meßobjektes	5
2.1 Optischer Sender	5
2.2 Lichtwellenleiter	6
2.3 Optischer Empfänger	6
3. Festlegung der Betriebspegel	6
3.1 Betriebsbedingungen	8
4. Festlegung des Meßumfangs	8
4.1 Meßgrößen für die Bildgüte	8
4.2 Meßgrößen für die Tongüte	9
5. Meßgrößendefinitionen, Meßverfahren und Meßergebnisse	10
5.1 Videostörspannungsabstand im demodulierten Bildkanal	10
5.1.1 Definition der Meßgröße	10
5.1.2 Beschreibung des Meßverfahrens	10
5.1.3 Meßergebnisse (Meßkanal S22)	12
5.2 Geräuschspannungsabstand im demodulierten TV-Ton- und UKW-Tonkanal	15
5.2.1 Definition der Meßgröße	15
5.2.2 Beschreibung des Meßverfahrens zur Messung des TV-Ton-Geräuschspannungsabstandes	15

5.2.3	Meßergebnisse	16
5.2.4	Beschreibung des Meßverfahrens zur Messung des UKW-Ton-Geräuschspannungsabstandes	17
5.2.5	Meßergebnisse	17
5.3	Klirrdämpfung im demodulierten UKW-Tonkanal (nichtlineare Verzerrungen)	19
5.3.1	Definition der Meßgröße	19
5.3.2	Beschreibung des Meßverfahrens	19
5.3.3	Meßergebnisse	20
5.4	Übersprechdämpfung im demodulierten UKW-Tonkanal (lineare Verzerrung)	20
5.4.1	Definition der Meßgröße	20
5.4.2	Beschreibung des Meßverfahrens	20
5.4.3	Meßergebnisse	21
5.5	Kreuzmodulationsabstand im Frequenzbereich der Bildkanäle (Dreimeßsenderverfahren nach DIN)	21
5.5.1	Definition der Meßgröße	21
5.5.2	Beschreibung des Meßverfahrens	22
5.5.3	Meßergebnisse	22
5.6	Kreuzmodulationsabstand in den demodulierten TV-Kanälen ("Block-cross"-Verfahren)	24
5.6.1	Definition der Meßgröße	24
5.6.2	Beschreibung des Meßverfahrens	24
5.6.3	Meßergebnisse	25
6.	Zusammenfassung der Meßergebnisse und abschließende Beurteilung	27
7.	Literaturverzeichnis	30

Abkürzungsverzeichnis

a_k	Klirrdämpfung
AM	Amplitudenmodulation
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
bew.	bewertet
BiF	Bildfernsehen
BIGFON	Breitbandiges integriertes Glasfaser Fernmelde- ortsnetz
BT	Bildträger
CCIR	Comité Consultatif International des Radiocommunications
Δf	Frequenzdifferenz
dBm	absoluter Pegel in Dezibel (HF: 1 mW an 50 Ω , NF: 1 mW an 600 Ω)
DBP	Deutsche Bundespost
Demod.	Demodulator
DIN	Deutsche Industrie Norm
Doc.	Document
f_G	Frequenz der Grundwelle
f_m	Mittelfrequenz
FM	Frequenzmodulation
FTZ	Fernmeldetechnisches Zentralamt
Gen.	Generator
GSA	Geräuschspannungsabstand
HF	Hochfrequenz
HHI	Heinrich-Hertz-Institut
HP	Hewlett & Packard
IM	Intensitätsmodulation
k	Klirrfaktor
K	Kanal
KMA	Kreuzmodulationsabstand
KTV	Kabelfernsehen
L	Linkssignal
LWL	Lichtwellenleiter
M	Mitten- bzw. Monosignal
Mod.	Modulator
MPX	Multiplex

NF	Niederfrequenz
PFM	Pulsfrequenzmodulation
PIN	Positive Intrinsic Negative
PPM	Pulsphasenmodulation
Q_{Sp}	Quasispitzenwert
R	Rechts-Signal
Rec.	Recommendation (Empfehlung)
R & S	Rohde & Schwarz
S	Seitensignal
$S_{u,o}$	unterer bzw. oberer Sonderkanal
TDM	Time Division Multiplex
TT	Tonträger
TV	Television
$U_{bew.}$	bewertete Meßspannung, d.h. mit Bewertungskurve gemessen
U_{eff}	Effektivwert der Meßspannung
U_{QSp}	Quasispitzenwert der Meßspannung (gemäß CCIR-Rec.468-2)
UKW	Ultrakurzwelle
VF	Videofrequenz
VHF	Very High Frequency
VSA	Videostörspannungsabstand
ZF	Zwischenfrequenz

Abbildungsverzeichnis

- Bild 1 Zentrale und Teilnehmer mit optischer Teilnehmer-
anschlußleitung
- Bild 2 Frequenzbandbelegung der optischen Breitband-
Übertragungsstrecke
- Bild 3 Frequenzbandbelegung und Vergleich mit dem Frequenz-
belegungsplan im nationalen KTV-Netz
- Bild 4 Meßaufbau, Videostörspannungsabstand im Bildkanal
- Bild 5 Videostörspannungsabstand in S22 als Funktion des
unmodulierten Bildträgerpegels am Ausgang des
optischen Empfängers
- Bild 6 Meßaufbau, Geräuschspannungsabstand im TV-Ton-
bzw. UKW-Tonkanal
- Bild 7 Geräuschspannungsabstand als Funktion des unmodu-
lierten TV-Tonträgerpegels am Ausgang des optischen
Empfängers
- Bild 8 Geräuschspannungsabstand als Funktion des unmodu-
lierten UKW-Tonträgerpegels am Ausgang des optischen
Empfängers
- Bild 9 Meßaufbau, Klirrdämpfung - Übersprechdämpfung im
UKW-Tonkanal
- Bild 10 Übersprechdämpfung als Funktion der Frequenz
(mit und ohne Meßobjekt)
- Bild 11 Meßaufbau, Kreuzmodulationsabstand nach DIN 45004B
(Dreimeßsenderverfahren)
- Bild 12 Meßaufbau, Kreuzmodulationsabstand nach dem
"Block-cross"-Verfahren

Tabelle 1 Zusammenstellung der Meßergebnisse

Verteildienste: 3 Farb-TV Kanäle mit Ton (K3, K4, S 21)
4 UKW-Kanäle für Hörfunk

Vergleicht man diese Belegung mit dem Frequenzplan für das nationale KTV-Netz, so zeigt sich, daß die Kanäle K3 und K4 im Band I, S 21 und S 22 oberhalb dieses Bandes und die UKW-Tonkanäle im Band II liegen (Bild 3).

Die UKW-Tonträger sind frequenzmoduliert. Die TV-Signale entsprechen der CCIR-Norm 11/1005 E (1978), Standard B (negative Restseitenband-AM des Bildträgers, Frequenzmodulation des Tonträgers).

Das generelle Ziel bei der Untersuchung dieses Teilnetzes bestand darin, die Qualität dieses analogen, diensteintegrierten Breitband-Systems mit optischer Übertragung - als Vergleich zum digitalen Teilsystem - zu ermitteln.

Aufgrund der Tatsache, daß die verwendeten Systemkomponenten entweder kommerzielle Anlagen sind (z.B. Nebenstellenanlagen) bzw. Neuentwicklungen, die bereits hinreichend meßtechnisch erfaßt sind und die Studioqualität aufweisen (z.B. Verteil-koppelfeld), konzentrierten sich die Untersuchungen auf die analoge optische, breitbandige Teilnehmeranschlußleitung, die letztlich die Qualität des gesamten Analogsystems bestimmt.

2. Beschreibung des Meßobjektes

Die optische Breitband-Übertragungstrecke besteht aus drei Komponenten

- dem optischen Sender
- dem Lichtwellenleiter und
- dem optischen Empfänger.

2.1 Optischer Sender

Im optischen Sender wird das in Bild 2 gezeigte analoge Summensignal mit Hilfe eines V-Nut-Lasers (CWL 2500) in

intensitätsmoduliertes Licht mit einer Wellenlänge von ca. 840 nm umgewandelt. Der optische Sender enthält zwei Regelkreise. Mit dem einen wird die durch Temperatur und Alterung sich ändernde Gleichlichtleistung durch Regelung des Laser-
vorstroms konstant gehalten. Mit dem anderen Regelkreis wird eine Langzeitänderung der Laserkennliniensteilheit und damit der Wechsellichtleistung ausgeglichen.

2.2 Lichtwellenleiter

Der Lichtwellenleiter ist 1,5 km lang und enthält einen Spleiß bei 1140 m. Er ist mit dämpfungsarmen Steckverbindungen ausgerüstet und weist insgesamt eine Dämpfung von 7,3 dB auf. Der Kern hat einen Durchmesser von 50 µm. Der Brechungsindex weist ein Gradientenprofil auf.

2.3 Optischer Empfänger

Im optischen Empfänger wird das intensitätsmodulierte Licht mit einer PIN-Fotodiode in ein elektrisches Signal umgewandelt. Es folgen ein rauscharmer, temperaturkompensierter Vorverstärker und ein hochlinearer Hauptverstärker.

3. Festlegung der Betriebspegel

Gemäß Spezifikation des Herstellers ist die Breitband-Übertragungsstrecke für 2 TV-(Kanalpegel: - 37 dBm) und 2 UKW-Kanäle (Kanalpegel: -41 dBm) vorgesehen (Bandbreite: 5 - 100 MHz). Diese Kanalbelegung kommt im Feldversuch in Berlin-Wilmersdorf zur Anwendung /1/. Bei dieser Belegung können die Anforderungen der FTZ-Vorschrift "Bezugskette für die Übertragung von Ton- und Fernsichtfunksignalen im nationalen KTV-Netz" (FTZ 151 R 8, Juni 1979) für die Netzebenen 3 und 4 (Ortsnetzebene) gemäß Hersteller erfüllt werden.

Da gemäß HHI-Forderung vier TV- und 6 UKW-Kanäle im Frequenzmultiplex über diese Strecke übertragen werden sollen, müssen die Kanalpegel gegenüber dem o.g. Fall soweit abgesenkt werden, daß die vom Hersteller geforderte maximal zulässige Senderaussteuerung von 30 mV (Spitze-Spitze-Wert) nicht überschritten wird. Durch die Reduzierung der Kanalpegel verschlechtern sich u.a. der für die Bildgüte maßgebende Videostörspannungsabstand und der die UKW-Tonqualität bestimmende Geräuschspannungsabstand. Da die Übertragungsqualität der optischen Breitband-Übertragungsstrecke wesentlich durch diese beiden Gütekriterien bestimmt wird, werden diese der Dimensionierung der TV- bzw. UKW-Kanalpegel zugrunde gelegt. Wird weiterhin davon ausgegangen, daß die optische Breitband-Übertragungsstrecke in der Ortsnetzebene des KTV-Netzes der DBP zum Einsatz kommt, so kann das o.g. FTZ-Pflichtenheft zur Ermittlung der zulässigen Störabstandsgrenzwerte (für die Ortsabschnitte 1 und 2) herangezogen werden.

Für die Fernsehbild- bzw. UKW-Tonsignale gelten:

Videostörspannungsabstand > 49 dB (Effektivwert mit Bewertung)
Geräuschspannungsabstand > 52 dB (Quasispitzenwert mit Bewertung)

Die Kanalpegel werden nun so festgelegt, daß die Meßwerte von den Pflichtwerten etwa den gleichen Abstand aufweisen und gleichzeitig der zulässige Spitze-Spitze-Wert des Summensignals (30 mV) nicht überschritten wird. Hieraus ergeben sich für den

Bildträgerpegel: - 41 dBm (Restseitenband-AM)
UKW-Tonträgerpegel: - 44 dBm (FM)

Zur Verbesserung der Störabstände wird das in /2/ und /3/ beschriebene Verfahren der Bildträger-Verkopplung mit Phasenwinkeloptimierung (TV-Sendestation) eingesetzt.

3.1 Betriebsbedingungen

Die Betriebsbedingungen der optischen Breitband-Übertragungstrecke können nun wie folgt festgelegt werden:

- Vollbelegung des verfügbaren Frequenzbandes mit vier phasenstarr verkoppelten Bildträgern mit den dazugehörigen frequenzmodulierten TV-Tonträgern und 6 freilaufenden frequenzmodulierten UKW-Tonträgern (Pegel s.o.)
- Vollaussteuerung des optischen Senders mit einem Summensignal von 30 mV (Spitze-Spitze-Wert)
- Betriebstemperatur: 20,0°C am Laserkühlblech, geregelt.

4. Festlegung des Meßumfangs

Angestrebt wird eine möglichst störungsfreie Übertragung der Dienste zum Teilnehmer. Bei der Übertragung der Bild- und Tonsignale über die Breitband-Übertragungstrecke kann es zu Bild- und Tonstörungen durch Rauschen, lineare und nicht-lineare Verzerrungen kommen.

