Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 53 (1975)

Heft: 6

Artikel: Übertragung frequenzmodulierter ZF-Signal von Richtstrahlanlagen über längere, verstärkerlose Koaxialkabel

Autor: Valloton, Romain

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875601

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: 10.08.2025

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

Übertragung frequenzmodulierter ZF-Signale von Richtstrahlanlagen über längere, verstärkerlose Koaxialkabel

Romain VALLOTTON, Bern

621.396.43:621.315.212:621.376.32

Zusammenfassung. *Wenn bei der Planung einer Richtstrahlverbindung zwischen zwei örtlich fest vorgegebenen Nachbarstationen keine Sichtverbindung besteht, wird ein Punkt mit freier Sicht zu den beiden Stellen in der näheren Umgebung als Relais gewählt. Als Übertragungsmittel zwischen dem Relais und der naheliegenden Station kann unter Umständen auch ein Koaxialkabel verwendet werden. In diesem Artikel werden die damit zusammenhängenden Fragen erläutert und anhand von Beispielen aus der Praxis oder Berechnungen die Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen des Systems abgesteckt.*

Transmission sur câbles coaxiaux sans amplificateurs de signaux MF modulés en fréquence en provenance d'installations à faisceaux hertziens

Résumé. *Lorsqu'une liaison à faisceaux hertziens doit relier deux stations voisines sans visibilité directe, on choisit un troisième point, visible des deux stations précitées, pour y établir un relais. Il est parfois possible d'utiliser un câble coaxial pour transmettre des signaux entre le relais et la station la plus proche. L'auteur explique les problèmes rencontrés et montre à l'aide d'exemples pratiques ou de calculs les possibilités d'application et les limites du système.*

Trasmissione di segnali in MF a modulazione di frequenza per il tramite di cavi coassiali di una certa lunghezza privi di amplificatori

Riassunto. *Quando, in occasione della pianificazione di collegamenti ponti radio, tra due ubicazioni corrispondenti determinate non v'è visuale diretta, si fissa nelle vicinanze un punto quale relè visibile da ambo le stazioni. Come mezzo di trasmissione tra il relè e la stazione limitrofe si può, a volte, usare anche un cavo coassiale. Il presente articolo illustra i problemi inerenti a questa soluzione e definisce, in base a esempi pratici o calcoli, le possibilità e i limiti d'impiego di questo sistema.*

1 Einleitung

Bei der Planung von Richtstrahlverbindungen kann es vorkommen, dass zwischen zwei Nachbarstationen A und B, deren Standorte aus bestimmten Gründen fest vorgegeben sind, keine direkte Sichtverbindung besteht. In der näheren Umgebung einer der Anlagen, zum Beispiel A, lässt sich jedoch meistens ein Punkt P finden, von dem aus eine unbehinderte Wellenausbreitung zu den beiden Stationen A und B möglich ist *(Fig. 1)*.

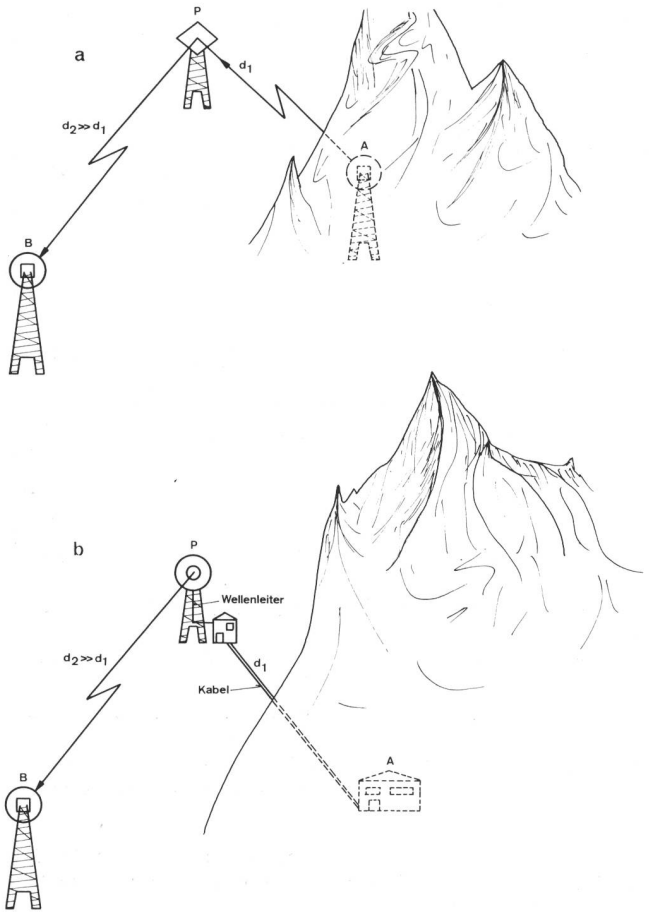

Fig. 1
a Reflektor in P
b Kabelverbindung von A nach P

In einem solchen Fall bieten sich folgende Übertragungsmöglichkeiten an:

Drahtlose Übertragung

- Aktive Umlenkung in P
- Passive Umlenkung in P mit Parabolantennen
- Passive Umlenkung in P mit Reflektor

Kabelverbindung zwischen Station A und Punkt P

- Übertragung in der Frequenzlage des Basis- beziehungsweise Videobandes, falls in der Station A moduliert/demoduliert wird (zum Beispiel Terminal)
- Übertragung des frequenzmodulierten Zwischenfrequenzträgers des Richtstrahlsystems auch dann, wenn A zum Beispiel eine Terminalstation ist.

