

Digitale Übertragung im Fernmeldenetz der Schweizerischen PTT-Betriebe

Autor(en): **Hadorn, Ernst / Bütikofer, Jean-Frédy**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **59 (1981)**

Heft 4

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874181>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Digitale Übertragung im Fernmeldenetz der Schweizerischen PTT-Betriebe

Ernst HADORN und Jean-Frédéric BÜTIKOFER, Bern

DK621,376,5:621,391,3,037,37:621,395,46,621,395,741:654,116,32(494)

Zusammenfassung. Seit 10 Jahren werden im schweizerischen Fernmeldenetz PCM-Übertragungsstrecken betrieben. Die Verfasser berichten über den heute erreichten Stand bei der Telefonie und der Datenübertragung und vergleichen ihn mit den Möglichkeiten und den Bedürfnissen in einem künftigen integrierten Fernmeldesystem.

Transmission numérique sur le réseau des télécommunications de l'Entreprise des PTT suisses

Résumé. Depuis 10 ans, on exploite des trajets de transmission MIC sur le réseau des PTT suisses. Les auteurs de cet article nous informent du stade atteint dans l'acheminement de la correspondance téléphonique et dans la transmission de données. Ils comparent ensuite ce niveau avec les possibilités et les exigences du futur système de télécommunications intégré.

Trasmissione digitale sulla rete delle telecomunicazioni dell'Azienda svizzera delle PTT

Riassunto. Da 10 anni sono in esercizio delle tratte per la trasmissione PCM sulla rete delle telecomunicazioni svizzera. Gli autori descrivono lo stato raggiunto attualmente nella telefonia e nella trasmissione dei dati, e lo confrontano con le possibilità e le esigenze di un futuro sistema integrato delle telecomunicazioni.

1 Einleitung

Das Prinzip der Pulscodemodulation (PCM) wurde schon vor 42 Jahren in einem Patent (Nr. 852183 vom Oktober 1938 von A. H. Reeves) festgehalten. Die Idee war, wie dies oft der Fall ist, den praktischen Verwirklichungsmöglichkeiten weit voraus. In der Schweiz fand ein erster Versuch mit dem Aufbau eines Richtstrahl-PCM-Systems bereits 1963 statt. Zur gleichen Zeit unterbreitete die Abteilung Forschung und Versuche der Generaldirektion PTT dem CCITT¹ einen umfassenden Vorschlag, der später die europäische Norm stark beeinflusste. 1964 wurde der Prototyp einer Endausrüstung in Zusammenarbeit mit Hasler AG in Bern fertig entwickelt. Für die Schweiz gab die 24. Schweizerische Tagung für elektrische Nachrichtentechnik vom September 1965, dem Thema «Puls-Code-Modulation» gewidmet, entscheidende Anregungen für die Anwendung von PCM im PTT-Fernmeldenetz. Damals stellte Dr. J. Baur, Bern, die Pulscodemodulation als «in naher Zukunft wirtschaftliches Übertragungssystem» vor. Zudem wurde 1966 das erste Labormuster einer Durchschalteinheit entwickelt und im Betrieb erprobt.

Das Ziel dieses Aufsatzes ist es, in einer allgemeinen Übersicht festzuhalten, was in bezug auf PCM-Übertragungssysteme bisher verwirklicht wurde und was in den nächsten Jahren voraussichtlich getan wird. Weitere Beiträge zu diesem Thema sind in der Bibliographie aufgeführt.

Bei der Einführung der PCM-Übertragungssysteme sind drei markante Stufen zu unterscheiden:

- PCM-Übertragungsstrecken für Telefoniestromkreise in analoger Umgebung
- digitale Übertragungsstrecken für Datenfernleitungen
- integrierte Vermittlungs- und Übertragungssysteme auf der Basis der Pulscodemodulation

2 PCM-Übertragungsstrecken für Telefoniestromkreise in analoger Umgebung (Bezirksnetz)

Seit 1969 stehen PCM-Übertragungssysteme zur Verfügung, die auf längeren Bezirkskabelanlagen wirtschaftlich interessante Lösungen bieten. In [1] wurden 1971 Wirtschaftlichkeitsgrenzen errechnet, die die

Grundlage für den seitherigen Bau neuer Anlagen bildeten. Wie zu erwarten war, erwiesen sich PCM-Anlagen vor allem auf bestehenden paarsymmetrischen Kabeln als interessant, weil hier der Bau kostspieliger neuer Kabelanlagen vermieden werden konnte.

Bis und mit 1980 sind auf Bezirkskabeln 89 PCM-Übertragungsstrecken mit einer gesamten Länge von 1036 km in Betrieb genommen worden. 79 dieser Anlagen, einer Länge von 895 km entsprechend, sind auf älteren paarsymmetrischen Kabeln geschaltet. Die restlichen (141 km) werden über Minikoaxialpaare (0,65/2,8 mm) und mit 8-Mbit/s-Systemen auf neueren, besonders für PCM-Einrichtungen ausgebauten Kabeln betrieben. Auf einer für das schweizerische Bezirksnetz extrem langen Strecke von 64 km wurde 1980 ausserdem eine erste 8-Mbit/s-Richtstrahlverbindung eingesetzt.

Vergleicht man diese Zahlen mit dem gesamten Bestand an Kabelanlagen des Bezirksnetzes, also ungefähr 1200 Anlagen mit einer Länge von etwa 14 200 km, so sieht man, dass der Anteil der heute teilweise mit PCM genutzten Kabel erst bei rund 7,5 % liegt. Von den 738 Zentralen des Bezirksnetzes waren Ende 1980 deren 88 oder 12 % teilweise über PCM-Übertragungsstrecken bedient.

