



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

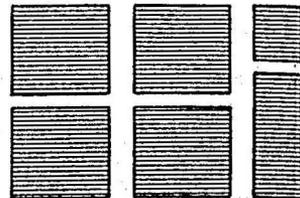
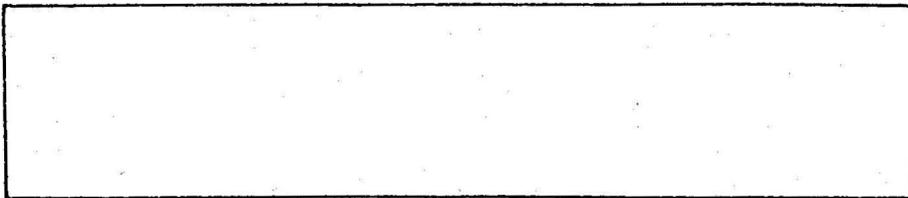
TECHNISCHER BERICHT NR. 218

Vergleich von Teilnehmerstationen
in einem digitalen
diensteintegrierten Breitbandnetz
mit dezentraler Vermittlung

von

Dipl.-Ing. Fred Schmidt

Juni 1983



TECHNISCHER BERICHT NR. 218

Vergleich von Teilnehmerstationen
in einem digitalen
diensteintegrierten Breitbandnetz
mit dezentraler Vermittlung

von

Dipl.-Ing. Fred Schmidt

Juni 1983

Technischer Bericht Nr. 218

Vergleich von Teilnehmerstationen in einem digitalen diensteintegrierten Breitbandnetz mit dezentraler Vermittlung

Inhaltsangabe

In einem Nachrichtennetz mit dezentraler Vermittlung führen die Teilnehmerstationen neben dem Ein- bzw. Auskoppeln der Nachrichten auch sämtliche Vermittlungsvorgänge selbstständig durch, ohne daß es einer zentral vermittelnden Einrichtung bedarf. Eine Teilnehmerstation stellt die Anschlußeinheit für die Endgeräte des Teilnehmers dar und ermöglicht ihm damit den Zugriff auf alle Verteil- und Dialogdienste in einem diensteintegrierten Netz.

Da in dezentral vermittelnden Systemen prinzipiell baugleiche Teilnehmerstationen an vielen Stellen des Netzes eingesetzt werden, verursachen sie einen erheblichen Teil des Aufwandes und der Kosten für das gesamte System. Ihre Konzeption und ihr Aufbau finden daher besondere Beachtung.

In dem komplexen Experimentalsystem "Breitbandkommunikation mit optischen Kanälen" des Heinrich-Hertz-Instituts wird u.a. die dezentrale Vermittlung schmal- und breitbandiger Dialog- und Verteildienste schwerpunktmäßig eingesetzt, wobei Teilnehmerstationen mit unterschiedlicher Konzeption und Leistungsfähigkeit Einsatz finden.

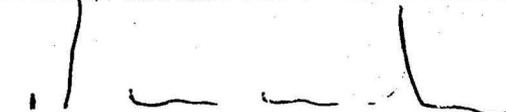
Auf der Basis dieser experimentellen Erfahrungen wird eine kritische Analyse sowie ein Aufwandsvergleich von Teilnehmerstationen in dezentral vermittelnden Netzen vorgenommen und über Erfahrungen im Dauerbetrieb berichtet.

Bearbeiter



(Dipl.-Ing. Fred Schmidt)

Wiss.-techn.Geschäftsführer



(Prof. Dr. C. Baack)

Abteilungsleiter



(G. Heydt)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
1. Das System	3
2. Prinzipielle Funktion der Teilnehmerstation mit dezentraler Vermittlung	6
3. Die Randbedingungen bei der Realisierung der Teilnehmerstationen	6
3.1 Das Breitbandnetz	6
3.2 Das Zeitmultiplexsystem	8
3.3 Die Betriebsabläufe	10
3.4 Die Dienste	11
3.5 Teilnehmerindividueller Ausbau	12
3.6 Weitere Vorgaben	12
4. Besondere Problemstellungen	12
4.1 Leitungscodierung	13
4.2 Synchronisation in der Teilnehmerstation	14
4.3 Zeitkritische Bedingungen der Vermittlungssteuerung	15
4.4 Parallele Datenbussysteme	17
5. Grundsätzliche Überlegungen zur Konzeption	18
5.1 Struktur der Teilnehmerstationen	18
5.2 Die Modularisierung der Teilnehmerstation	20
5.3 Hochfrequenz-Teil	21
5.4 Schnelle Vermittlungssteuerung	22
5.5 Erweiterbarkeit	24
6. Beschreibung der realisierten Teilnehmerstationen	25
6.1 Die Teilnehmerstation für 280 Mbit/s (HHI)	26
6.2 Die Teilnehmerstation für 140 Mbit/s (TEKADE/Philips)	29

7. Vergleich der Teilnehmerstationen	32
7.1 Unterschiedliche Merkmale	32
7.2 Konzeptvergleich	34
7.3 Aufwandsabschätzungen	35
8. Zusammenfassung	36
8.1 Kritische Analyse der Randbedingungen	36
8.2 Untersuchungsergebnis	37
Literaturverzeichnis	39

Abkürzungen

Bif	Bildfernsprechen
Dt	Daten
ECL	Emitter-coupled Logic
FPLA	Field-Programmable-Logic-Array
Fsp	Fernsprechen
GU	Geschwindigkeitsumsetzer
HF	Hochfrequenz
HHI	Heinrich-Hertz-Institut
IKB	Informationskennbit
µP	Mikroprozessor
NF	Niederfrequenz
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
SG	Sync-Generator
SR	Sync-Reflexgenerator
StR	Stereo-Rundfunk
TS	Teilnehmerstation
TTL	Transistor-Transistor-Logic
VFE	Vorfeldeinrichtung
VT-Wahl-TV	Verteil-, Wahlfernsehen

Abbildungsverzeichnis

Bild-Nr.	Benennung	Seite
1	Experimentalsystem	4
2	Synchronisationsdatenfluß im digitalen Breitbandnetz	7
3a	Zeitmultiplex-Rahmen 280 Mbit/s	9
3b	Zeitmultiplex-Rahmen 140 Mbit/s	9
4	Zeitplatz-Formate	11
5a	Markiereinheit	23
5b	Vergleicherprinzip der Kanal- verwaltung	23
6	Teilnehmerstation für 280 Mbit/s	27
7	Teilnehmerstation für 140 Mbit/s	30

Tabelle

1	Dienste im digitalen Breitbandnetz mit dezentraler Vermittlung	3
2	Unterschiedliche Leistungsmerkmale der verglichenen Teilnehmerstationen	33
3	Hardwareaufwand und Leistungsverbrauch für Teilnehmerstationen (ohne Codecs und Endgeräte) mit unterschiedlichen Diensteausstattungen	35

1. Das System

In den Jahren 1976 - 1981 wurde im Heinrich-Hertz-Institut ein Experimentalsystem aufgebaut, in dem digitale und analoge optische Breitbandübertragung, dezentrale und zentrale Vermittlung, Dienstintegration, zentrale Überwachung und Überleitung zwischen unterschiedlichen Teilnetzen innerhalb eines komplexen Gesamtsystems Anwendung finden /1/.

Mit der Konzipierung des Systems wurde im Jahre 1974 begonnen. Es entstand unter der Federführung des Heinrich-Hertz-Instituts in Zusammenarbeit mit sechs Firmen der deutschen Industrie (AEG-Telefunken, Grundig, SEL, Siemens, TEKADE-Philips, T & N) und der schweizer Firma Hasler.

Das Experimentalsystem setzt sich im wesentlichen aus einem analogen und einem digitalen Netz zusammen (Bild 1), die kompatibel miteinander verbunden sind und die beide dem Teilnehmer die Dienste Fernsprechen, Datenverkehr, Bildfernsprechen sowie TV- und Hörfunkverteilung gestatten (Tabelle 1).

Dienst	Bandbreite	Art der Wandlung	Abtastrate	Übertragungsrate	Zahl der Zeitplätze/Rahmen
Farb TV	5,5 MHz	Hybride DPCM (4 Bit)	12,288 MHz Lum. und 4,096 MHz Chr.	65,536 Mbit/s	1024
Bildfernsprechen	5,5 MHz	Hybride DPCM (4 Bit)	12,288 MHz Lum. und (4,096 MHz Chr.)	65,536 Mbit/s 49,152 Mbit/s	1024 (280. System) 768 (140. System)
Fernsprechen	3,4 kHz	Deltamod.	64 kHz	64 kbit/s	1
Stereo-Rundfunk-Verteilg.	15 kHz	PCM	32 kHz/Kanal	1,024 Mbit/s	16
Daten	1,2 kbit/s 9,6 kbit/s	-	64 kHz	64 kbit/s	1

Tabelle 1: Dienste im digitalen Breitbandnetz mit dezentraler Vermittlung

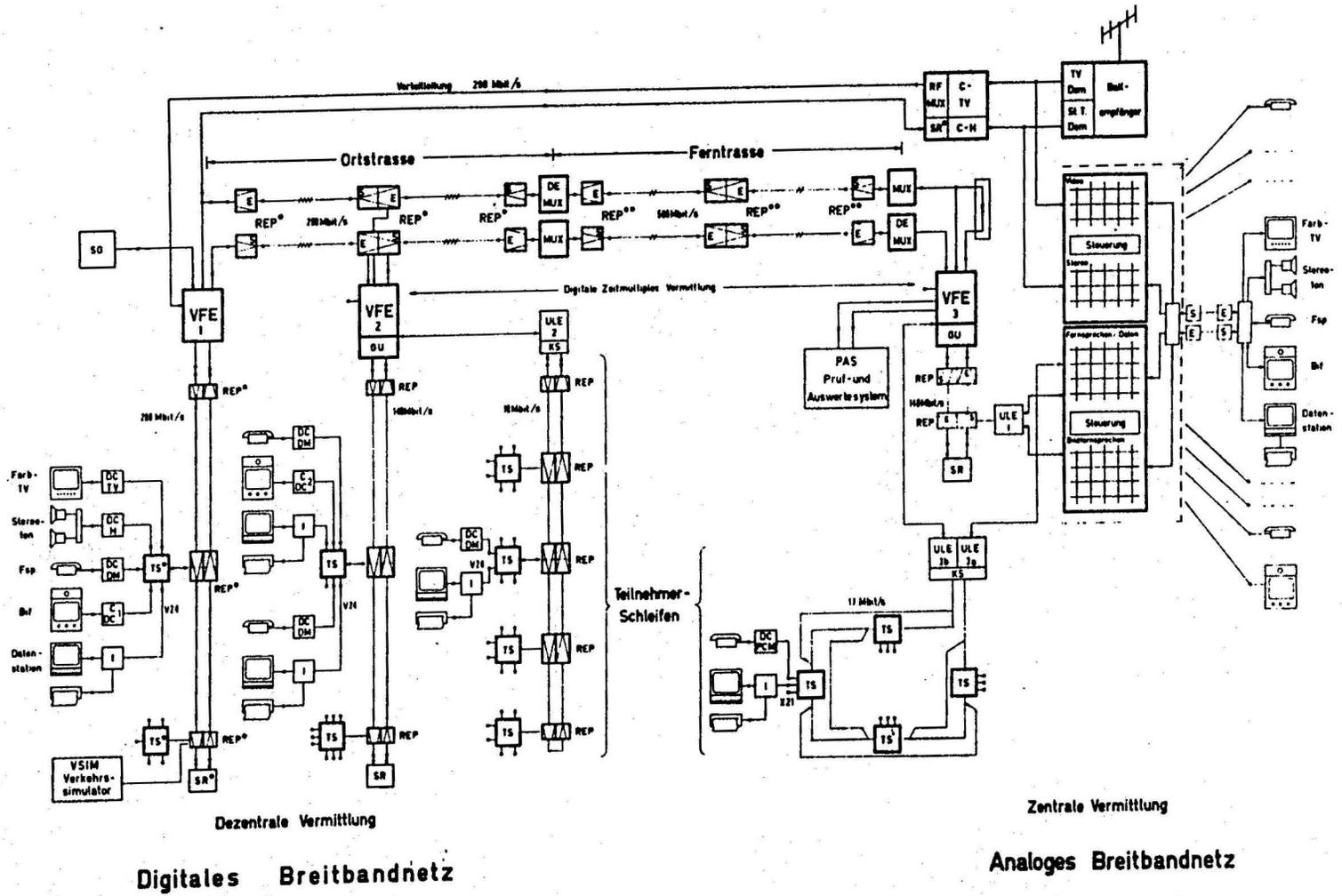


Bild 1: Das Experimentalsystem

Das digitale Netz besteht aus einzelnen Teilnehmerschleifen mit Übertragungsraten von 10 Mbit/s /2/, 17 Mbit/s /3/, 140 Mbit/s /4/ und 280 Mbit/s /5/. Die Teilnehmerschleifen sind über eine Ortstrasse (4 x 280 Mbit/s) und eine sogenannte Ferntrasse (2 x 560 Mbit/s) /6/ miteinander verbunden.