Eine aktive Umlenkung wird meistens aus wirtschaftlicher Überlegung nicht in Frage kommen, da die Distanz A...P kurz ist. Die Umlenkung der Radiowellen mit Parabolantennen ohne Verstärkung verlangt in den meisten Fällen eine Belüftung der verbindenden Wellenleiterstücke und somit eine Energiequelle und Wartung.

Die einzige, wirklich passive und wartungsfreie Umlenkung stellt jene über einen Reflektor dar. Lässt sich jedoch in der Umgebung von A kein Umlenkort mit kleinem Anteil an Geländereflexionen finden, so können starke Reflexionssignale, die von der Umgebung des Umlenkspiegels reflektiert werden, die Übertragungsqualität beeinträchtigen. Zudem sind dem Verhältnis des Nutzträgers zur Summe der Reflexionssignale Grenzen gesetzt, da die Umlenkfläche nicht beliebig gross gewählt werden kann. In diesem Fall eignet sich bei nicht zu grosser Entfernung zwischen Station A und Punkt P die kabelgebundene Übertragung. Die zu übertragenden Signale (Telefonie, Fernsehen oder Tonprogramm) können, wenn in der Station A moduliert-demoduliert wird, entweder in ihrer ursprünglichen Frequenzlage oder frequenzmoduliert auf dem ZF-Träger des

Richtstrahlssystems über die Kabelverbindung geführt werden. Bei der ZF-Übertragung ist das Koaxialkabel Bestandteil der Richtstrahlanlage, die in P aufgetrennt wird *(Fig. 2)*.

In diesem Beitrag werden nur Probleme der Übertragung auf der Zwischenfrequenzebene behandelt. Die wesentlichen Vorteile dieses Verfahrens gegenüber der Übertragung im Basis- oder Videoband sind:

- Ist die Richtstrahlverbindung durch ein ZF-Schutzschaltsystem geschützt, so ist der Kabelabschnitt mit eingeschlossen.
- Da bei Fernsehübertragung normalerweise Bild und Ton zusammen auf dem ZF-Träger moduliert werden, fallen die Kabeladern für die Tonkanäle weg.
- Auf der Station in P sind Unterhaltsarbeiten auf Radio- und Zwischenfrequenzebene beschränkt. Basisband-, Video- und Tonmesseinrichtungen sind dann nicht notwendig.

2 Grundsätzlicher Aufbau der Kabelanlage

Das frequenzmodulierte ZF-Signal wird durch ein langes Koaxialkabel gedämpft und in der Amplitude und Gruppenlaufzeit verzerrt. Die Leistungsverhältnisse der Träger bei einer Kabelübertragung lassen sich mit jenen einer Richtstrahl-Teilstrecke vergleichen. Da eine möglichst wirtschaftliche Lösung angestrebt werden soll, wird die maximale Übertragungsdistanz bei gegebenen Dämpfungswerten des Kabels und bestimmten technischen Annahmen ermittelt und zwar ohne Benützung von Zwischenverstärkern auf der Kabelstrecke.

Bei einer angenommenen Übertragungskapazität der Richtstrahlverbindung von 1800 Telefoniekanälen oder einem Bild- und Tonkanal beträgt die ZF-Bandbreite 40 MHz (±20 MHz) und der ZF-Träger, nach CCIR[1], 70 MHz. Das Blockschema einer Kabelanlage für die Übertragung von frequenzmodulierten Signalen auf der ZF von Richtstrahlsystemen zeigt *Figur 3*.

21 Kabeltypen und ihre elektrischen Daten

Beide zurzeit bei den PTT-Betrieben für Trägerfrequenzsysteme gebräuchlichen Kabeltypen

- das Kleinkoaxialkabel CCI – 1,2/4,4 mm und
- das Grosskoaxialkabel CCI – 2,6/9,5 mm

eignen sich für die ZF-Übertragung.

Die in diesem Zusammenhang interessierenden elektrischen Daten der Kabel wurden gemessen oder berechnet. Sie sind in *Tabelle I* zusammengestellt.

[1] Comité Consultatif International des Radiocommunications

Tabelle I. Vergleich der Übertragungseigenschaften bei zwei verschiedenen Koaxialkabeln

Kabeltyp	Kleinkoaxialkabel 1,18/4,43				Grosskoaxialkabel 2,64/9,52			
Frequenz MHz	50	70	90	Δ	50	70	90	Δ
Mittlerer Dämpfungsbelag a [dB/km] Raumtemperatur (20 °C)	38,3	45,3	51,3		16,5	19,5	22,1	
Δa (50...90 MHz) [dB/km]				13,0				5,6
Mittlere Gruppenlaufzeit τ_g [μs/km]	3,6..	3,6..	3,6..		3,5..	3,5..	3,5..	
$\Delta\tau_g$ (50...90 MHz) [ns/km]				~2				~1
Mittlerer Wellenwiderstand Z [Ω]	$Z_{2,5MHz} = 75{,}0\ \Omega$ $Z_{200\ MHz} = 73{,}1\ \Omega$				$Z_{1MHz} = 75{,}0\ \Omega$ $Z_{200\ MHz} = 74{,}4\ \Omega$			
Nebensprechdämpfung für 1 km [dB]	>150 (Messgrenzen)				>150 (Messgrenzen)			
Dämpfungsänderung in Funktion der Temperatur [‰ je °C] für ΔT = 20 °C [dB/km]	1,6	1,8	2,1	~2	0,7	0,8	0,9	~2
Dichtigkeit von verschraubten Steckern Typ N oder Siemens 1.6/5.6				>120 dB				