Die bis 1972 im Bezirksnetz verwendeten sternverseilten, paarsymmetrischen Kabel sind nicht für hochfrequenten Betrieb konzipiert und wurden auch nur im tonfrequenten Bereich abgeglichen. Die Zahl der in solchen Anlagen maximal möglichen PCM-Systeme hängt von vielen Faktoren ab. Der Aderdurchmesser, der lagenmässige Aufbau des Aderbündels, die angewendete Verseiltechnik, die parallel im Kabel laufenden Leitungen für hochfrequenten Telefonrundspruch (HF-TR) und dessen Pegelverhältnisse, die zulässigen Fehlerraten sowie Störeinflüsse von Signalisierungsimpulsen auf den mitlaufenden Verbindungsleitungen usw. sind hier massgebend. Tabelle 1 zeigt als Beispiel die aus eingehenden Messungen sowie anhand theoretischer Berechnungen ermittelten Maximalwerte für den Einsatz von PCM-Systemen auf den im Bezirksnetz häufigsten Kabeltypen bei der in der Schweiz üblichen Verstärkerfeldlänge von 1830 m. Der im Band 170...340 kHz in vielen Kabeln auf einem normalen Aderpaar übertragene HF-TR muss durch eine Zwischenlage von den PCM-führenden Adern abgeschirmt werden, da sonst eine unzulässige Beeinflussung des Telefonrundspruchs auftreten würde. Bisherige Kabel — mit HF-TR im Zentrum — kön-

¹ CCITT Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique

Tabelle I. In Fern- und Bezirksnetzen maximal mögliche Anzahl von PCM-Systemen (n)

Aderdurchmesser	HF-TR über Minikoaxialpaar					
	0,6	0,8	1,0			
Paare/Anzahl Lagen	n	n	n			
78/3+1 Minirohr	—	22	22			
128/4+1 Minirohr	—	30	30			
190/5+1 Minirohr	—	38	38			
264/6+1 Minirohr	—	70	70			
350/7+1 Minirohr	—	112 ¹	112 ¹			
450/8+1 Minirohr	—	114 ¹	114 ¹			
Aderdurchmesser	Kein HF-TR			Mit HF-TR im Zentrum		
	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
Paare/Anzahl Lagen	n	n	n	n	n	n
24/2	—	1	3	—	—	—
30/2	—	1	3	—	—	—
40/2	12	12	12	—	—	—
78/3	16	22	22	—	1	3
128/4	30	36	36	16	30	30
190/5	52	70	70	34	—	—
264/6	70	102 ¹	102 ¹	50	78	78
60/3	16	20	20	—	—	—
104/4	26	26	26	—	1	3
160/5	42	54	54	16	34	34
228/6	56	90	90	40	—	—
308/7	94	110 ¹	110 ¹	56	90	90
400/8	112 ¹	144 ¹	—	90	112 ¹	—
620/10	176 ¹	206 ¹	—	152 ¹	176 ¹	—
28/2	—	—	3	—	—	—
64/3	—	—	20	—	—	3
112/4	—	—	28	—	—	28
172/5	—	—	52	—	—	—
244/6	—	—	96	—	—	76
34/2	—	—	3	—	—	—
106/4	—	—	28	—	—	28
164/5	—	—	50	—	—	50

Einkabelbetrieb; Verseilung: Stern
 PCM HDB-3; 2,048 Mbit/s
 Zwischenverstärker-Feldlänge 1830 m
 Alle PCM-Repeater werden mit Vorentzerrung ausgerüstet
¹ Maximal 96 Systeme vorgesehen

nen deshalb wesentlich weniger PCM-2-Systeme aufnehmen als solche ohne HF-TR-Übertragung oder als die neueren Kabel, die eine Minikoaxialtube für HF-TR aufweisen.

3 Digitale Übertragungsstrecken für Datenfernleitungen

In grösseren Mengen digital anfallende Informationen (zum Beispiel Daten) werden zweckmässigerweise auch digital übertragen. Bei der Sanierung der alten Dieselhorst-Martin-(DM-)Fernkabelanlagen wurden deshalb für die im Fernnetz zu betreibenden Datenleitungen PCM-Übertragungsstrecken bereitgestellt [2, 3].

Bis und mit 1980 wurden im Fernnetz 24 digitale Übertragungsstrecken mit einer totalen Länge von 788 km in Betrieb genommen. Auf einer davon ist eine digitale 17-Mbit/s-Richtstrahlverbindung eingesetzt, auf den andern werden 2-Mbit/s-Systeme auf DM-Kabeln betrieben. Zwischen den dezentralisierten Fernbetriebszentren werden zusätzliche 2- und 8-Mbit/s-Systeme auf Kabel betrieben, die gleichermaßen dem Fern- und dem Bezirksverkehr dienen. Von den 61 Fernbetriebszentren

sind heute 32 am PCM-Datenfernleitungsnetz angeschlossen.

In den Jahren 1981 und 1982 ist die Inbetriebnahme von fünf weiteren 2-Mbit/s-Anlagen (167 km) auf DM-Kabelanlagen vorgesehen. Im gleichen Zeitraum kommen vier «Data Over Voice»-Anlagen zu 2 Mbit/s, überlagert auf 12-MHz-Systemen in Normalkoaxialkabelnetz, mit einer Anlagenlänge von 139 km zum Einsatz. Damit werden neun zusätzliche Fernbetriebszentren bedient.

Von 1983 an rechnet man mit der Inbetriebnahme der ersten 140-Mbit/s-Systeme auf Normal- und Kleinkoaxialkabelanlagen. Diese leistungsfähigen Einrichtungen (1920 Telefoniekanäle) sind als erste Teilstücke des PCM-Fernnetzes im integrierten Fernmeldesystem IFS zu betrachten.

4 Digitale Übertragungsstrecken im integrierten Fernmeldesystem

4.1 Im Bezirksnetz

Schon 1973 waren die Studien für die Einführung eines integrierten Fernmeldesystems soweit fortgeschritten, dass man sich entschloss, den Bau neuer Kabelanlagen im Bezirksnetz auf seine spezifischen Bedürfnisse auszurichten. Die beschränkten Ausnutzungsmöglichkeiten bisher üblicher Kabeltypen für PCM waren bekannt. Es wurden neue Kabeltypen mit Minikoaxialpaaren für die HF-TR-Übertragung und bei grossen Leistungsbedürfnissen auch für die PCM-Übertragung mit 8 und 34 Mbit/s geschaffen. Für die Projektierung der Anlagen galten dann folgende Grundsätze:

- Es sind nur noch Bezirkskabelanlagen zu bauen, die erlauben, den im Netzkonzept von IFS zu erwartenden Leitungssollbestand vollumfänglich durch digitale Systeme zu erfüllen, und zwar für einen Planungszeitraum von 20 Jahren.
- Neue Bezirkskabelanlagen sind vorläufig weiterhin so zu bemessen, dass sie nach der bisherigen Technik der Raumvielfachvermittlung die wirtschaftlichste Lösung darstellen.

