



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

tragung über optische Kanäle *Nr. 221*  
Kanalkapazität für die Breitbanddien  
außen wegen der beschränkten Verarb  
im  
HHI-Breitbandkommunikationssystem  
zwei-Ebenen Netz realisiert werden.  
beiden Ebenen - die sog. Vorfeldeinr  
banddienste Vermittlungsfunktionen w  
Juni 1983  
nt beschreibt ausführlich die Aufgab  
richtungen, analysiert ihren Aufbau

Technischer Bericht Nr. 221

Die Vorfeldeinrichtungen im  
HHI-Breitbandkommunikationssystem

Inhaltsangabe

Im Heinrich-Hertz-Institut Berlin ist ein experimentelles Breitbandkommunikationssystem mit dezentraler Vermittlung und Übertragung über optische Kanäle aufgebaut worden. Um genügend Kanalkapazität für die Breitbanddienste bereitzustellen, mußten wegen der beschränkten Verarbeitungsgeschwindigkeit existierender Elektronikfamilien diese Dienste in einem Zwei-Ebenen Netz realisiert werden. Der Netzknoten zwischen beiden Ebenen - die sog. Vorfeldeinrichtung - muß für Breitbanddienste Vermittlungsfunktionen wahrnehmen.

Der Bericht beschreibt ausführlich die Aufgaben dieser Vorfeldeinrichtungen, analysiert ihren Aufbau und diskutiert mögliche Alternativen.

Bearbeiter



(Dipl.-Ing. M. Burmeister)

Wiss.-techn. Geschäftsführer



(Prof. Dr. C. Baack)

Abteilungsleiter



(G. Heydt)

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Liste der Abkürzungen	I-1
Liste der Abbildungen	II-1
1. Das HHI-Breitbandkommunikationssystem	1
2. Randbedingungen und Vorgaben für die Realisierung der Vorfeldeinrichtungen	5
3. Aufgaben der Vorfeldeinrichtung	10
3.1 Vermittlung von Breitbandkanälen	11
3.2 Durchschaltung der Schmalbanddienste	11
3.3 Verteildienste	12
3.4 Synchronisation auf den Zeitmultiplexrahmen	13
3.5 Eigen- und Fremdprüfungen der Vorfeldeinrichtung	13
3.6 Ankopplung an das Prüf- und Auswertungssystem	14
4. Aufbau der Vorfeldeinrichtung	14
4.1 Realisierung der Breitbandvermittlung	17
4.1.1 Die Vorverarbeitung der Signalisierinformation	18
4.1.2 Breitband-Vermittlungsalgorithmus	21
4.1.3 Das Koppelfeld	23
4.2 Schmalband-Durchschaltung	25
4.3 Breitbandverteildienste	26
4.4 Synchronisation und Laufzeitausgleich im Zeitmultiplexsystem	27
4.5 Prüfungsaufgaben der Vorfeldeinrichtung	30
4.6 Netzübergang für das Prüf- und Auswertungssystem	35
PAS	

5. Alternativen zum Aufbau	38
5.1 Breitbandvermittlung	39
5.2 Schmalbanddurchschaltung	44
5.3 Breitbandverteildienst	46
5.4 Synchronisierungsmöglichkeiten	47
5.5 Eigen- und Fremdprüfung der Vorfeldeinrichtung	50
5.6 Netzankopplung für das Prüf- und Auswertungssystem	51
6. Resümee	51
7. Vorfeldeinrichtung aus heutiger Sicht	53
8. Literaturverzeichnis	56

Liste der Abkürzungen

AA	Abtaster A
AB	Abtaster B
BB	Breitband
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem Fehlerkorrigierender Code
Bif	Bildfernsprechen
Demux	Demultiplexer
E	Empfänger
EA	Einfügung A
EB	Einfügung B
EK 1...6	Empfangskoppler der Leitungen 1 ... 6
GU	Geschwindigkeitsumsetzer
IF	Interface
KA	Koppelfeld A
KB	Koppelfeld B
KS	Kopfstation
MUX	Multiplexer
NK	Netzüberwachungskoppler
PAS	Prüf- und Auswertungssystem
PP	Prüfprozessor
P/S	Parallel/Serienwandlung
RD	Rechnerdienstkanal
RDK	Rechnerdienstkoppler
REP	Repeater
RF	Rundfunk
RR	Rechnerrückkanal
S	Sender
R-Z	Raum-Zeit (Stufe)
SB	Schmalband
SBK	Schmalbandkanal
SKA	Sendekoppler A
SG	Sync-Generator
SKB 1...4	Sendekoppler B der Leitungen 1 ...4

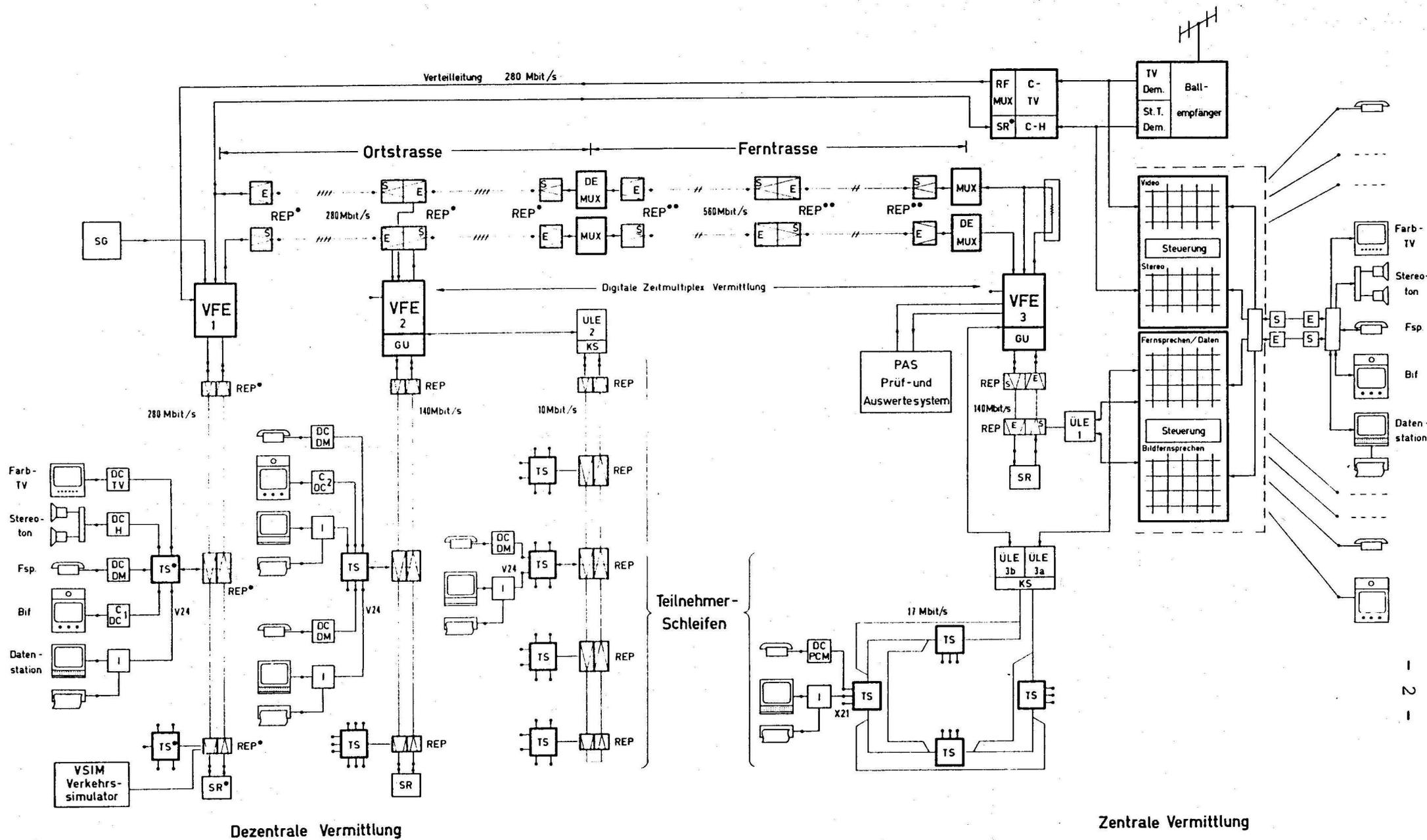
S/P	Serien/Parallelwandlung
SPC	Storage program control Speicherprogrammierte Steuerung
SR	Syncreflex
ST	Steuerung
SY	Sync-Wort
Sync-Gen	Sync-Generator
TG	Taktgeber
TG-Ü	Überwachungsbaugruppe des Taktgebers
TS	Teilnehmerstation
TS*	Teilnehmerstation für 280 Mbit/s
TV	Fernsehen
TVK	TV-Koppler für Wahlfernsehprogramm
ÜLE	Überleiteinrichtung
VFE	Vorfeldeinrichtung
VFE 1	Vorfeldeinrichtung an der 280 Mbit/s-
VFE 280	Teilnehmerschleife
VFE 2	Vorfeldeinrichtung an der 140 Mbit/s-
VFE 140	Teilnehmerschleife
VFE 3	Vorfeldeinrichtung mit Übergang zum Prüf-
VFE Ü	und Auswertungssystem
ZM	Zeitmultiplex
ZMR	Zeitmultiplexrahmen
Z-R	Zeit-Raum (Stufe)

Liste der Abbildungen

- Bild 1: Das HHI-System (Digitales und Analoges Breitbandnetz)
- Bild 2: Dienste im digitalen Breitbandnetz mit dezentraler Vermittlung
- Bild 3: Synchronisation- und Informationsfluß im Digitalen Breitband-Netz
- Bild 4: Zeitmultiplex-Rahmen 280 Mbit/s (Teilnehmerschleife)
- Bild 5: Breitbandkanäle auf den Ortstrassenleitungen
- Bild 6: Zeitschlitz-Format
- Bild 7: Systemblockdiagramm
- Bild 8: Blockschaltbild der Vorfeldeinrichtung 280 Mbit/s
- Bild 9: Struktur der Vorverarbeitung
- Bild 10: Prinzip der Wegeprüfung in der Vorfeldeinrichtung
- Bild 11: Rechnerdienstkoppler RDK und Netzüberwachungskoppler NK in der Vorfeldeinrichtung VFE Ü
- Bild 12: Synchronisation- und Informationsfluß im Digitalen Breitband-Netz mit Schutzeinrichtung (Koax-Relais)

## 1. Das HHI-Breitbandkommunikationssystem

Beginnend mit dem Jahr 1976 wurde am Heinrich-Hertz-Institut in Zusammenarbeit mit den Firmen der deutschen Nachrichtenindustrie und der Schweizer Firma Hasler ein experimentelles Breitbandkommunikationssystem aufgebaut (Bild 1).



# Digitales Breitbandnetz

# Analoges Breitbandnetz

Bild 1: Das HHI-System (Digitales und analoges Breitbandnetz)

Das System ist diensteintegriert und verwendet optische Übertragungsstrecken. Es besteht aus miteinander verbundenen digitalen und analogen Teilsystemen /1/. In beiden Netzen stehen den Teilnehmern die Dienste Fernsprechen, Datenverkehr, Bildfernsprechen mit Farbfernsehqualität, Stereo-Rundfunkverteilung und Farbfernsehen gleichzeitig zur Verfügung (Bild 2).

Dienst	Bandbreite	Art der Wandlung	Abtastrate	Übertragungsrate	Zahl der Zeitschlitze/Rahmen
Farb TV	5,5 MHz	Hybride DPCM (4 Bit)	4,096 MHz Chr. und 12,288 MHz Lum.	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 Mbit/s System) 768 (140 Mbit/s 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

Bild 2: Dienste im digitalen Breitbandnetz mit dezentraler Vermittlung

Das digitale System 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 von 4 mal 280 Mbit/s /6/ und eine sog. Ferntrasse von 2 mal 560 Mbit/s /7/ miteinander verbunden. Während in dem analogen System eine konventionelle zentrale Vermittlung in einem Sternnetz realisiert ist, wird in dem digitalen Teil des Systems das Prinzip der dezentralen Vermittlung angewendet.

Dieses Prinzip ist dadurch gekennzeichnet, daß jede Teilnehmerstation die Vermittlungsfunktion selbständig wahrnimmt. Voraussetzung hierfür ist, daß der Gesamtverkehr des Netzes von der Teilnehmerstation empfangen wird. Dieser Gesamtverkehr kann dann zu großen Bitraten führen, wenn Breitbanddienste im System integriert sind. Die im HHI-System gewählte Bitrate des Breitbanddienstes Bildfernsehen mit Farbfernsehqualität beträgt 65,536 Mbit/s. Damit wird bei mehr als vier Breitbandkanälen die technologische Grenze für integrierte Bauelemente von ca. 300 Mbit/s (ECL) überschritten. Aus Gründen der Baugröße der Teilnehmerstation war jedoch die Verwendung integrierter Bauelemente eine wesentliche Vorgabe bei der Systemkonzeption.

Aus diesem Grunde mußte das Experimentalsystem für Breitbanddienste als ein Zweiebenen-Netz ausgelegt werden. In diesem Zweiebenen-Netz wird die obere Ebene aus den oben erwähnten vier 280 Mbit/s-Ortstrassenleitungen gebildet, die - gemäß der oben genannten Definition der dezentralen Vermittlung - den gesamten Verkehr führen, während in die untere Netzebene, die aus verschiedenartigen Teilnehmerstationen besteht, aus den erwähnten Bandbreitenrestriktionen nur der für die jeweils angeschlossenen Teilnehmer bestimmte Breitbandverkehr durchgeschaltet wird.

Verbindungsglied zwischen den Netzebenen ist eine entsprechende Breitbandvermittlungseinrichtung, die sog. Vorfeldeinrichtung (VFE) /8/.

Wegen der im Vergleich zu den Breitbandkanälen geringen Bandbreite der Schmalbandkanäle ist es möglich, hier das reine Prinzip der dezentralen Vermittlung in einer Hierarchieebene zu realisieren, da die vorgenannten Probleme



Als Vorgabe für den Schmalbandverkehr bestand die Forderung der Realisierung in einem Einebenen-Netz, welches damit eine Baumstruktur aufweist (vergl. Bild 1).

Der Forderung nach Dienstintegration wurde durch die in Bild 4 dargestellte Aufteilung innerhalb des Zeitmultiplexrahmens Rechnung getragen.