22 Leistungsverstärker

Am sendeseitigen Kabelende ist ein Leistungsverstärker notwendig, der im wesentlichen folgende Bedingungen zu erfüllen hat:

Bandbreite 50...90 MHz innerhalb 0,5 dB
Impedanz 75 Ω
(Ein- und Ausgang)

Der Verstärker muss einen kleinen AM/PM-Konversionsfaktor aufweisen und nur minimale Intermodulationsverzerrungen und Harmonische erzeugen. Im Handel erhältliche, halbleiterbestückte Leistungsverstärker, die diesen Anforderungen genügen, erreichen Ausgangsleistungen

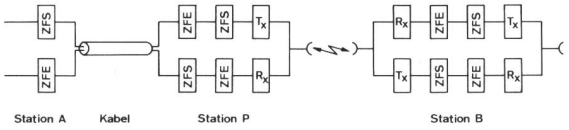

Fig. 2
ZF-Kabelanlage als Bestandteil einer Richtstrahl-Teilstrecke

ZFS ZF-Sendeteil
ZFE ZF-Empfangsteil
Tx Richtstrahlsender
Rx Richtstrahlempfänger

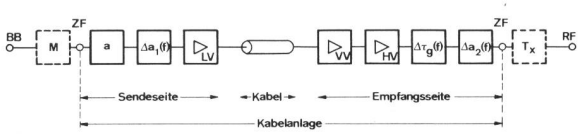

Fig. 3
Blockschema der ZF-Kabelanlage

BB Basisband
ZF Zwischenfrequenz
RF Radiofrequenz
LV Leistungsverstärker
VV Vorverstärker
HV Hauptverstärker
M Modulator
Tx Richtstrahlsender
a variable Dämpfung
Δa(f) Dämpfungsentzerrer
Δτg(f) Laufzeitentzerrer

bis zu 100 W bei einer Verstärkung von 50 dB. Verstärker mit einer Leistung von 100 W eignen sich jedoch für diese Anwendung nicht, da deren Anschaffung wie auch deren Betrieb zu kostspielig ist. Ebenso stellt eine solche Ausgangsleistung aussergewöhnlich hohe Anforderungen an die Kabel und die ZF-Entkopplung zwischen Sende- und Empfangspfad. Ohne besonderen Aufwand treiben zu müssen, kommen für die Kabelübertragung Verstärkerleistungen bis zu etwa 20 W in Frage.

23 Vor- und Hauptverstärker

Bei sinnvoller Wahl der Kabellängen und der Leistung des sendeseitigen Verstärkers liegt der Pegel des ZF-Empfangssignals am Kabelende zwischen –30 und –60 dBm; es treten also Empfangspegel auf wie bei Richtstrahlempfängern unter Schwund.

Als Vor- und Hauptverstärker lassen sich ohne weiteres entsprechende Baugruppen von Richtstrahlempfängern für die gleiche Übertragungskapazität verwenden. Der Eingang des Vorverstärkers muss für ein günstiges Signal-Rausch-Verhältnis an die Kabelimpedanzange passt werden. Eine automatische Verstärkungsregelung ist nicht notwendig, könnte jedoch Dämpfungsänderungen infolge Temperaturschwankungen ausgleichen.

Vor- und Hauptverstärker weisen zusammengeschaltet folgende Eigenschaften auf:

Bandbreite	70±15 MHz innerhalb ±0,25 dB
3-dB-Bandbreite	40 MHz
Ausgangspegel	0,5 V
Verstärkung	30...70 dB (je nach Kabellänge)
Rauschfaktor	2...4 dB

24 Dämpfungsentzerrer

Die Aufgabe des Dämpfungsentzerrers besteht im Ausgleich der kabelbedingten, stark frequenzabhängigen ZF-Amplitudenverzerrung. Der Dämpfungsverlauf des Kabels kann wie folgt ausgedrückt werden

$$a(f) = k\sqrt{f}$$

und im betrachteten Frequenzbereich (50...90 MHz) mit einem passiven Netzwerk, bestehend aus einer Serieschaltung von zwei überbrückten T-Gliedern vom Typ Bandpass und Bandstopp, mit kleinem Aufwand und guter Annäherung entzerrt werden *(Fig. 4)*. Die elektrischen Werte der einzelnen Elemente hängen von der Kabellänge ab. Der Dämpfungsentzerrer wird mit Vorteil unmittelbar vor dem Leistungsverstärker eingesetzt *(Tab. II)*.