In der Praxis wurden Lösungen mit vorzeitigem Einsatz digitaler Leitungen bevorzugt, um die zu erwartende Umstellung auf IFS-Netze zu erleichtern. So verwirklichte man zwischen 1974 und 1980 folgende Projekte (Fig. 1):

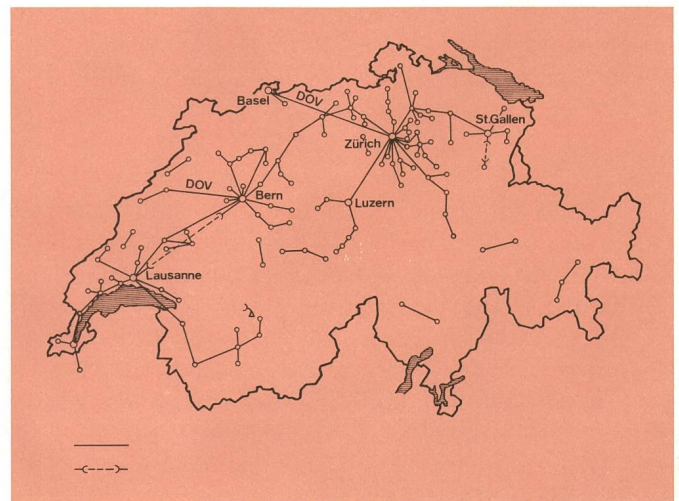


Fig. 1
 PCM-Übertragung im Fern- und Bezirksnetz, Stand 1980

- 66 Anlagen von einer Gesamtlänge von 551 km mit Kabeln, in denen der HF-TR auf einem Minikoaxialpaar übertragen wird
- 13 Anlagen (153 km) mit Kabeln, in deren Zentren acht Minikoaxialpaare für die Übertragung von HF-TR und PCM zu 8/34 Mbit/s bereitgestellt sind
- 22 Anlagen (303 km) mit Kabeln, in deren Zentren 16 Minikoaxialpaare für die Übertragung von HF-TR und PCM zu 8/34 Mbit/s bereitgestellt sind
- 3 Anlagen (19 km) mit Kabeln, in deren Zentren 40 Minikoaxialpaare für die Übertragung von HF-TR und PCM vorhanden sind

Diese 104 Kabelanlagen mit einer Länge von 1026 km entsprechen nur etwa 8,6 % der bestehenden Anlagen oder annähernd 7,2 % der Gesamtlänge. Sie bedienen 120 Zentralen, also etwa 16 % aller Zentralen des Bezirksnetzes.

Bei weiterhin gleichbleibendem Baurhythmus wären im Jahre 2003, das heisst 30 Jahre nach dem Anfang des PCM-Kabelbaues, erst etwa 70 % aller Zentralen mit einer digital tüchtigen neuen Kabelanlage erschlossen. IFS verlangt jedoch im erweiterten Bezirksnetz neben einer vollständigen Umstellung auf digitale Übertragung aus Sicherheitsgründen die Führung jedes Leitungsbündels auf zwei getrennten Übertragungsstrecken. Würde man das Ziel setzen, das ganze schweizerische Fernmeldenetz innerhalb von 20 Jahren auf digitale Zentralen und Übertragungsstrecken umzustellen, so müsste man den für die heute verwendete Vermittlungstechnik durchaus genügenden Baurhythmus für Übertragungsstrecken verdoppeln, wenn nicht verdreifachen. Dies bedingte einen entsprechenden finanziellen und personellen Aufwand.

Zur Bewältigung des grossen Bauvolumens werden neben den altbewährten auch neue Mittel zur Verfügung stehen. Die optischen Übertragungssysteme, die den Vorteil von kleinen Kabelquerschnitten und grossen Verstärkerfeldlängen aufweisen, haben einen Stand erreicht, der den allgemeinen Einsatz in wenigen Jahren gestatten sollte. 1980 wurde mit dem Bau von zwei Pilot-Betriebsanlagen begonnen, um weitere Erfahrungen zu sammeln und um das Personal mit der doch ganz neuartigen Technik vertraut zu machen. Auch im Bereich der Richtstrahlverbindungen werden heute neue Geräte für die Übertragung digitaler Signale auf kürzeren Distanzen angeboten. Gleich wie bei den optischen Übertragungsstrecken soll auch hier mit dem Bau und Betrieb von Pilotanlagen die Grundlage für den serienmässigen Einsatz geschaffen werden.

42 Im Fernnetz

Die Kapazität des digitalen Datenfernleitungsnetzes ist für den Bedarf im IFS um eine ganze Grössenordnung zu klein, weshalb dieses Netz bei der Einführung von IFS nur wenig dienen kann.

Etwa 99 % der heutigen Fernleitungen verlaufen in modernen analogen Frequenzmultiplexsystemen. Die in den Kabel- und Richtstrahlanlagen verfügbare Bandbreite ist voll ausgenützt. Eine Umstellung auf die eine etwa zehnmals grössere Bandbreite benötigenden digitalen Übertragungssysteme ist erst dann interessant, wenn leistungsfähige Einrichtungen mit Kanalzahlen von zum Beispiel 1920 (140 Mbit/s) oder noch besser von