4.1 Meßgrößen für die Bildgüte

Die in Fernseh Bildern durch Übertragungsfehler verursachten Bildstörungen können wie folgt charakterisiert werden:

- Griß bzw. Schnee (Ursache: weißes Rauschen)
- dunklere, bewegte Streifenmuster (Ursache: Intermodulation der Bildträger, niederfrequentes Rauschen)
- Übernahme der Bildmodulation von den Nachbarkanälen, Scheibenwischereffekt (Ursache: Kreuzmodulation).

Um die durch die Intermodulationsprodukte der Bildträger verursachten Bildstörungen a priori auszuschließen, wurde ein Frequenzband für die Übertragung der Dienste von der Zentrale zum Teilnehmer festgelegt, das nur den Bereich einer Oktave (55 - 110 MHz) umfaßt. Durch diese Maßnahme fallen die durch

die optische Breitband-Übertragungstrecke verursachten Intermodulationsprodukte (nichtlineare Verzerrungen 2. Ordnung) nicht in das gewählte Frequenzband.

Die durch das Rauschen und die Kreuzmodulation bestimmte Bildgüte kann durch die folgenden physikalischen Größen beschrieben werden:

- Videostörspannungsabstand (Effektivwert mit Rauschbewertungsfilter) des demodulierten Bildsignals (Schwarzpegel)
- Kreuzmodulationsabstand im HF-Band nach DIN 45 004 B bzw. im Bildbereich des demodulierten Videosignals (Grauepegel) nach dem "Block-cross"-Verfahren.

4.2 Meßgrößen für die Tongüte

Die gehörmäßige Störwirksamkeit von Fremdspannungen im demodulierten TV-Ton- bzw. UKW-Tonsignal wird physikalisch durch den

- Geräuschspannungsabstand (Quasispitzenwert mit Bewertung)

beschrieben.

Die ebenfalls gemessene

- Klirrdämpfung im UKW-Tonkanal

ist ein Maß für nichtlineare Verzerrungen des NF-Signals, die dieses auf dem Übertragungsweg erfährt.

Das Übersprechen vom einen auf den anderen Kanal des Stereomultiplex-Signals ist eine Folge linearer Verzerrungen auf dem Übertragungsweg. Gemessen wird die

- Übersprechdämpfung im demodulierten UKW-Tonkanal.

Zur Beschreibung der Güte der Übertragungstrecke reicht es allerdings nicht aus, die Werte für die vorgenannten Gütekriterien zu ermitteln.

Zusätzlich muß eine Aussage über die S t a b i l i t ä t dieser Werte über der Z e i t und über der T e m p e r a t u r gemacht werden.

5. Meßgrößendefinitionen, Meßverfahren und Meßergebnisse

Bei den Messungen (zu 5.1 und 5.2) gelten prinzipiell die folgenden M e ß b e d i n g u n g e n:

- Vollbelegung mit phasenstarrer Verkopplung der Bildträger
- Vollaussteuerung des optischen Senders
- Bildinhalt der vier TV-Kanäle: Schwarzpegel
- TV- und UKW-Tonträger: frequenzmoduliert.

Die Ermittlung der aussteuerungsabhängigen Störabstände erfolgte stets durch die schrittweise Änderung des gesamten Summensignals am Eingang des optischen Senders.

5.1 Videostörspannungsabstand im demodulierten Bildkanal

5.1.1 Definition der Meßgröße:

$$\text{VSA} = 20 \log \left(\frac{U_{\text{eff,bew}}}{700 \text{ mV}} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

Gemessen wird der echte Effektivwert der Störspannung im Bildbereich des Videosignals bei einer Bandbreite von 5 MHz. Ein zusätzliches Rauschbewertungsfilter (CCIR Rec. 421-2) gewichtet die Störspannung derart, daß der Meßwert als Maß für die visuelle Störwirkung der durch die Störspannung verursachten Bildstörungen benutzt werden kann. Als Bezugswert dient der Aussteuerbereich des Bildsignals (700 mV, Meßgerät: UPSF v.R&S).

5.1.2 Beschreibung des Meßverfahrens

Zur Messung des Videostörspannungsabstandes wurde ein Meßaufbau gemäß Bild 4 gewählt.

Die TV-Sendestation erzeugt vier TV-Kanäle (K3, K4, S 21, S 22) mit je einem Bild- und einem Tonträger. Die Bildträger werden extern mit dem Bildinhalt "Schwarz" moduliert (Einstellung von $m = 100\%$ bei "Weiß", Modulationsart: A 5 C). Die Tonträger sind intern mit einem 1 kHz-Ton bei einem Frequenzhub von ± 50 kHz moduliert. Die vier TV-Signale werden noch durch sechs frequenzmodulierte Tonträger im UKW-Bereich (Band II) ergänzt und als Summensignal über die optische Breitband-Übertragungsstrecke zum TV-Überwachungsempfänger (EKF 2, R&S) übertragen. Da dieser beim vorliegenden Mehrkanalbetrieb im Eingangsmischer störende Modulationsprodukte erzeugt, mußte dem EKF 2 ein Bandpaßfilter ($\Delta f = 8$ MHz) vorgeschaltet werden. Für die zu messenden vier TV-Kanäle (55,25 bis 81,75 MHz) stand im Haus kein durchstimmbares Filter zur Verfügung, so daß eine Umsetzung der TV-Kanäle in einen höher gelegenen Frequenzbereich erforderlich wurde (Zwischenfrequenz = 273,25 MHz, Kanal S 17). Nach der Umsetzung auf den Kanal S 17 und der Filterung wird das zu messende TV-Band im EKF 2 in die ZF-Lage (Bildträger bei 38,9 MHz, Kehrlage) umgesetzt und demoduliert (Synchronodemodulation). Das Videosignal wird dem Videostörspannungsmesser (UPSF, R&S) zugeführt, der die Vertikal- und Horizontal-Synchronimpulse austastet. Die in den Austastlücken fehlende Störspannung wird bei der Anzeige berücksichtigt.

Als Meßkanal wurde der oberste TV-Kanal S 22 (Bildträger: 76,25 MHz) festgelegt, da dieser wegen des mit 0,05 dB/MHz ansteigenden Eigenrauschens der Breitband-Übertragungsstrecke den schlechtesten Videostörspannungsabstand aufweist. Der Bildinhalt "Schwarz" wurde gewählt, da hierbei wegen der Bild-Negativ-Modulation (Standard B,G gemäß CCIR Doc. 11/1005-E) maximale Kreuzmodulationsprodukte auftreten, die bei steigender Aussteuerung zunehmend den Videostörspannungsabstand (nach dem 2:1-Gesetz) verschlechtern.

Da der Videostörspannungsabstand des Meßaufbaus (Kurzschlußmessung) im ungünstigsten Fall um nur 8 dB höher als der des Meßaufbaus mit optischer Breitband-Übertragungsstrecke lag, mußte der Videostörspannungsabstand der Breitband-Übertragungsstrecke mit Hilfe einer Korrekturrechnung auf der

Grundlage der leistungsmäßigen Addition von Rauschspannungen ermittelt werden:

$$VSA_{\text{Ü}} = 10 \log \left(10^{\frac{VSA_{M+Ü}}{10}} - 10^{\frac{VSA_M}{10}} \right) \quad (2)$$

$VSA_{\text{Ü}}$ = Videostörspannungsabstand der Breitband-Übertragungsstrecke

$VSA_{M+Ü}$ = Videostörspannungsabstand des Meßaufbaus und der optischen Breitband-Übertragungsstrecke

VSA_M = Videostörspannungsabstand des Meßaufbaus ohne Breitband-Übertragungsstrecke

5.1.3 Meßergebnisse (Meßkanal S22)

- Abhängigkeit des Videostörspannungsabstandes von der
A u s s t e u e r u n g des optischen Senders

Bei geringer Aussteuerung des optischen Senders steigt der Videostörspannungsabstand mit steigender Aussteuerung (d.h. steigendem Bildträger-Pegel) nach dem 1:1-Gesetz für (bandbegrenztes) weißes Rauschen an, d.h. 1 dB Aussteuerungszunahme verursacht 1 dB Videostörspannungsabstands-Vergrößerung (s. Bild 5). Erst im Bereich der Vollaussteuerung zeigt sich der zunehmende Einfluß der Kreuzmodulationsprodukte (nicht-lineare Verzerrungen 3. Ordnung), die den Videostörspannungsabstand bei steigender Aussteuerung nach dem 2:1-Gesetz verringern. Die oberhalb von -21 dBm beginnende Abweichung der Videostörspannungsabstands-Kurve vom 1:1-Verlauf läßt sich nicht allein auf die Kreuzmodulationsprodukte zurückführen. Gemäß /8/ besteht Anlaß zu der Annahme, daß sich hier das aussteuerungsabhängige Eigenrauschen des V-Nut-Lasers (Gain Guided Laser), mit einem Rausch-Maximum im Laser-Kennlinienknick, auswirkt.

Bei Vollaussteuerung ergaben sich die folgenden Videostörspannungsabstände im "schlechtesten" (S 22) bzw. "besten" (K 3) TV-Kanal:

$$VSA_{\text{eff,bew}} = -45,4 \text{ dB}$$

$$VSA_{\text{eff,bew}} = -46,5 \text{ dB}$$

Für die mit /1/ vergleichbare Belegung mit 2 TV- und 2 UKW-Kanälen ergab sich bei Vollaussteuerung:

$$VSA_{\text{eff,bew}} = -49,5 \text{ dB} \quad (\text{FTZ-Pflichtwert: } <-49 \text{ dB})$$

- Abhängigkeit von der F r e q u e n z

Im Frequenzband der Breitband-Übertragungsstrecke fällt der Videostörspannungsabstand mit 0,05 dB/MHz ab. Die Vorgabe, die vier TV-Kanäle im "unteren Teil" des Frequenzbandes anzuordnen, hat sich im Hinblick auf einen möglichst großen Videostörspannungsabstand als richtig herausgestellt.

- Abhängigkeit von der B i l d t r ä g e r v e r k o p p l u n g
mit Optimierung der relativen Bildträger-Phasenwinkel

Der Vorteil, die Intermodulationsprodukte (2.Ordnung) durch die Bildträgerverkopplung störungswirksam zu machen, kann hier nicht genutzt werden, da das Frequenzband nur den Bereich einer Oktave umfaßt. Demgegenüber bewirkt die Phasenwinkel-Optimierung der verkoppelten Bildträger eine Minimierung der Hüllkurve des Summensignals. Bei einer Frequenzbandbelegung mit nur vier TV-Kanälen ergibt sich gegenüber dem Fall mit unverkoppelten Bildträgern eine Absenkung des Summensignals um 3 dB. Die hiermit gewonnene Aussteuerungsreserve des optischen Senders (maximal $30 \text{ mV}_{\text{SS}}$) wird jedoch dann z.T. aufgehoben, wenn freilaufende UKW-Träger ins Spektrum aufgenommen werden. In diesem Fall verursacht die o.g. Optimierung nur noch eine Absenkung des Summensignals von ca. 2 dB gegenüber dem Fall unverkoppelter Bildträger. Wird nun das Summensignal um diesen Betrag angehoben, so beträgt der Gewinn an Videostörspannungsabstand nur ca. 1,5 dB, da die durch die Anhebung der Bildträger zunehmenden Kreuzmodulationsprodukte der Verbesserung des Störabstandes durch den nach dem 1:1-Gesetz ansteigenden Rauschabstand entgegenwirken. Die BT-Verkopplung ist demzufolge wenig nutzbringend, wenn zusätzlich zu den verkopplungsfähigen Bildträgern (AM) nicht verkopplungsfähige, frequenzmodulierte UKW-Träger mit ähnlich hohen Kanalpegeln übertragen werden.

- Abhängigkeit von der Z e i t

Bei geregelter Laser-Kühlblechtemperatur wurde der Videostörspannungsabstand über 14 Tage in zeitlich statistischer Folge gemessen. Eine Änderung der Werte in eine bestimmte Richtung (Drift) war nicht zu erkennen. Alle Werte lagen innerhalb einer Spannweite von $\pm 0,7$ dB bei einer Standardabweichung von $\pm 0,3$ dB bzw. $\pm 0,7\%$ vom Mittelwert.

Trotz des festgelegten Lichtwellenleiters konnten kurzzeitige (im Minutenbereich), unregelmäßige Änderungen des Videostörspannungsabstandes um $\pm 0,3$ dB beobachtet werden, die möglicherweise auf "modal noise" zurückzuführen sind.

- Abhängigkeit von der T e m p e r a t u r

Die Untersuchung der Temperaturabhängigkeit der physikalischen Parameter der optischen Breitband-Übertragungsstrecke fußt auf der Annahme, daß die V-Nut-Laserdiode im optischen Sender als temperaturkritisches Element anzusehen ist. Diese wurde deshalb über den von außen zugänglichen Kühlkörper mit Hilfe eines Peltier-Elementes und der dazugehörigen Regelung auf $0,1^\circ\text{C}$ genau auf einstellbaren Temperaturen fixiert. Die Raumtemperatur lag während der Messungen zwischen $+ 20$ und $+ 25^\circ\text{C}$.