Empfangsseitig kann für die Feineinstellung des Amplitudenfrequenzganges noch ein Dämpfungsentzerrer vorgesehen werden. Es stellt sich die Frage, ob ein fest abgestimmter Dämpfungsentzerrer auch bei Berücksichtigung der temperaturabhängigen Dämpfungsänderungen des Kabels genügt. Normalerweise rechnet man mit einer Kabeltemperatur von +10 °C und einem jährlichen Temperaturgang von ±10 °C. Die temperaturabhängigen Dämpfungsänderungen betragen 2‰ je Grad °C für die erwähnten Koaxialkabeltypen (Tab. I). Wird der Entzerrer entsprechend einem Dämpfungsverlauf des Kabels bei +10° C eingestellt, so liegt die maximale Abweichung im Bereich von 70±20 MHz bei 0 °C oder +20° C für ein Kleinkoaxialkabel innerhalb 0,25 dB/km und beim Grosskoaxialkabel innerhalb 0,1 dB/km. Da für die temperaturabhängigen Dämpfungsänderungen im Bereich von 70±20 MHz eine Amplitudenfrequenzgangtoleranz von etwa ±0,25 dB zulässig ist, kann ein fest abgestimmter Dämpfungsentzerrer bis zu einer Kabellänge von 2 km für ein Kleinkoaxialkabel und bis zu 5 km für ein Grosskoaxialkabel verwendet werden.

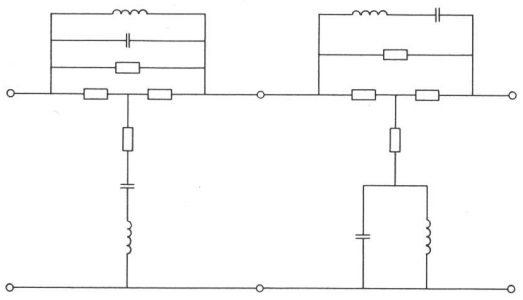

Fig. 4
Dämpfungsentzerrer

Tabelle II. Einfluss der Einfügung des Entzerrers auf die Ausgangsleistung des Verstärkers und auf die Rauschzahl auf der Empfangsseite

Ort des Entzerrers unmittelbar...	Ausgangsleistung P des Leistungsverstärkers für gleiches S/N	Rauschzahl F der Empfangsseite	Nachteile
vor Leistungsverstärker	P'	$F_1 + \frac{F_2-1}{G_1}$	AM/PM-Konversion im Leistungsverstärker
nach Leistungsverstärker	A.P'	$F_1 + \frac{F_2-1}{G_1}$	hohe Belastung des Entzerrers, grössere Leistung des Leistungsverstärkers
vor Vorverstärker	A.P'	$A\left(F_1 + \frac{F_2-1}{G_1}\right)$	grössere Leistung des Leistungsverstärkers, grössere Rauschzahl
vor Hauptverstärker	A.P'	$F_1 + \frac{AF_2-1}{G_1}$	grössere Leistung des Leistungsverstärkers, grössere Rauschzahl, AM/PM-Konversion im Vorverstärker

A Dämpfung des Entzerrers bei 90 MHz (etwa 2...4)
F_1 Rauschzahl des Vorverstärkers
G_1 Verstärkung des Vorverstärkers
F_2 Rauschzahl des Hauptverstärkers

25 Laufzeitentzerrer

Der Laufzeitentzerrer hat den nach hohen Frequenzen hin leicht ansteigenden Gruppenlaufzeitfrequenzgang auszugleichen. Für die erwähnten Kabeltypen sind zwischen 50 und 90 MHz Laufzeitunterschiede von 1...2 ns/km zu erwarten (Tab. I).

3 Berechnungsbeispiele für das zulässige Gesamtgeräusch der Kabelanlage

Das für die Kabelanlage zulässige Gesamtgeräusch wird für Telefonie- oder Bild- und Tonübertragung am zweckmässigsten im Rahmen eines ganzen FM-Abschnitts einer Richtstrahlverbindung ermittelt.

Es sei darauf hingewiesen, dass für eine wirtschaftliche Ausführung der Kabelanlage ein Teil der Geräuschreserven der Richtstrahlausrüstungen eines FM-Abschnitts zugunsten der Kabelanlage eingesetzt werden muss, damit die entsprechenden CCIR-Empfehlungen eingehalten werden. Mit modernem Richtstrahlmaterial und sorgfältiger Planung erreichen heute gebaute Richtstrahlverbindungen Systemmargen, die ganz beachtliche Übertragungsdistanzen mit Koaxialkabel erlauben, ohne dass die Geräuschbedingungen des FM-Abschnitts, bestehend aus Kabel und Richtfunkstrecken, aus dem Rahmen der Weitverkehrsbedingungen nach CCIR fallen.

Für die Bestimmung des erlaubten Gesamtgeräusches der Kabelanlage werden folgende Voraussetzungen in Betracht gezogen:

- Die ZF-Kabelanlage ist Bestandteil einer von 5 Teilstrecken des homogenen Abschnitts nach CCIR-Empfehlung 392. Für Bild- und Tonübertragung wird vergleichshalber derselbe Abschnitt vorausgesetzt
- Die Länge des homogenen Abschnitts beträgt 280 km
- Die Teilstrecken sind alle gleich lang (56 km) und die Ausbreitung ist auf allen Teilstrecken unbehindert
- Die den Berechnungsbeispielen zugrunde gelegte Systemdämpfung beträgt in schwundfreien Zeiten auf allen Teilstrecken 62 dB (typischer Planungswert).