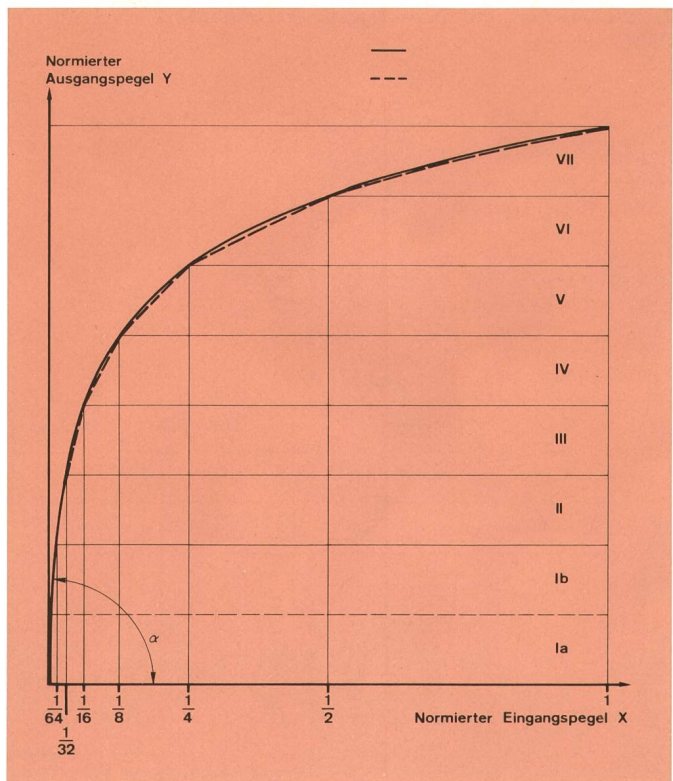


Fig. 2
Kompandergesetz der nichtlinearen Codierung

7680 (560 Mbit/s) zur Verfügung stehen. Das integrierte Fernmeldesystem ist deshalb so konzipiert, dass im Fernnetz vorerst digitale und analoge Leitungen verwendet werden können.

Beim Bau der Kabelanlagen wird jedoch den Anforderungen der digitalen Systeme Rechnung getragen [4]. Auf den Kleinkoaxialkabeln ist der Einsatz von 140-Mbit/s-Systemen möglich; die neuen Normalkoaxialtuben wurden soweit verbessert, dass mit dem Einsatz von 560-Mbit/s-Ausrüstungen gerechnet werden darf.

Eine erste 140-Mbit/s-Versuchsanlage ist bereits auf der Kleinkoaxialkabelanlage Rapperswil SG—Wattwil in Betrieb. Mit der Einschaltung der ersten Betriebsanlage wird 1983 gerechnet. 565-Mbit/s-Systeme dürften zwei bis drei Jahre später folgen.

Im Bereich der Fern-Richtstrahlverbindungen ist heute eine Anlage zu 17 Mbit/s zwischen Bern und Lausanne in Betrieb. Eine solche für 34 Mbit/s soll 1983, ebenfalls noch im Rahmen des Datenfernnetzes, als weitere Pilotanlage zwischen Zürich und Lugano eingeschaltet werden.

5 Digitale Übertragungsausrüstungen

51 Hierarchie und Anwendungsgebiet

511 Allgemeines

Die Grundlage für den Aufbau der digitalen Hierarchie, die in den internationalen Gremien CEPT² und CCITT festgelegt wurde, bildet der Telefonkanal. Das Telefonsignal wird 8000mal je Sekunde abgetastet und nach Durchlauf der nichtlinearen Codierung (Kennlinie A, Fig. 2) durch 8 bit je Abtastwert dargestellt. Jeder Ab-

² CEPT Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications

tastwert kann somit $2^8 = 256$ verschiedene Grössen annehmen. Dank der nichtlinearen Codierung ergeben die 256 Quantisierungsstufen einen Abstand vom Nutzsignal zum Quantisierungsgeräusch von etwa 38 dB. Ohne Eingangssignal fällt auch das Quantisierungsgeräusch weg, übrig bleibt das Grundgeräusch, das psophometrisch bewertet (das heisst dem menschlichen Ohre entsprechend) 65 dBmOp unter dem Nennsignal liegt [5, 6].

Aus der Abtastfrequenz von 8 kHz und der Darstellung der einzelnen Abtastwerte durch Wörter zu acht Bits ergeben sich 64 kbit/s als Grundbitrate für die Übertragung eines Telefongesprächs.

512 Erste Hierarchiestufe, 2,048 Mbit/s

Die PCM-Multiplexer erster Ordnung fassen 30 Telefonkanäle zusammen, wobei noch je ein Zeitschlitz für die Signalisierung und die Synchronisierung beigefügt werden. So ergibt sich die Bruttobitrate von 2,048 Mbit/s für die erste Ordnung der Hierarchie. Will man aber statt Telefongesprächen Daten übertragen, so können an einer besonderen Trennstelle bis zu vier Zeitschlitz zu 64 kbit/s eines Multiplexers verwendet werden.

Eine andere Möglichkeit, Daten über das digitale Netz zu übertragen, bildet der Multiplexer-A, der 31 Zeitschlitz zu 64 kbit/s zur Übertragungsrate erster Ordnung zusammenfasst. Figur 3 zeigt eine Übersicht aller digitalen Übertragungsmittel und ihrer Anschlüsse an die Telefonie- und Datenvermittlungsausrüstungen.

Ein typisches Anwendungsgebiet der ersten Hierarchiestufe ist das interzentrale und das Bezirksnetz. In einem geringeren Ausmass wird jedoch diese Geschwindigkeit auch im Fernnetz verwendet, in Anlagen, die vorwiegend für Bedürfnisse der Datenübertragung gebaut wurden.