Die im Temperaturbereich von $+15$ bis $+35^\circ\text{C}$ im Abstand von jeweils 5°C gemessenen Videostörspannungsabstände ließen auf keine eindeutige Temperaturabhängigkeit schließen. Die Einzelwerte lagen innerhalb einer Spannweite von $\pm 0,5$ dB, die bereits in einem vergleichbaren Meßzeitraum in Abhängigkeit von der Zeit ohne Temperaturänderung festgestellt worden sind.

- Abhängigkeit von der m e c h a n i s c h e n B e a n -
s p r u c h u n g des Lichtwellenleiters

Die bisherigen Messungen wurden bei festgelegtem Lichtwellenleiter durchgeführt. Bewegt man jedoch den Lichtwellenleiter insbesondere in der Nähe des Senderausgangs, so ergeben sich Änderungen des Videostörspannungsabstandes von ca. $\pm 0,3$ dB (modal noise).

5.2 Geräuschspannungsabstand im demodulierten TV-Ton- und UKW-Tonkanal

5.2.1 Definition der Meßgröße

$$\text{GSA} = 20 \log \left(\frac{U_{\text{QSp, bew}}}{775 \text{ mV}} \right) - 6 \text{ dB} \quad (3)$$

Der Geräuschspannungsabstand ist ein Maß für die gehörmäßige Störwirkung von Störspannungen im Ton-Kanal. Die physikalische Bewertung der Lästigkeit impulsartiger Störspannungen erfolgt mit Hilfe der Art der Gleichrichtung (Quasispitzenwert) und einer Bewertungskurve gemäß CCIR-Rec. 468-2. Der Quasispitzenwert hängt von der Dauer der Störimpulse ab. Bei Sinus-Signalen entspricht er dem Effektivwert und bei weißem Rauschen einem um 4 dB höheren Wert. Gemessen wird im 15 kHz breiten Tonkanal in der NF-Lage (mit Pre- und Deemphasis).

Der mit dem Geräuschspannungsmesser (UPGR von R&S) ermittelte Geräuschspannungspegel ist auf 775 mV (= 0 dBm) bezogen. Gemäß ARD-Pflichtenheft Nr. 5/3.5, S. 3 (Stereo-Ballempfänger für das Pilotton-Verfahren) liefert der Empfänger bei einem Normalprüfhub von ± 40 kHz ein Tonsignal von +6 dBm. Da der Geräuschspannungsabstand auf den Tonsignalpegel zu beziehen ist, ergibt sich hier in (3) eine Korrektur von 6 dB.

5.2.2 Beschreibung des Meßverfahrens zur Messung des TV-Ton-Geräuschspannungsabstandes

Den Meßaufbau zeigt Bild 6.

Der EKF 2 (TV-Überwachungsempfänger) ist für die Messung des Geräuschspannungsabstandes wegen des zu geringen Eigenstörabstandes im Ton-Kanal nicht geeignet. Deshalb wurde der höherwertige VHF-FM-Ballempfänger EU 200 (R&S) eingesetzt (Paralleltonempfang). Da der TV-Tonträger des TV-Kanals S 22 (81,75 MHz) unterhalb des vom EU 200 zu empfangenen Frequenzbandes (Band II) liegt, mußte eine Umsetzung mittels Mischer (ZAD1, Mini Circuit Lab.) auf 105,10 MHz erfolgen. Der vorgeschaltete Tiefpaß (TPW 1154, 110 MHz, Telemeter Electronic) unterdrückt Verzerrungsprodukte und Rauschen oberhalb des genutzten Meßobjekt-Frequenzbandes, um eine Abwärtsmischung ins Meßband (105,10 MHz) zu vermeiden.

Der Ballempfänger liefert am Mono-Ausgang (mit Deemphasis) die Fremdspannung im Meßkanal, die anschließend mit dem NF-Geräuschspannungsmesser (UPGR, R & S) erfaßt wird.

Vor der Messung erfolgte die Justierung des Übertragungsweges mit einem 1 kHz-Ton auf einen Mono-Ausgangspegel von + 6 dBm bei einem Frequenzhub der TV-Tonträgerfrequenz von \pm 40 kHz.

5.2.3 Meßergebnisse

Die Kurzschlußmessung lieferte im ungünstigsten Fall um 6 dB bessere Störabstände als der Meßaufbau mit Meßobjekt, so daß Korrekturen der Meßwerte mit Hilfe der Formel (2) erforderlich waren.

- Abhängigkeit von der A u s s t e u e r u n g

Die Kurve gemäß Bild 7 zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die des Videostörspannungsabstandes. Die Geräuschspannungsabstandswerte sind im Gegensatz zu den Videostörspannungsabstandswerten ($\Delta f = 5$ MHz) auf die Ton-Kanalbreite von 15 kHz bezogen. Bei Vollaussteuerung wird der folgende Wert erreicht:

$$\text{GSA}_{\text{QSp,bew}} = - 58,1 \text{ dB (FTZ-Pflichtwert: } < -60 \text{ dB für das Paralleltonverfahren)}$$

Im Bereich unterhalb der Vollaussteuerung des optischen Senders nimmt der Geräuschspannungsabstand mit steigender Aussteuerung nach dem 1 : 1-Gesetz zu. Dieser stetige Anstieg ist auf das Eigenrauschen des Meßobjektes zurückzuführen. Bei Übersteuerung fällt der Geräuschspannungsabstand wegen der zunehmend in den Tonkanal fallenden Kreuzmodulationsprodukte (nichtlineare Verzerrungen 3. Ordnung) nach dem 2 : 1-Gesetz ab.

Angaben über die Zeit- und Temperaturabhängigkeit des Geräuschspannungsabstandes werden aus den Messungen im UKW-Tonkanal abgeleitet.

5.2.4 Beschreibung des Meßverfahrens zur Messung des UKW-Ton-Geräuschspannungsabstandes

Der Meßaufbau kann dem Bild 6 entnommen werden.

Der Stereomeßcoder (MSC2, R&S) erzeugt das Stereomultiplexsignal (MPX, mit Preemphasis) das als Modulationssignal für den AM-FM-Meßsender (SMUV, R&S) dient. Dessen Trägerfrequenz (89,90 MHz) wird mit 500 Hz bei einem Frequenzhub von ± 40 kHz (zuzüglich $\pm 6,7$ kHz für den Pilotton) moduliert. Dieser UKW-Kanal wird zusammen mit den vier TV- und den restlichen fünf UKW-Kanälen über die optische Breitband-Übertragungstrecke zum Ballempfänger (EU 200, R&S) übertragen. In diesem wird der Meß-Tonträger auf 10,7 MHz umgesetzt und demoduliert. Am Ausgang steht das MPX-Signal zur Verfügung, das durch einen Stereomeßdecoder (MSDC2, R&S, mit Deemphasis) decodiert wird. Dieser liefert das Mittensignal ($\frac{L+R}{2}$), das Seitensignal ($\frac{L-R}{2}$) und die Stereokanäle L und R. Hier wurde mit dem Geräuschspannungsmesser (UPGR, R&S) an den Ausgängen ($\frac{L+R}{2}$) = Monosignal und L = Stereosignal gemessen. Das Nutzsignal (500 Hz) wurde vor der Messung auf + 6 dBm eingestellt. Der Geräuschspannungsabstand des Meßaufbaus allein (Kurzschlußmessung) lag im Stereokanal um mehr als 14 dB unter den Meßwerten mit optischer Breitband-Übertragungstrecke, so daß eine Meßwert-Korrektur nicht erforderlich war. Die im Monokanal ermittelten Meßwerte mußten wegen des geringeren Störabstandes des Meßaufbaus gemäß Formel (2) korrigiert werden.

5.2.5 Meßergebnisse

- Abhängigkeit von der A u s s t e u e r u n g

Bild 8 zeigt den Geräuschspannungsabstand als Funktion der Aussteuerung. Mit zunehmender Aussteuerung steigen die Geräuschspannungsabstände nach dem 1:1-Gesetz an. Der Geräuschspannungsabstand ist im Monokanal um ca. 20 dB größer als im Stereokanal. Das ist auf das spezielle Modulationsverfahren zur Erzeugung des Stereomultiplexsignals zurückzuführen.

Bei Vollaussteuerung werden die folgenden Geräuschspannungsabstände erreicht:

Mono-Kanal: GSA = -68,0 dB (FTZ-Pflichtwert: <-72 dB)
Stereo-Kanal: GSA = -48,9 dB (FTZ-Pflichtwert: <-52 dB)

Bei Übersteuerung des optischen Senders ist der zunehmende Einfluß der Störprodukte von 3. und höherer Ordnung auf den Geräuschspannungsabstand zu erkennen.

- Abhängigkeit von der Z e i t

Gleichermaßen wie bei den Messungen des Videostörspannungsabstands zeigten die im Zeitraum von 14 Tagen in statistischer Folge ermittelten Geräuschspannungsabstands-Werte bei konstanter Temperatur kein Driftverhalten. Alle Werte lagen im Mono-kanal innerhalb einer Spannweite von ± 1 dB bei einer Standardabweichung von $\pm 0,4$ dB (= 0,6% vom Mittelwert). Die entsprechenden Werte im Stereokanal lagen bei: $\pm 0,8$ dB (Spannweite) und $\pm 0,3$ dB (Standardabweichung) entsprechend 0,6% vom Mittelwert.

Wie beim Videostörspannungsabstand wurden auch hier kurzzeitige Änderungen des Geräuschspannungsabstands im Minutenbereich von $\pm 0,8$ dB im Stereokanal mit Hilfe eines schreibenden Meßgerätes (Pantagraph 2) festgestellt.

- Abhängigkeit von der T e m p e r a t u r

Die im Temperaturbereich von +15 bis +35°C im Abstand von 5°C gemessenen Einzelwerte weichen um geringere Beträge voneinander ab als die in Abhängigkeit von der Zeit bei konstanter Temperatur ermittelten Werte. Eine bedeutsame Temperaturabhängigkeit läßt sich also beim Geräuschspannungsabstand ebensowenig feststellen wie beim Videostörspannungsabstand.

5.3 Klirrdämpfung im demodulierten UKW-Tonkanal (nichtlineare Verzerrungen)

Da die optische Breitband-Übertragungsstrecke nur geringe Dämpfungs- und Gruppenlaufzeitverzerrungen im Übertragungskanal (Nennfrequenzhub: ± 40 kHz) aufweist, sind keine signifikanten Klirrverzerrungen zu erwarten. Diese Annahme wurde durch die wie folgt durchgeführte Kontrollmessung bestätigt.

5.3.1 Definition der Meßgröße

Die Klirrdämpfung a_k und der Klirrfaktor k sind wie folgt miteinander verknüpft:

$$a_k = 20 \log \frac{1}{k} \quad \text{dB} \quad (4)$$

Die Definition für den Klirrfaktor lautet:

$$k = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^m U_{n \text{ eff}}^2}{\sum_{n=1}^m U_{n \text{ eff}}^2}} \quad n = \text{Laufindex} \quad (5)$$

5.3.2 Beschreibung des Meßverfahrens

Die Messung der Klirrdämpfung wird gemäß DIN 45403, B1.2 (Klirrfaktorverfahren mit Eintonsignal) durchgeführt (Meßaufbau: Bild 9). Als Senderfrequenzen wurden 0,1, 1 und 5 kHz bei Vollaussteuerung bzw. + 3 dB Übersteuerung des Tonsignals gewählt. Der Stereomeßcoder (MSC2) erzeugt ein Mitten-(L=R) bzw. ein Seiten-Signal (L=-R), mit dem der Meßsender (89,9 MHz) bei einem Frequenzhub von ± 40 kHz bzw. ± 56 kHz moduliert wird. Das HF-Signal gelangt über das Meßobjekt zum Ballempfänger (EU 200), der ein MPX-Signal an den Stereomeßdecoder (MSDC2) abgibt. Der NF-Spektralanalysator (HP 3580A) erlaubt die Messung des Klirrspektrums am M- bzw. S-Ausgang des Decoders. Der Pegel der Grundwelle wird auf + 6 dBm (Nennpegel) und dann auf + 9 dBm (3 dB Übersteuerung), gemessen am Decoderausgang, eingestellt.

5.3.3 Meßergebnisse

Es zeigt sich, daß das Meßobjekt bei einem um 3 dB übersteuerten Tonkanal aufgrund der hier vorliegenden Frequenzmodulation keine im Klirrspektrum sichtbaren nichtlinearen Verzerrungen hervorruft. Die von der FTZ-Norm 151R8 geforderte Mindestsummenklirrdämpfung von 46 dB im Frequenzbereich von 0,1 - 2 kHz wird übertroffen. Die Klirrdämpfung des Meßaufbaus liegt bei > 50 dB ($f_G = 1$ kHz).

5.4 Übersprechdämpfung im demodulierten UKW-Tonkanal (lineare Verzerrung)

Durch die folgende Kontrollmessung konnte bestätigt werden, daß insbesondere wegen der geringen Gruppenlaufzeitverzerrungen im schmalen Übertragungskanal des Meßobjektes mit hohen Übersprechdämpfungen zu rechnen war.