31 Übertragung von Telefoniekanälen

Nach CCIR-Empfehlung 395–1 soll der Stundenmittelwert der Geräuschleistung N_{CCIR} bei einer realen Verbindung der Länge L (zwischen 50 und 840 km) den Wert

$$N_{CCIR} = L \cdot 3\ \text{pW/km} + 200\ \text{pW}$$

nicht überschreiten. Für den 280 km langen FM-Abschnitt wird somit das zulässige Gesamtgeräusch

$$N_{CCIR} = 1040\ \text{pWOp}$$

Mit modernen Richtstrahlausrüstungen und sorgfältiger Streckenplanung werden jedoch heute reale Verbindungen mit einer Systemmarge von ungefähr 4 dB erstellt, das heisst das Gesamtgeräusch N_{real} erfüllt die Beziehung

$$N_{real} = L \cdot 1\ \text{pW/km} + 100\ \text{pW}$$

und das Geräusch für den homogenen Abschnitt wird

$$N_{real} = 380\ \text{pWOp}$$

Als Systemmarge ist das Verhältnis $10 \log \frac{N_{CCIR}}{N_{real}}$ definiert.

Lässt man eine um 3 dB verminderte Systemmarge zu, so kann für den FM-Abschnitt mit Kabelanlage nachstehende Geräuschbilanz aufgestellt werden, wobei die angegebenen Geräuschpegel der Geräte typische Planungs- und nicht Pflichtwerte sind und alle Geräuschwerte in pWOp angegeben sind und für den ungünstigsten Telefoniekanal eines 1800-Kanal-Systems gelten.

Grundgeräusch

Modem		30	
Kabelanlage	Grundgeräusch (unabhängig vom Pegel am Kabelende)	20	
	Vom Pegel am Kabelende abhängiges thermisches Geräusch	360	
Richtstrahlanlage (5-Sender-Empfänger)			
	Dämpfungsunabhängiges Geräusch (5×20 pW)	100	
	Dämpfungsabhängiges Geräusch (5×16 pW)[1]	80	(250)[2]
Gesamtes Grundgeräusch für den FM-Abschnitt bestehend aus 5 Teilstrecken und einer ZF-Kabelanlage		590	(760)[2]

Intermodulationsgeräusch

Geräusch bei konventioneller Belastung (+17,5 dBm0) nach CCIR:		
Modem	20	
Kabelanlage	60	
Richtstrahlanlage		
5-Sender-Empfänger	70	
Echos in Wellenleiterzügen (5×8 pW)	40	
Gesamtes Intermodulationsgeräusch für den FM-Abschnitt, bestehend aus 5 Teilstrecken und einer ZF-Kabelanlage	190	

Interferenzgeräusch

Kabelanlage	10	[3]
Richtstrahlanlage (5×8 pW) (Einstrahlungen in die Empfangsantennen)	40	

Gesamtgeräusch

Für den FM-Abschnitt bestehend aus 5 Teilstrecken und einer ZF-Kabelanlage	830	(1000)[2]

Systemmarge 1 dB[4]
Schwundmarge 5 dB[5]

Für den FM-Abschnitt mit 5 Teilstrecken *ohne* ZF-Kabelanlage gilt

Gesamtgeräusch 380 pWOp
Systemmarge 4 dB
Schwundmarge 10 dB

Für die Kabelanlage allein gilt

zulässiges Gesamtgeräusch 450 pWOp

---

[1] Gilt für einen angenommenen Systemwert von 140 dB und eine Systemdämpfung von 62 dB. Daraus folgt ein Träger-Geräuschverhältnis am Empfängereingang von 10 log C/N = 65,7 dB, da für den obersten Telefoniekanal (7600 kHz) und eine ZF-Bandbreite von 40 MHz das dämpfungsabhängige Geräusch – bezogen auf den relativen Pegel Null – (10 log C/N+12,3 dB) dBmOp beträgt (vgl. Kapitel 4). Bei einem Rauschfaktor von 8 dB ist die nominelle Empfangsleistung C=–24,5 dBm, die Sendeleistung P_{TX} = +37,5 dBm.

[2] Die Geräuschleistungen in Klammern gelten bei einem Schwund von 5 dB auf allen Teilstrecken gleichzeitig.

[3] Gilt für einen Abstand von Nutz- und Interferenzträger C/I = 58 dB bei nur einem Störträger. Der Dichtigkeit der Stecker und der Verbindung Stecker–Kabel ist grosse Aufmerksamkeit zu schenken.

[4] Die Systemmarge wird definiert als $10 \log \frac{N_{CCIR}}{N_{real}}$

N_{CCIR} Gesamtgeräusch nach CCIR-Empfehlung 395-1
N_{real} Effektiv erreichtes Gesamtgeräusch einer erstellten Verbindung in schwundfreien Zeiten

[5] Die Schwundmarge wird definiert als $10 \log \frac{N_{CCIR} - (N_{real} - N_{DA})}{N_{DA}}$

N_{CCIR}, N_{real} siehe Bemerkung 4

N_{DA} Gesamtes dämpfungsabhängiges Geräusch aller Teilstrecken. Das Interferenzgeräusch der Richtstrahlanlage wurde als dämpfungsunabhängig angenommen, da es gegen das thermische Geräusch klein ist.

Die Schwundmarge gilt, auf diese Weise definiert, für einen Simultanschwund auf allen Teilstrecken.

Vom Pegel am Kabelende abhängiges, maximales thermisches Geräusch	360 pWOp (–64,4 dBmOp)

32 Übertragung eines Bildkanals

Der Geräuschabstand darf nach CCIR-Empfehlung 289-1 während 80% eines Monats für eine Verbindung mit einer Länge von 2500 km den Wert von 56 dB nicht unterschreiten. Wie bei der Telefonieübertragung werden die Geräuschverhältnisse vergleichshalber auch bei der Bildübertragung auf den FM-Abschnitt von 280 km Länge bezogen.