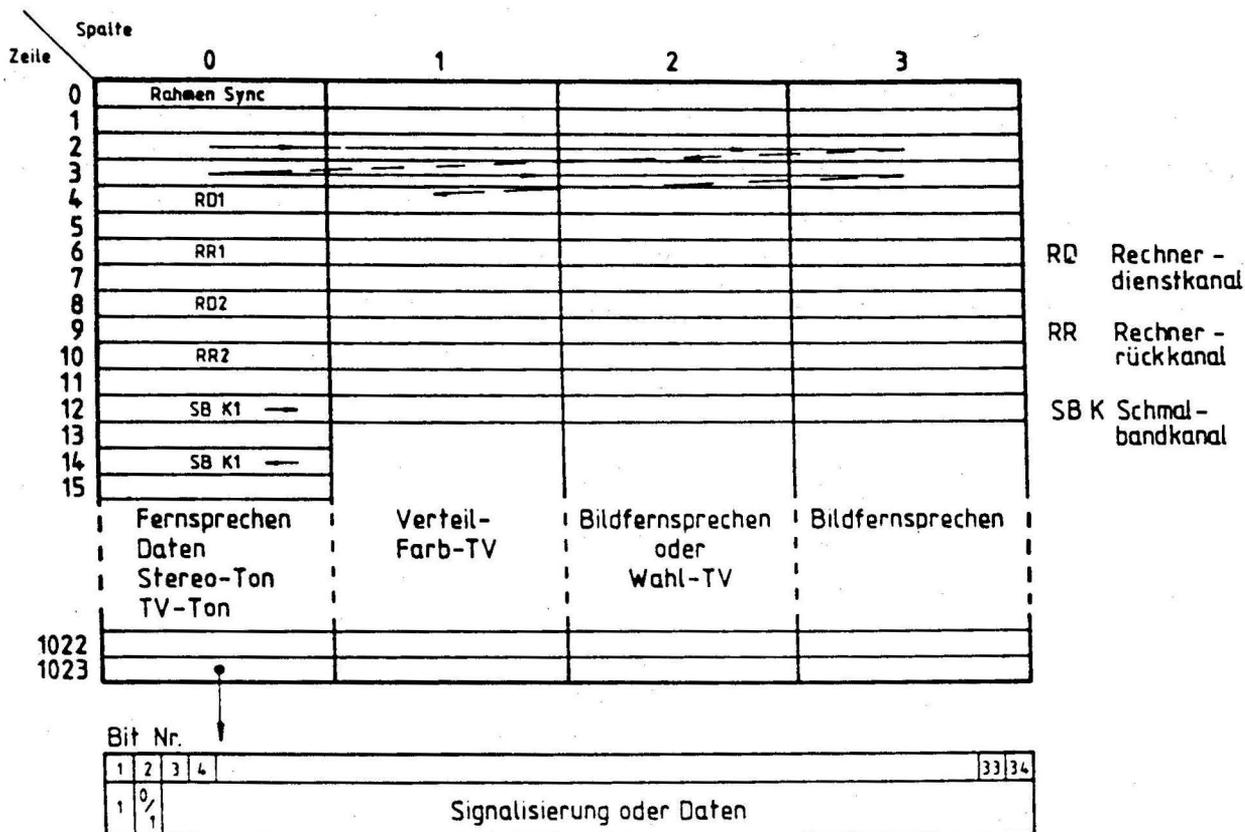


Bild 4: Zeitmultiplex-Rahmen 280 Mbit/s (Teilnehmerschleife)

Das 278,528 Mbit/s-Signal ist hierbei in 4096 Zeitschlitzte à 34 bit bei einer Rahmenwiederholffrequenz von 2 kHz eingeteilt. Der Zeitmultiplexrahmen der 280 Mbit/s-Teilnehmerschleife (vergl. Bild 4) ist in 4 Unterrahmen (Spalten) à

1024 Zeitschlitze aufgeteilt, was eine Brutto-Übertragungsrate von 69,632 Mbit/s bedeutet. Die erste dieser Spalten ist reserviert für die 64 kbit/s Schmalbandkanäle, von denen jeweils 16 zur Übertragung eines von insgesamt acht Hörfunkkanälen zusammengefaßt werden. Die zweite Spalte ist für ein fest eingespeistes Fernsehverteilsprogramm bestimmt. Die dritte Spalte dient wahlweise einem Wahlfernsehprogramm oder einer Bildfernsprechverbindung, während die vierte Spalte ausschließlich dem Bildfernsprechen vorbehalten bleibt.

Die Ortstrasse führt aus Sicherheitsgründen auf allen vier 280 Mbit/s-Leitungen die gleiche Schmalbandspalte redundant (vergl. Abschnitt 4.2). Da die Verteilsprogramme der VFE 280 direkt zugeführt werden, stehen damit auf der Ortstrasse insgesamt  $3 \times 4 = 12$  Breitbandkanäle für die Übertragung zur Verfügung (Bild 5).

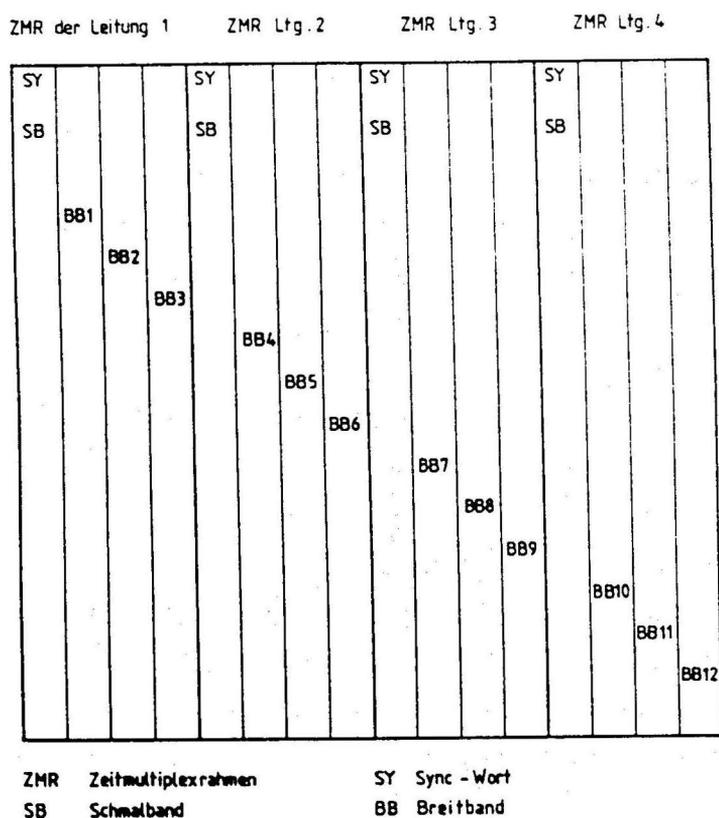


Bild 5: Breitbandkanäle auf den Ortstrassenleitungen

Die Signalisierung war als Inbandsignalisierung (Bild 6) mit einer maximalen Reaktionszeit (time out) von 800 ms vorgegeben /8/.

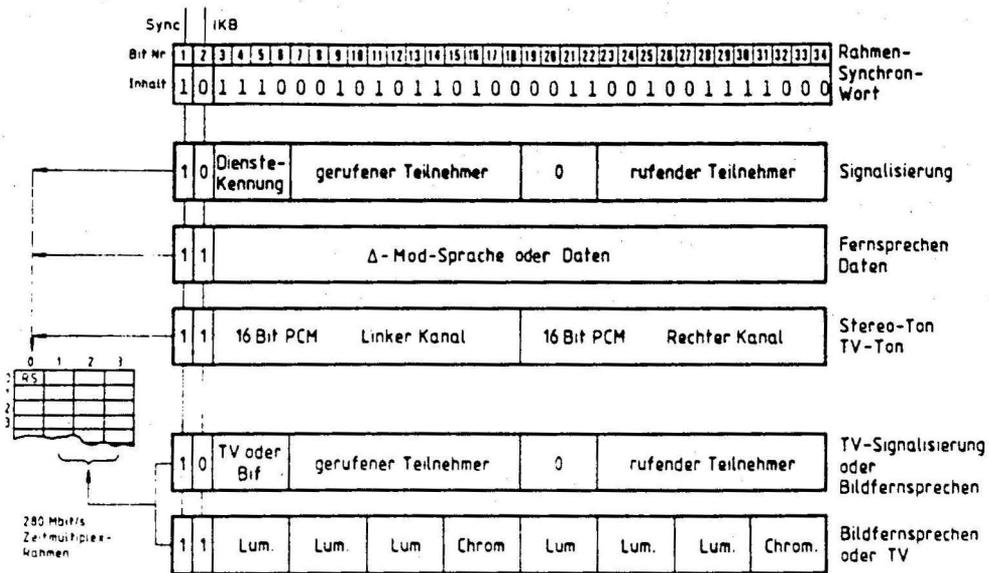


Bild 6: Zeitschlitz - Format

Die Signalisierung für Dialog-Breitbandverbindungen sollte gleichermaßen im Breitbandkanal erfolgen, wobei der Aufbau einer solchen Bildfernsprechverbindung allerdings die Existenz einer zugehörigen Fernsprechverbindung zur Übertragung des Sprachsignals voraussetzt.

Neben der 280 Mbit/s-Teilnehmerschaltung ist auch die 140 Mbit/s-Schleife über eine Vorfeldeinrichtung an die Ortstrasse angeschlossen. Die interne Zeitmultiplex-Organisation des 140 Mbit/s Teilnehmerstranges ist für die entsprechende Vorfeldeinrichtung VFE 140 jedoch insofern unbeachtlich, als durch einen vorgeschalteten Geschwindigkeitsumsetzer eine Adaption an den 280 Mbit/s-Rahmen erfolgt. Der einzige Unterschied gegenüber der dem 280 Mbit/s

Teilnehmerstrang zugeordneten Vorfeldeinrichtung VFE 280 besteht darin, daß wegen der beschränkten Übertragungsbandbreite in der 140 Mbit/s Schleife keine Verteilprogramme geführt werden und die entsprechende Einspeisung in der Vorfeldeinrichtung entfallen kann.

Neben den genannten Verteil- und Vermittlungsfunktionen war konzeptionsgemäß die Möglichkeit, die Funktion der Vorfeldeinrichtung intern (Eigenprüfung) oder durch ein abgesetztes Prozeßrechnersystem (PAS) extern (Fremdprüfung) prüfen zu können, gefordert.

Als Prüfmöglichkeit sollte neben der Eigen- und der Fremdprüfung auch die Leitungsüberwachung der an die Vorfeldeinrichtung angeschlossenen Leitungen realisiert werden.

Die Eigenprüfung sollte die Überwachung der Betriebsgrößen (Spannungen, Lüfterdrehzahl) und die Anzeige der Vermittlungsfehler umfassen. Die Fremdprüfung sollte durch das Prüf- und Auswertungssystem PAS über festgeschaltete Schmalbandkanäle, sogenannte Rechnerdienstkanäle /10/ erfolgen und die Zustandsmeldungen sowie Wegeprüfungen umfassen.

Umgekehrt sollte nach einer Fernprüfung die Einflußmöglichkeiten des Prüf- und Auswertungssystems PAS möglichst bis zum störungsfreien Abschalten einer defekten Vorfeldeinrichtung reichen; diese Vorgabe wurde im Laufe des Projektes aus Aufwandsgründen fallengelassen.

Der Anschluß des Prüf- und Auswertungssystem PAS an das digitale System sollte über eine eigene Vorfeldeinrichtung (VFE Ü) erfolgen.

Die ursprüngliche Absicht, vier Vorfeldeinrichtungen zu realisieren, wurde später aus Aufwandsgründen auf die Realisierung von drei Vorfeldeinrichtungen reduziert (Bild 7).

## Diensteintegriertes Breitbandnetz mit digitaler Übertragung und dezentraler Vermittlung

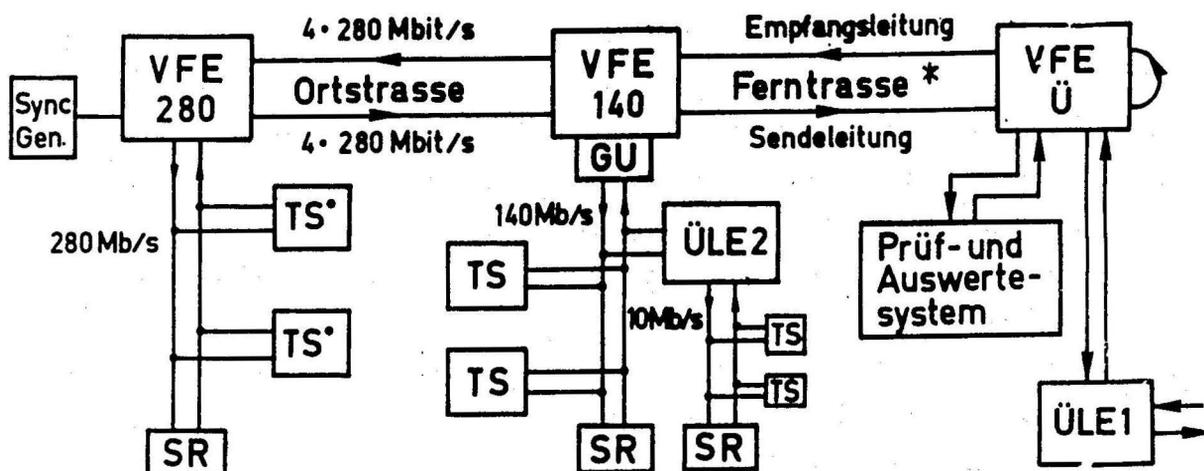


Bild 7: Systemblockdiagramm

\* Ferntrasse: je  $2 \times 560 \text{ Mbit/s}$ , Multiplexer und Demultiplexer nicht eingezeichnet.

### 3. Aufgaben der Vorfeldeinrichtung

Grundlegende Voraussetzungen für die die im folgenden beschriebenen Aufgaben der Vorfeldeinrichtung, nämlich die

- Vermittlung von Breitbandkanälen
- Durchschaltung von Schmalbandkanälen

- Verteilung bzw. Vermittlung von Fernsehprogrammen

ist zunächst die Synchronisation der Datenströme der angeschlossenen Teilnehmerschleifen und den Ortstrassenleitungen.

Daneben mußten Prüf- und Überwachungseinrichtungen im oben angeführten Sinne vorgesehen werden und die Netzzugangsmöglichkeit für das Prüf- und Auswertungssystem PAS realisiert werden.

### 3.1 Vermittlung von Breitbandkanälen

Der Vorgang der Breitbandvermittlung besteht prinzipiell zunächst aus dem Erkennen des Verbindungswunsches durch Auswertung der Teilnehmersignalisierung. Für die getrennte Schaltung von Sende- und Empfangskanal müssen zwei freie Breitbandkanäle aus den 12 Kanälen der Ortstrasse gefunden werden. Die Durchschaltung der Wege muß anschließend durch geeignete Ansteuerung des Koppelfeldes /14/ von der Steuerung veranlaßt werden. Damit ist jeweils ein kommender und gehender Kanal der Teilnehmerschleife mit je einem gehenden und kommenden Breitbandkanal der Trasse verbunden. Die Aufhebung der Durchschaltung erfolgt dadurch, daß die Steuerung das Ende des Gesprächszustands erkennen muß und entsprechend reagiert.

### 3.2 Durchschaltung der Schmalbanddienste

Da wie weiter oben ausgeführt der Schmalbandverkehr in einer einzigen Hierarchieebene dezentral abgewickelt wird, nimmt die Vorfeldeinrichtung hier keine Vermittlungsfunktion wahr, sondern realisiert die zeitrichtige Einfügung der sendeseitigen Schmalbandkanäle der Teilnehmerschleife in die Schmalbandkanäle der Ortstrasse und umgekehrt.