513 Zweite Hierarchiestufe, 8,448 Mbit/s

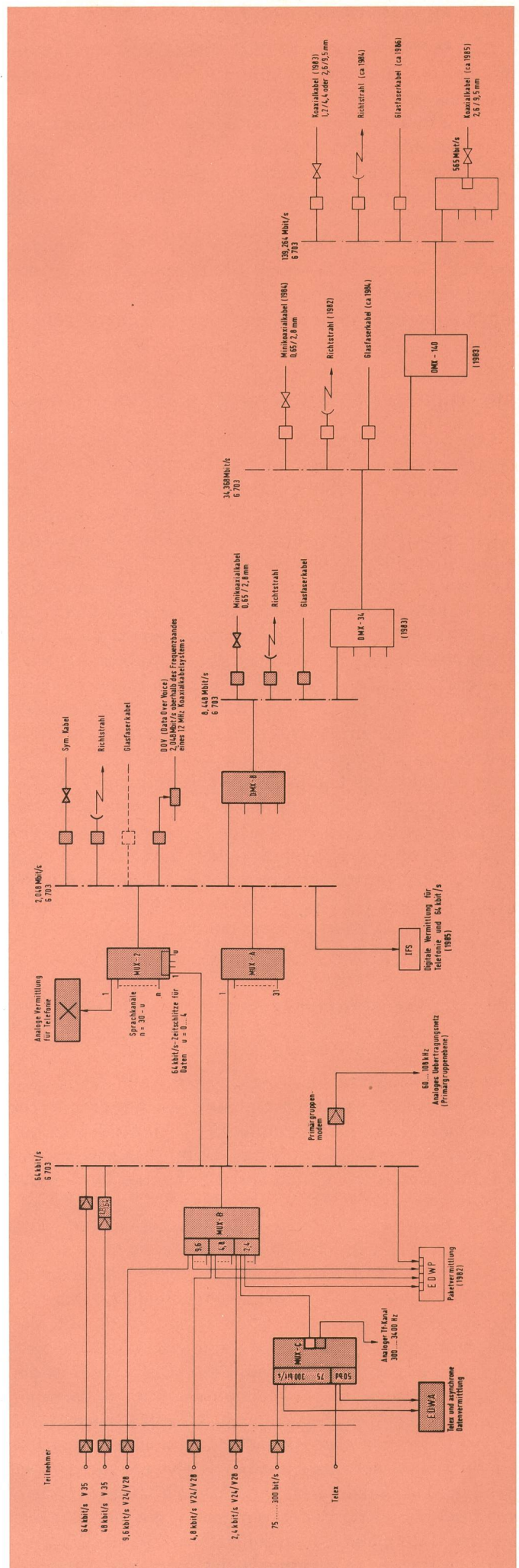
Der digitale Multiplexer DMX-8 fasst vier Bitströme der ersten Ordnung zur zweiten Ordnung (8,448 Mbit/s) zusammen. Die vier Zubringerströme werden bitweise verschachtelt, wobei die plesiochronen Phasen- und Frequenzfehler der Zubringer durch das Stopfverfahren aufgefangen werden [5, 6]. Die Rahmenstruktur ist aus Figur 4 ersichtlich. Das Anwendungsgebiet der zweiten Hierarchiestufe mit 8,448 Mbit/s (entspricht 120 Telefonkanälen) liegt im Bezirksnetz.

514 Dritte Hierarchiestufe, 34,368 Mbit/s

Die Umwandlung von der zweiten zur dritten Hierarchiestufe geschieht mit einem digitalen Multiplexer, der ähnlich aufgebaut ist wie jener der zweiten Stufe. Auch technologisch sind beide Multiplexer verwandt, trotz der vierfachen Arbeitsgeschwindigkeit. Das Anwendungsgebiet der dritten Hierarchiestufe mit 480 Telefonkanälen je System liegt im Bezirksnetz. Im Fernnetz verwendet man Richtstrahlssysteme zu 34 Mbit/s.

Fig. 3
Übersicht der digitalen Übertragung

- 1980 betrieblich eingeführt
- Einführung vorgesehen im Jahr 1982
- ◻ Einführung noch ungewiss



515 Vierte Hierarchiestufe, 139,264 Mbit/s

Der digitale Multiplexer DMX-140 erlaubt die Zusammenfassung von vier 34-Mbit/s-Bitströmen zur vierten Hierarchiestufe von 139,264 Mbit/s. Der prinzipielle Aufbau, die Rahmenstruktur, die Synchronisierung und das Stopfverfahren sind ähnlich wie bei den Multiplexern der unteren Hierarchiestufen. Wegen der hohen Bitrate musste aber eine wesentlich schnellere Technologie verwendet werden.

Die vierte Hierarchiestufe mit 1920 Telefonkanälen wird im Fernnetz verwendet. Übertragungssysteme der vierten Hierarchiestufe werden das Rückgrat des digitalen integrierten Fernnetzes der neunziger Jahre bilden.

516 Digitale Hierarchie für die Datenübertragung

Die Grundbitrate von 64 kbit/s, einem Telefonkanal entsprechend, ist für die meisten Datenanwender viel zu hoch. Digitale Multiplexer ermöglichen die Unterteilung der 64-kbit/s-Zeitschlitz in anwendergerechte Datengeschwindigkeiten. Der digitale Multiplexer-B gestattet eine Unterteilung in Datenkanäle zu 2,4, 4,8 und 9,6 kbit/s. Aus einem 64-kbit/s-Zeitschlitz können also wahlweise fünf Kanäle zu 9,6, 10 Kanäle zu 4,8 oder 20 Kanäle zu 2,4 kbit/s gebildet werden. Normalerweise sind diese Multiplexer gemischt mit allen drei Geschwindigkeiten bestückt, wobei die Summe aller Nutzströme 48 kbit/s jedoch nicht übersteigen darf. Die verbleibenden 16 kbit/s zwischen der Nutz- und der Übertragungsrate werden für die Rahmenbildung und die Synchronisierung benötigt. Die tiefste Geschwindigkeit von 2,4 kbit/s wird durch den Multiplexer-C weiter unterteilt, und zwar einerseits in 50-Baud-Kanäle für Telex und in verschiedene diskrete Geschwindigkeiten zwischen 50 und 300 bit/s für Anwender asynchroner Datenübertragungen. Aus einem 2,4-kbit/s-Kanal können zum Beispiel 46 Kanäle zu 50 Baud gebildet werden.