Der Signal-Geräuschabstand beträgt nach CCIR für diesen FM-Abschnitt

$$(S/N)_{CCIR} \geq 66 \text{ dB}$$

Verwendet man Richtstrahlmaterial der gleichen Qualität wie bei der Telefonieübertragung, so können für 5 Teilstrecken ohne Kabelanlage folgende Geräuschabstände angegeben werden:

	1 Teilstrecke	5 Teilstrecken
Modem	80 dB	80 dB
Dämpfungsunabhängiges Geräusch (Sender-Empfänger)	85 dB	78 dB
Dämpfungsabhängiges Geräusch (Empfänger)[6]	97 dB	90 dB
Geräuschabstand für die ganze Verbindung ohne Kabelanlage	76 dB	
Systemmarge	10 dB	
Schwundmarge	24 dB	

Reduziert man auch hier die Systemmarge zugunsten der Kabelanlage auf 1 dB, so ergibt sich für die Richtstrahlverbindung mit Kabelausrüstung ein Geräuschabstand von 67 dB, und der für die ZF-Kabelanlage allein zulässige Signal-Geräuschabstand beträgt 67,6 dB. Bei einer Fernsehübertragung über ein langes Koaxialkabel überwiegt wegen der grossen Dämpfung der dämpfungsabhängige Anteil des Gesamtgeräusches. Die Beeinflussung des Geräusches durch einen andern TV-Kanal infolge Nebensprechens auf der ZF-Ebene ist unkritisch, so dass dadurch keine Geräuscherhöhung zu erwarten ist.

Das vom Eingangspegel der Empfangsseite abhängige, thermische Geräusch kann somit dem zulässigen Gesamtgeräusch der Kabelanlage gleichgesetzt werden. Für den 280 km langen FM-Abschnitt, bestehend aus 5 Teilstücken und einer ZF-Kabelanlage, ergeben sich folgende Werte:

Signal-Geräuschabstand Gesamter Abschnitt	67 dB
Kabelanlage allein (entspricht ungefähr dem, vom Pegel am Kabelende abhängigen, thermischen Geräusch)	67,6 dB
Systemmarge	1 dB
Schwundmarge	17 dB

33 Übertragung eines Tonkanals

Bei simultaner Übertragung eines Bild- und eines Tonkanals nach CCIR-Empfehlung 402 darf das Geräusch im Tonkanal gemäss CCIR-Bericht 375 für den Bezugskreis von 2500 km den Wert –48 dBmOps (0 dBm Bezugspunkt) während 80% eines Monats nicht überschreiten. Bezieht man das Geräusch, wie in den vorangegangenen Kapiteln, auf einen 280 km langen FM-Abschnitt, beträgt das zulässige Geräusch im Tonkanal –58 dBmOps.

Mit modernem Richtstrahlmaterial und sorgfältiger Streckenplanung erreicht man bei einem Abschnitt, bestehend aus 5 Teilstrecken, und bei gleichzeitiger Aussteuerung des Bildkanals folgende Werte:

Gewogenes Gesamtgeräusch im Tonkanal (Bezugspegel 0 dBm)	–66 dBmOps
Davon dämpfungsabhängiges, thermisches Grundgeräusch[7]	–80 dBmOps
Systemmarge	8 dB
Schwundmarge	21 dB

Auch bei der Tonübertragung wird die Systemmarge zugunsten der Kabelanlage auf 1 dB reduziert.

Für den 280 km langen FM-Abschnitt, bestehend aus 5 Teilstrecken und einer ZF-Kabelanlage, ergeben sich folgende Werte:

Gesamtgeräusch im Tonkanal	–59 dBmOps
Davon maximal zulässiges Geräusch für die Kabelanlage allein (entspricht ungefähr dem, vom Pegel am Kabelende abhängigen, thermischen Geräusch)	–60 dBmOps
Systemmarge	1 dB
Schwundmarge	15 dB

4 Maximale Übertragungsdistanz

Als maximale Übertragungsdistanz wird jene Kabellänge bezeichnet, bei der das für die ZF-Kabelanlage zulässige Gesamtgeräusch erreicht aber nicht überschritten wird.

Massgebend für die Bestimmung der maximalen Übertragungsdistanz ist der vom Pegel C am Empfängereingang der Kabelanlage abhängige Teil des Gesamtgeräusches. Der erforderliche ZF-Pegel C am Kabelende wird wie folgt berechnet: Allgemein gilt für das thermische Empfängergeräusch bei Frequenzmodulation

$$10 \log (S/N_{th})_{BB} = 10 \log (C/N)_{ZF} + V \quad (1)$$

$10 \log (S/N_{th})_{BB}$	Signal-Geräuschabstand für das thermische Empfängergeräusch nach der Demodulation im Basisband. Bei Telefonie- und Tonkanälen wird nicht wie bei Bildkanälen der Abstand angegeben, sondern das absolute Geräusch am Pegelpunkt Null. Die zulässigen Werte wurden in Kapitel 3 bestimmt.
$10 \log (C/N)_{ZF}$	ZF-Träger-Rauschabstand am Empfängereingang
V	Verbesserungsfaktor in dB. Er setzt sich zusammen aus der FM-Verbesserung, der Bandbreitenreduktion, der Geräuschbewertung und der Vorbetonungs-Verbesserung.