Zur Erhöhung der Sicherheit erfolgt die Einführung gleichzeitig in vier dafür vorgesehene Schmalbandspalten der vier Ortstrassenleitungen. Die Schmalbandinformation einer Ortstrassenleitung wird dagegen auf die einzelnen Teilnehmerschleifen direkt geschaltet. Diese Art der Durchschaltung bezeichnet man als bedingt fest, weil sie im störungsfreien Betrieb nur einmal bei der Initialisierung der Vorfeldeinrichtung hergestellt wird. Erst bei einem Störfall wird eine Änderung der Durchschaltung vorgenommen.

### 3.3 Verteildienste

Die der 280 Mbit/s-Teilnehmerschleife zugeordnete Vorfeldeinrichtung hat die zusätzliche Funktion, in die dafür vorgesehenen, ungeradzahligen Schmalbandkanäle der Teilnehmerschleife zusätzlich die Stereorundfunk-Verteildienste und den Fernsehton in die Teilnehmer-Empfangsleitung einzuspeisen. Darüber hinaus hat die VFE 280 zusätzlich die Aufgabe, Fernsehprogramme in die 280 Mbit/s-Teilnehmerschleife einzukoppeln. Die VFE 280 schaltet dazu aus einem ihr direkt zugeführten Angebot von drei Fernsehprogrammen eines in die zweite Spalte der Teilnehmerschleife, die ausschließlich als Verteilprogrammspalte dient.

Die Auswahl des Verteilprogramms erfolgt mittels Befehl vom Prüf- und Auswertungssystem.

Darüber hinaus kann auf Teilnehmerwunsch hin ein weiteres Fernsehprogramm als TV-Wahlprogramm in die dritte Spalte des Zeitmultiplexrahmens (vergl. Bild 4) vermittelt werden, was allerdings die Verfügbarkeit der Bildfernsprechkanäle entsprechend einschränkt.

### 3.4 Synchronisation auf den Zeitmultiplexrahmen

Die Vorfeldeinrichtungen müssen alle kommenden und gehenden Ortstrassenleitungen untereinander auf den Zeitmultiplex-Rahmen einer einzelnen Leitung, der sog. Taktreferenzleitung synchronisieren.

Die Notwendigkeit dazu entsteht zwangsläufig aus den Phasenschwankungen der einzelnen Leitungen, die aus Temperaturänderungen und Alterung resultieren können.

Darüber hinaus muß die kommende Teilnehmerschleifenleitung (Sendeleitung) ebenfalls auf den Zeitmultiplexrahmen der Ortstrasse synchronisiert werden. Wegen der Realisierung der Teilnehmerschleife mit Synchronisations-Reflex-Baugruppe (Sync-Reflex) muß die Vorfeldeinrichtung nur geringe Phasendifferenzen der Teilnehmerschleife ausgleichen können, da der Sync-Reflex, der sich an den Enden der Teilnehmerschleifen befindet, durch entsprechende Verzögerungen des von ihm eingespeisten Zeitmultiplexrahmens bereits im wesentlichen für die richtige Lage zwischen den Sendedaten der Teilnehmerleitung und denen der Ortstrassenleitung sorgt /12/.

Die ebenfalls mit Sync-Reflex versehene Verteilleitung wird phasenmäßig von der VFE 280 an die Teilnehmerschleife angepaßt.

### 3.5 Eigen- und Fremdprüfungen der Vorfeldeinrichtung

Alle Vorfeldeinrichtungen sollen die angeschlossenen Leitungen auf Synchronisationsfehler und Phasenfehler laufend überwachen und die Ergebnisse sowohl anzeigen als auch dem Prüf- und Auswertungssystem zur Verfügung stellen.

Darüber hinaus sollen die Vorfeldeinrichtungen bei eigenen Defekten, wie Lüfterausfall, unzulässigem Temperaturanstieg etc., dem Prüf- und Auswertungssystem die Abfrage des Fehlerstatus ermöglichen.

Für die Prüfung durch das übergeordnete Prüf- und Auswertungssystem PAS müssen die Vorfeldeinrichtungen Meldungen an das PAS senden und vom PAS empfangen können. Die Vorfeldeinrichtungen müssen darüber hinaus die vom PAS veranlaßte Komponentenprüfung durchführen und die Ergebnisse dem PAS zurückmelden können.

### 3.6 Ankopplung an das Prüf- und Auswertungssystem

Die Vorfeldeinrichtung, die den Netzübergang des Prüf- und Auswertungssystems ermöglichen soll, muß empfangsseitig alle für das PAS relevanten Informationen des Netzes auskoppeln, sowie umgekehrt den sendeseitigen Netzzugang des PAS sicherstellen.

### 4. Aufbau der Vorfeldeinrichtung

Die im Abschnitt 3 erwähnten Aufgaben werden in der Vorfeldeinrichtung im wesentlichen durch die in Bild 8 dargestellten Baugruppen realisiert.

Die Anpassung an das Netz geschieht empfangsseitig durch **E m p f a n g s k o p p l e r**, die sich auf den Datenstrom synchronisieren. Dabei stellt ein **R a h m e n d e t e k t o r** dem zentralen Taktgeber Rahmen- und Worttakte zur Verfügung und signalisiert den Synchronismus. Der

Empfangskoppler parallelisiert darüber hinaus den Datenstrom zur Verringerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf 4 bit Breite. Dieser 4 bit breite Datenstrom wird anschließend zum Ausgleich möglicher Laufzeitunterschiede mittels elastischer Speicher auf einen Bezugsrahmen synchronisiert, so daß das dem Empfangskoppler nachfolgende Koppelfeld vollsynchrone Datenströme angeboten erhält.

Sendeseitig erfolgt die Anpassung an das Netz durch Sendekoppler. Rahmen- und Worttakte der ankommenden Ortstrassenleitungen werden wie bei den Empfangskopplern durch Rahmendektoren bestimmt. Auch bei den Sendekopplern ist ein Phasenausgleich nötig, da zwar die Datenströme hinter dem Koppelfeld vollsynchron sind, die Datenströme der Sendeleitungen aber Laufzeitdifferenzen aufweisen können.

Der Phasenausgleich erfolgt hier wie bei den Empfangskopplern mit Hilfe elastischer Speicher, die die vermittelten Daten den Daten der Sendeleitungen anpassen. Nach Parallel-Serienwandlung sind diese Daten genau synchron zu den ankommenden Daten, so daß sie durch eine logische Oder-Funktion zu den abgehenden Daten zusammen gefaßt werden können. Da der Sendekoppler der Teilnehmerschleife auf keinen Datenstrom aufsynchronisiert werden muß, führt er lediglich die Parallel-Serienwandlung durch.

Wegen der Inbandsignalisierung muß die Steuerung die Signalinformation mit Hilfe der Abtaster ermitteln. Die Steuerung veranlaßt das Koppelfeld durch entsprechende Einstellbefehle zur Durchschaltung der Information.

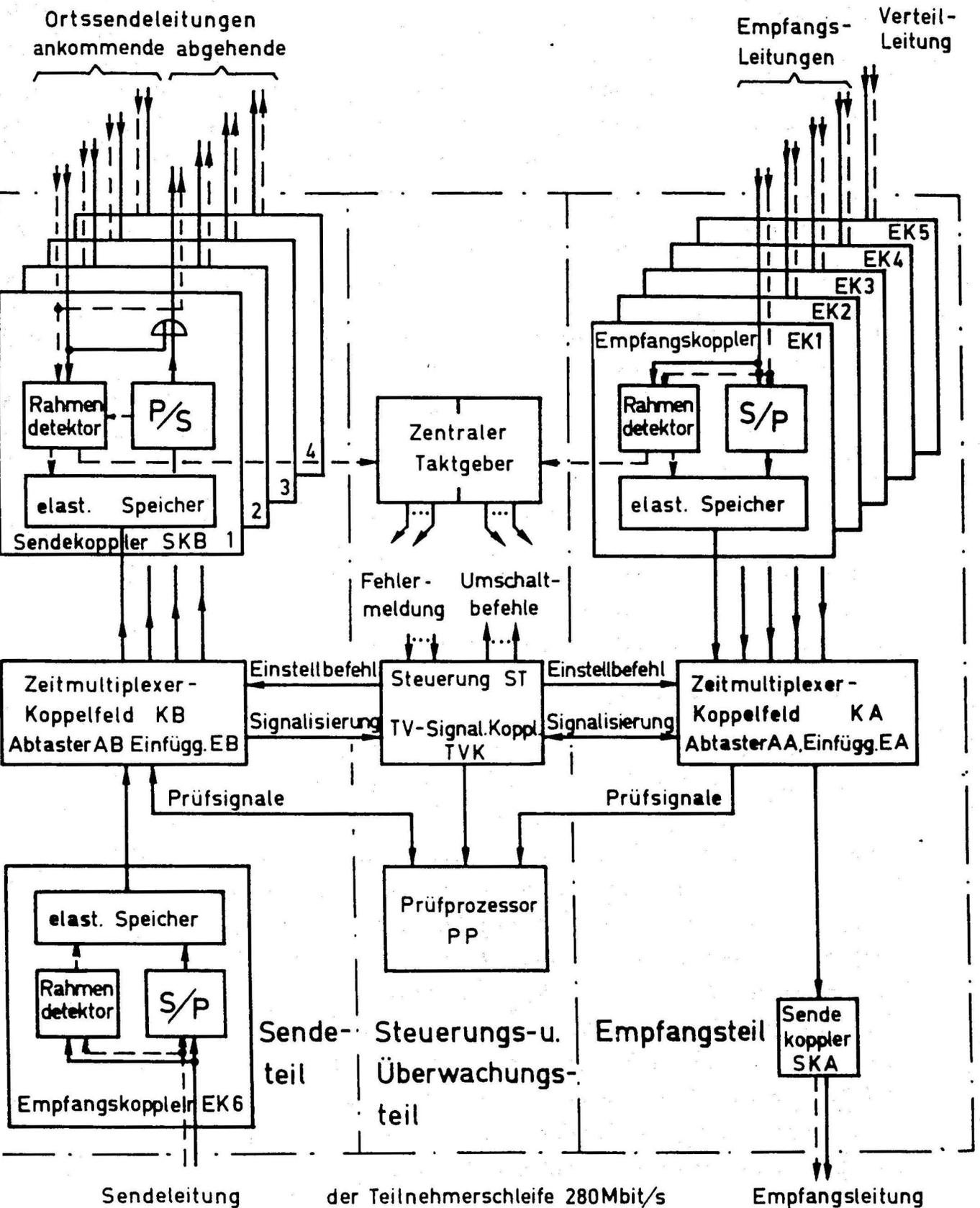


Bild 8 : Blockschaubild der Vorfeldeinrichtung 280 Mbit/s

Der Prüfprozessor ermöglicht die Prüfung der Durchschalte- und Vermittlungsbaugruppen. Hierzu bedient er sich der Einfügung, welche die Prüfinformation in von der Steuerung bestimmte Breitbandkanäle einkoppeln kann. Der schon erwähnte Abtaster ermöglicht, diese Information zu Prüfzwecken zurückzugewinnen. Der Informationsaustausch mit dem Prüf- und Auswertungssystem geschieht ebenfalls durch den Prüfprozessor und die Einfügung über einen festen Schmalbandzeitschlitz.

Für die Vermittlung von Wahlfernsehprogrammen ist bei dem benutzten Signallisierverfahren als Signalisierquittungsgeber der TV-Signalisierkoppler notwendig.

#### 4.1 Realisierung der Breitbandvermittlung

Die Breitbandvermittlung erfolgt als Durchschaltevermittlung in einer Raum-Zeit- bzw. Zeit-Raum-Struktur mit nicht gedoppelter speicherprogrammierter Mikroprozessorsteuerung (SPC).

Um die notwendige Flexibilität der Steuerung im Experimentalsystem zu gewährleisten, kam ausschließlich eine speicherprogrammierte Steuerung in Frage. Die Konsequenz der Realisierung der Steuerung als verhältnismässig langsame, dafür aber aufwandsarme und preiswerte Mikroprozessorsteuerung, ist die Notwendigkeit einer Vorverarbeitung. Diese speichert die Signalisierung, die im zeitlichen Abstand von 256 Zeitschlitzten eintrifft. Zur Entlastung des Mikroprozessors muß die Vorverarbeitung darüber hinaus die Signalisierung prüfen, mit der vorangegangenen Signalisierung vergleichen und auf die unbedingt notwendige Information (Signalisierungskennung, Zieladresse, Kanalnummer) reduziert dem nachfolgenden Prozessor zur Verfügung stellen.

Der Mikroprozessor muß neben seiner eigentlichen Aufgabe, der Steuerung der Vermittlung von Breitbandkanälen, noch Testverbindungen schalten, Aufträge des Prüf- und Auswertungssystems PAS abwickeln sowie Störungsmeldungen lokal anzeigen und darüber hinaus an das PAS melden.

Die Aufgabenteilung für die Steuerung der Vermittlung von Breitbandkanälen erfolgt für die Verarbeitung der Signalisierung in einem im folgenden mit Vorverarbeitung bezeichneten, synchronen Schaltwerk in Schottky-TTL und für die Verwaltung der Kanäle und Ansteuerung des Koppelfeldes in einem Mikroprozessorsystem (SAB 8080) in MOS bzw. TTL-Technologie.

#### 4.1.1 Die Vorverarbeitung der Signalisierungsinformation

Die Vorverarbeitung führt eine Datenreduktion und Datenaufbereitung dergestalt durch, daß der Vermittlungsprozessor nur noch die unbedingt notwendigen Daten erhält und diese auch nur zu den Zeiten, bei denen eine Änderung der Signalisierungskennung erfolgt.

Der Ablauf ist im folgenden dargestellt (Bild 9).