Während im analogen Netz die allgemein übliche zentrale Vermittlung in einem Sternnetz eingesetzt wird, findet im digitalen System ausschließlich die dezentrale Vermittlung Anwendung. Ein Aufwandsvergleich für den Teilnehmeranschluß beim hier realisierten analogen bzw. digitalen Netz wurde in /7/ durchgeführt.

Das Prinzip der dezentralen Vermittlung ist im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß

- jeder Teilnehmer den Gesamtverkehr seiner Netzebene empfängt und
- die Teilnehmerstation autonom die Vermittlungsfunktionen wahrnimmt, ohne daß es einer Zentrale bedarf.

Im Experimentalsystem wurde die dezentrale Vermittlung in einer einzigen Netzebene nur für Schmalbanddienste (64 kbit/s) realisiert. Bei einer Bewegtbildübertragung mit etwa 65 Mbit/s ist die dezentrale Vermittlung in e i n e r Hierarchieebene nur beschränkt möglich, da der Gesamtverkehr des gemeinsamen Übertragungspfades die maximale Taktrate von 300 Mbit/s heutiger integrierter Bauelemente (ECL) nicht überschreiten kann. Im Experimentalsystem wurden für die Bewegtbildübertragung (Bildfernsprechen) daher am Übergang der breitbandigen Teilnehmerschleifen zur Ortstrasse als dezentrale Vorvermittlungen sogenannte Vorfeldeinrichtungen (VFE) /8/ installiert, die nur die Video-Information für die Teilnehmer der nachfolgenden Teilnehmerschleife auskoppeln. Bezogen auf die Breitbanddienste bedeutet dies also ein Zwei-Ebenen-Netz mit dezentraler Vermittlung.

2. Prinzipielle Funktion der Teilnehmerstation mit dezentraler Vermittlung

Da in einem dezentralen Vermittlungssystem definitionsgemäß keine Zentrale mit übergeordneten Steuerungsfunktionen existiert, müssen alle vermittlungsnotwendigen Prozeduren autonom von den einzelnen Teilnehmerstationen abgewickelt werden. Dies bedeutet im einzelnen die Ein-/Auskopplung von Nachrichten in den seriellen Datenstrom von Sende- und Empfangsleitung, die Erkennung von Rufen, den selbständigen Verbindungsauf- und -abbau sowie die Abwicklung von netz- und benutzerspezifischen Betriebs-Algorithmen.

Die Realisierung dieser Funktionen wird wesentlich bestimmt durch die Topologie des Netzes, die Organisation des Zeitmultiplex-Systems, die im System vereinbarten Betriebsabläufe (Signalisierung), die Art und Anzahl der Dienste, die abgewickelt werden müssen sowie von der Forderung zusätzlicher Leistungsmerkmale wie z.B. Erweiterbarkeit, Modularität etc.

Daneben ist der vorgesehene Einsatz der Teilnehmerstation (z.B. als Einzelanschluß, Sammelanschluß, Konzentrator o.ä.) bestimmend für ihre innere Struktur.

3. Die Randbedingungen bei der Realisierung der Teilnehmerstationen

3.1. Das Breitbandnetz

Die Struktur des Systems ist ein Zwei-Ebenen-Netz. Die untere Netzebene ist linienförmig organisiert und besteht aus einzelnen Teilnehmerschleifen, die über getrennte Sende- und Empfangsleitungen verfügen und am Ende mit einem sog. Sync-Reflex (SR) abgeschlossen sind. Die obere Hierarchieebene wird durch die sog. Orts- und Ferntrasse gebildet, die den Summenverkehr sämtlicher Teilnehmerschleifen führen können.

Sync-Reflexgenerator (SR). Er erzeugt aus den Bit- und Rahmentakten der Empfangsleitung einen zeitlich versetzten leeren Zeitmultiplexrahmen für die Sendeleitung. Die zeitliche Verzögerung zwischen Empfangs- und Senderahmen wird gerade so gewählt, daß in der Vorfeldeinrichtung die Sendedaten der Teilnehmerleitung synchron zu denen auf der Ortstrasse eingekoppelt werden können; ein Feinabgleich wird innerhalb der VFE mit Hilfe eines elastischen Speichers vorgenommen /8/.

3.2 Das Zeitmultiplexsystem

Entsprechend den unterschiedlichen Übertragungsraten der beiden breitbandigen Teilnehmerschleifen existieren für das 280 Mbit/s-System und das 140 Mbit/s-System unterschiedliche Zeitmultiplexrahmen.

Bei beiden Systemen beträgt die Zeitplatzlänge 34 Bit und die Zeitrahmendauer 500 μ s. Im 280 Mbit/s-System besteht der Zeitmultiplexrahmen aus 4096 Zeitplätzen, die in 4 Unterrahmen (Spalten) zusammengefaßt werden (Bild 3a). Spalte 0 ist für die Schmalbanddienste und maximal 32 Hörfunkkanäle reserviert, in Spalte 1 wird ein Verteil-TV-Programm eingespeist und die Spalten 2 und 3 werden für Dialog-Bewegtbildübertragung verwendet.

Der Zeitmultiplexrahmen des 140 Mbit/s-Systems besteht aus 2048 Zeitplätzen und ist in 8 Spalten aufgeteilt (Bild 3b).

Spalte 0 und 4 ist für Schmalbanddienste vorgesehen, während je 3 Spalten der verbleibenden 6 für eine Dialog-Bewegtbildübertragung verwendet werden.

Ein Zeitplatz besteht zunächst aus einem festen Synchronisierbit und einem Kennbit (IKB), das die verbleibenden 32 Bit als Signalisier- oder Gesprächsdaten kennzeichnet (Bild 3a,b). Die 32 Nutzbit ergeben bei einer Zeitrahmen-Wiederholfrequenz von 2 kHz einen 64 kbit/s-Kanal.

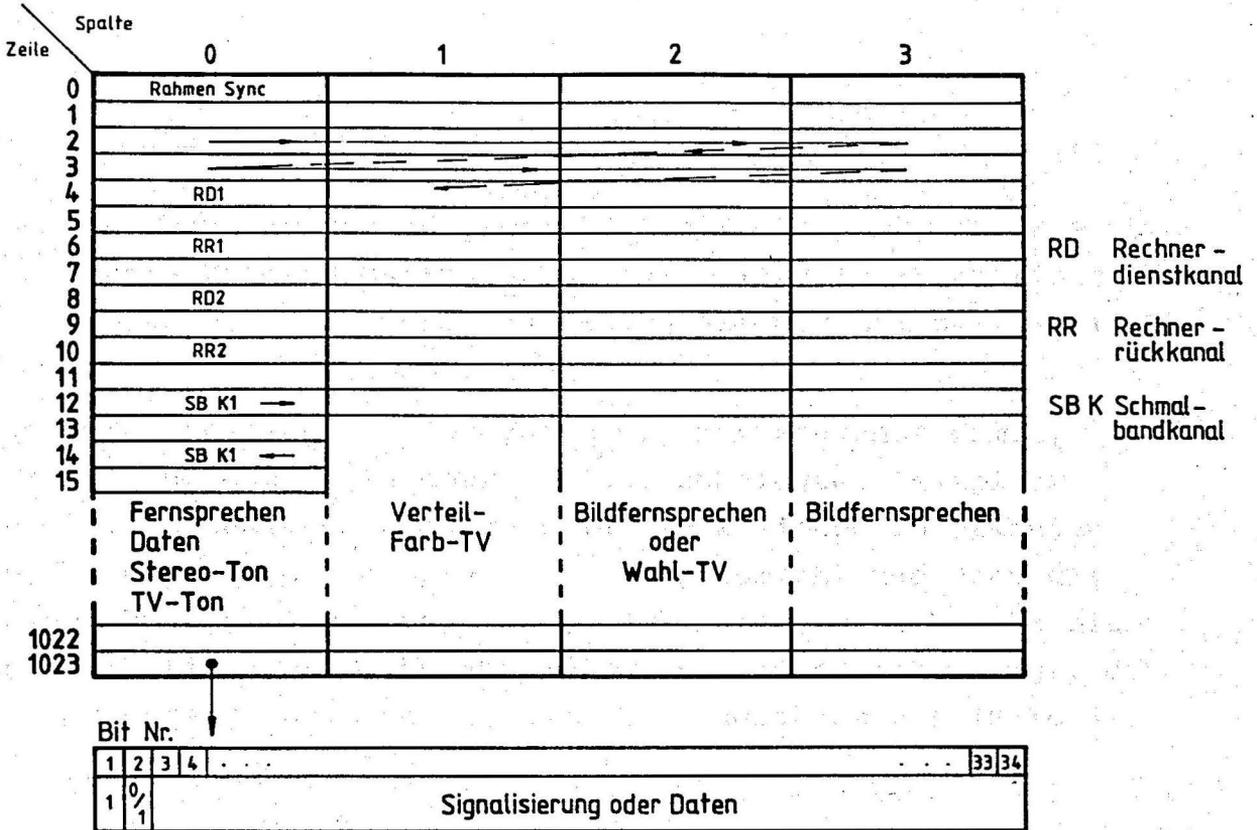


Bild 3a : Zeitmultiplex-Rahmen 280 Mbit/s (Teilnehmerschleife)