Das thermische Geräusch am Empfängereingang beträgt:

$$10 \log N = 10 \log (kT_oB) + F \quad (2)$$

$$10 \log N = -95 \text{ dBm}$$

[6] Der Träger-Geräuschabstand am Richtstrahlempfängereingang ist gleich gross wie im Abschnitt 31, nämlich 10 log C/N = 65,7 dB. Bei Bewertung mit der Zeitkonstanten von 0,33 µs gilt 10 log S/N = 10 log C/N+31 dB (vgl. Kapitel 4). Der Systemwert beträgt 159 dB.

[7] Der Träger-Geräuschabstand am Richtstrahlempfängereingang ist gleich gross wie in Abschnitt 32, nämlich 10 log C/N = 65,7 dB. Das dämpfungsabhängige Geräusch, bezogen auf den Pegel 0 dBm, ist –(10 log C/N+21,4 dB) dBmOps je Empfänger (vgl. Kapitel 4). Der Systemwert beträgt 149 dB.

kT_0 4.10^{-18} mW/Hz
B ZF-Bandbreite (40 MHz)
F Rauschfaktor des Empfangsteils der ZF-Kabelanlage (3 dB)

Die Verbesserungsfaktoren V für die drei Signalarten sind folgendermassen definiert:

Telefoniekanal

$$V_{Tf}\,[dB] = 10 \log \left[\left(\frac{\Delta f}{f} \right)^2 \cdot \frac{B}{b} \right] + p_{Tf}(f) + w_{Tf} \qquad (3a)$$

$V_{Tf}(7600) = 12.3$ dB
V_{Tf} Verbesserungsfaktor für den Telefoniekanal
Δf Effektivwert des Kanalhubs der neutralen Frequenz (140 kHz_{eff})
f Mittenfrequenz des betrachteten Tf-Kanals im Basisband (7600 kHz)
b Bandbreite des Tf-Kanals (3,1 kHz)
B ZF-Bandbreite (40 MHz)
p_{Tf} (f) Abweichung des Hubes bei der Frequenz f durch die Vorbetonung im Vergleich zum Hub bei der neutralen Frequenz (+3,4 dB)
w_{Tf} Geräuschbewertung für weisses Rauschen (2,5 dB)

Die Zahlen in Klammern gelten für ein 1800-Telefoniekanal-System und den Telefoniekanal mit der Mittenfrequenz 7600 kHz.

Bildkanal

$$V_{TV}\,[dB] = 10 \log \left[\left(\frac{\sqrt{3} \cdot \Delta f_{ss}}{f_g} \right)^2 \cdot \frac{B}{f_g} \right] + p_{TV} + w_{TV} \qquad (3b)$$

V_{TV} = 31 dB
V_{TV} Verbesserungsfaktor für Fernsehen
Δf_{ss} Hub (Spitze-Spitze) eines Sinussignals mit der neutralen Frequenz und der Amplitude von 700 mVss (Bezugspegel für das thermische Geräusch) Δf_{ss} = 5,6 MHz (1 $V_{ss} \triangleq 8\ MHz_{ss}$)
f_h obere Grenzfrequenz (5 MHz)
B ZF-Bandbreite (40 MHz)
p_{TV} Verbesserung durch die Vorbetonung (2,2 dB)
w_{TV} Geräuschbewertungsfaktor für «Dreieckrauschen» bei Verwendung der CCIR-Vorbetonung (14,1 dB)

Tonkanal

$$V_{TK}\,[dB] = 10 \log \left[\left(\frac{\Delta f_1}{f_{TK}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta f_2}{f_T} \right)^2 \cdot \frac{B}{f_{TK}} \right] + w_{TK} \qquad (3c)$$

V_{TK} 21,4 dB
V_{TK} Verbesserungsfaktor für den Tonkanal
Δf_1 Effektivwert des Primärhubes (50 kHz) Bezugspegel 0 dBm
f_{TK} obere Grenzfrequenz des Tonkanals (10 kHz) (gilt wegen dem Bewertungsfilter auch für den 15-kHz-Tonkanal)
Δf_2 Effektivwert des Sekundärhubes (300 kHz)
f_T Frequenz des Tonhilfsträgers (7,5 MHz)
B ZF-Bandbreite (40 MHz)
w_{TK} Korrekturglied zur Erfassung der durch die doppelte Frequenzmodulation gegebenen Geräuschverteilung und Geräuschbewertung (–0,6 dB)

Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) folgt für den erforderlichen ZF-Pegel C

$C_{Tf,TK}\,[dBm] = -N_{th} + N - V$
$C_{TV}\,[dBm] = S/N_{th} + N - V$

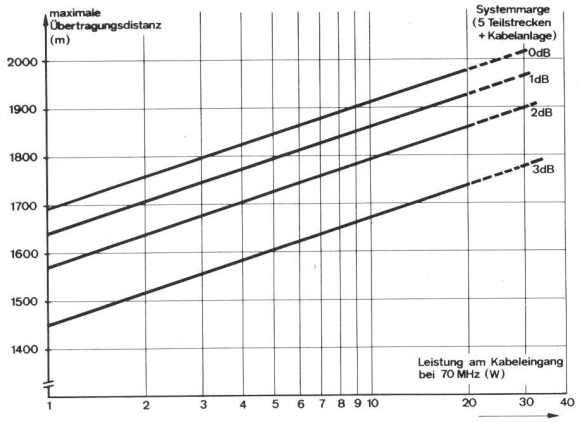

Fig. 5
Übertragungsdistanz für ein 1800-Kanal-Telefoniesystem über ein Kleinkoaxialkabel gemäss Abschnitt 31