Die Signalisierungsinformation wird durch die Abtaster dem Vorverarbeitungs-Steuerwerk übergeben (AAST bzw. ABST). Da die Breitbandsignalisierungen jeweils in dem gesamten Kanal übertragen werden, genügt es, die Signalisierung nur e i n e s Zeitschlitzes pro Kanal auszuwerten (siehe Bild 5). Hierdurch wird ein minimaler Signalisierungsabstand von 256 Zeitschlitzten erreicht, der im wesentlichen für die Verarbeitung der Information genutzt werden muß. Die Signalisierung wird gespeichert (INA bzw. INB) und die Signalisierungskennung auf Zulässigkeit überprüft. Die

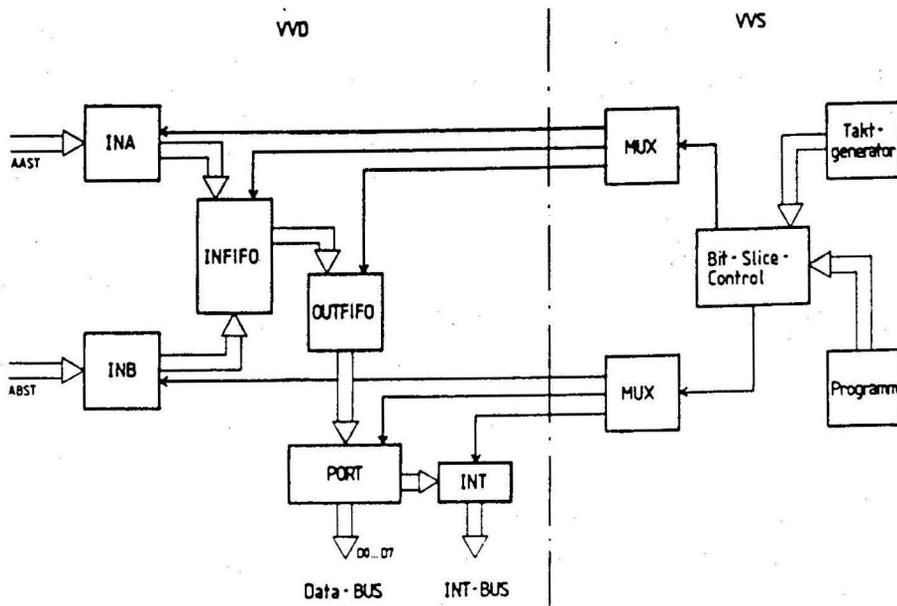


Bild 9: Struktur von Datenwerk und Steuerwerk der Vorverarbeitung

Signalisierung ist gültig, wenn die Signalisierungskennung zum zweiten Mal im nächsten Rahmen im gleichen Breitbandkanal aufgetreten ist. Wenn Änderungen des Signalisierungszustands eingetreten sind, d.h. wenn der leere Kanal mit einer Breitbandsignalisierung abwechselt (Gesprächsaufbau bzw. Rufquittung), auf die Signalisierung der leere Kanal folgt (Rufabbruch) oder der Gesprächszustand mit einem leeren Kanal beendet wird (Gesprächsende), wird dem Vermittlungs-Prozessor die Information über den DATA-BUS übergeben. Der Programmablauf wird durch eine Bit-slice-control Einheit im Vorverarbeitungssteuerwerk VVS mit horizontalem Mikroprogramm abgewickelt. Bei einem möglichen gleichzeitigen Übergang aller Signalisierungszeitschlitze in gültige Signalisierungszustandsänderungen mit zweimaliger

Wiederholung der Signalisierung ist der Prozessor außerstande, alle Aufgaben, die momentan anstehen, vollständig abschließend zu bearbeiten. Deshalb werden diese Aufgaben zwischengespeichert und zeitlich entzerrt dem Vermittlungsprozessor angeboten, da dessen Verarbeitungsgeschwindigkeit um den Faktor 20 geringer ist. Diese Entzerrung geschieht durch zwei Speicher, die nach dem FIFO-Prinzip (First in, first out) arbeiten. Ein FIFO-Speicher INFIFO sorgt für die Einspeicherung der kompletten Signalisierungsinformation, der zweite Speicher OUTFIFO gibt die für den Mikroprozessor aufbereitete Information über das PORT kontinuierlich an diesen weiter.

Priorität bei der Verarbeitung der Daten hat die Speicherung der Signalisierung, da keine Netzinformation verloren gehen darf. Die Anzahl der Breitbandsignalisierkanäle der Orts-trasse, des Schmalbandsignalisierkanals zum PAS und der Breitbandsignalisierkanäle des Teilnehmerstrangs bestimmen somit die Größe der Speicher. Ist die Größe dieser Speicher wie im vorliegenden Fall begrenzt, so hat dies Auswirkungen auf den Verarbeitungsalgorithmus. Bei einer geringen Größe des Ausgabepufferspeichers muß der Signalisierendeingangsspeicher entsprechend größer sein, um einen Informationsverlust zu vermeiden. Da eine zusätzliche, über Signalisierungszustandsänderungen hinausgehende Information bezüglich des aktuellen Trassenzustand sowohl durch einen Mikroprozessor nicht zu verarbeiten ist, als auch eine komplexere Programmstruktur der Vorverarbeitung bedeutet hätte, wurde nur eine Übermittlung von Signalisierungszustandsänderungen zum Mikroprozessor durchgeführt. Mit der dargelegten Reduktion des Datenstroms zum Mikroprozessor wird die kleinstmögliche Größe der Zwischenspeicher erreicht. Ohne Datenreduktion würde immer die Gefahr des Verlustes von Signalisierungsinformation durch Speicherüberlauf bestehen. Eine Konsequenz

ist, daß durch diese Art der Vorverarbeitung ein Wiedereinschalten einer zu Wartungszwecken abgeschalteten Vorfeld-einrichtung mit kurzzeitigen Störungen für das Netz verbunden ist.

#### 4.1.2 Breitband-Vermittlungsalgorithmus

Der Vermittlungsrechner besteht aus einem Mikroprozessorsystem mit einem Programmspeicher von 6 K Byte EPROM, in dem der Vermittlungs- und Prüfungsalgorithmus steht, einem Datenspeicher von 2 K Byte RAM für die Speicherung von Zwischenwerten und Zuständen, sowie einem umfangreichen Interfacesystem zur Anpassung an externe Baugruppen.

Das Programm ist durch die Interruptverarbeitung strukturiert. Die von der Vorverarbeitung generierten Interrupts werden mit unterschiedlicher Priorität bearbeitet. Die höchste Priorität hat die Signalisierung von der Ortstrasse, es folgen die Signalisierung vom Teilnehmerstrang und schließlich die Steuerbefehle vom Prüf- und Auswertungssystem. Die Prozedur der Vermittlung unterschiedlicher Anforderungen wird im folgenden erläutert.

Der Signalisierung von der Ortstrasse wird die Zieladresse des Teilnehmers entnommen; ist deren erste Stelle (Teilnehmer-Schleifenadresse) identisch mit der Vorfeldeinrichtungsadresse, so wird der entsprechende Kanal, auf dem die Signalisierung empfangen wurde, bis zu einer Aufhebung der Verbindung als belegt gekennzeichnet. Die um die Ortstrassenkanalliste erweiterte Teilnehmerkanalliste wird nach einem freien Breitbandkanal durchsucht.

Bei einem verfügbaren Kanal wird dieser Kanal in der Liste als nicht mehr verfügbar für zukünftige Belegungen bis zu einer Auflösung der Verbindung gekennzeichnet und anschließend

die Durchschaltung des Weges mittels eines Einstellbefehls an das Koppelfeld durchgeführt. Gemäß der Vereinbarung im Pflichtenheft /21/ werden bei Belegungen und Durchschaltungen von Kanälen immer der ungeradzahlige und der benachbarte geradzahlige Kanal der max. 12 Ortstrassenkanäle gleichzeitig belegt und durchgeschaltet. Der ungeradzahlige Kanal führt die gehende, der geradzahlige Kanal die kommende Verbindung. Auf den Teilnehmerkanälen, bei denen Sende- und Empfangsrichtung auf getrennten Fasern liegen, werden immer spaltengleiche Kanäle gleichzeitig geschaltet.

Liegt der Fall vor, daß die Adresse an der VFE nicht mit der Teilnehmerzieladresse identisch ist, so wird nur ein entsprechender Eintrag in der Ortstrassenbelegungsliste vorgenommen. Eine Schaltung von Koppelpunkten entfällt, da keine Verbindung zum entsprechenden Teilnehmerstrang hergestellt werden soll.

Im umgekehrten Fall führt die Signalisierung eines an der VFE angeschlossenen Breitbandteilnehmers zur Kennzeichnung des belegten Teilnehmerkanals, zur Suche eines freien Ortstrassenkanals, dessen Belegtkennzeichnung in der Belegungsliste und zum Senden eines Einstellbefehls an das Koppelfeld zur Durchschaltung dieses Weges.

Existiert kein freier Ortstrassenkanal, so wird nur der Teilnehmerkanal als belegt gekennzeichnet. Damit wird die Signalisierung nicht durchgeschaltet und die Teilnehmerstation, die die Quittung generieren muß, kann nicht erreicht werden.

Die Signalisierung wird nach 800 msec von der Teilnehmerstation gemäß den vereinbarten Betriebsabläufen (siehe auch /9/)

eingestellt und die VFE erkennt an dem dann leeren Kanal die Auslösung der Verbindung. Daraufhin wird der Teilnehmerkanal auch in der Liste wieder als frei gekennzeichnet.

#### 4.1.3 Das Koppelfeld

Die Durchschaltung der Verbindungswege geschieht durch das Koppelfeld.

Das Koppelfeld in einem Zeitmultiplexsystem verbindet die Leitungen räumlich miteinander und verschiebt soweit erforderlich die Kanäle zeitlich. Hierdurch ist es notwendig, daß das Koppelfeld mindestens über zwei Stufen, eine Raum- und eine Zeitstufe verfügt. Bei größeren zu schaltenden Vielfachen ist eine zweistufige Lösung wegen der großen Zahl von Koppelpunkten nicht wirtschaftlich. Hierbei wählt man dann mehrstufige symmetrische Koppelfelder (RZR, ZRZ) mit der Nebenbedingung der möglichst geringen inneren Blockierung bzw. Blockierungsfreiheit.

Da das HHI-Experimentalsystem nur eine geringe Kanalzahl hat und der Teilnehmerstrang nur über eine Leitung pro Richtung angeschlossen ist, lassen sich auch zweistufige blockierungsfreie Lösungen ermöglichen.

So schaltet das Koppelfeld A (Verbindung von Ortstrassenleitung zum Teilnehmerstrang) (vergl. Bild 8)  $m$  ankommende Leitungen mit  $p$  Kanälen auf  $n=1$  abgehende Leitungen mit  $p$  Kanälen durch. Desgleichen handelt es sich beim Koppelfeld B (Verbindungsweg vom Teilnehmerstrang zur Ortstrasse) um den einfachen Fall, daß  $n=1$  ankommende Leitungen mit  $p$  Kanälen auf  $m$  abgehende Leitungen mit  $p$  Kanälen vermittelt werden müssen.

Die Anzahl Ortstrassenleitungen beträgt  $m=4$ , die Anzahl der Breitbandkanäle pro Leitung ist  $p=3$ . Im ersten Fall wurde ein Raum-Zeit-Vielfach (R-Z) und im zweiten Fall eine Zeit-Raum-Anordnung (Z-R) des Koppelfeldes realisiert. Für die einfache Realisierung schneller Koppelfelder ist das synchrone Datenangebot auf allen Leitungen Voraussetzung. Der Aspekt der Erzeugung eines vollsynchrone Datenangebots wird im Abschnitt Synchronisierung (Abschnitt 4.4) behandelt.

Das Koppelfeld wurde parallel (Wortbreite = 4 bit) zur Geschwindigkeitsreduktion aufgebaut, da damit erstmalig eine Realisierung eines digitalen Koppelfeldes mit 70 MHz in neuer, aber bereits erprobter Technologie (ECL 10 K) angewendet werden konnte /15/. Im Schlußbericht "Digitales Breitbandkoppelfeld mit Überwachungselektronik" /14/ werden grundsätzliche Fragen zur Struktur und Realisierung von Koppelfeldern bis zu 20 Kanälen bei einer Kanalbitrate von 70 Mbit/s behandelt. Bei diesen Datenraten muß mit ECL-Bausteinen gearbeitet werden, bei denen wegen des geringen Signalstörabstandes Signalleitungen mit homogenen und definierten Wellenwiderständen reflektionsarm abgeschlossen werden müssen. Es wird die Lösung in Multilayer-Technik diskutiert, bei der feste Spannungsbezugsebenen zwischen den Leiterbahn führenden Ebenen für einen gleichmäßigen Kapazitätsbelag sorgen. Darüber hinaus wird die Spannungsführung mit Stromschienen zur hochfrequenten Siebung der Versorgungsspannung empfohlen. Die Übergabe von Signalen zu benachbarten Platinen ist zuverlässig nur über symmetrische Treiberbausteine möglich. Bei einem höheren Parallelisierungsgrad und damit geringerer Datenrate in den Koppelfeldern könnte eine Technologie mit größerem Störabstand und geringerem Leistungsverbrauch (STTL bzw. TTL) eingesetzt werden.

Durch die erhöhte Anzahl der Leiterbahnen würde jedoch das Übersprechen und die Baugröße der Karten steigen. In einer

Studie des Elektromagnetischen Instituts der Technischen Universität Dänemark /17/ wurde abgeschätzt, daß dieser Sprung in der Technologie das Volumen um den Faktor 2, die Anzahl der IC's um 2,8 steigern und den Leistungsverbrauch um den Faktor 2, sowie die Kosten um 26% (für das Jahr 1979) senken würde.

Das in der Vorfeldeinrichtung von der Firma SEL realisierte Koppelfeld arbeitet mit 70 Mbit/s Taktfrequenz, die Synchronisierung der Daten erfolgt mittels Schieberegistern und die Durchschaltung durch UND-Gatter, wobei alle schnellen Baugruppen in ECL-10 K Technologie aufgebaut wurden /14, 15/.

#### 4.2 Schmalband-Durchschaltung

Die Vorgabe, Schmalbanddienste in einem Einebenennetz abzuwickeln, bedingt, daß die Vorfeldeinrichtung für Schmalbanddienste als Verzweigungspunkt eines Baumnetzes aufgebaut ist. Sie muß dementsprechend die Schmalbandkanäle der Ortsstrasse auf die Teilnehmerleitung schalten und die Schmalbandinformation der Teilnehmerleitung in die Ortstrassenleitung einfügen. Die dazu erforderliche Rahmensynchronität der Sendeleitung des Teilnehmerstranges mit den Ortstrassenleitungen wird im wesentlichen durch den Synchron-Reflex der Teilnehmerleitung gewährleistet (vergl. Abschn. 4.4).

Durch vierfach redundantes Führen der Schmalbandkanäle auf die Ortstrasse (vergl. Abschn. 3.2) wird die Sicherheit des Grunddienstes Fernsprechen wie auch die Sicherheit der Rechnerdienstkanäle erhöht. Die vierfache Führung ist sinnvoll, da in der Trasse auch eine Höchstgeschwindigkeitsstrecke mit 560 Mbit/s (die sog. Ferntrasse) liegt, auf welche der Datenstrom von je zwei Fasern gemultiplext wird. Da jede von beiden gemultiplexten Leitungen als Takt- und Rahmenreferenz in Anspruch genommen werden kann, würde der Ausfall

dieser 280 Mbit/s-Strecke die zweite Leitung ebenfalls zum Ausfall bringen. Darüber hinaus ist es möglich, jede Leitung für sich allein als Basis eines eigenständigen Zeitmultiplexsystems zu betrachten.

Die feste Durchschaltung wird sendeseitig durch das Koppelfeld bewerkstelligt, in dem eine Überwachungselektronik für die rahmensynchrone Auffrischung eines evt. durch Störwirkung abgefallenen Koppelpunktes sorgt.

Die Schmalbandinformation wird empfangsseitig von einer Ortsstrassenleitung bedingt fest auf den Teilnehmerstrang geschaltet. Ausgewählt wird die als Taktreferenzleitung dienende Ortstrassenleitung, die sog. Hauptleitung.