5.4.1 Definition der Meßgröße

Die frequenzabhängige Übersprechdämpfung ist gleich der Differenz zwischen dem Sendepiegel im störenden und dem Empfangspegel im gestörten Kanal.

5.4.2 Beschreibung des Meßverfahrens

Die Messung erfolgte mit dem Meßaufbau gemäß Bild 9. Das MPX-Signal besteht aus dem Mittensignal ($\frac{L+R}{2}$) mit einer NF-Bandbreite von 30 Hz bis 15 kHz (Basisband), dem Pilot-signal (19 kHz) und dem Seitensignal ($\frac{L-R}{2}$), das oberhalb des Basisbandes als amplitudenmoduliertes Zweiseitenbandsignal mit unterdrücktem Träger (38 kHz) angeordnet ist. Die Bandbreite des MPX-Signals beträgt 53 kHz. Mit diesem codierten Signal wird ein Tonträger (89,9 MHz) bei einem Frequenzhub von ± 40 kHz frequenzmoduliert und über das Meßobjekt übertragen, anschließend demoduliert und decodiert.

Hier wurden ein Tracking-Generator als Sender (Störpegel: +6 dBm) und ein NF-Spektralanalysator (HP 3580A) als Empfänger verwendet. Die folgenden Messungen wurden durchgeführt:

	senden	empfangen	Meßergebnis Amplitudenfrequenzgang im
MPX-Kanal	L	L	störenden Kanal
	L	R	gestörten Kanal
	M	M	störenden Kanal
	M	S	gestörten Kanal

5.4.3 Meßergebnisse

Gemäß Bild 10 ergaben sich im Frequenzbereich von 0,1 bis 6,4 kHz mittlere Übersprehdämpfungen des Meßaufbaus (ohne die optische Breitband-Übertragungsstrecke/Kurzschlußmessung) von:

L → R: 42 dB

M → S: 52 dB

Durch das Einschleifen des Meßobjekts ergaben sich keine merkbareren Veränderungen der Dämpfungskurven. Die Pflichtheftswerte (FTZ 151R8):

> 40 dB im Frequenzbereich 0,1 - 6,4 kHz

> 40 dB bei 15 kHz

werden weit übertroffen.

Die optische Breitband-Übertragungsstrecke verursacht also keine mit dem o.g. Meßaufbau feststellbare Verschlechterung der Übersprehdämpfung zwischen den MPX-Kanälen.

5.5 Kreuzmodulationsabstand im Frequenzbereich der Bildkanäle (Dreimeßsenderverfahren nach DIN)

5.5.1 Definition der Meßgröße

Der Kreuzmodulationsabstand ist gleich der Differenz zwischen dem Meßfrequenzpegel (f_m) und den Störproduktpegeln ($f_m \pm \Delta f$).

5.5.2 Beschreibung des Meßverfahrens

Der Kreuzmodulationsabstand wurde nach DIN 45004 B (Dreimeßsenderverfahren, Bild 11) bestimmt. Zwei um 6 dB gegenüber dem Meßfrequenzträger (- 35 dBm) abgesenkte Störfrequenzträger (Frequenzabstand: Δf) erzeugen bei den Frequenzen $f_m \pm \Delta f$ zwei Störprodukte dritter Ordnung infolge nichtlinearer Verzerrungen auf dem Übertragungsweg. Der Kreuzmodulationsabstand ist die Differenz zwischen dem Meßfrequenzpegel und den Störproduktpegeln. Eine Verkopplung der Bildträger, wie sie im System zur Verminderung von Kreuzmodulationsprodukten eingesetzt wird, ist hier wegen der Verwendung von drei freilaufenden Generatoren nicht möglich.

Als Meßfrequenzen wurden die vier Bildträgerfrequenzen (55,25; 62,25; 69,25 und 76,25 MHz) gewählt. Das Störfrequenzpaar wurde im Bereich von 55,25 bis 105,25 MHz (8 Frequenzpaare) variiert. Die Meßwerte sind Mittelwerte über die acht Störfrequenzpaare. Der Aussteuerbereich lag zwischen 2 dB Unter- bis 4 dB Übersteuerung des optischen Senders mit dem HF-Summensignal.

Als Meßgerät diente der Spektralanalysator 7L13 (Tektronix).

5.5.3 Meßergebnisse

Die gemessenen Kreuzmodulationsabstände beziehen sich auf die Vollaussteuerung des optischen Senders mit dem Meßfrequenzpegel von - 35 dBm und den beiden Störfrequenzpegeln von - 41 dBm.

Die Umrechnung der unter diesen Bedingungen gemessenen Werte auf den vorliegenden Betriebsfall (Bildträgerpegel: - 41 dBm) erfolgt hier unter der Annahme, daß das o.g. der DIN 45004 B entsprechende Signal um 6 dB abgesenkt wird. Hieraus ergibt sich ein Korrekturfaktor von + 12 dB.

Für Kreuzmodulationsstörungen innerhalb des TV-Kanals erscheint die Annahme einleuchtend, wenn man die gemäß DIN 45004 B um 6 dB gegenüber dem Bildträger abgesenkten Störfrequenzen mit dem Farb- und dem Tonträger identifiziert.

- Abhängigkeit von der A u s s t e u e r u n g und der
F r e q u e n z

Bei steigender Aussteuerung des optischen Senders fällt der Kreuzmodulationsabstand nach dem 2:1-Gesetz ab.

Im obersten TV-Kanal (S 22, Bildträger: 76,25 MHz) ist der Kreuzmodulationsabstand am geringsten, da er mit steigender Frequenz um 0,1 dB/MHz abfällt.

Erreicht wird:

$$KMA = 54 \text{ dB} \quad (\text{Meßfrequenzpegel: } - 35 \text{ dBm})$$

Daraus ergibt sich ein auf den Bildträgerpegel von - 41 dBm umgerechneter Wert von:

$$KMA = 66 \text{ dB}$$

Der gemäß FTZ-Pflichtenheft geforderte Wert für die Netzebene 1 und 2 von > 66 dB wird eingehalten.

- Abhängigkeit von der Z e i t

Bei konstanter Temperatur ändern sich die Generatoramplituden um weniger als $\pm 0,2$ dB.

Im ungünstigsten Fall ändert sich das durch die drei HF-Signale und die Nichtlinearitäten der optischen Breitband-Übertragungstrecke verursachte Kreuzmodulationsprodukt trotz der Fixierung des Lichtwellenleiters um

$$\pm 2,5 \text{ dB (Spannweite)}$$

in einem Beobachtungszeitraum von ≥ 3 Minuten. Eine Langzeitdrift (Meßzeit: 3 Stunden) wurde nicht beobachtet.

- Abhängigkeit von der T e m p e r a t u r

Die im Temperaturbereich von +15° bis +35 °C (Laserkühlblechtemperatur) im Abstand von 5°C gemessenen Kreuzmodulationsabstände (Mittelwerte) wichen um weniger als 1 dB voneinander ab. Je Temperatur traten Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert um bis zu $\pm 2,5$ dB auf.

Eine deutliche Temperaturabhängigkeit ließ sich also nicht feststellen, da sich die temperaturabhängigen Änderungen nicht von den zeitabhängigen Änderungen unterscheiden ließen.

Als Ursache für die zeitlichen Änderungen kommt "modal noise" in Frage.

- Abhängigkeit von der m e c h a n i s c h e n B e a n -
s p r u c h u n g des Lichtwellenleiters

Um den Einfluß von "modal noise" auf die Messungen möglichst klein zu halten, sind die bisherigen Messungen bei festgelegtem Lichtwellenleiter durchgeführt worden. Wird dieser nun in der Nähe des Senderausgangs durch Biegung mechanisch beansprucht, so ändern sich die Kreuzmodulationspegel in einem Bereich von bis zu ± 4 dB.

5.6 Kreuzmodulationsabstand in den demodulierten TV-Kanälen ("Block-cross"-Verfahren)

5.6.1 Definition der Meßgröße

Der Kreuzmodulationsabstand im Bildbereich des nach der Demodulation verfügbaren Nutz-Videosignals ist gleich der Differenz zwischen dem Störsignalpegel (200 kHz) im Bildbereich der Störkanäle und dem durch Kreuzmodulation in den Bildbereich des Nutz-Videosignals gelangten gleichfrequenten Störsignalpegel.

5.6.2 Beschreibung des Meßverfahrens

Das hier angewendete "Block-cross"-Verfahren erlaubt die Messung des Kreuzmodulationsabstandes im demodulierten TV-Kanal (VF-Lage) unter realen Betriebsbedingungen. Gemäß Meßaufbau (Bild 12) wird ein 200 kHz-Sinussignal vor der Modulation in den Bildbereich des Videosignals eingeblendet und den Modulatoren von drei Stör-TV-Kanälen zugeführt. Der vierte Meß-TV-Kanal ist mit einem Graubild moduliert. Durch nichtlineare Verzerrungen 3. und höherer Ordnung erfolgt auf der optischen Breitband-Übertragungstrecke eine Übernahme

der Modulation aus den Stör-TV-Kanälen (200 kHz-Störer) auf den Meß-TV-Kanal. Nach der Demodulation tastet der UPSF (Videostörspannungsmesser) die Synchronsignale des Videosignals aus und stellt den Bildinhalt des Meß-TV-Kanals dem Spektralanalysator zur Verfügung. Mit diesem wird die 200 kHz-Störspannung hochselektiv ($\Delta f = 30 \text{ Hz}$) gemessen und auf den 200 kHz-Störpegel bezogen. Diese Bezugsgröße erhält man, indem die Störmodulation vor der Messung auf den Meß-TV-Kanal gegeben und am Analysator festgestellt wird (- 17 dBm).

5.6.3 Meßergebnisse

Da der Einfluß der phasenstarrten Verkopplung der Bildträger mit Optimierung der relativen Phasenwinkel auf den Kreuzmodulationsabstand ermittelt werden sollte, wurde hier auf die Hinzunahme der UKW-Träger verzichtet. Die Bildträgerpegel wurden zur Erreichung der Vollaussteuerung des optischen Senders ($\leq 30 \text{ mVss}$) auf -36 dBm angehoben. Die Umrechnung der gemessenen Kreuzmodulationsabstände auf die Bildträgerpegel im Summensignal erfolgt mit Hilfe des 2:1-Gesetzes für Störprodukte 3. Ordnung.

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf drei Störkanäle und einen Nutzkanal variabler Frequenzlage (K3, K4, S 21 und S 22).

- Wegen des schmalen Frequenzbandes (55 - 81,75 MHz) ist eine Abhängigkeit des Kreuzmodulationsabstandes von der Lage des Nutzkanals im Frequenzband nicht feststellbar
- Für die drei möglichen Betriebsarten der TV-Sendestation ergaben sich die folgenden Kreuzmodulationsabstände durch Mittelwertbildung über die vier möglichen Frequenzlagen des Nutzkanals:
 - a) mit Verkopplung der Bildträger,
ungünstigste Phaseneinstellung: 42 dB
 - b) ohne Verkopplung der Bildträger: 52 dB
 - c) mit Verkopplung der Bildträger,
günstigste Phaseneinstellung: 66 dB

Durch die Verkopplung der Bildträger mit Phasenoptimierung nimmt der KMA gegenüber dem Fall unverkoppelter Bildträger um 14 dB zu.

Rechnet man den unter c) genannten Wert (Bildträger: - 36 dBm) auf den Bildträgerpegel von -41 dBm um, so ergibt sich:

$$\text{KMA} = 76 \text{ dB}$$

Ein vergleichbarer Pflichtenheftwert ist nicht bekannt, da das "Block-cross"-Verfahren im nationalen Bereich nicht genormt ist.

Es sei noch daraufhingewiesen, daß sich die Kreuzmodulationspegel zeitlich relativ schnell innerhalb einer bestimmten Spannweite ändern, obwohl der Lichtwellenleiter nicht bewegt worden ist. Die Spannweiten nehmen zu, wenn die Kreuzmodulationspegel kleiner werden und damit in die Nähe der ebenfalls sich ändernden Kurzschlußwerte (Kreuzmodulationspegel: < -86 dBm) kommen.

Es ergaben sich folgende Kreuzmodulationspegel mit ihren Extremwerten (Mittelwerte über 4 TV-Kanäle):

- a) - 59 ± 1,1 dBm (verkoppelte BT, worst case)
- b) - 69 ± 2,4 dBm (unverkoppelte BT)
- c) - 83 ± 3,9 dBm (verkoppelte BT, best case)

Durch die Addition von 17 dBm und Betragsbildung ergeben sich die o.g. Kreuzmodulationsabstände.

Die zeitlichen Änderungen der Kreuzmodulationspegel lassen sich nur teilweise auf die durch Fremdspannungen im Meßband von 200 kHz ±15 Hz verursachten zeitlichen Änderungen der Kurzschluß-Werte (-92 ±6 dBm) zurückführen. Eine genaue Analyse der für die zeitlichen Änderungen der Kreuzmodulationspegel maßgeblichen Mechanismen im Multimodelaser bzw. in der Gradientenfaser ließ sich im Rahmen dieser Arbeit nicht realisieren.