Für die in Kapitel 3 bestimmten zulässigen Geräusche N_{th} beziehungsweise S/N_{th}, bei einer Systemmarge von 1 dB, wird der ZF-Pegel C

C_{Tf} –43 dBm; N_{th} –64,4 dBmOp
C_{TV} –58,5 dBm; S/N_{th} 67,6 dB
C_{TK} –56,5 dBm; N_{th} –60 dBmOps

Die maximale Übertragungsdistanz kann nun in Funktion der Ausgangsleistung des Leistungsverstärkers bei 70 MHz aus dem erforderlichen ZF-Pegel C und der Kabeldämpfung

Tabelle III. Maximale Übertragungsdistanz für Telefonieübertragung nach Abschnitt 31

Telefonie	Maximale Übertragungsdistanz [m]			
Systemmarge	Kleinkoaxialkabel		Grosskoaxialkabel	
[dB]	1 W	20 W	1 W	20 W
0	1690	1980	3920	4600
1	1640	1930	3820	4500
2	1570	1860	3660	4340
3	1450	1740	3370	4050

Tabelle IV. Maximale Übertragungsdistanz für Bildübertragung nach Abschnitt 32

Fernsehen	Maximale Übertragungsdistanz [m]			
Systemmarge	Kleinkoaxialkabel		Grosskoaxialkabel	
[dB]	1 W	20 W	1 W	20 W
1	1990	2290	4630	5310
2	1970	2260	4580	5260
3	1940	2230	4510	5190
4	1910	2200	4440	5120
8	1750	2050	4070	4760

Tabelle V. Maximale Übertragungsdistanz für Tonübertragung nach Abschnitt 33

Ton	Maximale Übertragungsdistanz [m]			
Systemmarge	Kleinkoaxialkabel		Grosskoaxialkabel	
[dB]	1 W	20 W	1 W	20 W
1	1950	2240	4520	5200
2	1920	2210	4460	5140
3	1890	2180	4380	5060
6	1760	2050	4090	4770

bei 70 MHz und + 10 °C berechnet werden. Die Kabeldämpfung beträgt für ein Kleinkoaxialkabel 44,4 dB/km und für ein Grosskoaxialkabel 19,1 dB/km (Tab. I).

In *Figur 5* ist die maximale Übertragungsdistanz in Funktion der Leistung am Kabeleingang eines Kleinkoaxialkabels bei 70 MHz für eine Telefonieübertragung mit den Annahmen von Abschnitt 31 dargestellt. Als Parameter wurde die Systemmarge für den 280 km langen FM-Abschnitt, bestehend aus 5 Teilstücken und der ZF-Kabelanlage, gewählt.

In den *Tabellen III, IV* und *V* sind die maximalen Übertragungsdistanzen für die drei Signalarten bei Übertragung über ein Klein- oder ein Grosskoaxialkabel zusammengestellt.

5 Versuchsergebnisse

Versuche mit einem Kleinkoaxialkabel von 1800 m zeigten eine gute Übereinstimmung mit den in Kapitel 3 bestimmten Geräuschwerten für die Kabelanlage. Insbesondere wurde festgestellt, dass eine sorgfältig aufgebaute Kabelanlage keine messbaren TV-Verzerrungen verursacht.

Messungen der Entkopplung bei 70 MHz bei einem 1800 m langen Kleinkoaxialkabel mit Steckern Typ Siemens 1.6/5.6 ergaben einen Wert von mehr als 150 dB.

6 Schlussbetrachtungen

Entscheidend für die Wahl von Gross- oder Kleinkoaxialkabel bei einer Richtstrahlverbindung mit ZF-Kabelanlage ist ein Kostenvergleich für die ganze Kabelanlage. Die Kabelübertragung über grosse Entfernung (≥5000 m), bei denen die Kabel- und Verlegungskosten stark ins Gewicht fallen, wird aus Kostengründen vermutlich nicht mehr sinnvoll sein.

Ebenfalls ist bei langen Übertragungsdistanzen zu berücksichtigen, dass wegen den grossen Pegelunterschieden zwischen Sende- und Empfangspfad entsprechend hohe Anforderungen an die Dichtigkeit der Steckerverbindungen an den Kabelenden gestellt werden müssen.

Eine Nebensprechdämpfung von ungefähr 150 dB muss angestrebt werden. Mit dieser Nebensprechdämpfung beträgt zum Beispiel das Interferenzgeräusch bei einer 1800-Telefoniekanal-Übertragung im ungünstigsten Kanal 10 pWOp, wenn die Sendeleistung 20 W und die Empfangsleistung –43 dBm betragen und gleichzeitig vier Interferenzträger mit der gleichen Sendeleistung und Kanalzahl stören.

Die PTT-Betriebe werden im Jahre 1975 ein neues Fernseh-Richtstrahlterminal über eine 1800 m lange Kleinkoaxialkabelanlage und ZF-Übertragung an das bestehende Richtstrahlnetz anschliessen.

Bibliographie

[1] *Pooch H.* Richtfunktechnik. Berlin, Schiele & Schön, 1970.