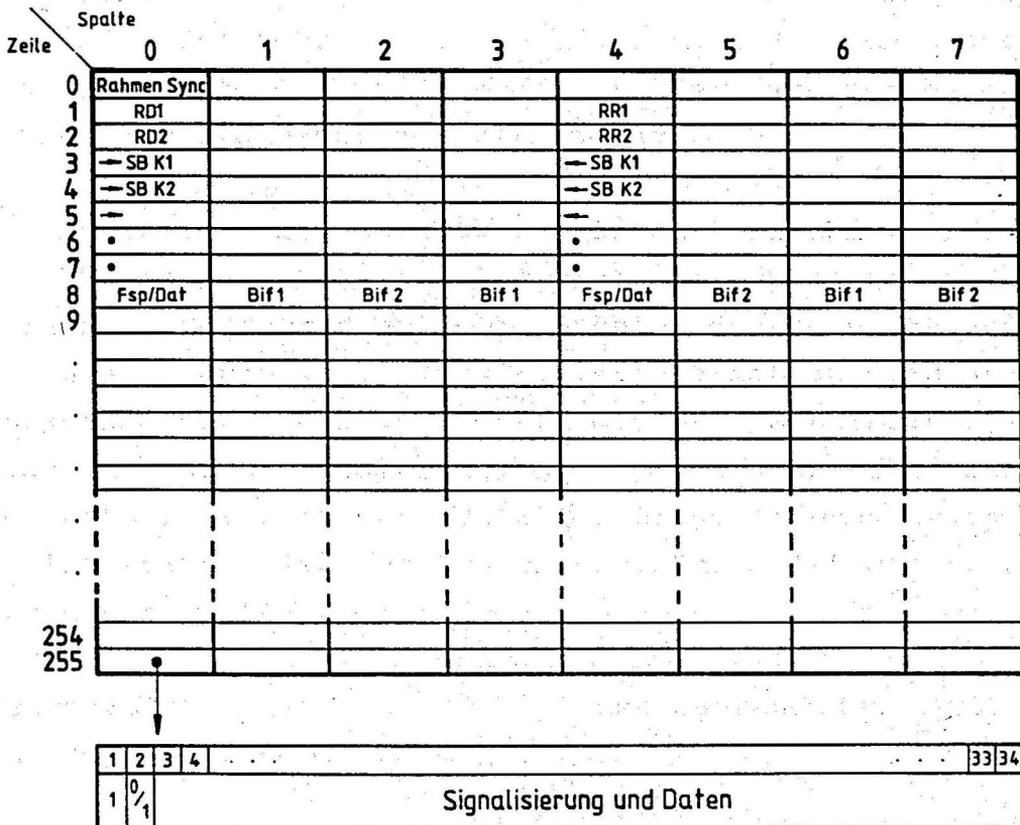


Bild 3b : Zeitmultiplex - Rahmen 140 Mbit/s

3.3. Die Betriebsabläufe

Für den Verbindungsaufbau wird der gleiche Zeitplatz wie für den Gesprächsdatenaustausch verwendet (in-slot-Signalisierung), zur Unterscheidung dient das zweite Bit des Zeitplatzes (IKB).

Ein Verbindungsaufbau im System beginnt zunächst damit, daß der rufende Teilnehmer A einen unbelegten Zeitplatz sucht, ihn mehrfach überprüft (um Kollisionen zu erkennen, werden hier Majoritätsprüfungen vorgenommen) und dann mit seiner Rufsignalisierung belegt /9/. Diese besteht aus einer Spezifikation des gewünschten Dienstes (Dienstekennung), der Zieladresse B sowie der eigenen Absenderadresse A (Bild 4).

Sämtliche Teilnehmerstationen überwachen den Datenfluß auf für sie bestimmte Rufe. Erkennt der gerufene Teilnehmer B einen Ruf, wird die Zeitplatz-Nummer registriert und auf einem zugeordneten Zeitplatz eine Quittung, die aus Dienstekennung und den vertauschten Absender- und Zieladressen besteht, zurückgesendet (Bild 4). Damit liegt die Zeitlage für beide Teilnehmer für die Dauer der Verbindung fest.

Bei besetztem oder nicht vorhandenem Teilnehmer erfolgt ein Rufabbruch nach 800 ms (time out). Der Übergang in den Gesprächszustand erfolgt durch Wechsel des Kennbits bei Gerufenem und Rufendem, die Signalisierungsinformation wird durch Gesprächsdaten ersetzt (Bild 4). Der Gesprächsabbruch erfolgt dadurch, daß ein Teilnehmer das Senden einstellt. Der andere Teilnehmer erkennt den nunmehr frei gewordenen Zeitplatz und stellt seinerseits das Senden ein. Damit ist die Verbindung ausgelöst.

Hervorzuheben ist, daß Kollisionen während der Verbindungsaufbauphase möglich sind.

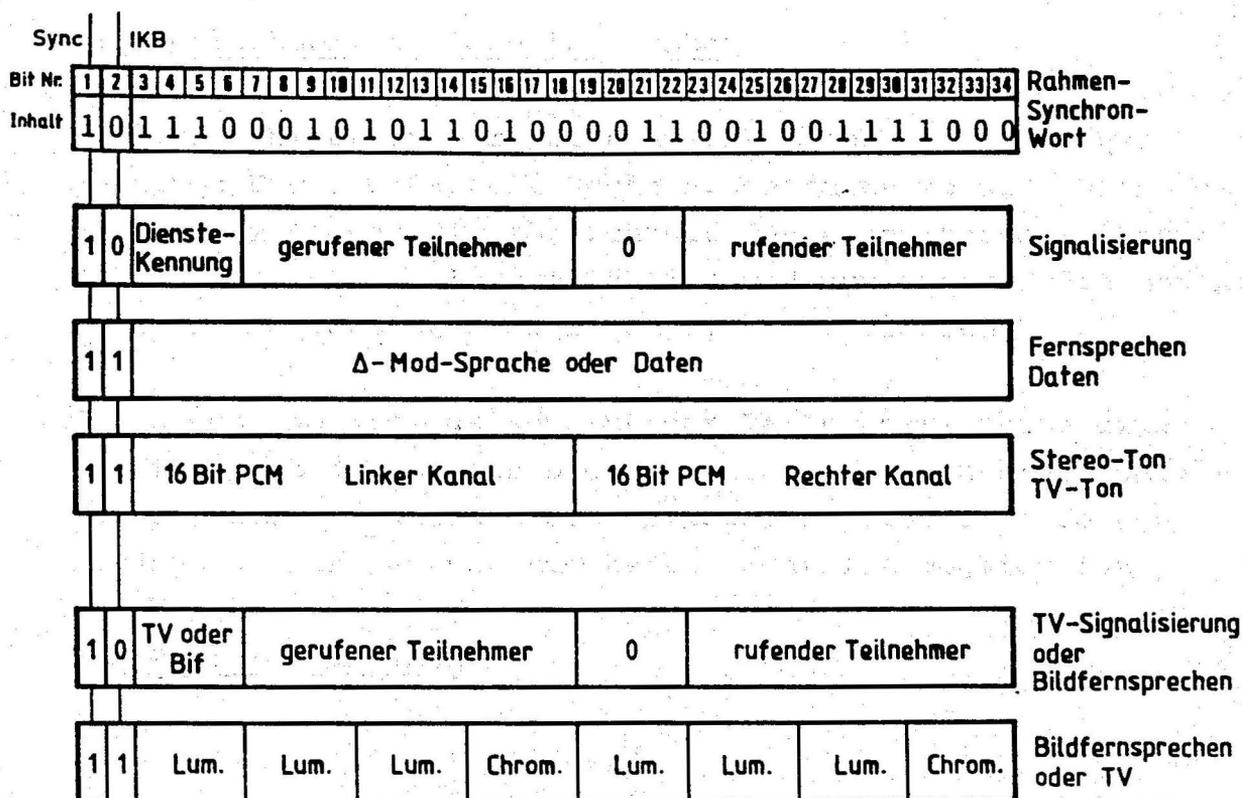


Bild 4: Zeitplatz - Format

3.4 Die Dienste

Während in dem 280 Mbit/s-System das komplette Dienstespektrum (Fernsprechen, Datenverkehr, Bildfernsprechen, TV- und Hörfunk-Verteilung) abgewickelt werden kann, entfallen im 140 Mbit/s-System aufgrund der reduzierten Übertragungsrate die Verteildienste. Zudem ist statt farbfähiger Bewegtbildübertragung hier nur schwarz/weiß-Bildfernsprechen möglich (Tabelle 1). Die Anforderung an die Teilnehmerstationen besteht darin, gleichzeitig alle Dienste abwickeln zu können; im Schmalbandbereich muß statt einer Datenverbindung eine zweite unabhängige Fernsprechverbindung (Rückfrage oder Anklopfen) möglich sein.

3.5 Teilnehmerindividueller Ausbau

Bei der Konzeption der Teilnehmerstationen sollte einer späteren Erweiterbarkeit Rechnung getragen werden. Dies bedeutet zum einen, die Möglichkeit des Anschlusses weiterer Teilnehmer an die gleiche Station und zum anderen die Möglichkeit der Abwicklung zusätzlicher, neuer Dienste.

Gleichwohl sollte das Konzept der Teilnehmerstation eine Flexibilität dergestalt bieten, daß eine teilnehmer-individuelle, nicht unbedingt dem Vollausbau aller Dienste entsprechende Ausstattung umgekehrt ebenfalls möglich ist.

3.6 Weitere Vorgaben

Innerhalb des dezentralen Systems sollten zwei - in öffentlichen Netzen typische - Bauformen von Teilnehmerstationen realisiert werden.

Im 280 Mbit/s-System sollte ein z.B. für ländliche Gebiete typischer Einzelanschluß realisiert werden, während die Teilnehmerstationen des 140 Mbit/s-Systems als Anschlußeinheiten für mehrere Teilnehmer, wie sie z.B. in Mehrfamilienhäusern Einsatz finden könnten, ausgelegt sein sollten.

Zudem sollte die 280 Mbit/s-Station unter der Maßgabe, eine möglichst geringe Baugröße zu erzielen und gleichzeitig eine für die Hochintegration geeignete Hardware-Struktur vorzusehen, realisiert werden.

4. Besondere Problemstellungen

Das vollsynchrone Breitbandnetz erspart einerseits große digitale Speicher in den Netzknoten und vermeidet einen möglichen Informationsverlust durch Schlupf, bringt aber andererseits Synchronisationsprobleme mit sich. In diesem Zusammenhang soll auf den Einfluß der Leitungscodierung und auf das

Synchronisationsverhalten der Teilnehmerstation eingegangen werden.

Für die Verarbeitung der Steuerungs- und Durchschaltfunktionen einer Teilnehmerstation mit dezentraler Vermittlung wird eine Vielzahl komplexer elektronischer Schaltkreise benötigt. Der Einsatz der leistungsarmen Großintegrationstechnologie ist aus Aufwandsgründen unbedingt erforderlich. Grenzen sind dem Einsatz da gesetzt, wo die für die Vermittlungssteuerung notwendige Geschwindigkeit die maximale Arbeitsgeschwindigkeit der hochintegrierten Schaltkreisfamilien übersteigt. Deswegen sollen hier die zeitkritischen Bedingungen der Vermittlungssteuerung und die mögliche Arbeitsgeschwindigkeitsreduzierung durch parallele Datenbussysteme näher untersucht werden.

4.1 Leitungscodierung

Neben dem Problem der Bittaktrückgewinnung ist die Wahl einer geeigneten Leitungscodierung für die optische Übertragung von großer Bedeutung. Die wichtigsten Codeeigenschaften für die Auswahl einer Leitungscodierung sind im folgenden kurz zusammengefaßt.

- Die Übertragungsqualität soll unabhängig von der Struktur der Datenquelle sein
- Die Leitungscodierung muß für ausreichend Taktinformation zur Bittaktrückgewinnung sorgen
- Möglichst geringen schaltungstechnischen Mehraufwand, bei geringer Bandbreitenerhöhung
- Eine geringe codebedingte Fehlermultiplikation
- Eine Möglichkeit der Fehlerüberwachung während des Betriebes.

Eine in Lichtleitkabelsystemen häufig verwendete Leitungscodierung ist der 5B 6B Blockcode /10/. Dabei werden Quellenwörter der Länge 5 Bit in Leitungswörter der Länge 6 Bit umgesetzt. Die vorhandene Redundanz ermöglicht ungünstige

Symbolfolgen auszuschließen und eine Fehlerüberwachung während der Datenübertragung. Dafür muß die Bandbreite um den Faktor 1,2 erhöht werden. Der Aufwand für die schaltungstechnische Realisierung wird mit übertragungstechnisch günstigen Codes (weniger Redundanz und geringere Bandbreitenerhöhung) größer.