6. Zusammenfassung der Meßergebnisse und abschließende Beurteilung

Es wurde festgestellt, daß die Qualität der im zentral vermittelnden Analogsystem angebotenen Dienste hauptsächlich durch die optische Breitband-Übertragungstrecke bestimmt wird. Deshalb sollte die Qualität dieser Systemkomponente durch geeignete Meßgrößen erfaßt und damit einer Beurteilung zugänglich gemacht werden.

Die Qualität der Breitband-Übertragungstrecke läßt sich im wesentlichen durch die folgenden Meßgrößen beschreiben:

- den Videostörspannungsabstand im Bildkanal
- den Geräuschspannungsabstand im Tonkanal .
- den Kreuzmodulationsabstand im HF-Frequenzband und im Bildkanal
- die Klirr- und Übersprechdämpfung im UKW-Tonkanal

Über die Erfassung dieser Meßwerte hinaus sind noch Aussagen über deren Stabilität über der Zeit und der Temperatur zu machen.

Die Tabelle 1 enthält die Zusammenstellung der Meßergebnisse.

Die gemäß FTZ-Norm 151R8 (Bezugskette für das nationale KTV-Netz) geforderten Mindestwerte für den Videostörspannungsabstand im Bild und den Geräuschspannungsabstand in den Tonkanälen werden nicht erreicht. Der Videostörspannungsabstand von -45,4 dB führt zu sichtbaren Bildstörungen durch feinkörniges Rauschen, das jedoch nicht als störend empfunden wird.

Der nach DIN 45004 B ermittelte Kreuzmodulationsabstand von 66 dB entspricht dem FTZ-Pflichtwert.

Die Klirrdämpfung und die Übersprechdämpfung im UKW-Tonkanal übertreffen die FTZ-Forderungen wegen der hier angewendeten Frequenzmodulation erheblich.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß das für viele verkopplungsfähige Bildträger konzipierte Verfahren der phasenstarreren Verkopplung der Bildträger mit Phasenwinkeloptimierung (/2/, /3/) bei der vorliegenden Frequenzbandbelegung nur unwesentlich zur Qualitätsverbesserung beiträgt (2 dB Aussteuerungsgewinn).

Was die Änderungen der Meßwerte über der Zeit bzw. Temperatur angeht, so sind diese im wesentlichen gering. Eine Ausnahme bilden lediglich die Kurzzeitänderungen des nach DIN 45004B gemessenen Kreuzmodulationsabstandes ($\pm 2,5$ dB im Zeitraum ≥ 3 Minuten).

Eine deutliche Temperaturabhängigkeit der Meßwerte konnte im Bereich von $+15^{\circ}$ C bis $+35^{\circ}$ C nicht festgestellt werden. Es zeigte sich jedoch, daß die Kreuzmodulationsabstände durch eine Biegebeanspruchung des Lichtwellenleiters in Sendernähe infolge "modal noise" erheblich beeinflußt werden können (± 4 dB).

Der von der FTZ-Vorschrift (151R8) für die Ortsabschnitte 1 und 2 im nationalen KTV-Netz geforderte Qualitätsstandard kann von der optischen Breitband-Übertragungstrecke bei der vorliegenden Frequenzbandbelegung mit vier TV- und sechs UKW-Kanälen und der für die Bildübertragung eingesetzten AM-IM-Modulation im wesentlichen nicht erreicht werden. Selbst bei einer reduzierten Frequenzbandbelegung (2 TV-, 2 UKW-Kanäle) läßt sich keine Systemreserve erzielen (gemessener Videostörspannungsabstand: $-49,5$ dB, gefordert: -49 dB).

Aus diesem Grund muß festgestellt werden, daß eine breitbandige, analoge, optische Teilnehmeranschlußleitung (V-Nut-Laser, Gradientenfaser, PIN-Fotodiode), wie sie im Experimentalsystem verwendet wird, bei Anwendung der AM-IM-Modulation für die Bildübertragung, für den Einsatz in künftigen Systemen mit KTV- bzw. Studioqualität ungeeignet ist.

Der AM-IM-Modulation kommt somit für künftige hochwertige Breitband-Übertragungssysteme keine Bedeutung zu. Die Anforderungen an Übertragungssysteme mit geringerer Qualität, wie z.B. Überwachungssysteme, können von der AM-IM-Modulation erfüllt werden. Diese Aussage wird durch umfangreiche Experimente im HHI bestätigt /4/.

Für die qualitativ hochwertige Übertragung von wenigen Kanälen bieten die Frequenzmodulation (Siemens /6/, Biarritz /7/) und Pulsmodulationsverfahren (PFM-IM /5/, PPM-IM /9/) deutliche Vorteile gegenüber der AM-IM-Modulation und können als geeignete Übergangslösungen bis zum Einsatz volldigitaler Systeme betrachtet werden.

Die diesem technischen Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert. Für den Inhalt ist der Autor allein verantwortlich.

7. Literaturverzeichnis

- /1/ Raut, E.:
Aufbau und Funktion des neuen Breitbandkommunikations-
systems mit Lichtwellenleitern in Berlin.
Presseinformation vom 5.12.1980, AEG-Telefunken
- /2/ Krick, W.:
Verbesserung der Kabelfernsehübertragung durch ein opti-
males kohärentes Trägersystem.
Rundfunktechnische Mitteilungen, Jahrgang 23, 1979, Heft 5,
S. 209 - 216
- /3/ Krick, W.:
Störverminderung in Kabelfernseh-Anlagen durch ein kohären-
tes Trägersystem.
50 Jahre Heinrich-Hertz-Institut, Festschrift 1978, S. 33-40
- /4/ Baack, C.:
Optische Breitbandkommunikation mit digitalen und analogen
Signalen.
Professorenkonferenz 1981 im FTZ/Darmstadt
- /5/ Brace, D.J. and Heatley, D.J.:
The Application of Pulse Modulation Schemes for Wideband
Distribution to Customers Premises.
Telecom Res. Lab., Martlesham, Suffolk, U.K., 6th ECOC,
1980, S. 446 - 449.
- /6/ Braun, E.:
BIGFON - der Start für die Kommunikationstechnik der Zukunft.
telcom report 5 (1982), Heft 2, S. 123 - 129
- /7/ Dupieux, J.G., Robin-Jouan, Y.:
The Application of Fiber Optics to the Introduction of New
Services in Local Networks.
ISS'81 CIC Montréal 21.- 25.Sept. 1981, Session 22 B.1.1-8
- /8/ Jäckel, H.:
Lichtemissionsrauschen und dynamisches Verhalten von GaAlAs-
Heterostruktur-Diodenlasern im Frequenzbereich von 10 MHz
bis 8 GHz.
Diss. ETH Nr. 6447, Zürich 1980
- /9/ Barabas, U.:
Optische Breitbandübertragung mit Hilfe pulsphasenmodu-
lierter Signale.
Frequenz 36 (1982) 3, S. 68-75