52 Digitale Leitungssysteme

521 Erste Hierarchiestufe, 2,048 Mbit/s

Meistens werden Leitungssysteme auf bisherigen symmetrischen Kabeln eingesetzt, die früher nur zur Übertragung von niederfrequenten Telefonsignalen gebraucht wurden. Diese Kabel sind im Abstand von 1,83 km pupinisiert. Es lag somit nahe, die PCM-2-Leitungssysteme so zu bemessen, dass der nominelle Abstand der regenerierenden Zwischenverstärker dem Pupinschritt entspricht. Die Bitfolgefrequenz ist mit 2,048 Mbit/s die gleiche wie an der Trennstelle zwischen PCM-Multiplexer und Leitungsendausrüstung. Das Gewinnen der notwendigen Gleichstromfreiheit und der Taktinformation für die Übertragung wird durch die Verwendung des HDB-3-Codes gewährleistet. Dieser ist ein modifizierter Bipolarcode, bei dem die Summe der positiven und negativen Eins-Impulse 0 bleibt (Gleichstromfreiheit) und bei dem höchstens drei aufeinanderfolgende Nullen auftreten können (Gewährleistung einer genügenden Taktinformation für die Regenerierung auch bei ungünstigen Impulsmustern, die zum Beispiel bei der Datenübertragung auftreten können). Die Zwischenverstärker sind ferngespeist, und eine Fehleror-

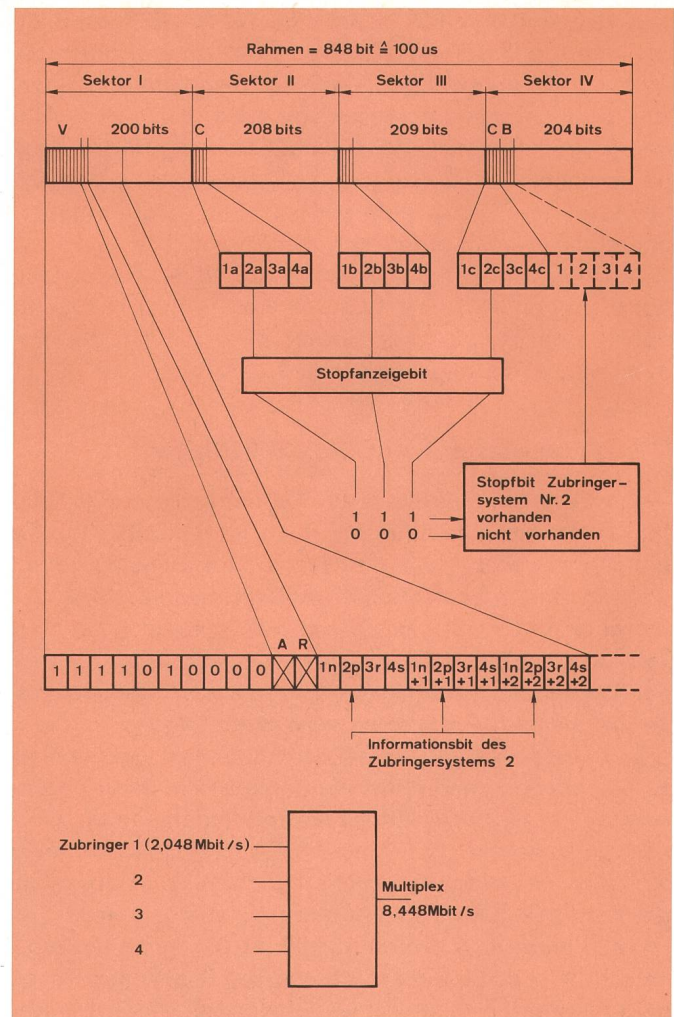


Fig. 4
Rahmenstruktur des digitalen Multiplexers zweiter Ordnung
V Rahmensynchronzeichen
C Anzeige Stopbit der vier Zubringersysteme
B Eventuell Stopbit, um den Rahmen aufzufüllen
R Reservebit für nationale Verwendung
A Bit für die Alarmübertragung

tungseinrichtung erlaubt die genaue Eingrenzung von fehlerhaften Zwischenverstärkern oder Kabelabschnitten. Eine Beschreibung dieser Systeme und eine Darstellung verschiedener Übertragungsprobleme sind in [5] enthalten.

PCM-2-Richtstrahlausrüstungen werden vorwiegend zur Überbrückung bei Kabelumbauten sowie im temporären Einsatz bei sportlichen Anlässen und im Fall von Katastrophen benutzt.

Die Frage, ob Glasfasern bereits für die erste Hierarchiestufe wirtschaftlich eingesetzt werden können, ist noch nicht endgültig abgeklärt, da der Preis der Glasfasern bei der entsprechend verhältnismässig schlechten Ausnutzung mit nur 30 Telefongesprächen heute noch zu hoch ist. 1981 werden Betriebsversuche mit einer optischen Leitungsausrüstung durchgeführt. Um eine möglichst einfache und zuverlässige Anlage zu erhalten, wird als Lichtquelle eine lichtemittierende Diode (LED) und nicht ein Laser verwendet. Ohne Zwischenverstärker kann eine Entfernung von 11 km überbrückt werden. Ein besonderes Anwendungsgebiet zeichnet sich für die Zukunft im Anschluss von Fernmeldeausrüstungen im Bereich von Hochspannungsanlagen ab, weil dank dem metalllosen Glasfaserkabel keine elektrische Beeinflus-

sung der Fernmeldekabel mehr auftreten kann. Als Sonderlösung und besonders für die Bedürfnisse der Datenübertragung können Data-Over-Voice-Systeme verwendet werden. Sie gestatten die Übertragung von 2,048 Mbit/s oberhalb des durch die 2700 Telefonkanäle belegten normalen Frequenzbandes eines 12-MHz-Analogsystems über Koaxialkabel.

522 Zweite Hierarchiestufe, 8,448 Mbit/s

Seit 1978 kommen im Bezirksnetz ebenfalls PCM-Leitungssysteme der zweiten Ordnung über Minikoaxialkabel mit Tubenabmessungen von 0,65/2,8 mm zum Einsatz. Der maximal überbrückbare Zwischenverstärkerabstand beträgt 4 km, doch wird mit Rücksicht auf die in den äusseren Lagen des Kabels mitlaufenden Niederfrequenzadern, die im Schritt von 1,83 km pupinisiert sind, ein nomineller Zwischenverstärkerabstand von 3,66 km (entsprechend zwei Pupinabständen) gewählt. Zudem werden in den Pupinschächten, die keine digitale Zwischenverstärker enthalten, ebenfalls Zwischenverstärkerkasten eingesetzt, die den späteren Übergang auf 34 Mbit/s ohne Umbauarbeiten ermöglichen werden. Die Zwischenverstärker sind ferngespeist. Defekte oder in der Qualität ungenügende Zwischenverstärker können geortet werden, ohne dass die Leitung ausgeschaltet werden muss, wie dies bei den 2-Mbit/s-Strecken noch der Fall ist.