Durch die ständige Fehlerüberwachung wird neben der Erhöhung der Betriebssicherheit auch eine bessere Synchronisation erreicht.

In den 5B 6B-Decodern muß die Unterteilung des seriell übertragenen Datenstromes in 6 Bit-Blöcke wieder gefunden werden. Dies ist durch die Auswertung der laufenden digitalen Summe möglich. Sie ist definiert als die Zahl, die sich ergibt, wenn nach Wahl eines Anfangswertes für jede '1' im codierten Signal eins addiert und für jede '0' im codierten Signal eins subtrahiert wird. Eine größere negative digitale Summe resultiert aus fehlender Synchronität oder aus fehlerhafter Übertragung.

Das häufige Auftreten unerlaubter digitaler Summen deutet daraufhin, daß die Synchronisation verloren gegangen ist. Mit Hilfe eines geeigneten Synchronisations-Algorithmus kann eine Verschiebung eines Blockes innerhalb kurzer Zeit erkannt und eine vorhandene Synchronisation kann selbst bei Übertragungsfehlern auf der Leitung noch sicher gehalten werden.

4.2 Synchronisation in der Teilnehmerstation

Der jeder Teilnehmerstation vorgeschaltete Repeater stellt neben den Daten dem Hochfrequenz-Teil (HF-Teil) den Bittakt mit definierter Phasenlage zur Verfügung. Aufgabe des HF-Teils ist es, Rahmen- und Zeitplatzsynchronisation herzustellen und aufrechtzuerhalten sowie die Serien/Parallelwandlung durchzuführen.

Sicheres Synchronisieren und Halten der Synchronisation wird durch die Wahl eines geeigneten Rahmensyncwortes ermöglicht. Deshalb wird der Anfang des Zeitmultiplexrahmens durch eine Pseudo-Noise-Folge im ersten Zeitplatz gekennzeichnet. Das erste Bit eines jeden Zeitplatzes ist eine '1'. Es eignet sich daher zur Wort- d.h. Zeitplatzsynchronisierung.

Das Prinzip der Rahmen- bzw. Wortsynchronisierung besteht in dem Detektieren des Rahmens bzw. Wortanfangs und dem Vergleich des periodisch wiederkehrenden Syncwortes bzw. Syncbits.

Durch Anwendung von Majoritätsentscheidungen und einer geeigneten Zeitfenstertechnik kann die Störempfindlichkeit bei Übertragungsfehlern stark vermindert werden. Das Ausfallen der Synchronisation soll möglichst schnell und sicher erkannt werden.

4.3 Zeitkritische Bedingungen der Vermittlungssteuerung

Da die Empfangs- und Sendeleitung die gleiche Übertragungsrate aufweisen, aber die Zeitmultiplexrahmen je nach Lage der Teilnehmerstation zum Sync-Generator beliebig gegeneinander verschoben sind, müssen die Steuerungsbereiche für das Empfangen und Senden von Daten unabhängig voneinander arbeiten. Der Versatz zwischen Sende- und Empfangszeitrahmen ist abhängig von der Laufzeit der Signale im Verzweigungsnetz. Für Netze mit einer maximalen Leitungslänge zwischen den Teilnehmern von 100 km ist die Laufzeit kleiner als eine Zeitrahmendauer (500 μ s). Die Reaktion einer Teilnehmerstation auf einen Defekt im Schmalbandkanal kann frühestens im nächsten Zeitrahmen erfolgen.

Prinzipiell kann nicht vermieden werden, daß zwei oder mehr Teilnehmer in einem Verzweigungsnetz auf den gleichen Zeitplatz zugreifen. Eine solche Kollision erfordert für den Teilnehmer eine Neuwahl. Die Wahrscheinlichkeit, daß zwei Teilnehmer zur gleichen Zeit auf den gleichen freien Zeitplatz

aufprüfen hängt davon ab, wie schnell die Steuerung einer Station reagiert. Hier ist die Reaktionszeit zwischen dem Erkennen eines freien Zeitplatzes auf der Empfangsseite und dem Belegen mit Rufsignalisierung auf der Sendeseite wichtig. Da eine schnellere Reaktionszeit ggf. den Einsatz einer schnelleren Logikfamilie erfordert ("Fast"- statt "Low-Power" Schottky TTL) und damit u.a. einen höheren Bauteileaufwand und höheren Leistungsverbrauch, soll das Problem der Mehrfachbelegung von Zeitplätzen kurz untersucht werden.

Es soll der für die Teilnehmer ungünstigste Fall angenommen werden, daß alle Zeitplätze bis auf einen im Netz belegt sind. Für diesen Fall würden alle weiteren Teilnehmer, die innerhalb der Reaktionszeit des ersten Teilnehmers aufprüfen, eine Mehrfachbelegung hervorrufen. Zur Abschätzung sei hier eine für Mikroprozessor-Steuerungen normale Bearbeitungszeit $\Delta t = 3 \text{ ms}$ angenommen.

Für die Wahrscheinlichkeit, daß k Ankünfte in einem Zeitintervall Δt auftreten, gilt die Poisson-Verteilung

$$P_k(\Delta t) = \frac{(\lambda \cdot \Delta t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot \Delta t}$$

Mit einer für Nebenstellenanlagen hohen mittleren Ankunftsrate von $\lambda = 1$ Ankunft pro Sekunde bleibt das Produkt $\lambda \cdot \Delta t = 0,003 \ll 1$. Damit wird die Wahrscheinlichkeit, daß im Zeitraum von $\Delta t = 3 \text{ ms}$ noch ein oder mehrere Teilnehmer den Kanal belegen

$$P_{>0} = 1 - P_0 = \lambda \cdot \Delta t = 3 \text{ ‰}$$

Auch bei wesentlich längeren Reaktionszeiten bleibt die Mehrfachbelegungswahrscheinlichkeit noch vernachlässigbar klein, da im Normalfall mehr als ein Kanal im Netz zur Verfügung stehen dürfte.

Der Fernsprechteilnehmer nimmt auch längere Reaktionszeiten nicht wahr. Dennoch kann diese Zeit nicht beliebig verlängert

werden, da bei automatisch vermittelnden Datendiensten die langsamen menschlichen Reaktionen beim Annehmen des Rufes entfallen. Hinzu kommt bei einer kurzen Datenübertragungsphase, daß das Verhältnis Signalisier- zu Nutzdatenübertragungsdauer sehr ungünstig würde.

In jedem Fall muß sichergestellt werden, daß eine Mehrfachbelegung nicht zum Mithören eines dritten Teilnehmers führt. Das wird im realisierten System durch Prüfen der drei letzten Rufquittungen vor dem Übergang in Datenübertragung gewährleistet. Werden die Rufquittungen nicht richtig erkannt, löst die Station die Verbindung aus.

4.4 Parallele Datenbussysteme

Um in der Teilnehmerstation eine Geschwindigkeitsreduktion der hohen Datenrate der seriellen Anschlußleitungen zu erreichen, werden die Signale nach eingangsseitiger Wandlung durch das HF-Teil auf einem parallelen Datenbus weiterverarbeitet. Die Bitrate auf den parallelen Busleitungen ergibt sich mit dem Quotienten von serieller Datenrate der Teilnehmeranschlußleitung und der Anzahl der parallelen Leitungen. Eine Aufteilung in mehr als einen Bus für die notwendigen Bandbreiten der Dienste bringt in der Teilnehmerstation für den schmalbandigen Bus eine stark reduzierte Arbeitsgeschwindigkeit.

Folgende Randbedingungen bestimmen die Bitrate, die Buslänge und die Belastbarkeit des Datenbussystems:

- Die theoretisch mögliche maximale Bitrate bei Wellenwiderstandsabschluß der parallelen Leitungen wird durch die Anstiegs- bzw. Abfallzeiten der angeschlossenen elektronischen Bauelemente bestimmt.
- Bei größerer Buslänge sind die elektrischen Eigenschaften des Kabels, der Stecker und der Leiterplatten zu berücksichtigen. Die Laufzeit der Daten bei abgeschlossenem Bus beträgt ~ 5 ns/m.

- Das Verhältnis niederohmiger Treiber (Fan-Out) zur hochohmigen Eingangsimpedanz (Fan-In) integrierter Schaltkreise und die in der Praxis nicht zu vermeidende Fehlanpassung der Leitung und der Stecker verringern die theoretisch mögliche Zahl der Ankopplungen.
- Sendeseitig ergibt sich eine Fehlanpassung aus der Notwendigkeit, die Daten einer Vielzahl in unterschiedlicher Busposition angeordneter Sender auf einen Empfänger zu übertragen. Trotz der Anwendung von 3-State-Technik (bei der immer nur ein Sendetreiber zugelassen und alle restlichen hochohmig geschaltet werden) sind der Anzahl der Ankopplungen enge Grenzen gesetzt.
- Die Steckerkapazität, besonders bei der parallelen Führung von Signal und Erde in Flachbandkabeln, begrenzt die maximale Anzahl der Datenleitungen.
- Speziell bei hohen Bitraten und kurzen Datenbuslängen ist die maximal mögliche Zahl der Anschlüsse von Platinen durch die Packungsdichte der Karten gegeben.

5. Grundsätzliche Überlegungen zur Konzeption

5.1 Struktur der Teilnehmerstationen

Die wesentliche Funktion der Teilnehmerstationen (vgl. Abschnitt 2) können in unterschiedlicher Weise auf bestimmte Funktionseinheiten verteilt werden, die dann die innere Hardware-Struktur festlegen.

Die Zugriffseinheit, die die parallele Umsetzung des schnellen seriellen Datenflusses in Sende- bzw. Empfangsrichtung sowie die Synchronisation abwickelt (HF-Teil) wird sinnvollerweise stets als eigene Funktionseinheit realisiert werden, da die hier erforderliche Anwendung von schneller ECL-Logik sich deutlich von der in der restlichen Teilnehmerstation verwendeten TTL-Logikfamilie unterscheidet.

Nicht eindeutig zu strukturieren sind die nachfolgenden, für jeden Dienst erforderlichen Funktionen der Kanalzugriffs- und Verbindungssteuerung, der endgeräteseitigen Steuerung der Bedialgorithmen sowie die Umsetzung der Informationen von Zeitplatz- auf Codec-Format und umgekehrt.

Bezüglich der prinzipiellen Steuerungsfunktionen besteht die Möglichkeit, die entsprechenden Funktionen für alle Dienste in e i n e r übergeordneten Steuerung zusammenzufassen oder für jeden Dienst einzelne autonome Steuerungen zu realisieren, die über ein Bussystem miteinander korrespondieren.

Keine der beiden Lösungen bietet auf der Hand liegende, eindeutige Vorteile: Die gemeinsame Steuerung kann Vorteile bezüglich des Gesamtaufwandes für alle Steuerungsfunktionen bringen sowie Einsparungen bei der Steuerung ohnehin abhängiger Dienste (z.B. Fernsprechen und Bildfernsprechen) bedeuten. Die Verwendung einzelner Steuerungen kann demgegenüber Vorteile bezüglich eines möglichen Gesamtausfalls der Steuerungsfunktionen der Teilnehmerstationen aufweisen.

Nicht eindeutig zu beantworten ist weiterhin die Frage, ob und ggf. wie - bei der Verwendung separater Steuerungen jeden Dienst - eine nochmalige Aufteilung der Steuerungsfunktionen in kanalspezifische und benutzerspezifische Funktionen sinnvoll ist. Eine solche Trennung verspricht dann Vorteile, wenn ein gemeinsamer Kanalzugang für verschiedene Dienste alternativ genutzt werden soll (z.B. entweder Fernsprechen oder Daten): Hier wäre ein Zugriff zweier Benutzersteuerungen auf eine Kanalsteuerung (Kanalverwaltung) sinnvoll. Geht man allerdings von der Forderung nach gleichzeitiger Abwicklung der Dienste aus (z.B. Sammelanschluß o.ä.), entfällt dieser wechselseitige Zugriff von zwei Diensten auf die Kanalsteuerung, und eine Zusammenfassung von Kanal- und Benutzersteuerung in einem Funktionsblock liegt aus Aufwandsgründen nahe.