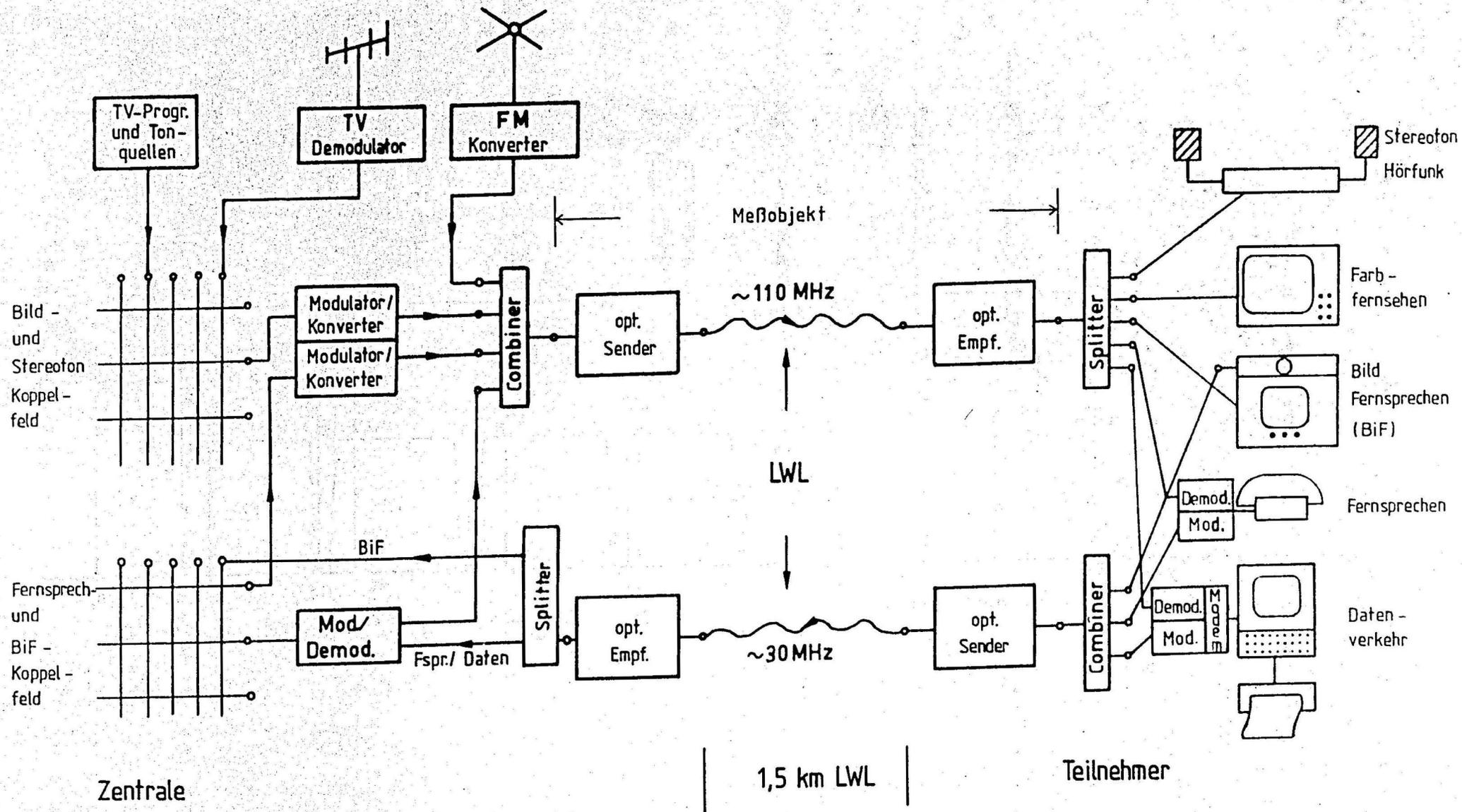


Bild 1: Zentrale und Teilnehmer mit optischer Teilnehmeranschlußleitung

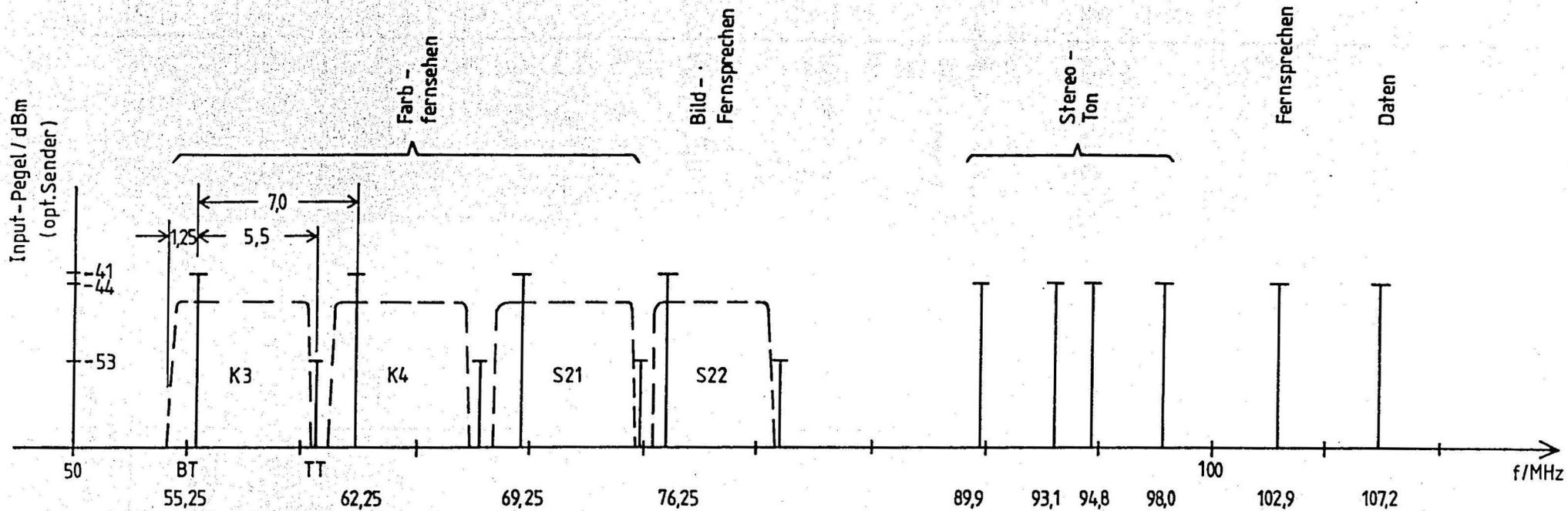


Bild 2: Frequenzbandbelegung der optischen Breitband - Übertragungsstrecke

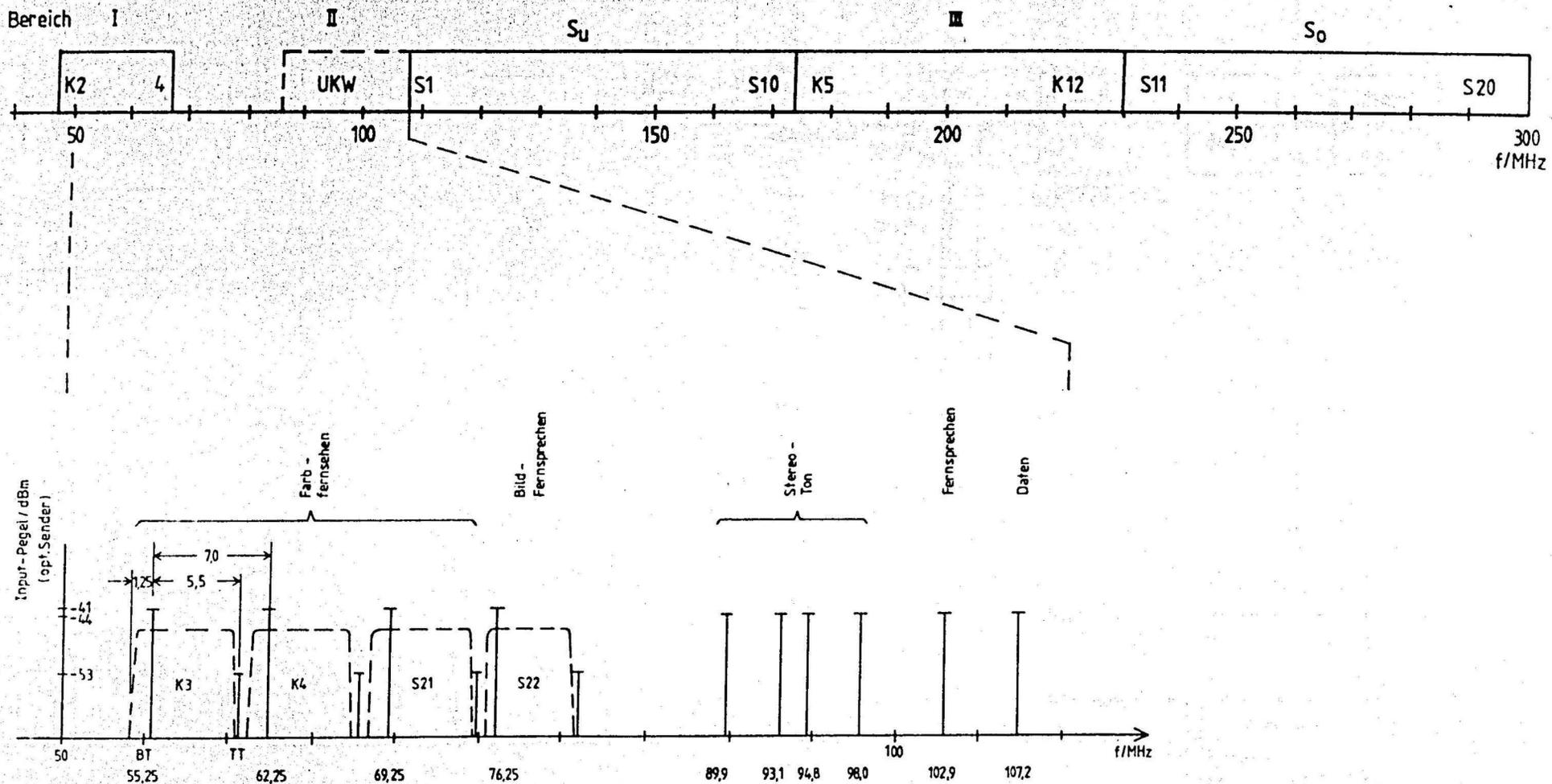


Bild 3: Frequenzbandbelegung und Vergleich mit dem Frequenzbelegungsplan im nationalen KTV-Netz

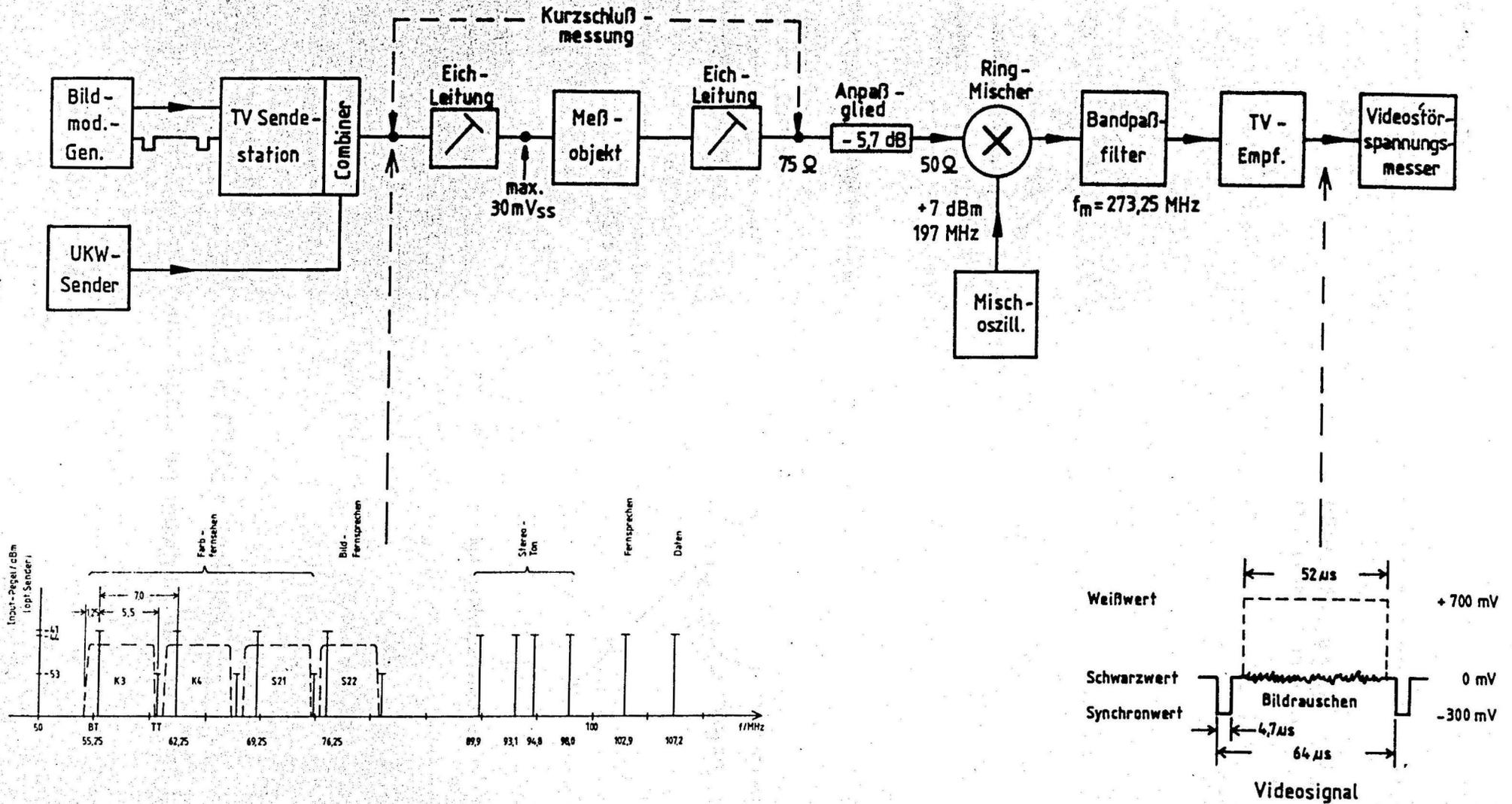


Bild 4: Meßaufbau, Videostörspannungsabstand im Bildkanal

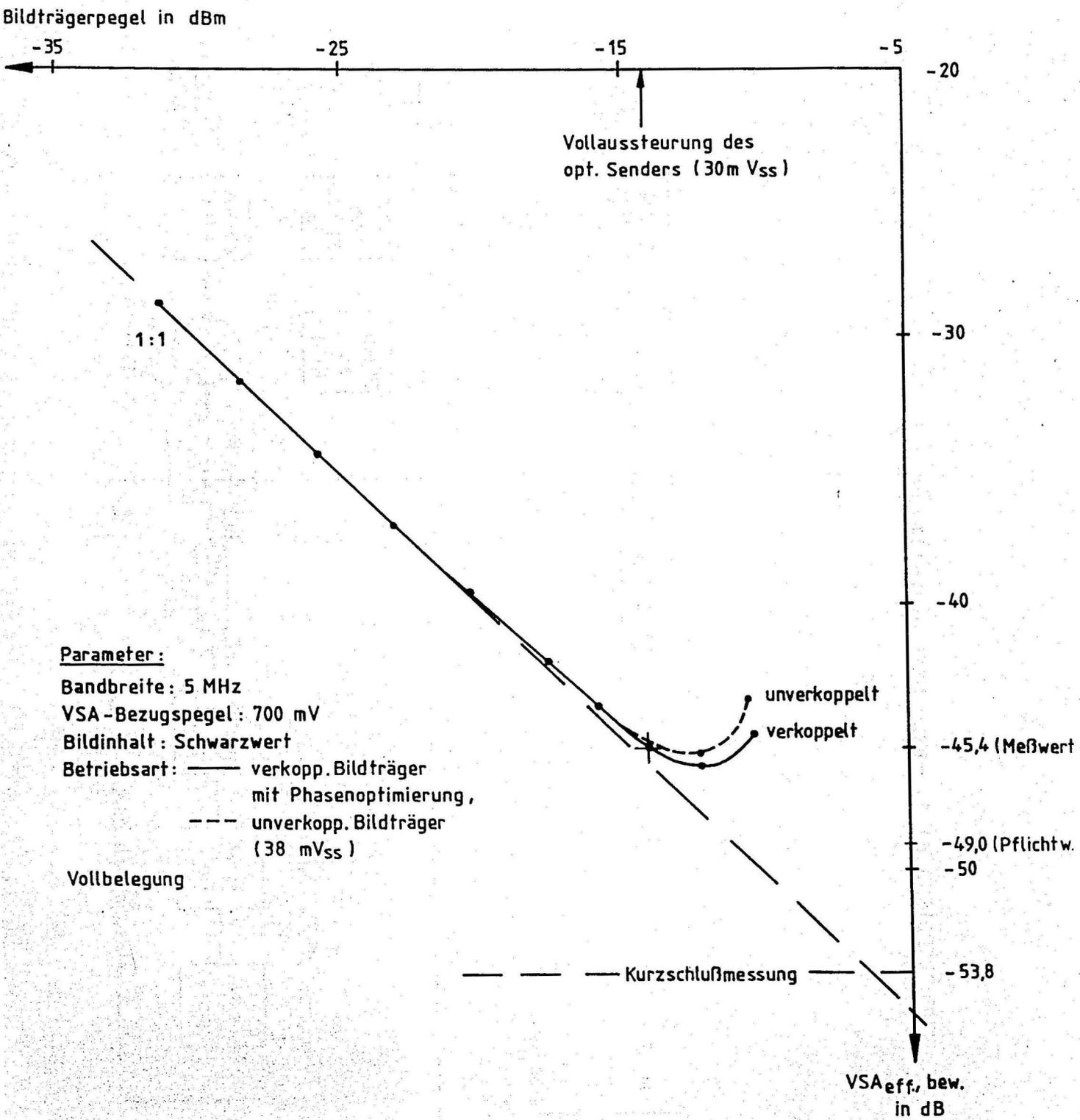


Bild 5: Videostörspannungsabstand in S22 als Funktion des unmodulierten Bildträgerpegels am Ausgang des opt. Empfängers