Die bedingt feste Durchschaltung ermöglicht bei Störungen oder erhöhter Fehlerrate die Auswahl einer anderen Leitung als Hauptleitung entweder durch das Prüf- und Auswertungssystem durch einen Steuerbefehl oder selbsttätig von der Vorfeldeinrichtung bei Verlust der Synchronität.

#### 4.3 Breitbandverteildienste

Der Dienst Farbfernsehverteilung wurde als Standardverteil- und als Wahlfernsehprogramm mit unterschiedlichen Betriebsabläufen realisiert.

Das Standardverteilprogramm wird durch das Koppelfeld bedingt fest nur auf den ersten Breitbandkanal der Teilnehmerempfangsleitung geschaltet (vergl. Bild 4). Das Prüf- und Auswertungssystem hat die Aufgabe, per Steuerbefehl an die VFE 280 das zu verteilende Programm festzulegen. Die Steuerung entschlüsselt den Steuerbefehl und veranlaßt das Koppelfeld, den dem Verteilprogramm zugeordneten Koppelpunkt durchzuschalten.

Im Gegensatz dazu wird das Wahlfernsehprogramm wie eine Breitband-Bildfernsprechverbindung vom Teilnehmer angefordert und auf den zweiten Breitbandkanal der Teilnehmerempfangsleitung vermittelt. Um mit den Betriebsabläufen für Bildfernprechsignalisierung (siehe /9/) kompatibel zu sein, muß auf die Signalisierung des Teilnehmers eine Quittung vom "gerufenen Teilnehmer" erfolgen. Da die Verteilung nur die Dateninformation führt, erzeugt die Vorfeldeinrichtung diese Quittung mittels des TV Signalisierkoppers. Nach einer angemessenen Verzugszeit schaltet die Vorfeldeinrichtung das gewünschte TV-Verteilprogramm zum Teilnehmer durch.

#### 4.4 Synchronisation und Laufzeitausgleich im Zeitmultiplex system

Das digitale HHI-System ist ein vollsynchrones Netz mit gerichteter Synchronisierung in zwei Hierarchieebenen.

Durch die Vorfeldeinrichtungen müssen die Datenströme von den Ortstrassen und Teilnehmersträngen auf einen gemeinsamen Zeitmultiplex-Rahmen synchronisiert werden. Das für die Netzsynchronisation gewählte Verfahren hat Auswirkung auf die Maßnahmen zum Laufzeitausgleich in der Vorfeldeinrichtung.

Das einfachste Verfahren, die gerichtete Synchronisierung /16/, stellt dabei keine besonderen Anforderungen an die Topologie des Netzes. Bei diesem Verfahren wird die Taktinformation von e i n e m zentralen Generator an alle Netzknoten verteilt. Die Verteilung der Information muß gerichtet erfolgen und enthält damit keine Taktrückführungen (Schleifen), die zu Instabilitäten führen könnten. Im HHI-System liefert zunächst ein zentraler Rahmengenerator den vier Sendeleitungen

einen leeren Rahmen mit den dazugehörigen Takten (Bild 3). Die Vorfeldevorrichtungen leiten ihren zentralen Bit- und Rahmentakt von einer als Taktreferenzleitung bzw. Hauptleitung gewählten Empfangsleitung der Ortstrasse ab. Der Zeitmultiplexrahmen der Sendeleitung des Teilnehmerstranges wird von den zentralen Takten abgeleitet und liefert am Ende des Teilnehmerstranges dem Sync-Reflex die Taktinformation. Alle anderen Datenströme dienen nicht der Taktsynchronisierung, sie werden jeweils über Phasenausgleichs-Speicher - die elastischen Speicher - mit dem System gekoppelt. Zur Rahmensynchronisierung der Sendeleitung des Teilnehmerstranges auf die Sendeleitung der Ortstrasse findet im Sync-Reflex die Generierung eines leeren Zeitmultiplexrahmens statt, der zu dem empfangenen Rahmen der Ortstrasse eine manuell einstellbare Verzögerung entsprechend der Signallaufzeit aufweist und damit in der Vorfeldevorrichtung wie alle anderen Leitungen nur noch einen Feinabgleich der Laufzeitdifferenz benötigt.

Bittakt- und Rahmentaktsynchronisierung auf die zentralen Takte erfolgt in der Vorfeldevorrichtung für jede Leitung durch einen eigenen elastischen Speicher. Der elastische Speicher ermöglicht das Einschreiben und Auslesen der Information mit unterschiedlichen Takten. Die von der Leitung gelieferten Takte werden benutzt, um in den Speicher einzuschreiben, der zentrale Takt wird zum Auslesen der Speicher verwendet. Der elastische Speicher hat eine Kapazität von 33 bit und gestattet damit den Phasenausgleich der anderen Leitungen bis zu einem halben Zeitschlitz ( $\pm 60$  nsec) vor- bzw. nacheilend auszuregeln.

Die für die Dimensionierung des elastischen Speichers maßgebenden Faktoren sind:

- Drift der takterzeugenden Generatoren

- Phasenjitter der Vermittlungs- und Übertragungskomponenten
- Temperaturänderungen
- Alterung der Komponenten und
- Längendifferenz der parallelen optischen Leitungen.

Bei der gerichteten Synchronisation hat die Drift des zentralen Generators solange keine Auswirkungen, wie keine Übergänge in andere Netze erfolgen /16/.

Messungen des absoluten Phasenjitters haben ergeben, daß dieser Wert unterhalb einer Bittaktperiode liegt und damit auf die Dimensionierung ebenfalls keinen Einfluß hat.

Anders ist die Längenänderung der Faser infolge Temperaturänderungen zu bewerten. Für Borosilikatglas, das für optische Fasern verwendet wird, findet man für den Temperaturkoeffizienten Werte, die zwischen 400 und 900  $10^{-8}$  dl/l bei einer Temperaturdifferenz von  $T = 100^\circ \text{C}$  liegen /18/. Nimmt man mit reinen Quarzglas den ungünstigsten Fall, so dehnt sich dieses, bei ebenfalls  $100^\circ \text{C}$  um  $dl = 0,05 \text{ mm}$  bei einem Meter Ausgangslänge. Bei einer Gesamtlänge von 30 km summiert sich diese Längenänderung auf 1,5 m. Beträgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit in einem Wellenleiter  $v = 200000 \text{ km/sec}$ , so entspricht dies einer Laufzeitdifferenz von  $t = 7,5 \text{ nsec}$ . Somit muß ein elastischer Speicher, der nur für die Temperaturdrift dimensioniert wird, mindestens 3 bit ausgleichen. Die Temperaturänderung bewirkt eine Änderung der Brechzahl, welche die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Wellenleiter bestimmt. Da dieser Effekt dem der Längenänderung entgegen wirkt, genügt es für den ungünstigsten Fall, die Längenänderung zu berechnen. Aus Messungen /22/ kann man entnehmen, daß die Laufzeitänderung vergleichbarer Fasern bei 280 Mbit/s für eine 5 km Strecke 1 bit betragen. Die gewählte Speicherslänge von  $\pm 16$  bit berücksichtigt darüber hinaus Längenänderungen der parallel verlegten Leitungen, sowie Temperaturänderungen und Alterung elektronischer Komponenten.

#### 4.5 Prüfungsaufgaben der Vorfeldeinrichtung

Die Prüfungsaufgaben gliedern sich in drei Aufgabenkomplexe:

- Überwachung der Leitungen auf Synchronismus und Messung des Phasenversatzes
- Ermittlung von Betriebsstörungen bzw. -zustandgrößen
- Funktionstest der Vermittlungsbaugruppen und der beteiligten Übertragungskoppler.

Die Überwachung der an die Vorfeldeinrichtung angeschlossenen Leitungen geschieht über die Überwachungsbaugruppe des Taktgebers TGÜ. Hier werden einmal die Phasenlagen der Empfangskoppler der vier Ortstrassenleitungen (EK1, ..., EK4 bzw. EK5 an der VFE 280) relativ zueinander gemessen. Gleichermaßen werden die Phasenlagen der Sendekoppler relativ zur vorhandenen Hauptleitung gemessen und schließlich wird die Phasenlage der Teilnehmerschleife gegenüber der Hauptleitung ermittelt. Liegen die Phasendifferenzen unterhalb einer für die Regelung ausreichenden Zeit, die hier aus Implementierungsgründen zu 52 nsec gewählt wurde, so erfolgt keine Meldung an die Steuerung der Vorfeldeinrichtung. Zusätzlich wird von dieser Baugruppe der Synchronverlust einer oder mehrerer Leitungen gemeldet. Die Steuerung verwertet diese Meldung einmal, um eine Breitbandvermittlung, die auf einer als fehlerhaft erkannten Leitung abgewickelt wird, sperren zu können, weiterhin zur Umschaltung der Hauptleitung, falls eine als Hauptleitung bestimmte Leitung defekt ist, ebenso zur Aufbereitung einer Meldung an das Prüfungs- und Auswertungssystem und schließlich zur Anzeige an einer angeschlossenen Überwachungskonsole. Diese Überwachungsaufgabe wird von der Steuerung ständig durchgeführt und nur durch Interrupts von dem Vorverarbeitungsprozessor für Vermittlungsaufgaben unterbrochen.

Neue Fehlermeldungen werden von der Taktgeber-Überwachung nur nach Abfrage durch die Steuerung zyklisch generiert. Die Steuerung leitet die Fehlermeldungen an das Prüf- und Auswertungssystem auf dessen Anforderung hin weiter. Hierbei werden alle Meldungen vom TG-Ü solange in den Rechnerrückkanal eingefügt, bis sich eine Meldung wiederholt. Da der TG-Ü zyklisch alle vorhandenen Fehler meldet, ist damit sichergestellt, daß alle Fehler erfaßt wurden.

Die Betriebszustandsgrößen bzw. Betriebsstörungen werden durch das Bedienfeld und die zugehörige Elektronik erfaßt. Das Bedienfeld verfügt über eine Anzeige des Fehler- bzw. Mikroprozessorzustandes auf der Frontseite der Vorfeldeinrichtung und ermöglicht, Eingriffe im Programmablauf durch Schalter durchzuführen. Das Bedienfeld meldet der Steuerung den Betriebszustand der Vorfeldeinrichtung. Es sind die Betriebszustände Normalbetrieb, Wartungsbetrieb 1 und Wartungsbetrieb 2 einstellbar.

Der Normalbetrieb sowie der Wartungsbetrieb 1 erlauben keine Eingriffe in den Steuerungsalgorithmus von der Bedienkonsole. Der Normalbetrieb unterläßt dabei außerdem noch die Fehlermeldungen auf der Überwachungskonsole, da der Prozessor in diesem Fall mit der maximal möglichen Geschwindigkeit arbeiten soll. Im Wartungsbetrieb 2 sind Eingriffe in das Steuerungsprogramm möglich, so daß Breitbandvermittlungswünsche evtl. ignoriert werden. Das Prüf- und Auswertungssystem kann diese Betriebszustände abfragen. Eine zur Baugruppe Bedienfeld gehörende Elektronik erkennt Spannungsabweichungen von  $\pm 5\%$  aller Spannungen der drei Baugruppenträger und erzeugt die dazugehörige Meldung an die Steuerung. Außerdem werden die Lüfter auf ihre Drehzahl durch Tachogeneratoren und der Luftdurchsatz mittels Windfahnenrelais überwacht, und ein Temperaturfühler meldet eine

unzulässige Betriebstemperatur. Die letztgenannten Fehler führen zu einer Meldung an das PAS und darüber hinaus nach einer Verzögerungszeit von mehreren Sekunden zum Abschalten der Vorfeldeinrichtung, um einen Defekt der hochwertigen Elektronik zu verhindern.

Der Funktionstest der Vorfeldeinrichtung besteht aus einer Baugruppenprüfung mit Testmustern. Hierzu werden die innerhalb der VFE vorhandenen, vier Bit parallelen Datenleitungen durch Testmuster auf unterschiedlichen Wegen auf Kurzschluß bzw. Übersprechen geprüft.

Als Prüfparameter dienen die Art der Testmuster, die Länge des Testweges und die Anzahl der Testkanäle. Es gibt insgesamt fünf Testmuster, die über Testwege von zwei Teilnehmerkanälen über zwölf Ortstrassenkanäle auf zwei Teilnehmerkanäle simplex geschaltet werden können. Die Art der Testmuster werden von der Steuerung zyklisch ausgewählt. Die Länge des Prüfweges und damit die zu prüfenden Komponenten sowie die Streckenführung werden vom PAS der Steuerung mitgeteilt. Die Steuerung analysiert den Auftrag, prüft ob die Schaltung möglich ist und sorgt für die Einstellung aller für die Prüfung benötigter Baugruppen.

Im folgenden werden zwei Abläufe für Komponentenprüfungen angegeben (Bild 10).

Die kürzeste Teilwegprüfung ist die Prüfung der Einfügung B, die für die Einspeisung von Daten zum Koppelfeld benötigt wird. Die Prüfung läuft folgendermaßen ab: Der Kanal, der vom PAS für die Prüfung vorgesehen ist, muß frei sein. Ist diese Bedingung erfüllt, so stellt die Steuerung mittels eines Einstellbefehls den Abtaster B auf die Ausgangsseite

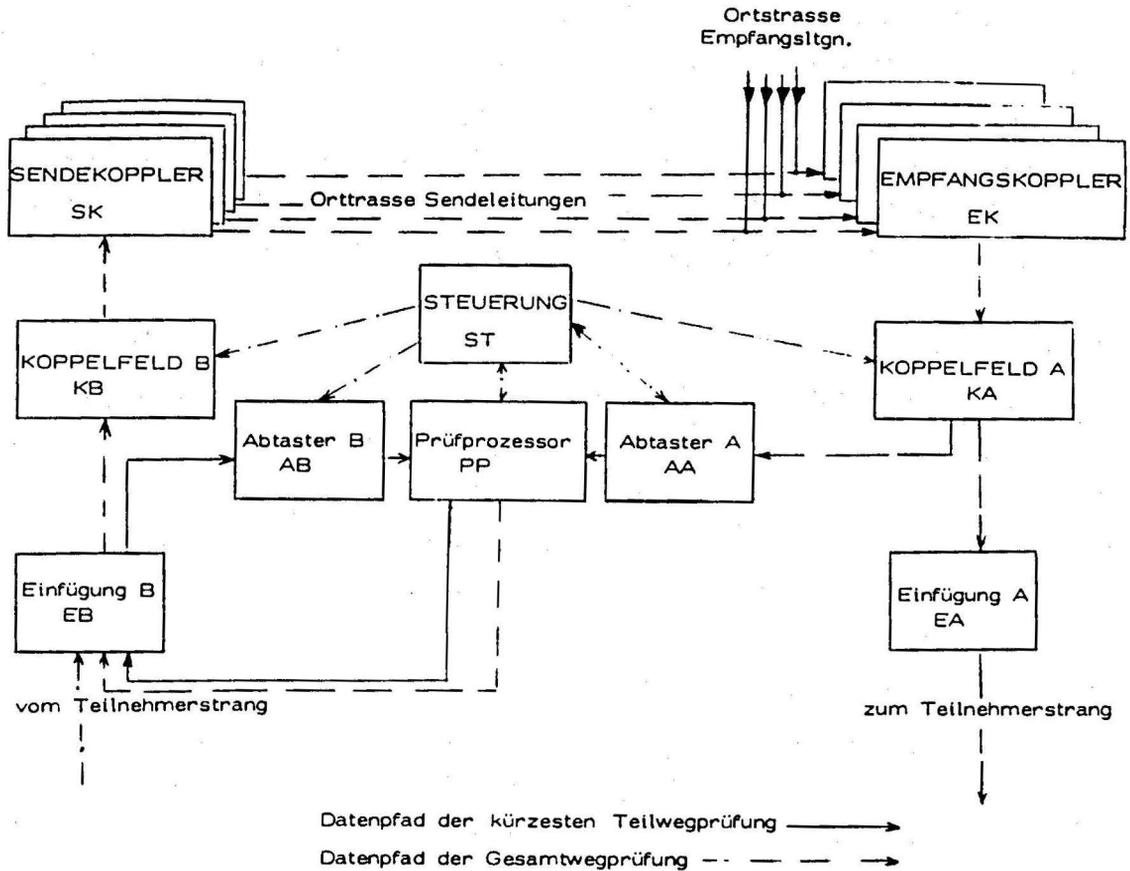


Bild 10 : Prinzip der Wegeprüfung in der Vorfeldeinrichtung

der Einfügung B ein. Der Abtaster B hat die Aufgabe, die Testmuster zu empfangen und dem Prüfprozessor zu übergeben. Anschließend veranlaßt die Steuerung den Prüfprozessor PP, ein bestimmtes Testmuster zu senden. Der Vergleich des gesendeten mit dem empfangenen Muster wird vom Prüfprozessor durchgeführt und das Prüfergebnis der Steuerung mitgeteilt. Ist das Ergebnis fehlerhaft, wird die Prüfung abgebrochen und dem Prüf- und Auswertungssystem anschließend die Fehlermeldung übergeben. Ist kein Fehler festgestellt worden, so werden nacheinander alle fünf Testmuster gesendet und die Fehlerfreiheit dem PAS mitgeteilt.