Die Datenformatierung, d.h. das Umsetzen der 32-Bit-Zeitplatz-Informationen auf das für jeden Dienst erforderliche Codec-Format (16 Bit PCM, 8 Bit PCM, 4 Bit DPCM, 1 Bit Δ -Modulation) erfordert sinnvollerweise ebenfalls eine eigene Einheit. Hier muß entschieden werden, inwieweit die Realisierung unterschiedlicher, dienstespezifischer Formatwandler sich aufwandsmäßig gegenüber einer universellen, für alle Dienste ausgelegten Version verhält.

5.2 Die Modularisierung der Teilnehmerstation

Wie in Abschnitt 3.6 erwähnt, war es bei der Konzeption der Teilnehmerstation 280 Mbit/s eine feste Vorgabe, eine möglichst modulare Version vorzusehen, die sich insbesondere für die Möglichkeit der Integration eignet.

Dies ist bei Verwendung dezentraler Vermittlung insofern erheblich, als der hier zwangsläufige Mehraufwand beim Teilnehmer eine möglichst geringe Baugröße haben muß. Eine Lösung ist dann besonders für die Integration geeignet, wenn sie aus wenigen unterschiedlichen, dafür jedoch mehrfach verwendeten Modulen besteht.

Ausgehend von der Tatsache, daß die Abwicklung der Dienste mit einem gleichen Kanalzugriffsverfahren bei gleicher Signalisierung erfolgt und der Unterschied lediglich in der individuellen erforderlichen Übertragungsbandbreite liegt, lag der Einsatz gleichartiger Steuerungsmodule für alle Dienste auf der Hand.

Um eine flexible dienstemäßige Teilnehmergehäusung und Erweiterbarkeit sicherzustellen, ist konsequenterweise eine strikte Modularisierung bis hin zu den Endgeräten erforderlich.

Dies bedeutet im konkreten Fall, daß für alle Dienste gleiche dienstunabhängige Steuerungs- und Formatwandlermodule eingesetzt werden, die - gleichermaßen wie das Endgerät - nur bei

entsprechender Dienstausstattung hardwaremäßig vorhanden sein müssen und die durch externe Beschaltung vom Endgerät her dienstspezifisch programmiert werden (vgl. Abschnitt 6.1 sowie Bild 6).

Bei einem Aufwandsvergleich modularer und nicht modularer Systemlösungen muß allerdings bedacht werden, daß die - aus Gründen der Integrierbarkeit notwendige - universelle Einsetzbarkeit eines einzelnen Moduls für mehrere Dienste stets Redundanz innerhalb des Moduls bedeutet (eine Aufwandsbetrachtung hierzu erfolgt in Abschnitt 7.3).

5.3 Hochfrequenz-Teil

Die Teilaufgaben der Rahmen- und Zeitplatzsynchronisation des HF-Teils sollen mit möglichst minimalem Hardwareaufwand voneinander unabhängig gelöst werden, damit eine Optimierung der Funktionsparameter bei unterschiedlicher Fehlerrate im System möglich ist.

Unterschiede, die das Synchronisationsverhalten bestimmen, bringt die Art und die Reihenfolge der Rahmen- bzw. Wortdetektierung. Das Halten einer einmal gefundenen Synchronisation erfolgt am einfachsten durch periodisch umlaufende Zähler, modulo 34 für die Zeitplatzperiode und modulo 4096 für die Rahmenperiode.

Bei dem Direktsuchverfahren, das auch für Systeme ohne gesonderte Zeitplatzkennung einsetzbar ist, wird zunächst das Rahmensyncwort gesucht. Es erfordert einen parallelen Vergleich über die Pseudo-Noise-Folge des Rahmensyncwortes mit der seriellen Taktfrequenz. Die kontinuierliche Suche erlaubt eine schnelle Synchronisierung des Rahmens und damit auch des Worttaktes. Dieses Verfahren kann bei 280 MHz nur durch den Einsatz der Dickfilmtechnik bei den zeitkritischen Komponenten realisiert werden. Eine Überwachung der Wortsynchroni-

sation verkürzt bei einem Synchronisationsausfall die Störerkennungszeit.

Ein etwas langsames Synchronisieren bringt ein Verfahren, bei dem zunächst das Syncbit für den Wortanfang detektiert wird. Mit einer '1' im seriellen Datenstrom startet ein modulo 34 Zähler. Der Worttakt gilt als synchronisiert, wenn in einem Intervall von aufeinanderfolgenden Worten kein Fehler auftritt. Danach kann das Rahmensyncwort in serieller Form mit einem 1 Bit-Komparator erkannt werden. Stimmt der Vergleich, wird ein Rahmentaktgeber gestartet. Erst der Rahmentakt führt zu einem weiteren Vergleich, wobei die Anzahl der Fehler gezählt und je nach eingestellter Schwelle die Rahmensynchronisation als erkannt oder nicht erkannt gilt. Auch hier verringern Majoritätsentscheidungen die Störempfindlichkeit.

Dem schnellen, totzeitlosen Detektierverfahren steht ein etwas langsames gegenüber, das auch bei großen Bitfehlerraten noch eine Syncmuster-Erkennung gestattet. Der Synchronisationsverlust wird in beiden Verfahren relativ schnell durch den Ausfall der Wortsynchronisation erkannt.

5.4 Schnelle Vermittlungssteuerung

Hauptschwierigkeit bei der Realisierung eines Schaltwerkes für die Kanalbelegung ist die hohe Arbeitsgeschwindigkeit, bedingt durch die kurze Angebotszeit der Information (< 60 ns) und die Notwendigkeit als frei erkannte Zeitplätze unmittelbar danach zu belegen (vgl. Abschnitt 4.3).

Mit einer Mikrocomputerlösung könnten etwaige Änderungen der Betriebsabläufe weitgehend durch die Software abgeändert werden. Durch die geringe Arbeitsgeschwindigkeit müßten jedoch viele Hardware-Baugruppen außerhalb des Mikrocomputers angeordnet werden. Die Anforderungen wären zu speichern und nacheinander abzuarbeiten.

Ein mit einem schnellen Field-Programmable-Logic Array (FPLA) aufgebauter Controller reagiert auf Eingangssignale in weniger als der Angebotszeit eines Zeitplatzes, so daß eine verzögerte Abarbeitung und damit zusätzlicher Speicheraufwand entfällt. Durch Majoritätsentscheidungen wird die Möglichkeit einer Fehlbelegung, hervorgerufen durch Übertragungsfehler in der Signalisierphase, stark verringert. Mehrfachbelegungen werden durch schnelles Belegen der Zeitplätze und mehrfaches Prüfen der Rufquittung verhindert. Mit der Programmierung des FPLA können Betriebsablaufänderungen berücksichtigt werden.

Besonders aufwendig hinsichtlich der Anzahl der Halbleiterbauelemente, der Leitungen und der Verarbeitungsgeschwindigkeit ist es, für jeden zu belegenden Kanal im Zeitmultiplexrahmen einen eigenen Speicher mit der vollen Länge der Zeitplatznummer anzulegen.

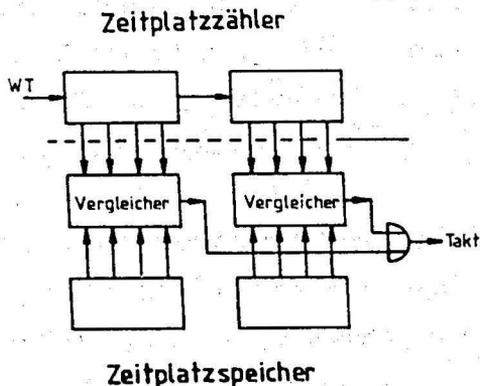


Bild 5a: Markiereinheit

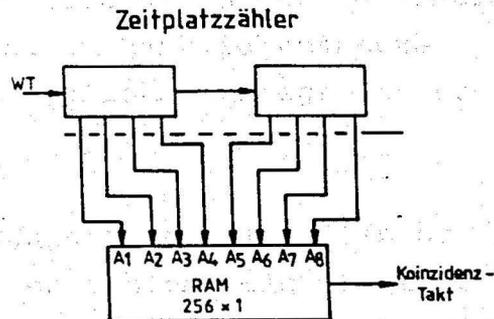


Bild 5b: Vergleichersprinzip der Kanalverwaltung

Ein Beispiel für eine Markiereinheit zeigt Bild 5a. Sie liefert Impulse zu den Zeitpunkten, zu denen die gespeicherte Zeitplatznummer mit der des Zeitplatzzählers übereinstimmt.

Es ist eine Schaltungsanordnung (Bild 5b) aus dem vorhandenen Programm der digitalen Schottky-TTL-Familie gefunden worden, die es gestattet, Vergleich, Speicherung und Überwachung für alle Schmalband-Zeitplätze in einem Multiplexrahmen individuell vorzunehmen. Ein Random Access Memory RAM wird derart benutzt, daß die aktuelle Zeitplatznummer am Adreßeingang anliegt und unter dieser Nummer die Information - Kanal belegt oder frei - eingeschrieben wird. Da für Schmal- bzw. Breitbanddienste verschiedene Spalten im Rahmen belegt werden, kann eine Vorselektion in einem Kanalzulässigkeits-Vergleicher den Aufwand für die Speicherung verringern. Besonders vorteilhaft ist diese Schaltung, wenn mehrere Zeitplätze, wie z.B. für eine mehrkanalige Fernsprechkonferenz, verwaltet werden müssen.

5.5 Erweiterbarkeit

Für den universellen Einsatz der Teilnehmerstation als Sammelanschluß, Konzentrator, Überleiteinrichtung zu zentralen Vermittlung oder anderen digitalen Nachrichtennetzen sollten die parallelen Datenbusse möglichst unbegrenzt erweiterbar sein.

Bei Datenbussystemen mit Übertragungsraten ≥ 1 Mbit/s begrenzen die Laufzeit- und Anpassungsprobleme die Länge des Busses und damit auch die Anzahl der anzukoppelnden Module (vgl. Abschnitt 4.4).

Berücksichtigt man diese Probleme, lassen sich bei Übertragungsraten ≥ 10 Mbit/s und einer Ankopplung von 20 Funktionsmodulen nur Buslängen kleiner 1 m erreichen.

Für eine Verlängerung und damit eine weitere Ankopplung von Baugruppen werden die digitalen Signale hochohmig und kapazitätsarm aus der ersten Teilnehmerstation ausgekoppelt, die Signalform regeneriert und über angepaßte Kabel auf den nächsten Datenbus mit begrenzter Länge gegeben.

Neben den Problemen bei der Verlängerung des Empfangsbusses der Teilnehmerstation muß beim Sendebus die Laufzeitverzögerung durch das Kabel berücksichtigt werden. In der angekoppelten Station können durch "Vorstellen" des Sendezeitplatzzählers die Daten so rechtzeitig ausgesendet werden, daß sie in der ersten Station am HF-Teil zeitrichtig eintreffen. Eine ausführliche Beschreibung einer Busverlängerung und weiterer Lösungsmöglichkeiten wird unter /11/ "Erweiterbarer, laufzeitkompensierter Leitungsbus" angegeben.

Mit diesen Busverlängerungen läßt sich die Forderung nach Erweiterbarkeit erfüllen. Dabei ist es möglich, mehrere Stationen hintereinander oder sternförmig über Busverlängerungen an nur ein HF-Teil zu koppeln.