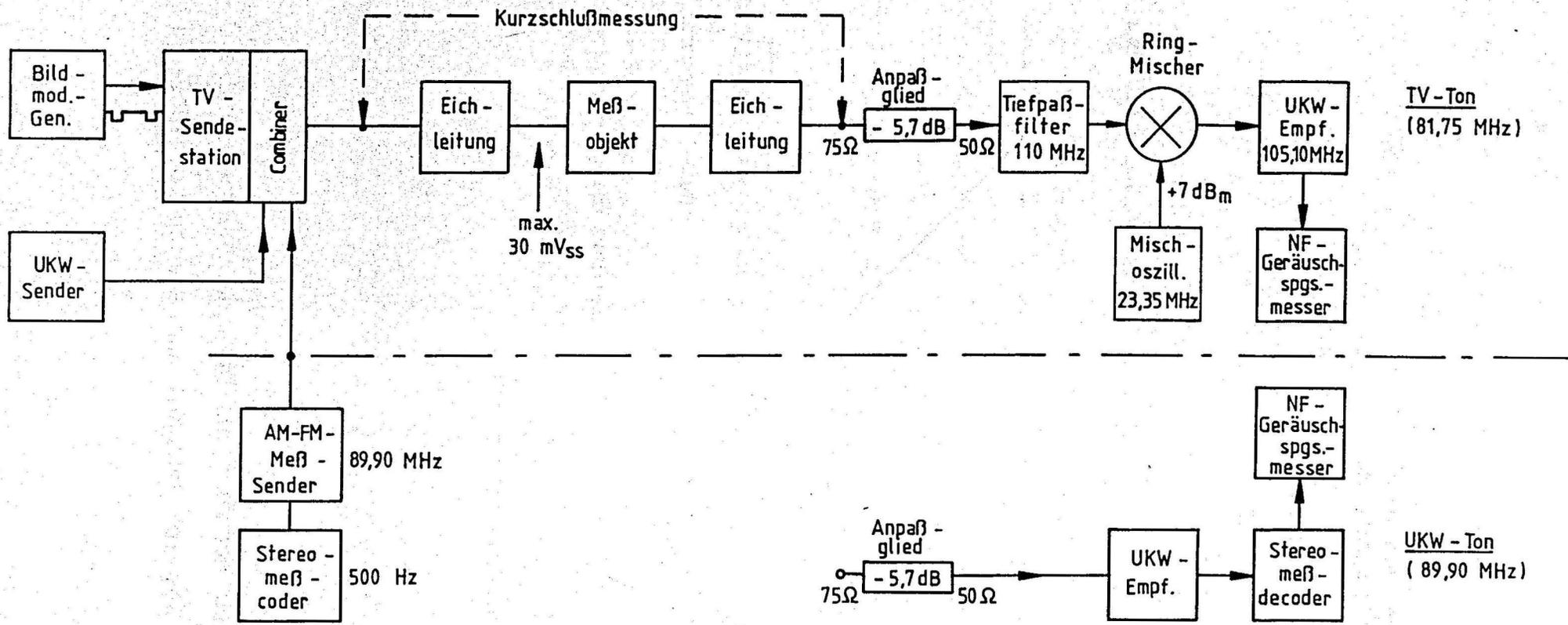


Bild 6: Meßaufbau, Geräuschspannungsabstand im TV-Ton - bzw. UKW-Tonkanal

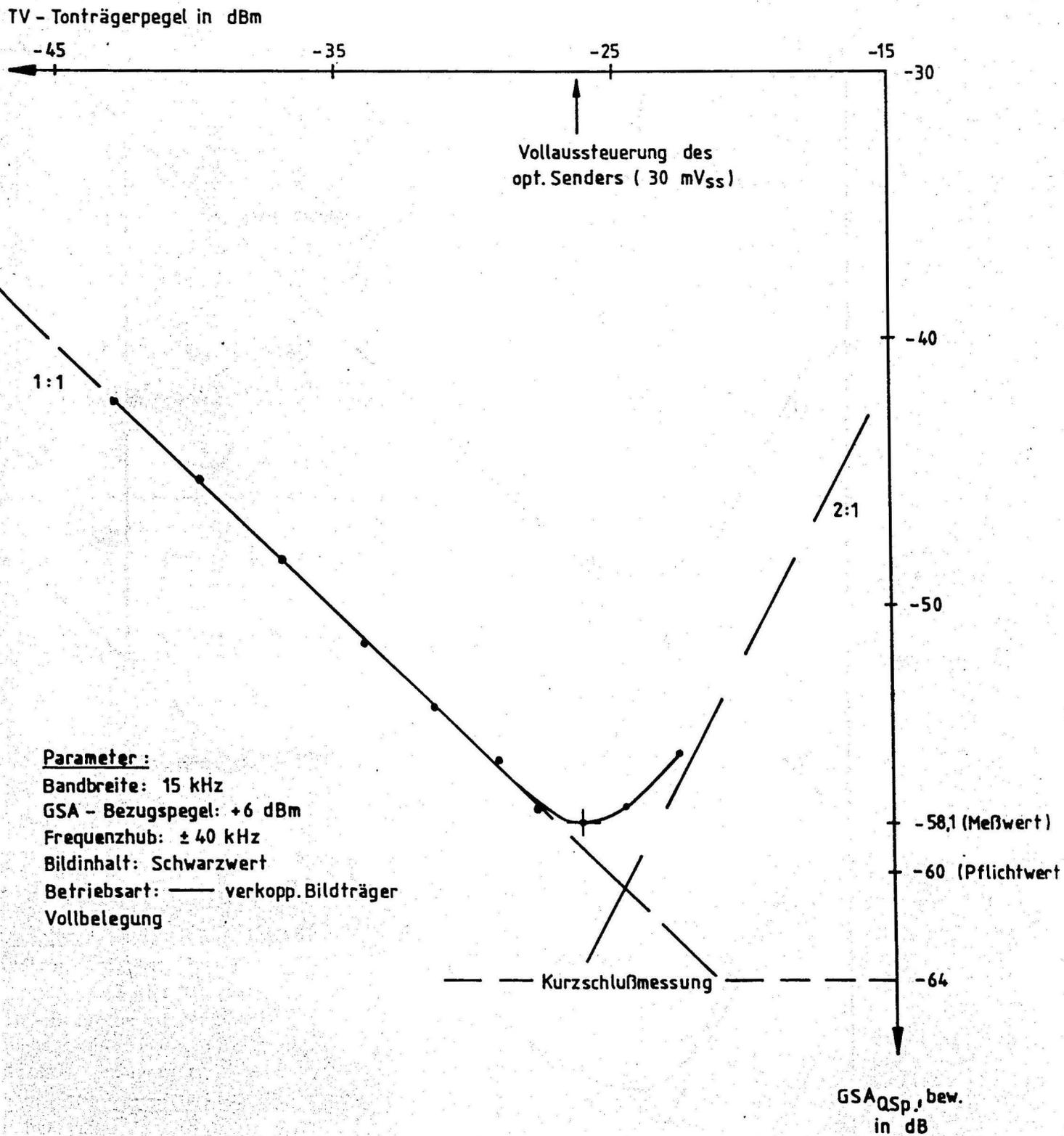


Bild 7: Geräuschspannungsabstand als Funktion des unmodulierten TV-Tonträgerpegels am Ausgang des opt. Empfängers

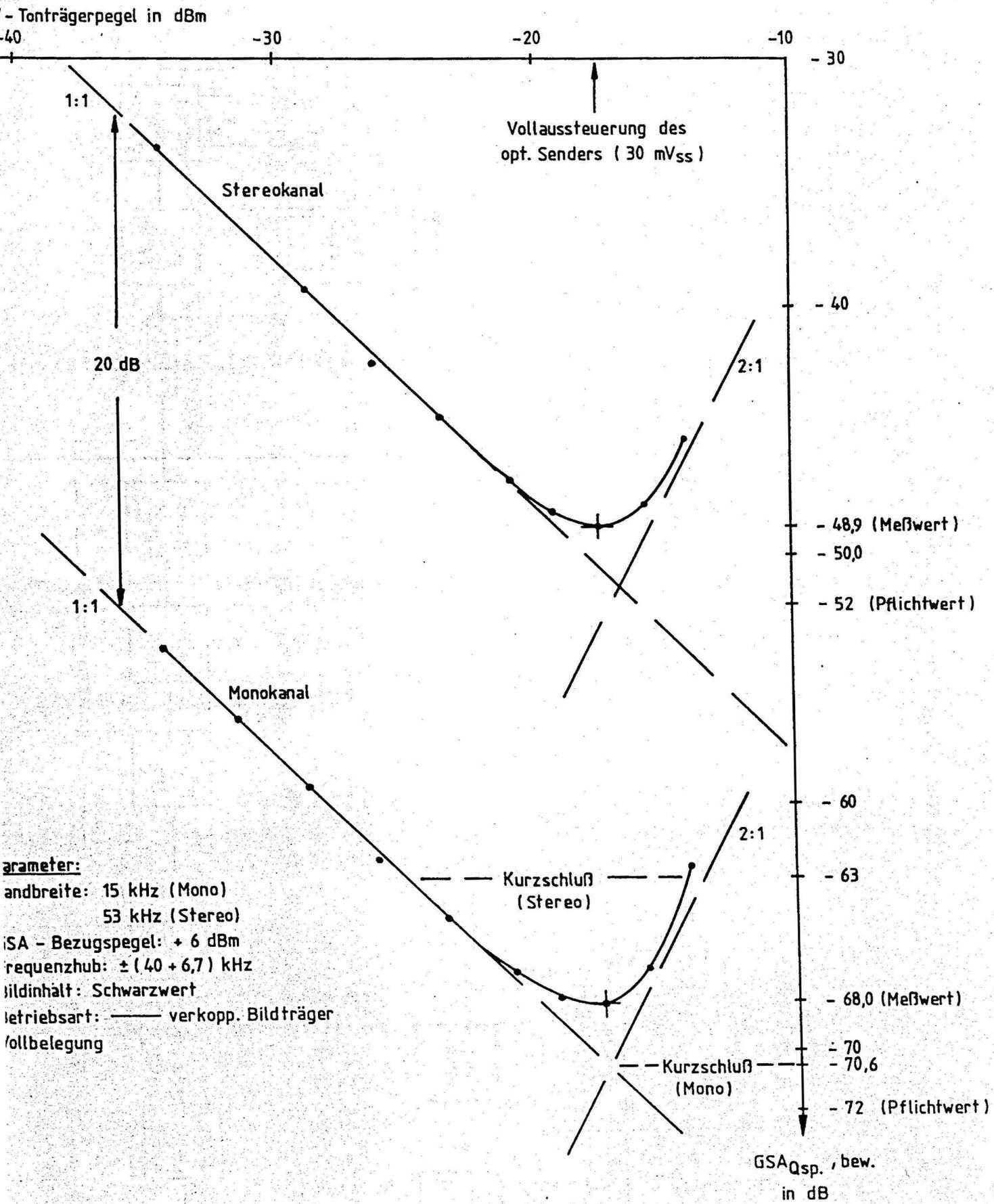
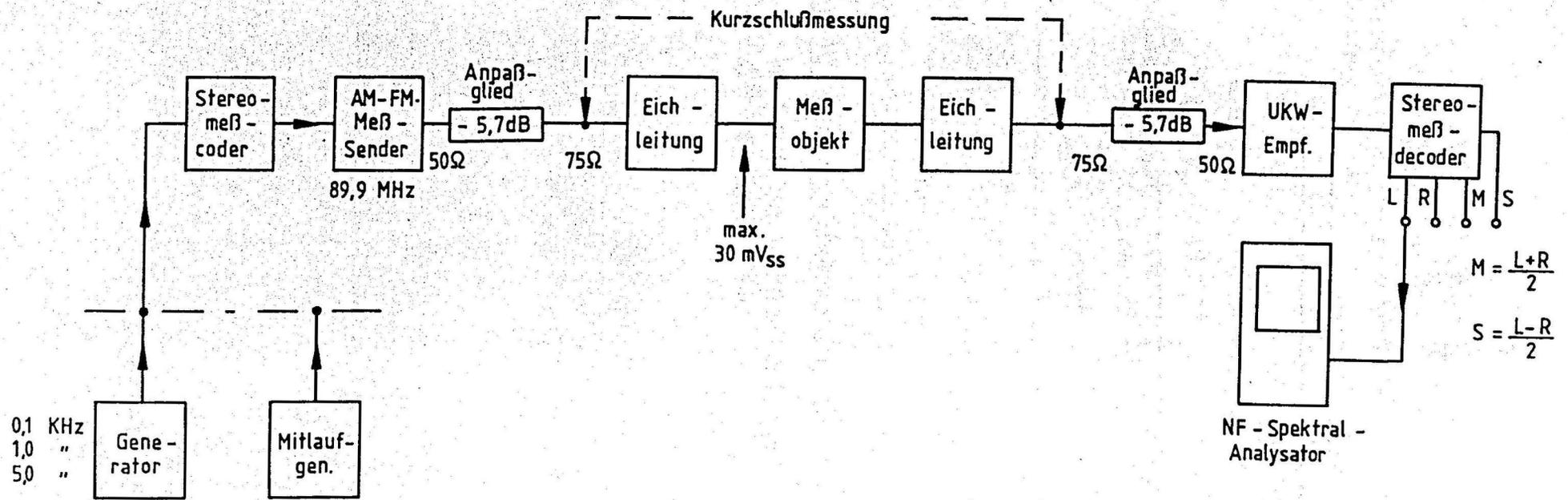