Das zweite Beispiel ist der längste Prüfweg mit der sog. Gesamtwegprüfung. Hierbei werden alle Baugruppen einer Vorfeldeinrichtung angesprochen, die auch für eine Breitband-Bildfernsprechverbindung benötigt werden. Ausnahme hierbei ist, daß eine Testverbindung nur eine Simplexverbindung schaltet und der Abtaster A fest eingestellt ist.

Im einzelnen laufen folgende Aufgaben in der Steuerung der Vorfeldeinrichtung ab: Der Prüfbefehl vom PAS wird hinsichtlich der Prüffart (Gesamtwegprüfung), des Ursprungkanals (Breitbandkanal der Teilnehmerschleife) und des Übertragungsweges (Ortstrassenkanalnummer) analysiert, und die Daten für die entsprechenden Komponenten aufbereitet.

Das Koppelfeld B (Sendeseite) wird zur Durchschaltung des Testkanals angesteuert, das Koppelfeld A (Empfangsseite) wird zum Empfang des Testmusters ebenfalls geschaltet. Der Abtaster A wird hinter das Koppelfeld A eingestellt, um die Testdaten dem Prüfprozessor zu übergeben. Ist der Testweg geschaltet, so werden nacheinander unterschiedliche Testmuster für die Adernprüfung durch Ansteuerung des Prüfprozessors gesendet. Bei Fehlerfreiheit werden alle fünf Testmuster für jeweils eine Rahmenlänge verglichen. Im Fehlerfall wird der Test abgebrochen und das Prüf- und Auswertungssystem informiert.

Die Gesamtprüfung ermöglicht indirekt auch eine Aussage über die Qualität der optischen Übertragungsstrecke.

Die vom PAS angewandte Prüfstrategie (vergl. /10/) beginnt mit der Gesamtwegprüfung einer Vorfeldeinrichtung und ermöglicht durch schrittweise Reduktion der Länge des Testweges eine Eingrenzung der fehlerhaften Baugruppen.

Die Testwege umfassen im einzelnen folgende Baugruppen (vergl. Bild 10): Ortstrassenkanal, das Koppelfeld A und den Abtaster A. Der 1. Teilweg umfaßt die Prüfung des Gesamtweges mit der Einstellung des Abtasters A vor dem Koppelfeld A.

Der 2. Teilweg besteht aus den Baugruppen Einfügung B, Koppelfeld B und Abtaster B.

Der 3. Teilweg prüft die Einfügung B über den Abtaster B, wie schon erläutert wurde.

Durch die vier Prüfwege mit fünf Testmustern und Verbindungen von zwei Teilnehmerkanälen über zwölf Ortstrassenkanäle ergibt sich eine große Variation von Prüfungen. Diese Prüfungen sind im Prüf- und Auswertungssystem als Teil der zyklischen Komponentenprüfungen mit dem minimalen Prüfabstand von 1 sec implementiert (vergl. /10/).

#### 4.6 Netzübergang für das Prüf- und Auswertungssystem PAS

Das PAS muß, um seine Aufgaben zu erfüllen, Verbindungen zu allen zu prüfenden Komponenten haben und in der Lage sein, den gesamten zu überwachenden Verkehr zu empfangen.

Im HHI-System muß es deshalb an die obere Hierarchieebene angekoppelt sein, da nur dort die Summe des Verkehrs verfügbar ist. Die erste Möglichkeit der Ankopplung ist das Ende des "Hinweges" der Trassenleitungen, nämlich an der VFE Ü, gegeben.

Die beiden anderen Lösungen, das PAS an die VFE 140 oder VFE 280 anzukoppeln, sind durch einen größeren Übertragungsweg gekennzeichnet. Hierbei könnten gegenüber der ersten Möglichkeit auch Übertragungsfehler des "Rückweges" der

Trassenleitung erkannt werden. Eine sichere Aussage dergestalt, daß es sich um echte Systemfehler handelt, wäre jedoch nicht mehr möglich, da keine Unterschiede zwischen Trassenfehlern und "Eigenfehlern" des PAS inclusive VFE Ü zu erkennen wären. Da es jedoch außerordentlich wichtig ist, diese Fehler unterscheiden zu können, wurde die VFE Ü am Ende der Ferntrasse angekoppelt. Nur hier ist ein direkter Kurzschluß zwischen Ein- und Auskoppelstelle möglich. Durch Selbsttest der Anordnung PAS/VFE Ü können jetzt "interne" Fehler ausgeschlossen werden. Aus diesen Sicherheitsüberlegungen wurde die VFE Ü mit den zusätzlichen Baugruppen für die Anpassung des PAS an das Netz empfangsseitig durch den Netzüberwachungskoppler und sendeseitig durch den Rechnerdienstkoppler ausgerüstet (Bild 11).

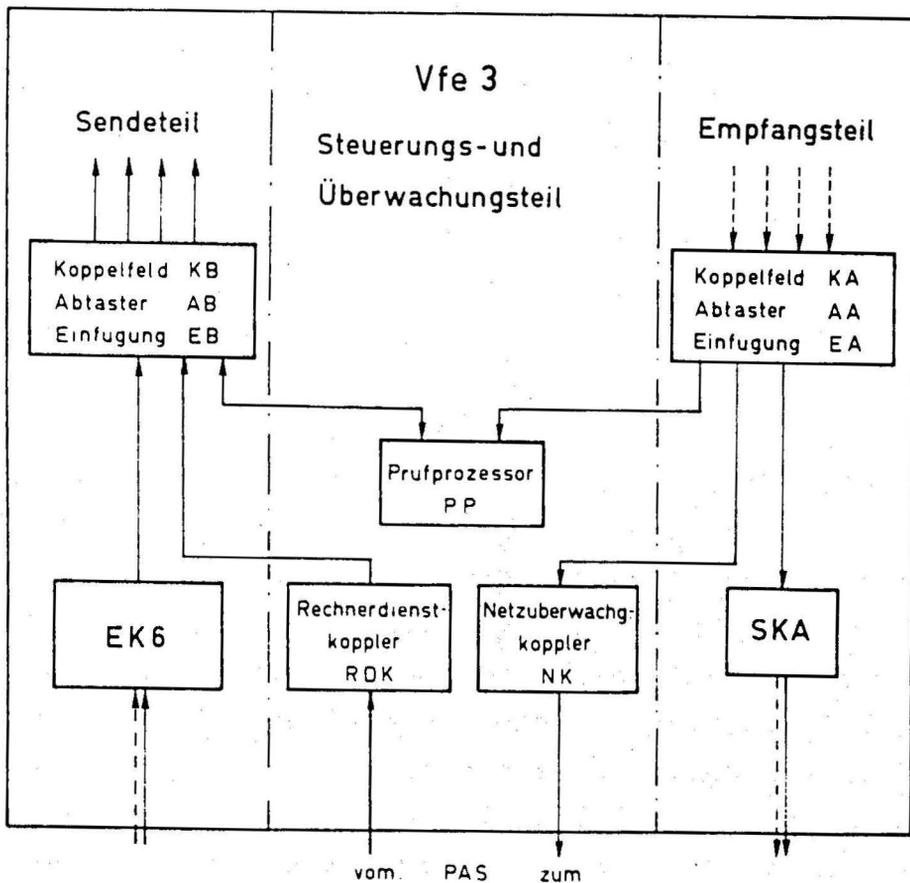


Bild 11 : Rechnerdienstkoppler RDK und Netzüberwachungskoppler NK in Vorfeldeinrichtung Vfe 3

Die Daten des Prüf- und Auswertungssystems werden über den Rechnerdienstkoppler an die VFE Ü angepaßt und dann mittels Einfügung B und Sendekoppler in das Netz eingespeist. Desgleichen nimmt der der Hauptleitung zugeordnete Empfangskoppler die Netzinformation entgegen, bereitet sie durch den Netzüberwachungskoppler auf und überträgt sie zu dem PAS.

In der Vorfeldeinrichtung werden durch den Netzüberwachungskoppler die Daten des Netzes übernommen, die Datenmenge reduziert, um die Zeitschlitznummer ergänzt und zusätzlich mit Redundanz durch einen BCH-Fehlersicherungscode versehen und parallelisiert dem Prozeß-Rechner-System übergeben.

An der Vorfeldeinrichtung ist der Datenstrom von vier Leitungen à 280 Mbit/s vorhanden. Da dieser Datenstrom hinsichtlich der Verkehrsinformation redundant ist, wird die Information auf einen Netto-Datenstrom von 67,58 Mbit/s reduziert. Damit verfügt das PAS über eine komplette Schmalbandspalte von 1024 Zeitschlitzen, in die die von der Vorfeldeinrichtung abgetasteten Breitbandsignalisierungszeitschlitze (Bild 5, vergl. /9/) in normalerweise nur für Verteildienste verwendete Zeitplätze eingefügt wurden.

Da vom Prüf- und Auswertungssystem auch sendeseitig auf das Netz eingewirkt werden soll, z.B. wenn Steuerbefehle an die VFE in den Rechnerdienstkanal eingespeist werden, muß die VFE Ü über einen aktiven Rechnerdienstkoppler verfügen. Der Rechnerdienstkoppler kann in jeden Schmalbandzeitschlitz beliebige Informationen einkoppeln. Insbesondere koppelt er Steuerinformation in den Rechnerdienstkanal 1 für die Vorfeldeinrichtungen und in den Rechnerdienstkanal 2 für die Teilnehmerstationen ein. Die Simulation einer Breitbandverbindung ist durch Einspeisen eines statischen Musters in 1024 Zeitplätze ebenfalls möglich.

Zu Prüfzwecken des Verbindungsweges VFE Ü - PAS und der beiden beteiligten Rechnerdienst- und Netzüberwachungskoppler wurde ein zusätzlicher Datenweg, der die Prüfung von Sendedaten mit Empfangsdaten unter Umgehung des Netzes im obengenannten direkten Kurzschluß ermöglicht, in Form der Kurzwegprüfung eingerichtet.

#### 5. Alternativen zum Aufbau

Zur Realisierung der einzelnen Komponenten der Vorfeldeinrichtung existierten unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten, die in den folgenden Abschnitten 5.1 - 5.6 diskutiert werden. Im Abschnitt 6 soll anschließend diskutiert werden, wie die gewählten Lösungen aufgrund der langjährigen Betriebserfahrungen zu bewerten sind.

Die Vorfeldeinrichtung nimmt im HHI-System eine zentrale Funktion ein, da sie für Schmalbanddienste einen Verzweigungspunkt in einem Einebenen-Netz, für Breitbanddienste einen Vermittlungsknoten und für das Netz einen Phasenausgleichspeicher darstellt.

Die Realisierung dieser Komponenten muß die Sicherheitsüberlegungen hinsichtlich Zuverlässigkeit, Wartungsfreundlichkeit und leichter Überwachbarkeit besonders berücksichtigen. Dabei darf insbesondere der Ausfall einer Vorfeldeinrichtung nicht zum Gesamtausfall führen. Der Ausfall von Komponenten wird in den folgenden Unterabschnitten 5.1 - 5.6 diskutiert.

Störungen, die das Gesamtsystem funktionsunfähig machen und Maßnahmen zu deren Beseitigung werden im folgenden erläutert.

Ein zentraler Punkt, der zum Systemzusammenbruch führt, ist der Totalausfall einer Vorfeldeinrichtung, sei es durch direkten Netzausfall (die verschiedenen Netzkomponenten werden aus verschiedenen Netzstromkreisen gespeist) oder indirekt durch einen Lüfterausfall, der zum gewollten Abschalten einer Vorfeldeinrichtung führt. Die Überbrückung durch laufzeitangepaßte Hochfrequenz-Relais dieser Vorfeldeinrichtung ist möglich und verhindert damit den Ausfall des Gesamtsystems. (Diese Realisierung wurde wegen der als zu hoch angesehenen Kosten unterlassen).

Fehlerhafte Vermittlungen haben für das Gesamtsystem nur eine geringe Störauswirkung. Die Ursachen der Fehlvermittlungen und deren eventuelle Abwehr werden in Abschnitt 5.1 behandelt.

Betriebserfahrungen haben gezeigt, daß ein anderer Fall von Netzstörungen durch die Asynchronität der Sendeleitung des Teilnehmerstrangs erfolgt. Ein Kabelbruch eines Lichtwellenleiters bzw. ein gezogener optischer Stecker erzeugt ein Zufallsmuster. Wegen der festgeschalteten Durchschaltung der Schmalbandkanäle führt dies zu vorgetäuschten Belegungen. Abhilfe der Störungen der Schmalbandkanäle bzw. Schutzschaltungen für die betroffenen Sendekoppler werden in Abschnitt 5.2 erörtert.

### 5.1 Breitbandvermittlung

Betriebsstörungen im HHI-System sind durch Fehlvermittlungen möglich. Ursachen der fehlerhaften Vermittlungen können Störungen des Vermittlungsalgorithmus, Komponentenstörungen und fehlerhafte Information über den Belegungszustand des Systems sein.