6. Beschreibung der realisierten Teilnehmerstationen

Beim Aufbau von gerichteten Verzweigungsnetzen mit dezentraler Vermittlung ist die Ausbaufähigkeit von Teilnehmerschleifen von großer Bedeutung. Die Struktur der Station hat somit Einfluß in betriebstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht auf das Netzkonzept, da die Station an vielen Stellen des Netzes völlig identische Funktionen mit hoher Betriebssicherheit erfüllten. Das Konzept ist so auszuführen, daß Ausbau- und Erweiterung hinsichtlich neuer Dienste als auch neuer Teilnehmer durchgeführt werden können, ohne daß gleichzeitig bereits vorhandene Einrichtungen geändert werden müßten.

Im realisierten System sind an die Ortstrasse zwei Teilnehmerschleifen mit unterschiedlicher Bitrate angeschlossen. Alle Dienste (Tabelle 1) können aufgrund der Kanalkapazität nur in der 280 Mbit/s-Schleife angeboten werden. Die Teilnehmerstationen an der 140 Mbit/s-Schleife sind mit den Diensten Fernsprechen, Daten und Bildfernsprechen (schwarz/weiß, 49,152 Mbit/s) ausgestattet.

Neben diesen Vorgaben waren die Stationen der 280 Mbit/s-Schleife als Einzelanschluß (z.B. für den Einsatz in ländlichen Gegenden) und die der 140 Mbit/s-Schleife als Mehrfachanschluß (z.B. zum Einsatz in dichtbesiedelten Gebieten, Mehrfamilienhäusern etc.) auszulegen.

6.1 Die Teilnehmerstation für 280 Mbit/s (HHI)

Die Funktionen der Teilnehmerstation für 280 Mbit/s /5/ sind so aufgeteilt worden, daß möglichst viele gleichartige, dienstunabhängige Module entstanden, die universell - vom Endgerät programmierbar - für jeden Dienst einzusetzen sind.

Die gefundene Aufteilung bei den geforderten Leistungsmerkmalen zeigt das Blockschaltbild 6. Die Teilnehmerstation läßt sich im wesentlichen in zwei Baugruppenarten wie folgt unterteilen:

- einfach vorhandene Baugruppen, die als dienstübergeordnete Module nur einmal notwendig sind (HF-Teil, Zentrale Einheit ZE, Prüfsteuerwerk PSW)
- mehrfach vorhandene Baugruppen, die dem kanal- und dem dienstespezifischen Aufgabenbereich zuzuordnen sind (Kanalverwaltung KV, Steuerung ST, Formatwandler FW).

Jeder einzelne Dienst benötigt für die netzspezifischen Aufgaben mindestens eine Kanalverwaltung und für die benutzerspezifischen Aufgaben eine Steuerung und einen Formatwandler. Diese Module sind für die verschiedenen schmal- und breitbandigen Dienste baugleich ausgeführt und werden für den jeweiligen Dienst vom Endgerät her programmiert. Im folgenden sollen die einzelnen Funktionsmodule beschrieben werden, die durch zwei parallele Datenbusse miteinander verbunden sind:

- Das HF-Teil ist das Verbindungselement zwischen der Teilnehmeranschlußleitung bei 280 Mbit/s und den parallelen Datenbussen bei 16 Mbit/s. Seine Aufgabe ist es Zeitplatz- und Rahmensynchronisation herzustellen und eine Serien/

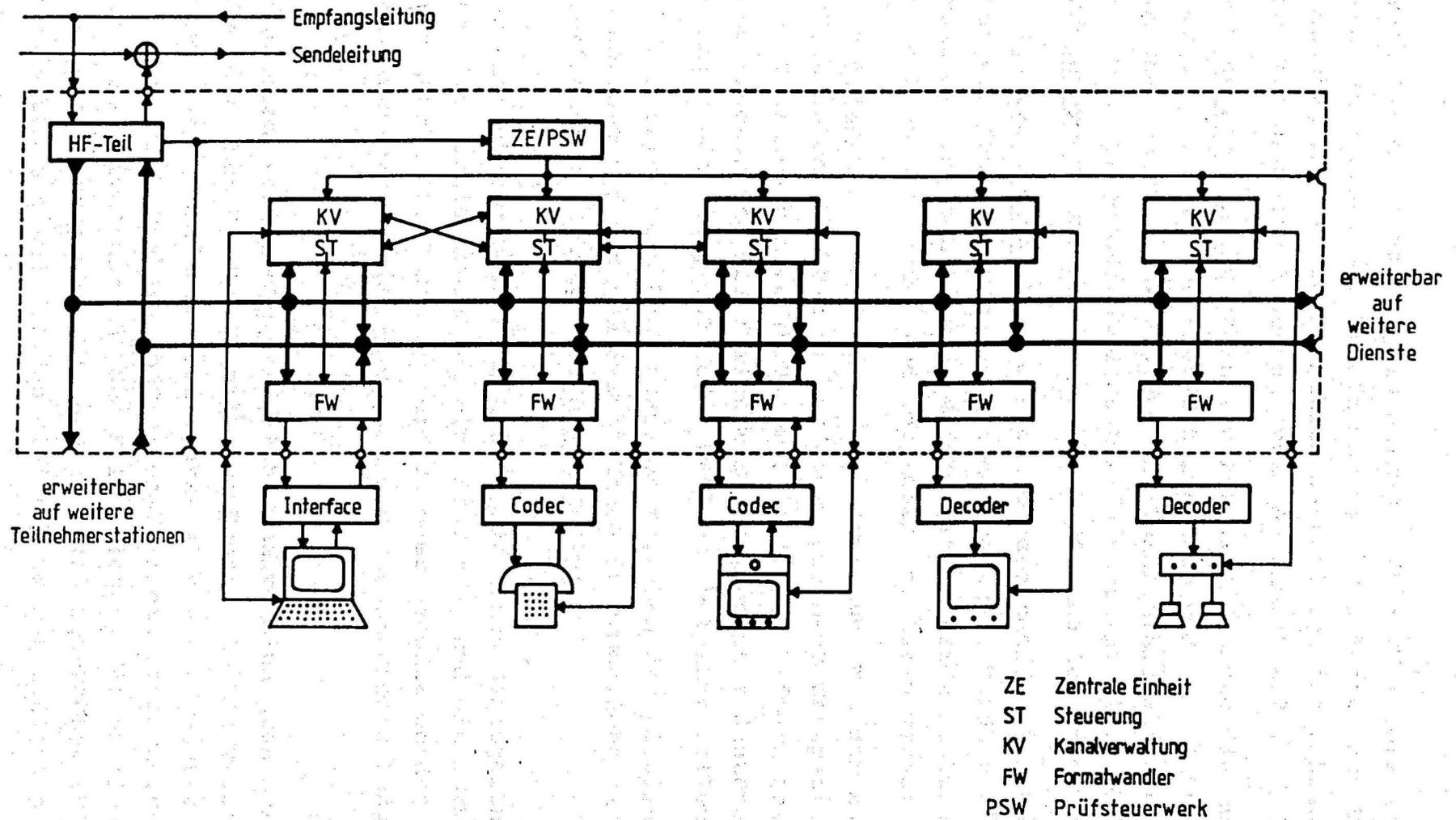


Bild 6 : Teilnehmerstation für 280 Mbit/s (TS*)

Parallelwandlung mit Pegelwandlung (ECL - TTL) vorzunehmen. Durch den Einsatz von Dickfilmschaltungen konnte das Direktsuchverfahren zum schnellen Detektieren des Rahmensyncworts angewendet werden (vgl. Abschnitt 4.2).

- Die Zentrale Einheit übernimmt für alle Dienste die Rufmeldung, das Erkennen freier Zeitplätze und die Zeitplatznummernerzeugung. Zur Prüfung der Teilnehmerstation und zur Übermittlung des Gebührentarifs korrespondiert ein Prüfsteuerwerk mit dem zentralen Prüf- und Auswertesystem.
- Die Kanalverwaltung bearbeitet die netzspezifischen Aufgaben wie Kanalbelegung und Signalisierung. Darüber hinaus werden die angeschlossenen Module mit Koinzidenztakten zum zeitgenauen Senden und Empfangen von Daten versorgt.
- Die Steuerung verbindet die Kanalverwaltung mit dem Endgerätebereich. Sie hat die Aufgabe, die benutzerspezifischen Betriebsabläufe (z.B. Hörer abheben, Zifferwahl) zu überwachen und dem Teilnehmer entsprechende Zustandsrückmeldungen (z.B. Ruf- oder Wählton) bereitzustellen.
- Den formatrichtigen Datentransfer zwischen den parallelen Datenbussen und dem jeweiligen Endgerät ermöglicht als Interface-Einrichtung der Formatwandler.

In der einfachsten Grundausstattung für einen Dialogdienst werden eine Kanalverwaltung, eine Steuerung und ein Formatwandler gebraucht. Codec, Interface oder Decoder werden zur A/D-Wandlung und zur Anpassung an das entsprechende Endgerät benötigt.

Die baugleiche Ausführung ermöglicht Querverbindungen zwischen Modulen gleicher Bandbreitenklasse. Dadurch können zwei Kanalverwaltungen und zwei Steuerwerke alternativ genutzt werden. Der Teilnehmer kann über einen Teil des Steuerwerkes eine zweite Kanalverwaltung für den Fall belegen, daß er eine Rückfrageverbindung wünscht. Besteht eine Gesprächsverbindung, kann außerdem ein Ruf für den gleichen Dienst einlaufen und

so lange mit der Dienstkennung "Anklopfen" quittiert werden, bis der Teilnehmer auf die Anklopfverbindung umschaltet. Mit einer Kanalverwaltung lassen sich durch Querverbindungen auch mehrere Steuerungen bedienen, wie es für einen Sammelanschluß oder eine Überleiteinrichtung erforderlich ist.

Für das Bildfernsprechen ist eine Kopplung von Modulen mit unterschiedlicher Bandbreite nötig, da nur eine Bildverbindung geschaltet werden darf, wenn eine Fernsprechverbindung zum gleichen Partner vorhanden ist. Hier wird für die Bildkurzwahl die Rufnummer aus der Schmalband- in die Breitband-Kanalverwaltung seriell übertragen. Beim Bildrufempfang führt die Breitbandkanalverwaltung einen Vergleich mit der Teilnehmernummer aus der Fernsprechverbindung durch. Fällt dieser Vergleich positiv aus, wird ein Bildruf angezeigt und das Bild kann zugeschaltet werden.

Mit Anschluß des Endgeräts werden die Steuerungsmodule für den entsprechenden Dienst programmiert und aktiviert. Die Übertragung der Signale über die Schnittstelle zwischen Teilnehmerstation und Endgerät erfolgt bis auf die Rufnummernübertragung parallel. Dadurch wird der Aufwand für die Steuerung vor allem im Endgerät gering.