Bild 8: Geräuschspannungsabstand als Funktion des unmodulierten UKW - Tonträgerpegels am Ausgang des opt. Empfängers



Klirr- dämpfung		Übersprech- dämpfung	
L	L	L	R
M	M	M	S
senden	empfangen	senden	empfangen

Bild 9: Meßaufbau, Klirrdämpfung - Übersprechdämpfung im UKW - Tonkanal

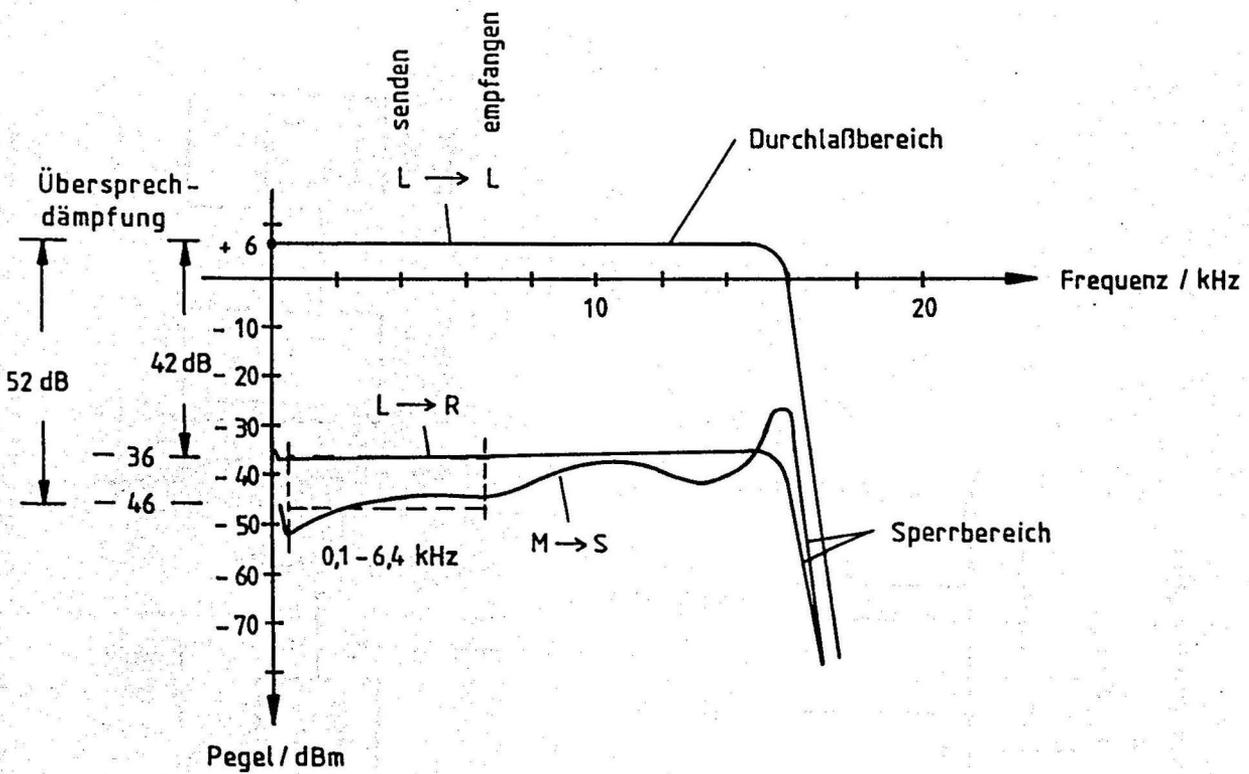


Bild 10: Übersprechdämpfung als Funktion der Frequenz
(mit und ohne Meßobjekt)

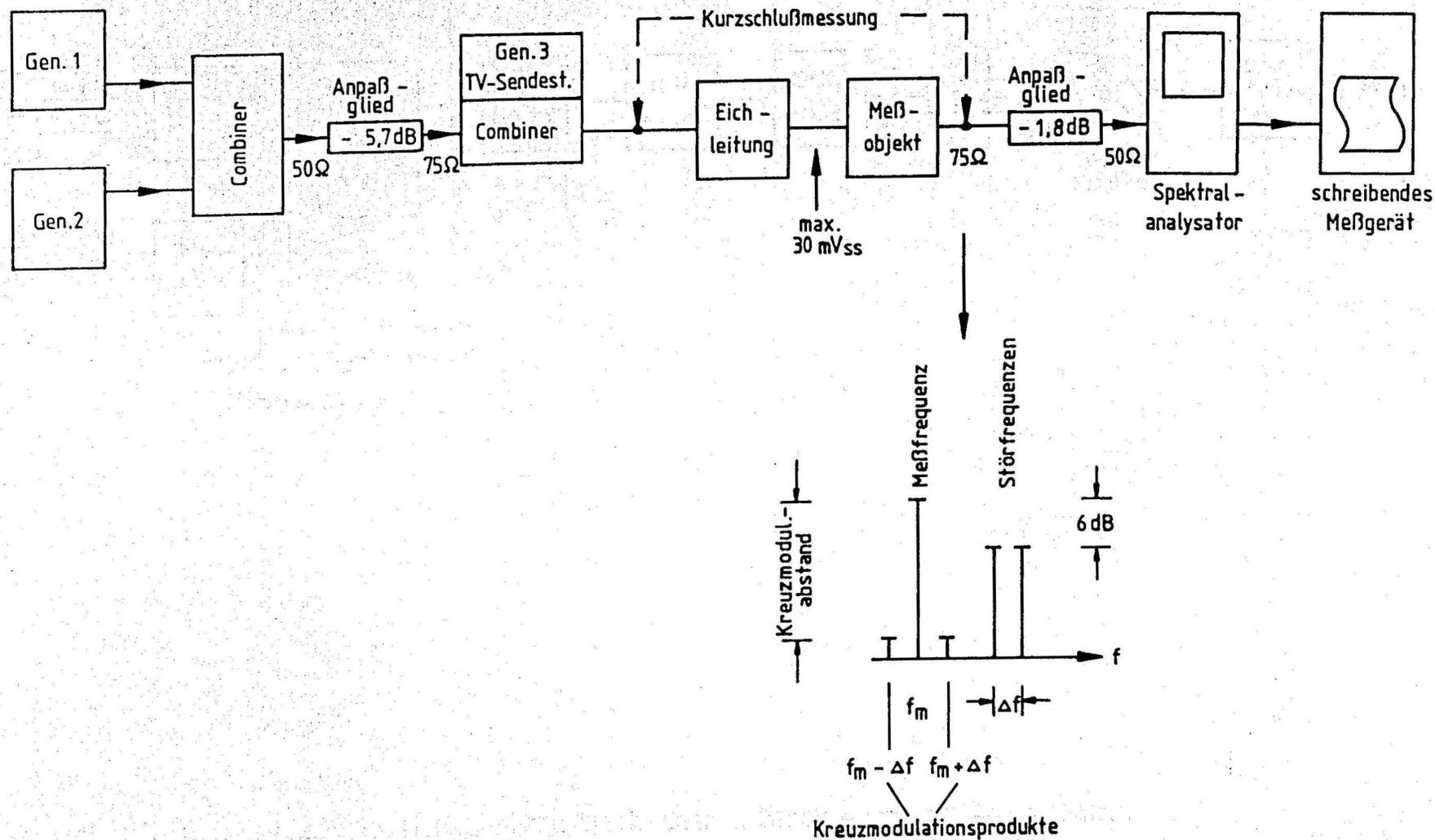


Bild 11: Meßaufbau, Kreuzmodulationsabstand nach DIN 45004 B (Dreimeßsenderverfahren)

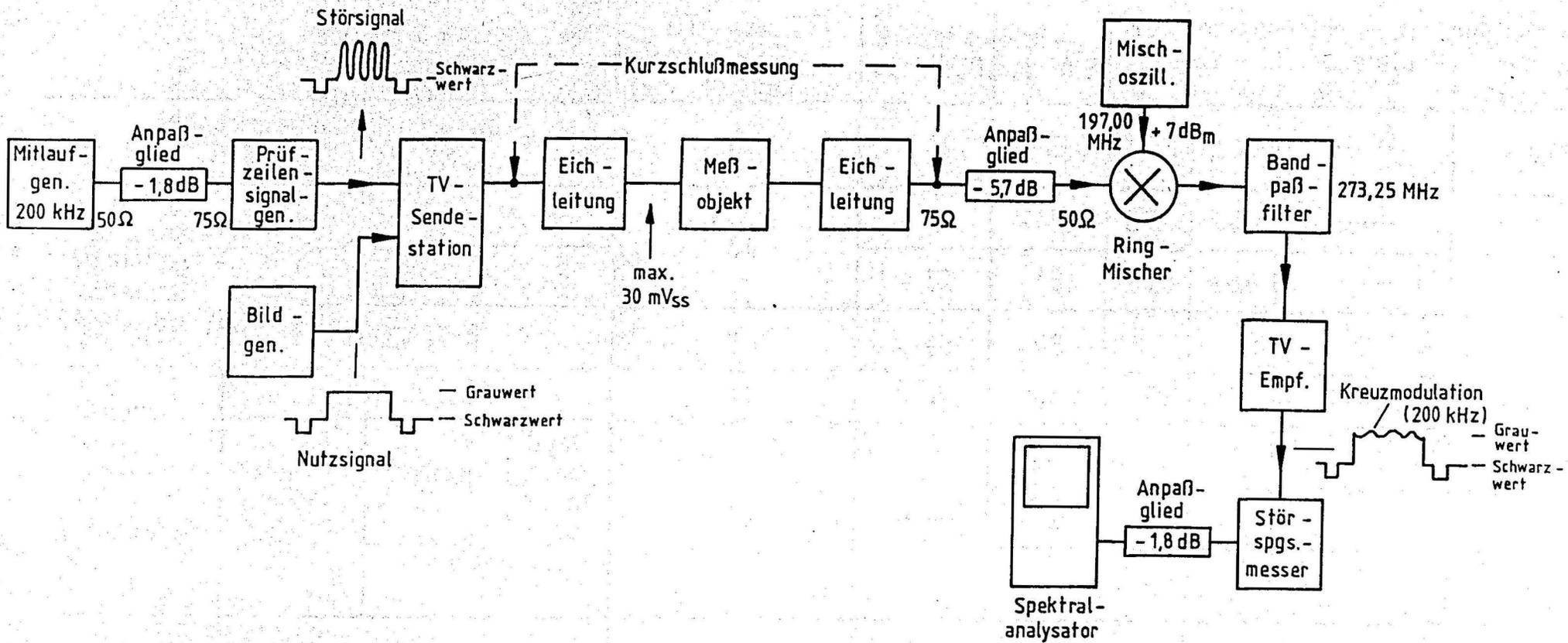


Bild 12: Meßaufbau, Kreuzmodulationsabstand nach dem „Block-cross“-Verfahren

Meßgröße			BT - bzw. TT - Pegel / - dBm (vor opt. Sender)	Pflicht- wert ¹⁾ /dB	Meß- wert/dB	Meßwert-Änderung in Abhängigkeit von			
						Zeit ²⁾ dB	%	Temperatur ³⁾ dB / °C	Frequenz ⁴⁾ dB / MHz
Videostörspannungsabstand ⁵⁾ VSA _{eff.} , bew./dB			41	- 49	- 45,4	±0,3	±0,7	—	+ 0,05
Geräusch - spannungs - abstand ⁵⁾ GSA _{QSp.} , bew./dB	UKW-Ton	Mono	44	- 72	- 68,0	±0,4	±0,6	—	
		Stereo							
	TV - Ton		53	- 60	- 58,1				
Kreuz - mod.- abstand / dB	DIN 45004 B		41	66	66	±2,5 ⁷⁾	±4	—	- 0,1
	"Block - cross"- Verf. ⁶⁾	verkopp. BT	36	—	66				
					best case worst case	42			
		unverkopp. BT			52				
Summenklirrdämpfung / dB (DIN 45403 , Bl.2)			26,5	46	> 50				
Übersprechdämpfung ⁸⁾ / dB		M → S	26,5	> 40	> 52				
		L → R			> 42				

1) gemäß FTZ 151 R8

2) Standardabweichung

3) Bereich : 15 - 35 °C

4) Bereich : 50 - 80 MHz

5) bei Vollbelegung und Vollaussteuerung

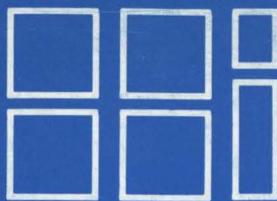
(20 °C , verkopp. BT mit Phasenoptimierung)

6) ohne UKW - u. TV - Tonträger

7) Spannweite

8) Frequenzbereich : 0,1 - 6,4 kHz

Tabelle 1: Zusammenstellung der Meßergebnisse



**Heinrich-Hertz-Institut
für Nachrichtentechnik
Berlin GmbH**