8,448-Mbit/s-Richtstrahlanlagen werden ähnlich wie jene zu 2 Mbit/s vorwiegend temporär eingesetzt, wenn eine Übertragungskapazität von 120 Telefongesprächen benötigt wird.

Vielversprechend für die Zukunft bei der zweiten Hierarchiestufe ist der Einsatz von Glasfasern. Nachdem die erste 1979 in Bern gebaute Anlage mit Erfolg Telefonverkehr überträgt, werden 1982 zwei grössere solche Einrichtungen verwirklicht, und zwar von Basel nach Rheinfelden und Möhlin sowie von Lausanne nach Morges. Als optische Sender werden Laser der Wellenlänge 850 nm zur Anwendung kommen, und es wird möglich sein, Entfernungen bis zu 10 km ohne Zwischenverstärker zu überbrücken. Diese werden nicht ferngespeist, sondern in bestehenden Fernmeldegebäuden entlang der Strecke aufgestellt. In den nächsten Jahren ist mit der Einführung des zweiten und dritten optischen «Fensters» (Wellenlänge 1300 und 1550 nm) eine bedeutende Verlängerung der verstärkerlosen Übertragungsabschnitte zu erwarten. Schon heute können Glasfaseranlagen dem wirtschaftlichen Vergleich mit Minikoaxialkabelanlagen standhalten.

523 Dritte Hierarchiestufe, 34,368 Mbit/s

Bei den Kabelanlagen liegt der Einsatz der dritten Hierarchiestufe ebenfalls im Bezirksnetz. Zurzeit sind 34-Mbit/s-Leitungsausrüstungen für Minikoaxialkabel mit einem Zwischenverstärkerabstand von nominell 1,83 km in Entwicklung. Der Einsatz ist von 1984 an vorgesehen.

Erste Feldversuche mit 34 Mbit/s über Glasfaserkabel werden 1981 durchgeführt. Betriebsanlagen folgen später.

Richtstrahlverbindungen mit 34 Mbit/s werden von 1982 an im Fernnetz eingesetzt.

524 Vierte Hierarchiestufe, 139,264 Mbit/s

Das heutige Rückgrat der kabelgebundenen Übertragung im Fernnetz bilden Klein- sowie Normalkoaxialkabel (1,2/4,4 und 2,6/9,5 mm). Mit der Einführung des integrierten Fernmeldesystems (IFS) werden jedoch digitale Übertragungssysteme hoher Kapazität benötigt. Der Übergang von analog auf digital soll zudem ohne Umbau der Kabelanlage System um System erfolgen können, wobei analoge Zwischenverstärker entfernt und durch digitale ersetzt werden.

Das 140-Mbit/s-Leitungssystem entspricht diesen Anforderungen. Mit ihm lassen sich 1920 Telefongespräche übertragen, bei einem Zwischenverstärkerabstand von 2 km im Fall des Kleinkoaxialkabels. Dieser Abstand entspricht somit jenem der analogen Leitungssysteme zu 12/18 MHz. Steht ein Normalkoaxialkabel zur Verfügung, so beträgt der Zwischenverstärkerabstand 4,5 km, also dreimal mehr als bei den analogen Leitungsausrüstungen für 60 MHz. Der maximale Abstand zwischen zwei Zentralen ist wegen der Fernspeisung auf 120 km beim Kleinkoaxialkabel und 275 km beim Normalkoaxialkabel begrenzt. Seit 1979 betreiben die Fernmeldedienste eine Versuchsstrecke zwischen Rapperswil SG und Wattwil, die in [7] beschrieben worden ist. Die nächste Anlage dieser Art wird 1983 zwischen Basel und Olten gebaut und eingeschaltet.

Die mögliche Übertragungskapazität der Normalkoaxialkabel (2,6/9,5 mm) wird aber grösser, wenn vom gleichen Zwischenverstärkerabstand von 1,5 km ausgegangen wird, wie dies bei den Analogsystemen für 60 MHz der Fall ist. Leitungsausrüstungen für die gleichzeitige Übertragung von 7680 Telefongesprächen bei einer Bitrate von 565 Mbit/s stehen zurzeit in Entwicklung, auch wenn die internationalen Normierungsarbeiten noch nicht vollständig abgeschlossen sind. Diese hohe Übertragungsgeschwindigkeit wird aber nicht als fünfte Hierarchiestufe bezeichnet, da keine physische Trennstelle zwischen Multiplexer und Leitungsendausrüstung mehr besteht. Auf diese musste wegen der technologischen Probleme verzichtet werden, die bei diesen hohen Frequenzen auftreten. So wird das 565-Mbit/s-Leitungssystem in den internationalen Gremien als 4×139 -Mbit/s-System benannt. In der Schweiz ist mit dessen betrieblicher Einführung von etwa 1985 an zu rechnen.

Grosse Hoffnungen setzt man auf die Übertragung von 139 Mbit/s mit optischen Systemen. Die Einführung in der Schweiz ist etwa 1986 vorgesehen, wobei Systeme im zweiten oder dritten optischen «Fenster» (das heisst bei einer Wellenlänge von 1300 oder 1550 nm) in Verbindung mit neuen Monomodefaisern zum Zuge kommen könnten. Falls der technologisch notwendige Sprung bei den Glasfaserkabeln und den Ausrüstungen gelingt, scheinen Zwischenverstärkerabstände von mehr als 30 km als erreichbar, was einen gewaltigen Fortschritt im Vergleich zu den üblichen Werten bei den Koaxialkabeln bedeuten würde.

Richtstrahlansammlungen für 139 Mbit/s befinden sich ebenfalls in Entwicklung und werden im Fernnetz von etwa 1984 an eingesetzt.

525 Digitale Teilnehmerleitungen

Um die Daten mit den verschiedenen gewünschten Geschwindigkeiten bis zum Teilnehmer übertragen zu

können, wurden mehrere neue Ausrüstungen eingeführt.