6.2 Die Teilnehmerstation für 140 Mbit/s (TEKADE/Philips)

Im Vordergrund des Konzeptes stand es, eine Teilnehmerstation für 140 Mbit/s /12/ mit Konzentratorenverhalten zu bauen, die einer Vielzahl von Teilnehmern durch Mehrfachnutzung des aufwendigen HF-Teils einen kostengünstigen Zugang zur Teilnehmerschleife verschafft. Das Dienstangebot für den Teilnehmer ist um die Verteildienste reduziert und beim Bildfernsprechen auf die Luminanzübertragung mit 49,152 Mbit/s beschränkt worden. Die langsamen Steuerfunktionen werden für alle Teilnehmer und Dienste in einem Mikroprozessor abgearbeitet. Da Mikroprozessoren nur langsam im Vergleich zur Übertragungsgeschwindigkeit arbeiten können, mußten alle "schnellen"

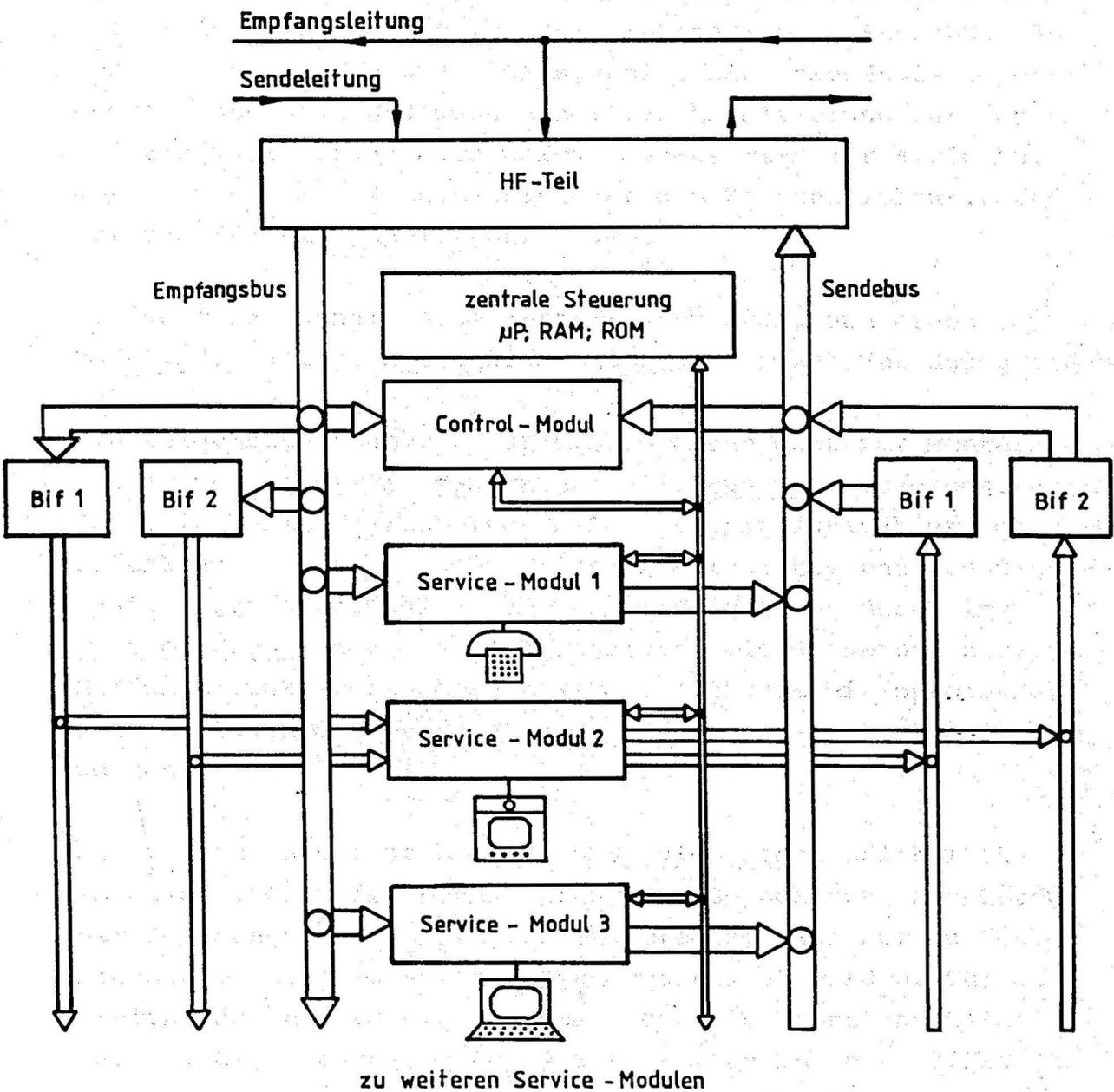


Bild 7: Struktur der Teilnehmerstation für 140 Mbit/s
(gemäß /12/)

Funktionen, die im Takt der Sende- und Empfangsleitungen ablaufen, in "Hardware"-Schaltungen ausgeführt werden.

Die Struktur der Teilnehmerstation für 140 Mbit/s zeigt Bild 7. Das HF-Teil übernimmt die Geschwindigkeitsumsetzung der seriellen Daten der 140 Mbit/s-Teilnehmerschleife in parallele 34-Bit-Worte auf dem Empfangs- bzw. Sendebus. Es besteht aus Sende- und Empfangsteil, die unabhängig voneinander erst Wort- und dann Rahmensynchronisierung zur Sende- und Empfangsleitung herstellen. Daraus wird der 4,096 MHz Worttakt und der 2 kHz Rahmentakt des Zeitmultiplexrahmens für das NF-Teil abgeleitet.

Das NF-Teil enthält eine zentrale Steuerung und einen Control-Modul, der allen angeschlossenen Diensten zur Verfügung steht.

Die Ablaufsteuerung ist für alle Dienste oder für mehrere Teilnehmer in dieser zentralen μ P-Steuerung zusammengefaßt. Zentrale Funktionseinheiten, wie die Zeitplatzzähler, die Ruferkennung, die Erkennung leerer Zeitplätze und die Signalisierungsregister sind aus Geschwindigkeitsgründen im Control-Modul in Hardware realisiert. Die Steuerung dieser Hardware-Funktionseinheiten wird jedoch vom Mikroprozessor der Zentralen Steuerung über Ein- und Ausgabe-Ports vorgenommen.

Der für jeden Dienst benötigte Service-Modul beinhaltet im wesentlichen die Formatierung und Decodierung der Daten. Der Service-Modul 2 für Bildfernsprechen kann nur an den dienstspezifischen Breitbandbus geschaltet werden. Für den Breitbanddienst existieren zwei zentrale Koppelbausteine (Bif 1, 2), die über einen 4 Bit breiten Bus mit 12,288 MHz Taktfrequenz den Zugriff zu den Breitbandkanälen 1 und 2 gestatten. Die Steuerung der Kanalauswahl und der Ports übernimmt der zentrale Mikroprozessor über den internen Adreß- und Steuerdatenbus.

Die Übermittlung der Signale von und zum Endgerät erfolgt weitgehend seriell. Die Daten werden im Handshake-Verfahren durch 8 Bit-Telegramme synchron zum 64 kHz-Takt über wenige Steuerleitungen ausgetauscht. Die Codierung und Decodierung der Bedienfunktionen und der Signale ist im Endgerät mit Hilfe eines Mikroprozessors realisiert.

7. Vergleich der Teilnehmerstationen

Technologisch aufwendig und teuer sind die aktiven Anschlußeinheiten an die 140- bzw. 280 Mbit/s Teilnehmerschleifen. Um diese Kosten zu mindern, werden bei beiden Stationen die HF-Teile zentral für alle Dienste und weitere Teilnehmer genutzt.

Berücksichtigt man die unter Punkt 5.5 genannten Probleme, kann bei beiden Stationen eine universelle Anwendbarkeit und eine individuelle Erweiterbarkeit für weitere Dienste und mehrere Teilnehmer erreicht werden. Damit sind beide Stationen als zentraler Teilnehmeranschluß (Konzentrator, Sammelanschluß) für eine größere Zahl von Teilnehmern mit Schmalband-Diensten einsetzbar. Wegen der geringen Anzahl der zur Verfügung stehenden Breitbandkanäle gilt das nicht für Bildfernsprechen.

7.1 Unterschiedliche Merkmale

In der Tabelle 2 sind die unterschiedlichen Leistungsmerkmale der verglichenen Teilnehmerstationen zusammengefaßt.

Der schaltungstechnische Realisierungsaufwand für die in der 140 Mbit/s-Schleife eingesetzten 5B 6B Leitungscodierung hält sich in Grenzen. Dafür überwiegen die unter Punkt 4.1 genannten Vorteile bei der Bittaktrückgewinnung und der während des Betriebes möglichen Fehlerüberwachung. Die um den Faktor 1,2 höhere Übertragungsrate auf der Leitung ist bei der verwendeten Logik und den verwendeten Lichtleitkabelsystemen ohne größeren Aufwand zu realisieren.

	TS* (HHI)	TS (TEKADE/Philips)
Datenrate	278,528 Mbit/s	139,264 Mbit/s
Übertragungsrate auf der Leitung	278,528 Mbit/s	167,1168 Mbit/s
Leitungs-codierung	-	5 B 6 B
Interne Busbreite	17 Daten-Leitg.paral. 3 Takt-Leitg.parallel	33 Daten-Leitg.parallel 2 Takt-Leitg.parallel 4 Daten-Leitg.parallel 2 Takt-Leitg.parallel
Taktrate des intern.Busses	16,384 MHz	$\frac{4,096 \text{ MHz}}{12,288 \text{ MHz}}$
Dienste	Fernsprechen 64 kbit/s DCDM-Deltamodulation	Fernsprechen 64 kbit/s DCDM-Deltamodulation
	Datenverkehr 64 kbit/s	Datenverkehr 64 kbit/s
	Bildfern-sprechen 65,536 Mbit/s (farbtüchtig) 4 Bit-DPCM	Bildfern-sprechen 49,152 Mbit/s (schwarz-weiß) 4 Bit-DPCM
	TV-Verteilung Wahl-TV 65,536 Mbit/s (farbig) 4 Bit-DPCM	-
	Hörfunk-Verteilung 5 Stereo-Programme à 1,024 Mbit/s 16 Bit-PCM	-
Typ der Teilnehmerstation	Einzelteilnehmer-anschluß	Doppelteilnehmer-anschluß
Steuerung	dezentral für jeden Dienst (Controller)	zentral für alle Dienste (Mikroprozessor)
Schnittstelle z.Endgerät (Fernsprechen)	weitgehend parallele Übertragung (16 Leitungen)	weitgehend serielle Übertragung (9 Leitungen)

Tabelle 2: Unterschiedliche Leistungsmerkmale der verglichenen Teilnehmerstationen

In der 280 Mbit/s-Schleife läßt die an der oberen Frequenzgrenze der ECL-Logik liegende Datenrate eine Erhöhung für die Leitungscodierung nicht zu. Scrambler und Descrambler sorgen auch hier für ausreichende Taktinformation zur Bittakt-rückgewinnung. Die Bitfehlerrate während des Betriebes kann nur über eine vorhandene Redundanz der Übertragungsstrecke gemessen werden /13/.

7.2 Konzeptvergleich

Der Unterschied zwischen den Konzepten liegt in der Strukturierung der Steuerungsfunktionen. Die in der 140 Mbit/s-Teilnehmerstation durchgeführte Konzentrierung in der Steuerung bringt bei einer größeren Anzahl von Diensten Einsparungen in den Gatter- und Speicherfunktionen, wobei sich der Konzentrierungseffekt bezüglich der Dienstgüte als Verzögerungszeit bzw. Verlust bemerkbar macht. Er wird vom Teilnehmer nicht bemerkt, da die Verzögerungszeiten weit unter den menschlichen Reaktionszeiten liegen. Konfliktsituationen durch Mehrfachbelegung sind, wie im Abschnitt 4.3 erläutert, in Netzen mit kurzen Laufzeiten sehr unwahrscheinlich. Eine Anpassung an geänderte Betriebsabläufe ist weitgehend durch Softwareänderungen möglich. Wartungs- und Prüfprogramme können implementiert werden. Ein Ausfall des Mikroprozessors würde allerdings die gesamte Station betreffen.