Setzt man korrekte Arbeitsweise des Vermittlungsalgorithmus und der Komponenten voraus, so müssen Vermittlungsfehler aufgrund von Doppelbelegungen und Fehlverbindungen durch falsch ermittelte Belegungszustände verhindert werden.

Eine Doppelbelegung kann dadurch entstehen, daß zwei Teilnehmersignalisierungen an zwei unterschiedlichen Vorfeldeinrichtungen gleichzeitig zur Belegung des gleichen Ortsstrassenkanals führen. Aufgrund der dezentralen Arbeitsweise der Vorfeldeinrichtung - jede Vorfeldeinrichtung gewinnt den Belegungszustand der Trasse durch eigene Verkehrsüberwachungskomponenten, die sog. Abtaster - ist diese Doppelbelegung nicht zu verhindern. Da die Wahrscheinlichkeit einer Doppelbelegung mit der Signallaufzeit und der benötigten Vermittlungszeit steigt, muß zur Eliminierung der Doppelbelegung die Vermittlungszeit möglichst kurz sein.

Will man eine möglichst anpassungsfähige Lösung des Vermittlungsrechners erzielen, so gibt es nur die Wahl für eine Mikroprozessorsteuerung, die um eine Signalisierungsverarbeitung für die Geschwindigkeitsanpassung zwischen hoher redundanter Signalisierungsgeschwindigkeit und langsamer Vermittlungssteuerung erweitert werden muß.

Die Vermittlungsdauer kann einerseits dadurch verringert werden, daß viele Aufgaben, die zur Vermittlung gehören, in dem schnellen Vorverarbeitungsprozessor behandelt werden, und andererseits dadurch, daß durch frühzeitige Datenreduktion der Vermittlungsrechner schneller reagieren kann. Die Aufgabenverlagerung in einem Vorverarbeitungsprozessor hat ihre Grenze in dem verfügbaren Programmspeicher und in der für die Verarbeitung jedes Breitbandsignalisierkanals benötigten Zeit.

Damit bleibt für die Realisierung nur die Datenreduktion durch den Vorprozessor.

Wird nicht jede Breitbandsignalisierinformation eines Kanals für den Belegungszustand ausgewertet, sondern nur die Änderung eines Signalisierzustandes, so ergibt sich eine beträchtliche Datenreduktion, deren Auswertung für den Normalfall ausreicht, um ein korrektes Funktionieren der Breitbandvermittlung zu gewährleisten; die Ausnahme des fehlerhaften Vermittelns wird anschließend diskutiert.

Die Auswertung j e d e s Breitbandsignalisierkanals ergibt ein korrektes Abbild des Belegungszustands des Systems und erübrigt das Führen einer Belegungstabelle im Speicher.

Aufgrund der fehlenden Gesprächsendekennung einer Verbindung ist natürlich eine Speichertabelle, die alle Belegungsdaten enthält, unabhängig vom Vermittlungsalgorithmus notwendig. Das Überwachen jedes Kanals mit anschließender Auswertung des Belegungszustands setzt einen sehr schnellen Prozessor voraus, der, um effizient im Sinne der Vermittlungssteuerung zu arbeiten, auch noch über zusätzliche Parallelbausteine zur Ansteuerung des Koppelfeldes bzw. zur Entgegennahme von Anfragen des Mikroprozessors hinsichtlich des Belegungszustandes des Teilnehmerstranges und der Ortstrasse zum Aufbau von Testverbindungen verfügen muß.

Wird jeder Signalisierkanal hinsichtlich des Belegungszustand ausgewertet, so sind keine Vermittlungsfehler im nachfolgend erläuterten Sinne möglich.

Ein Vermittlungsfehler entsteht, wenn der Listeneintrag von der tatsächlichen Trassenbelegung abweicht. Wenn nur

Signalisierungsänderungen verarbeitet werden, tritt eine Diskrepanz dann ein, wenn eine zu Wartungszwecken abgeschaltete Vorfeldeinrichtung wieder eingeschaltet wird und die Trasse belegte Breitbandkanäle enthält. Da eine Signalisierungsänderung nicht erfolgt - der Übergang freier Kanal in Gesprächszustand ist nach den Betriebsalgorithmen /9/ verboten - werden diese Kanäle als frei behandelt. Damit kann es zu einmaligen Störungen dieses Kanals bis zu einer Dauer von 800 msec kommen. Der Ortstrassenkanal ist anschließend durch den Belegungseintrag vor erneuter Fehlvermittlung geschützt. Diese Fehlvermittlung kann im HHI-System nicht zu Komplikationen führen, da durch das Fehlen der Hochfrequenzrelais das Abschalten einer Vorfeldeinrichtung zum Abwerfen aller Verbindungen führt und ein Wiedereinschalten somit zwangsweise mit leeren Kanälen erfolgt.

Bei der Installation von Koax-Hochfrequenzrelais KR (Bild 12) wäre auch diese Fehlverbindung vermeidbar, wenn der Vorverarbeitungsalgorithmus um die Auswertung des verbotenen Signalisierungsübergangs von leerem Kanal in Gesprächszustand erweitert würde.

Die Doppelbelegungen können vollständig verhindert werden, wenn z.B. bei gleicher Netzstruktur die Breitbandvermittlung der oberen Ebene zentral erfolgt. In diesem Fall sind die Kanäle an jeder Vorfeldeinrichtung dem Übertragungsziel fest zugeordnet. Der an der Ziel-Vorfeldeinrichtung ankommende Datenstrom ist über die verschiedenen Kanalnummern den Ursprungs-Vorfeldeinrichtungen zugeordnet. Hierbei ist eine Doppelbelegung völlig ausgeschlossen. Eine Abschätzung der erforderlichen Kanalzahlen zeigt aber schnell, daß die Anzahl der Kanäle mit der Anzahl der im System befindlichen Vorfeldeinrichtungen schnell steigt und damit größer ist als im Falle der dezentralen Vermittlung. Im Experimentalsystem mit nur drei Vorfeldeinrichtungen ist eine effiziente andere Lösung realisierbar.

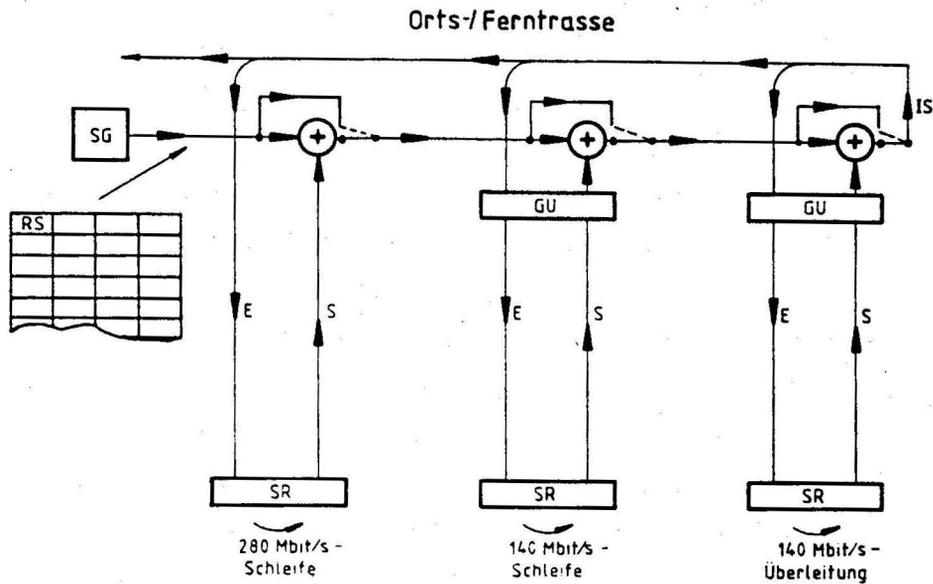


Bild 12: Synchronisation und Informationsfluß im Digitalen Breitband-Netz mit Schutzeinrichtung ( Koax Relais )

Die gleiche Anzahl von Kanälen bei völligem Fehlen von Doppelbelegungen kann im Experimentalsystem dadurch erreicht werden, daß die für eine Vorfeldeinrichtung bestimmte Information auf einen festen, sie kennzeichnenden Kanal (z.B. VFE 280 nur Kanal 1, VFE 140 nur Kanal 2 usw.) abgesendet wird. Jede andere Vorfeldeinrichtung erkennt anhand des Kanals, von welcher Vorfeldeinrichtung Daten gesendet werden.

Diese Lösung wurde im HHI-System nicht gewählt, da bei Ausfall von mehr als einer Leitung keine Ersatzleitung mehr verfügbar gewesen wäre und - bedingt durch das Multiplexen

von zwei Ortstrassenleitungen auf eine Ferntrassenleitung - durch den Ausfall der taktführenden Leitung ein zweiter Verbindungsweg ebenfalls ausgefallen wäre. Zur prinzipiellen Eignung der dezentralen Vermittlung für Breitbandkommunikationsdienste wird in /20/ Stellung genommen.

## 5.2 Schmalbanddurchschaltung

Um die Schmalbanddienste vollständig dezentral in einem Ein-  
ebenennetz abwickeln zu können, müssen die Kanäle durch die  
Vorfeldeinrichtung fest durchgeschaltet werden. Die feste  
Durchschaltung wird durch eine logische "Oder"-Verknüpfung  
der Datenströme vom Teilnehmerstrang auf die Ortstrassen-  
leitungen bewirkt, so daß die Schmalbandkanäle ohne Vermitt-  
lungsfunktion transparent im Zeitmultiplexrahmen auf jeder  
beliebigen Empfangsleitung erscheinen. Da die Schmalband-  
dienste Grunddienste darstellen, ist für deren sichere  
Funktion ein erhöhter Aufwand an Sicherheitsmaßnahmen not-  
wendig.

Gerade die Vorfeldeinrichtung hat als Verzweigungspunkt für  
Schmalbanddienste die Möglichkeit, das Netz von Störungen  
aus dem Teilnehmerbereich abzuschirmen.

Die vierfach redundante Führung der Schmalbanddienste auf  
den Ortstrassenleitungen ist hierbei, wie schon im Abschnitt  
4.2 erwähnt, die schaltungstechnisch einfachste, von der  
Kanalkapazität aber aufwendigste Maßnahme, um den Verlust  
der Schmalbandinformation auf den Ortstrassenleitungen zu  
verhindern. Der Schutz dieser Kanäle vor Störungen von der  
Sendeleitung des Teilnehmerstranges kann durch empfangs-  
seitiges Abkoppeln der Sendekoppler von der Teilnehmerstrang-  
Empfangsleitung vorgenommen werden. Geplant war, diese Ab-

schaltung mit Hochfrequenzrelais durchzuführen, die entweder beim Abschalten der Vorfeldeinrichtung diese automatisch überbrücken oder bei einer Störung des Teilnehmerstranges durch die Steuerung der Vorfeldeinrichtung aktiviert werden sollte (vergl. Bild 10).

Da einerseits der Informationsstand über die geringe Fehler-rate optischer Übertragungsstrecken (besser  $10^{-9}$ ) Störungen als äußerst gering erscheinen liessen, andererseits die HF-Relais Lösung als sehr aufwendig und teuer erschien, wurde diese ursprünglich geplante Sicherheitsmaßnahme gestrichen. Die Schmalbanddurchschaltung wurde als feste Durchschaltung, d.h. von keiner Bedingung abhängige Durchschaltung realisiert.

Wie Betriebserfahrungen gezeigt haben, müssen bei einem dezentral vermittelnden System Kabelbrüche, bzw. defekte optische Stecker und auch das aktive Stören von Teilnehmern erkannt und deren mögliche katastrophale Auswirkungen für das Gesamtsystem verhindert werden /20/.

Hierbei bietet sich mit geringem technischen Aufwand im bestehenden System die Lösung an, das Synchronsignal der sendenden Teilnehmerleitung so zum Einkoppeln der Daten auszunutzen, daß nur im Falle des Synchronismus Daten der Teilnehmerleitung auf die Ortstrasse eingekoppelt werden. Damit wird jede Leitung, die den Synchronismus verloren hat und beliebige Störungen in das System einkoppeln konnte, sicher vom System getrennt.

Eine zusätzliche Sicherungsmaßnahme wurde gegenüber dem ursprünglichen Systemkonzept eingeführt, indem frühzeitig

erkannt wurde, daß die Hauptleitungen der VFE im Falle von Asynchronität selbständig von der VFE umgeschaltet werden müssen, da das PAS diesen Fall nicht vollständig abdeckt. Die Leitungsasynchronität wurde auch für die Breitbandvermittlung ausgewertet und verhindert damit Besetztfälle bei der Vermittlung.

Die VFE leitet den Takt für die Empfangsleitung des Teilnehmerstranges von einer synchronen Ortstrassenleitung ab. Die so ermittelte Hauptleitung ist maßgebend für die erforderliche Rahmensynchronität.

### 5.3 Breitbandverteildienst

Wie schon in Abschnitt 4.3 erläutert, unterscheidet sich der festgeschaltete Farbfernsehverteildienst von einem zweiten Farbfernsehwahlprogramm durch die unterschiedlichen Betriebsabläufe. Für die Vermittlung des Farbfernsehwahlprogramms muß eine Teilnehmerwahl vorausgehen. Da für die festgeschaltete Standardverteilung prinzipiell ein eigener Breitbandkanal belegt wird, muß für den Farbfernsehwahldienst ein Bildfernsprechkanal belegt werden.

Da für Bildfernsprechdienste feste Betriebsabläufe /9/ hinsichtlich Signalisierung und Signalisierquittung erforderlich sind, müssen für den Farbfernsehwahldienst die gleichen Betriebsabläufe wie für das Bildfernsprechen eingehalten werden. Insbesondere muß auf den Teilnehmerruf für die Teilnehmerstation /11/ eine Rufquittung generiert werden. Da eine Fernsehverteilungsleitung aber nur die Dateninformation zur Verfügung stellt, muß eine zusätzliche Einheit auf den Ruf hin die Quittung erzeugen. Diese Einheit wird durch den sog. TV-Signalisierkoppler, besser TV-Signalisierquittungs-

koppler, gebildet. Diese Baugruppe wird nur einmal an der Vorfeldeinrichtung VFE 280 benötigt, da nur hier die Breitbandverteilung angekoppelt ist.

Der TV-Signalisierkoppler ist für die Durchschaltung von Wahl TV-Programmen in der Vorfeldeinrichtung zwar prinzipiell entbehrlich, er hat jedoch den großen Vorteil, daß dann keine Zusatzeinrichtungen in den Teilnehmerstationen erforderlich werden, da der Dienst Wahl-TV jetzt nach den üblichen Betriebsabläufen abgewickelt werden kann. Dies begünstigt den modularen Aufbau der Teilnehmerstationen /11/. Die Zuverlässigkeit des Systems wird damit auch nicht wesentlich verschlechtert, da die Einfügung des Quittungsdatenstroms über die Standardeinfügung des Teilnehmerstranges erfolgt. Eine Lösung ohne Zusatzbaugruppe ist nur möglich, indem entweder die Betriebsabläufe verändert werden oder die Quittungssignalisierung durch das PAS vorgenommen wird (siehe Abschnitt 4.5). Der Nachteil der letztgenannten Lösung besteht darin, daß für die Zeit der Signalisierung ein Ortstrassenkanal belegt wird und die Vorfeldeinrichtung diesen Sonderfall unterschiedlich zum Aufbau einer Bildfernsprechverbindung behandeln muß, obwohl die Signalisierabläufe identisch sind.