Zwei Basisbandmodems gestatten, die Anschlussprobleme bei den Teilnehmern zu lösen. Eine Ausführung dient für die Geschwindigkeiten von 48 und 64 kbit/s, die andere für 2,4, 4,8 und 9,6 kbit/s. Gegenüber den früher verwendeten Sprachbandmodems (bis 9,6 kbit/s) beziehungsweise Primärgruppenmodems (für 48 kbit/s) weisen die neuen Basisbandmodems den Vorteil auf, einfacher zu sein. Die Basisbandübertragung im Ortsnetz wird ausserdem weniger durch Fremdeinflüsse gestört, als dies bei den früheren Systemen der Fall war.

Die Technik zur Verwirklichung dienstintegrierter digitaler Teilnehmerleitungen für Telefonie und Daten ist zurzeit im Studium. Mehrere Lösungen stehen zur Diskussion. Es fragt sich, ob der Anschluss vier- oder zweidrähtig im Zeit-, Frequenzmultiplex oder mit adaptiven elektronischen Gabeln sein muss. Es ist zudem noch unsicher, ob diese digitalen Leitungen für alle Teilnehmer eingeführt werden oder jenen Benützern vorbehalten werden sollten, die schnelle Daten übertragen wollen.

6 Übergang zu den digitalen Vermittlungsausrüstungen

61 IFS

Die digitalen Vermittlungsausrüstungen des integrierten Fernmeldesystems (IFS) arbeiten auf der Basis von 64 kbit/s. Übergangsstellen sind aber durchwegs Vielfache zu 30 Zeitschlitzten, was einer Geschwindigkeit von 2,048 Mbit/s entspricht [8].

62 EDWP

Die 1982 in Betrieb kommende Paketvermittlung EDWP weist Zugänge für 2,4, 4,8 und 9,6 kbit/s auf. Der Anschluss der Teilnehmer kann entweder direkt im Basisband oder über Multiplexer-B geschehen. Verbindungen zwischen verschiedenen Paketvermittlungsstellen finden in der Ebene von 64 kbit/s statt.

63 EDWA

Der Zugang der Teilnehmer zur elektronischen digitalen Vermittlung für asynchrone Daten und Telex geschieht entweder direkt oder über Multiplexer-C.

7 Schlussfolgerungen

Die Hauptgründe für die Digitalisierung der Übertragung sind

- Wirtschaftlichkeit auch schon bei Punkt-Punkt-Verbindungen in analoger Umgebung

- bessere Ausnützung der Leitungen und Verbesserung der Übertragungsqualität bei der Datenübertragung
- digitale Übertragung als sinnvolle und wirtschaftliche Verbindung im Zusammenhang mit der Einführung der digitalen Vermittlung (IFS)

Die Digitalisierung der Übertragung auf allen Stufen erfordert jedoch die Einführung zahlreicher Ausrüstungen, die alle kompatibel sein müssen. Erschwerend bei deren Entwicklung und Einführung wirkt sich die Tatsache aus, dass die internationalen Normierungsarbeiten beim Entwicklungsbeginn oft noch nicht beendet sind, so dass Anpassungen an den letzten Normenstand der CEPT und des CCITT noch während der Entwicklungszeit geschehen müssen. Wenn auch Glasfaser und optische Übertragungssysteme für die Zukunft sehr verheissungsvoll sind, werden noch für lange Zeit digitale Übertragungssysteme für Koaxialkabel nötig sein. Das umfangreiche in der Schweiz vorhandene Koaxialkabelnetz wird nach seiner Umrüstung auf digitale Übertragung noch während sehr langer Zeit dienen. Neben den kabelgebundenen Übertragungssystemen werden je nach Wirtschaftlichkeit auch digitale Richtstrahlanlagen eingesetzt.

Die Anwendung dieser verschiedenen Mittel wird erlauben, das grosse Bauvolumen bei der Digitalisierung der Übertragung zu bewältigen und eine gute Betriebssicherheit durch die vermehrte Schaffung voneinander unabhängiger Übertragungswege zu gewährleisten.

Bibliographie

- [1] *Gfeller M.* Die Wirtschaftlichkeit von PCM-Systemen und ihr Einsatz im schweizerischen Leitungsnetz. Bern, Techn. Mitt. PTT 49 (1971) 8, S. 474...485.
- [2] *Bütikofer J.-F.* PCM-Fernleitungsnetz für Telefonie, Datenübertragung und Telex. Bern, Techn. Mitt. PTT 51 (1973) 10, S. 444...459.
- [3] *Knuchel W.* Sanierung des DM-Fernkabelnetzes. Bern, Techn. Mitt. PTT 54 (1976) 1, S. 13...21.
- [4] *Käser A.* Influence des irrégularités d'impédance des paires coaxiales sur la transmission numérique. Berne, Bull. techn. PTT 55 (1977) 7, p. 322...331.
- [5] *Trachsel R. und Bütikofer J.-F.* Les systèmes de transmission et leur utilisation dans les réseaux de télécommunications; état 1977. Berne, Direction générale des PTT, Matériel général, Magasins, 3030 Berne, PTT 89.11.2 fr. VI 78.
- [6] *Probst P.-A.* Les équipements de multiplexage numérique pour le service téléphonique. Berne, Bull. techn. PTT 55 (1977) 12, p. 544...552.
- [7] *Bütikofer J.-F. und Käser A.* Die erste 140-Mbit/s-Übertragungsanlage der Schweiz. Bern, Techn. Mitt. PTT 58 (1980) 8, S. 276...282.
- [8] *Suter W.* Die Systemgrundlagen des integrierten Fernmeldesystems IFS. Bern, Techn. Mitt. PTT 55 (1977) 9, S. 398...410.

**Die nächste Nummer bringt unter anderem
Vous pourrez lire dans le prochain numéro**

5/81

Die nächste Ausgabe der «Technischen Mitteilungen PTT» ist dem Thema «PTT + Radio» gewidmet.
La prochaine édition du «Bulletin technique PTT» sera consacrée au thème «PTT + Radio».