Die in der Teilnehmerstation für 280 Mbit/s angewendete Modularisierung bis zum Endgerät bringt einen etwas höheren Aufwand an Gatter- und Speicherfunktionen, da jeder Funktionsmodul für alle Dienste ausgelegt sein muß. Die wenigen baugleichen Module eignen sich allerdings gut für eine Großintegration. Der Fehlererkennungs- und Reparaturaufwand wäre gering. Durch das modulare Konzept wurde eine gleichzeitige Verfügbarkeit für alle Dienste und eine geringe Gesamtausfallwahrscheinlichkeit erreicht. Änderungen der Betriebsabläufe können durch neue ROM-Speicher in den Modulsteuerwerken erfolgen. Eine Funktionsüberwachung ist über ein zentrales Prüfsteuerwerk möglich.

7.3 Aufwandsabschätzungen

Wegen der unterschiedlichen Dienstausrüstungen der realisierten Stationen soll der Hardwareaufwand anhand von 3 Ausstattungsvarianten angegeben werden. Die Tabelle 3 zeigt den Hardwareaufwand und den Leistungsbedarf der beiden Teilnehmerstationen ohne Codecs und Endgeräte für die Dienste Fernsprechen und Daten - Fernsprechen, Daten und Bildfernsprechen - Fernsprechen, Daten, Bildfernsprechen, TV-Wahl bzw. Verteilungsdienst und Stereohörfunk.

Dienst- ausstattung	Teilnehmerstation f. 280 Mbit/s			Teilnehmerstation f. 140 Mbit/s (ohne μP)		
	Gatter	Speicher	Leistung [w]	Gatter	Speicher	Leistung [w]
1 Fsp, 1 Dt	5000	12000	91	1300	64000	92
1 Fsp, 1 Dt 1 BiF	7200	17600	115	2180	64630	106
1 Fsp, 1 Dt 1 BiF, VT- Wahl-TV, StR	8200	19000	143	-	-	-

Tabelle 3: Hardwareaufwand und Leistungsverbrauch für die Teilnehmerstationen (ohne Codecs und Endgeräte) mit unterschiedlichen Dienstausrüstungen

Das modulare Konzept der Teilnehmerstation für 280 Mbit/s benötigt zwangsläufig redundanten Gatter- und Speicheraufwand für die Realisierung von allen Schmal- und Breitbanddiensten in einem Funktionsmodul. Insgesamt ist der Hardwareaufwand für wenige Dienste geringer als beim zentralen Steuerungskonzept der Station für 140 Mbit/s. Ein geringerer Hardwareaufwand pro Dienst dagegen wird mit dem zentralen

Steuerungskonzept bei der Anwendung als Konzentrator für v i e l e Teilnehmer und Dienste erreicht.

Der mechanische Aufbau beider Teilnehmerstationen ist jeweils in einem 19 Zoll Einschub untergebracht, die je nach teilnehmerindividueller Dienstausrüstung hardwaremäßige bestückt sind. Ein wesentlicher Unterschied in der Baugröße und dem Leistungsverbrauch ist nicht festzustellen.

8. Zusammenfassung

Die Teilnehmerstationen für diensteintegrierte Breitbandnetze mit dezentraler Vermittlung haben ihre Funktion, trotz der mit hoher Taktrate arbeitenden Elektronik, über mehrere Jahre zuverlässig erfüllt. Messungen der Fehlerrate und der Fehlerstruktur /14/ im Dauerbetrieb von mehr als 1000 Stunden zeigten, daß die Bitfehler in der Regel nicht durch die Teilnehmerstationen verursacht werden, sondern auf den optischen Übertragungstrecken entstehen.

8.1 Kritische Analyse der Randbedingungen

Der Ausfall einer aktiven Ein- bzw. Auskoppelstelle im HF-Teil, über die in dezentralen Netzen der Gesamtverkehr geführt wird, kann prinzipiell das gesamte Netz stören. Um die nachteilige Wirkung dieser Störung zu vermeiden, müssen die Einkoppelstellen im Störfall mit einem Koaxrelais sendeseitig überbrückt werden.

Eine passive Einkopplung, bei der die Daten über einen optischen Koppler in den Lichtwellenleiter eingespeist werden, würde diesbezüglich deutliche Vorteile bringen.

Die rein dezentrale Vermittlung von Breitbanddiensten (Bildfernsprechen, TV-Verteilung bzw. Wahl-TV mit 65 Mbit/s) ist bei größeren Teilnehmerzahlen nicht einsetzbar, da die zwangsläufig entstehende Summenübertragungsbandbreite nicht mit integrierten elektronischen Bauelementen zu verar-

beiten ist. Eine weitere Grenze ist die Übertragungskapazität der verwendeten Gradienten-Lichtwellenleiter. Damit ist die Anzahl der Bildkanäle auf einige wenige beschränkt.

Durch die Integration von Schmal- und Breitbandkanälen mit stark unterschiedlicher Bandbreite (Verhältnis 1:1000) in einem gemeinsamen Zeitmultiplexrahmen entsteht für eine rein dezentral vermittelnde Teilnehmerstation ein hoher Leistungsverbrauch und Hardwareaufwand bei der schnellen Elektronik, selbst wenn nur schmalbandige Dienste abgewickelt werden. Eine Abhilfe kann hier die Bitinterleaving-Technik /15/ oder die Trennung der Dienste durch den Einsatz der optischen Wellenmultiplextechnik /16/ bringen.

8.2 Untersuchungsergebnis

Die Leitungscodierung auf den Übertragungstrecken bringt Vorteile bei der Bittaktrückgewinnung in den Repeatern und erlaubt eine Fehlerüberwachung während des Betriebes, erfordert dafür jedoch einen höheren Aufwand an elektronischen Bauelementen und größerer Übertragungsbandbreite. Aus diesen Gründen ist der Einsatz der Leitungscodierung für einen Anschluß eines einzelnen Teilnehmers (z.B. in Sternnetzen) zu aufwendig.

Eine Aufteilung der Funktionsmodule in solche für Schmal- und Breitbanddienste bringt für die Schmalbanddienste wesentliche Einsparungen. Werden die internen Datenbussysteme der Teilnehmerstation entsprechend den Datenraten der Dienste auch getrennt geführt, reduziert sich der Aufwand für die niederratigen Dienste soweit, daß die Funktionen Kanalverwaltung und Steuerung in einem Modul zusammengefaßt werden können /17/.

Bei der Serien-/Parallel-Wandlung im HF-Teil entscheidet die Anzahl der internen, parallelen Datenbusleitungen bei vorgegebener Kanalzahl und -bandbreite über die notwendige Bitfolgefrequenz. Eine möglichst niedrige Bitrate mit einem entsprechend

hohen Parallelisierungsgrad, der allerdings durch konstruktive Merkmale (Stecker, Leiterbahnen) begrenzt wird, wäre aus folgenden Gründen von Nutzen:

Die Fan-In/Fan-Out-Verhältnisse der niederfrequenten Logik lassen mehr An- und Auskopplungen bei längeren Datenbussen zu. Niedrige Datenraten können mit einer sequentiellen Steuerung durch hochintegrierte Mikroprozessor-Bausteine verarbeitet werden. Die Leistungsaufnahme bei Verwendung der CMOS-Technologie wäre wesentlich geringer, außerdem könnte bei Netzspannungsausfall eine Notfunktion des Dienstes Fernsprechen z.B. durch Akku-Betrieb für einige Zeit gewährleistet werden.

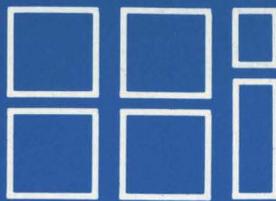
Bei einer Konzeptauswahl für zukünftige Teilnehmerstationen kommt es je nach Gewichtung der Forderung nach minimalen Bauelementeaufwand oder größtmöglicher Ausfallsicherheit zu unterschiedlichen Strukturen. Auch bringt die Konzentrierung der Steuerung der 140 Mbit/s-Station erst dann Einsparungen, wenn möglichst viele Dienste und Teilnehmeranschlüsse räumlich in einer Station zusammengefaßt werden können.

Für wenige Dienste und Teilnehmeranschlüsse erfordert das modulare Konzept der 280 Mbit/s-Station den geringsten Bauelementeaufwand. Es bietet neben der Großintegrierbarkeit der Funktionsmodule durch die dezentralisierte Steuerung eine höhere Ausfallsicherheit.

Literaturverzeichnis

- /1/ Evers,R.: Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben Breitbandkommunikation mit optischen Kanälen. BMFT-FB-T 83-118
- /2/ Reim,A.; Schenkel,K.D.: Digitales Kommunikationssystem DIKOS. NTZ Bd. 34 (1981) Heft 10, S. 658-663
- /3/ Jeschko,A.: Silk-System für integrierte lokale Kommunikation. Hasler Mitteilungen, 40 Jahrgang, Nr. 1, März 1981
- /4/ Ballering,H.; Thielmann,H.: Digitale Teilnehmerschleife mit dezentraler Vermittlung. Techn. Mitteilung TEKADE, S. 36-41, 1978
- /5/ Arkat,S.; Kreutzer,H.W.; Schmidt,F.; Teich G.; Weber,J.: Teilnehmerstation in einem diensteintegrierten digitalen Nachrichtennetz. NTZ Bd. 32 (1979), Heft 8, S. 560-565
- /6/ Burgmeier,J.; Gier,J.; Trimmel,H.: Digitalsignalübertragung mit 560 Mbit/s über Lichtwellenleiter ein Versuchssystem für das Heinrich-Hert-Institut. Telecom Report 4 (1981) Heft 2, S. 98-103
- /7/ Bünning,H.; Kreutzer,H.W.; Schmidt,F.: Subscriber Stations in Service Integrated Optical Broad Band Communications Systems. IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-30, No. 9, Sept. 1982, p.2163-2171
- /8/ Burmeister,M.; Hoen,B.; Kliem,H.; Teich,G.; Weber,J.: Line Concentrators for an Experimental Digital Wideband Network with Decentralized Switching. ISS'81, Montreal, Sept. 1981, Session 42c, Paper 1
- /9/ Saniter,J.: Betriebsabläufe in einem digitalen Breitbandsystem mit dezentraler Vermittlung. Interner Bericht, 1982
- /10/ Drullmann, R.; Kammerer,W.: Leitungscodierung und betriebliche Überwachung bei regenerativen Lichtleiterkabel-Übertragungssystemen. Frequenz 34 (1980) 2, S. 45 f
- /11/ Schmidt,F.; Teich,G.: Schaltungsanordnung für eine Station eines digitalen Zeitmultiplex-Nachrichten- oder Datensystems. DE-OS 31 28 234
- /12/ Behr,J.P.; Killat,U.; Krüger,J.; Maisel,M.; Riekman,D.; Winter,R.: Subscriber Station for a Digital Integrated Network with Decentralized Exchange. AEÜ Band 35 (1981) Heft 3, S. 105-110

- /13/ Hermes,Th.; Hoen,B.; Kreutzer,H.W.; Schmidt,F.: Bitfehlermessungen in einem diensteintegrierten Breitbandsystem mit optischer Übertragung. Interner Bericht, 1983
- /14/ Hermes,Th.; Hoen,B.; Kreutzer,H.W.; Schmidt,F.; Schmitt,H.P.; Settgast,H.; Volmary,C.; Werner,W.: Experimental Results of HHI Broadband Communications Network. 8. ECOC 1982, Cannes, S. 479-483
- /15/ Inose,H.: An Introduction to Digital Integrated Communication Systems. University of Tokyo Press, 1979, p. 38-41
- /16/ Winzer,G.: Wavelength-Division Multiplex a Favorable Principle? Siemens Forsch.- u. Entwicklungs-Bericht, Band 10, 1981, Nr. 6, S. 362-370
- /17/ Zuber,G.: Untersuchung weitestgehend softwareorientierter Steuerungen in integrierten Nachrichtennetzen. Diplomarbeit an der TU Berlin, FB 20, Sept.1979.



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