#### 5.4 Synchronisierungsmöglichkeiten

Das vollsynchrones HHI-System wurde wegen der einfachen Realisierbarkeit als ein Taktkoppelungsverfahren mit gerichteter Synchronisierung (Master-Slave Synchronisation) geplant /16/.

Alternativen für die Synchronisation von Netzen sind das Taktkoppelungsverfahren mit gegenseitiger Synchronisierung (Mutual

Synchronisation) und das plesiochrone Taktanpassungsverfahren (Plesiochronous Operation Mode). Beide Verfahren verfügen über mehrere Taktgeneratoren, die im ersten Fall aufeinander synchronisiert werden müssen. Das plesiochrone Verfahren benötigt Ausgleichsspeicher, die die Phasenschwankungen eine gewisse Zeit ausgleichen können. Der Überlauf des Speichers führt dann zum einmaligen Verlust eines Rahmens mit anschließender Normierung des Speichers. Das Verfahren der gerichteten Synchronisation ist wesentlich einfacher, da es nur über einen zentralen Generator verfügt und topologie-unabhängig ist (vergl. z.B. /16/).

Die Netzkomponenten Vorfeldeinrichtung und Teilnehmerstation erhalten den Takt von dem zentralen Generator und leiten ihre Wort und Rahmentakte daraus ab. Der zentrale Bittakt wird hierbei nicht über separate Leitungen in einer Sternstruktur übertragen, sondern wird zusammen mit einem Zeitmultiplexrahmen den optischen Sendern zugeführt und durch Taktrückgewinnungsstufen in den optischen Repeatern für die Netzkomponenten (Vorfeldeinrichtung, Teilnehmerstation) regeneriert. Der Bittaktphasenausgleich wird mittels elastischer Speicher (Abschnitt 4.4) durchgeführt. Der Rahmensynchronismus ist insbesondere an jedem Netzknoten notwendig, an dem die zu sendende Information aus dem Teilnehmerstrang der Ortstrasse eingekoppelt wird. Eine Alternative zur Erzeugung des Rahmensynchronismus kann man erzielen, in dem man den elastischen Speicher dergestalt vergrößert, daß er einen vollständigen Rahmen speichert und damit zum Rahmenvollspeicher wird. Dieser Vollspeicher ermöglicht, den durch die Verkabelungslänge bedingten Rahmenversatz auszugleichen. Damit wird eine vollautomatische Anpassung des Rahmens unabhängig von der Signallaufzeit durchgeführt. Eine solche Realisierung des Rahmensynchronismus durch Vollspeicher wurde zum Zeitpunkt der Planung (1975 - 1976) für Übertragungs-

raten von 280 Mbit/s als zu aufwendig erachtet.

Stattdessen wurde im HHI-System eine Rahmensynchronisierung durch einen einstellbaren Syncreflex realisiert. Dieses Verfahren ist deshalb besonders aufwandsarm realisierbar, weil am Ende der Teilnehmerschleife nur ein leerer Zeitmultiplex-Rahmen mit einstellbarer Verzögerung erzeugt werden muß.

Die 140 Mbit/s-Teilnehmerschleife /4/ verfügt neben der manuellen Einstellung des Syncreflexes über eine automatisch regelbare Einstellung. Diese Regelung wird aufgrund der großzügigen Dimensionierung des elastischen Speichers nicht in Anspruch genommen.

Der Nachteil des Einsatzes eines Syncreflexes gegenüber dem Vollspeicher besteht in dem manuellen Abgleich des Rahmenversatzes bei der Änderung der Verkabelung. Dagegen erfolgt durch die feste Ableitung des Rahmens aus dem zentralen Bezugsrahmen nach Störungen des Generators eine exakte Rahmensynchronisierung automatisch.

Da der zentrale Generator vier Ortstrassenleitungen mit Takten und Zeitmultiplex-Rahmen speist, besteht für die Vorfeldeinrichtung die Aufgabe, aus diesen Leitungen die Hauptleitung zu bestimmen. Die Hauptleitung dient als Taktreferenzleitung zur Messung der Phasenablage der anderen Leitungen. Die Auswahl der Hauptleitung legt außerdem die Ortstrassenleitung fest, von der die Schmalbandinformation auf die Empfangsleitung des Teilnehmerstranges geschaltet wird. Die Umschaltung kann manuell direkt am Bedienfeld der Vorfeldeinrichtung, als Operatoranweisung von der Konsole des PAS vorgenommen werden oder automatisch durch die

Steuerung über die Auswertung des Synchronismus der Leitungen erfolgen. Bei der automatischen Umschaltung wird im Störfall die nächst höhere Leitungsnummer als Taktreferenz gewählt. Bei ungestörtem Betrieb sind manuelle Umschaltungen ohne Phasensprünge möglich.

### 5.5 Eigen- und Fremdprüfung der Vorfeldeinrichtung

Die Prüfung der Baugruppen der Vorfeldeinrichtung und die Überwachung der Leitungen sowie die Umschaltfunktionen für die Vorfeldeinrichtung sind notwendige Bestandteile eines Prüfprogramms.

Während der Aufbauphase waren diese Funktionen eine wertvolle Hilfe für die Lokalisierung von Schaltfehlern. In der Betriebsphase bei geringen Fehlerraten führten sie zu schneller Lokalisierung von fehlerhaften Baugruppen. Bei großen Fehlerraten im System (schlechter als  $10^{-7}$ ) ist die Funktionsüberwachung durch ein zentrales Rechnersystem allerdings nicht mehr sichergestellt.

Insbesondere ist bei internen Störungen der Vorfeldeinrichtung, wie Spannungsausfall bzw. Lüfterausfall, der gewählte Signalisierungsalgorithmus mit dem PAS unzureichend /10/.

Diese Erkenntnis und die Entlastung des Rechnersystems führt zu einer Abkehr von der vollständigen zentralen Prüfung zu dezentralen Prüfkomponenten mit entsprechend autonomer Reaktion.

Deshalb wurden während der Vorhabenslaufzeit z.B. in der Vorfeldeinrichtung mehrere Überwachungsroutrinen, Änderung der Hauptleitung und die Reaktion auf Phasen- bzw. Syncverlust gegenüber den Vorgaben verändert und die Reaktion der Vorfeldeinrichtung hierauf automatisiert.

#### 5.6 Netzankopplung für das Prüf- und Auswertungssystem

Die Netzankopplung des Prüf- und Auswertungssystems über eine Vorfeldeinrichtung hat sich bewährt, da dies mit geringem Aufwand realisiert war und alle Verkehrsüberwachungsfunktionen mit hoher Zuverlässigkeit abgewickelt werden konnten. Darüber hinaus erwies sich die Tatsache, daß "interne" Fehler von "externen" deutlich zu unterscheiden waren (vergl. Abschnitt 4.6) als sehr vorteilhaft /10/.

#### 6. Resüme

Die Funktionsfähigkeit einer Vorfeldeinrichtung für 280 Mbit/s-Datenrate und 70 MHz Taktrate in einem optischen Übertragungssystem mit dezentraler Vermittlung zur Vermittlung von Breitbandkanälen ist nachgewiesen worden.

Die feste und bedingt feste Durchschaltung von Schmalbanddiensten arbeitet zuverlässig. Der Dauerbetrieb hat aber ebenso gezeigt, daß die Vorfeldeinrichtung für diesen Fall nicht mit den notwendigen Sicherheitsmaßnahmen ausgerüstet ist.

Für einen Feldversuch sollte daher von einer festen Durchschaltung der Schmalbanddienste abgesehen werden, damit aus einem Störfall in einem Teilsystem nicht ein Ausfall des Gesamtsystems werden kann.

Die Notwendigkeit einer Vorfeldeinrichtung für die Vermittlung von Breitbanddiensten ist bei der Verwendung der dezentralen Vermittlung aus der notwendigen Bandbreite dieser Dienste, die schnell die Gesamtkapazität des Systems sprengen kann, einsichtig geworden. Die Lösung der Vermittlungssoftware in einem Mikroprozessor mit Listenverarbeitung hat sich insbesondere wegen ihrer leichten Änderbarkeit als richtig herausgestellt. So konnten nachträglich noch benötigte automatische Reaktionen auf Störungsmeldungen, die vom PAS nicht geleistet wurden, implementiert werden. Auch die manuelle Testschaltung von Testverbindungen für die Fehlerratenmessung ohne Beeinträchtigung bestehender Breitbandverbindungen war nachträglich möglich.

Ungünstig ist die Verbindung zwischen zwei Breitbandteilnehmern der gleichen Teilnehmerschleife gelöst, da der Verkehr über die obere Netzebene geführt wird und damit die Kanalkapazität der Ortstrassenleitungen reduziert. Hier wäre eine schleifeninterne Vermittlung in der VFE ohne Belegung der Ortstrassenleitungen zweckmäßiger.

Die Gefahr der Doppelbelegung eines Breitbandkanals ist bei dezentraler Vermittlung mit Inbandsignalisierung nicht auszuschließen. Dies könnte durch eine in der oberen Netzebene zentral vermittelnde Vorfeldeinrichtung auf Kosten der erhöhten Betriebskanäle ausgeschlossen werden.

Bezüglich der Anpassung zwischen Teilnehmer- und Ortstrassenleitungen erwies sich die Länge der Phasenausgleichspeicher als überdimensioniert: Die vorhandenen Reserven wurden zu keiner Zeit ausgenutzt, da einerseits die Länge der parallel verlegten Fasern gleich war und andererseits Temperaturdrift, Alterung und Phasendrift gering waren. (Eine wesentliche Ursache dafür liegt allerdings darin, daß das Experimentalsystem in einem Raum vollklimatisiert betrieben wird.)

Die Prüfung und Überwachung der Baugruppen der Vorfeldeinrichtung erleichterte das Erkennen fehlerhafter Komponenten während der Integrationsphase.

#### 7. Vorfeldeinrichtung aus heutiger Sicht

Voraussetzung für die dezentrale Vermittlung ist, daß der Summenverkehr beim Teilnehmer verfügbar ist und die Vermittlungsfunktion von der Teilnehmerstation selbständig durchgeführt wird. Der Summenverkehr bestimmt die Übertragungsgeschwindigkeit, das Übertragungsmedium und damit die in den Teilnehmerstationen verwendete Elektronikfamilie.

Wie das Projekt "Breitbandkommunikation mit optischen Kanälen" gezeigt hat, sind Schmalbanddienste wie Fernsprechen, Datenübertragung und Verteil-Stereorundfunk in einem dienstintegrierten dezentralen System mit Lichtwellenleitern der ersten Generation und in ECL-Technologie prinzipiell realisierbar.

Jedoch schon bei einer geringen Anzahl von Teilnehmern, die mit Breitbanddiensten ausgerüstet ist, stößt der Bandbreitenbedarf an die Kapazitätsgrenze der die Information verarbeitenden Elektronik und führt damit zur Abkehr vom Prinzip der dezentralen Vermittlung /20/.

Dementsprechend sind vergleichbare Breitbandssysteme /13/ ausnahmslos mit zentraler Vermittlung und in einer Sternstruktur realisiert, da die Teilnehmeranschlußleitung hier nur die teilnehmerindividuelle Information führen muß und die Elektronik der Teilnehmerstation entsprechend aufwandsärmer ist.

Die Lösung des Kapazitätsengpasses kann durch die Wellenlängenmultiplextechnik erfolgen. Bei dem Wellenlängenmultiplex werden als Träger der Information Licht unterschiedlicher Wellenlänge verwendet, wobei der Empfänger über einen der Sendewellenlänge entsprechenden Detektor verfügen muß. Eine Lösung des Bandbreite-Engpasses scheint erst in ferner Zukunft durch den optischen Heterodynempfang möglich /19/.

Der Einsatz einer dezentralen Vorfeldeinrichtung für zukünftige Systeme scheidet in öffentlichen Breitbandsystemen wegen des Bandbreitenbedarfs und der damit verbundenen schnellen Elektronik beim Teilnehmer aus. Darüber hinaus ist in öffentlichen Systemen die Abhörsicherheit von grundlegender Bedeutung. Sogar in Inhouse-Systemen mit einer geringen Anzahl von Breitbandteilnehmern ist eine Dienstintegration wegen der Anpassung der Empfangsstation an die Gesamtbitrate nicht sinnvoll /20/.

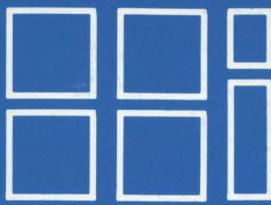
Aus diesen Gründen haben Überlegungen, auf welche Weise die hier beschriebenen Vorfeldeinrichtungen für den Einsatz in künftigen Breitbandnetzen optimiert werden können praktisch keine Bedeutung, da eine solche Systemkonfiguration aus den vorgenannten Gründen prinzipiell nicht zweckmäßig erscheint.

Allerdings kann für Schmalbandsysteme, obwohl die Gesamtbitrate in einem Einebenennetz hier sicher ausreichend ist, eine Vorfeldeinrichtung in einem dezentralen System wesentliche Aufgaben wahrnehmen, da sie sowohl als Verzweigungspunkt als auch als Netzknoten in einem Zwei-Ebenen-Schmalbandnetz Störungen einer Teilnehmerschleife, die sich sonst im gesamten Netz fortpflanzen würde, vom übrigen Netz fernhalten.

Darüber hinaus könnte sie als Netzknoten eines Zwei-Ebenen-Schmalbandnetzes den weiteren prinzipiellen Nachteil der dezentralen Vermittlung, die ungenügende Abhörsicherheit, auf wesentlich kleinere Bereiche beschränken.

## 8. Literaturverzeichnis

- /1/ Matt, H.J.; Fußgänger, K.:  
Integrated Broad-Band Communication Using Optical  
Network-Results of an Experimental Study.  
IEEE Trans. on Communications, Vol. 29, No.6, June 1981,  
pp. 868-885
- /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. Mitteilungen 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/ Holz, M.; Kremers, E.; Marten, P.; Russer, P.:  
Optischer Repeater für 280 Mbit/s  
Wiss. Ber. AEG-Telefunken 53 (1980) 1-2, S. 56-61
- /7/ Burgmeier, J.; Gier, J.; Trimmel, H.:  
Digitalsignalübertragung mit 560 Mbit/s über Lichtwell-  
lenleiter - ein Versuchssystem für das Heinrich-Hertz-  
Institut  
Telecom Report 4 (1981) Heft 2, S. 98-103
- /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 (Abschnitt 3)  
Heinrich-Hertz-Institut GmbH, Interner Bericht 1983
- /10/ Burmeister, M.:  
Überwachungseinrichtung in einem diensteintegrierten  
Experimentalsystem mit dezentraler Vermittlung  
Heinrich-Hertz-Institut GmbH, Interner Bericht 1983



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

